

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

Ruane Fernandes de Magalhães

**EDIFICAÇÕES EM *LIGHT STEEL FRAME* ISOLADAS
EXTERNAMENTE COM EIFS: AVALIAÇÃO DE
DESEMPENHO TÉRMICO PELA NBR 15.575/2013**

Porto Alegre
julho 2013

RUANE FERNANDES DE MAGALHÃES

**EDIFICAÇÕES EM LIGHT *STEEL FRAME* ISOLADAS
EXTERNAMENTE COM EIFS: AVALIAÇÃO DE
DESEMPENHO TÉRMICO PELA NBR 15.575/2013**

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

Orientadora: Ana Paula Kirchheim
Coorientador: Maurício Carvalho Ayres Torres

Porto Alegre

julho 2013

RUANE FERNANDES DE MAGALHÃES

**EDIFICAÇÕES EM *LIGHT STEEL FRAME* ISOLADAS
EXTERNAMENTE COM EIFS: AVALIAÇÃO DE
DESEMPENHO TÉRMICO PELA NBR 15.575/2013**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelos Orientadores e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, julho de 2013

Profa. Ana Paula Kirchheim
Dra. pela UFRGS
Orientadora

Mauricio Carvalho Ayres Torres
Dr. pela Universidad Politécnica de Cataluña
Coorientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Miguel Aloysio Sattler (UFRGS)
PhD pela University of Liverpool

Prof. Luis Carlos Bonin (UFRGS)
Mestre em Engenharia pela Universidade
Federal do Rio Grande do Sul

Mauricio Carvalho Ayres Torres
Dra. pela Universidad Politécnica de
Cataluña

Profa. Ana Paula Kirchheim (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul

Dedico este trabalho a todos que acreditaram que eu
chegaria até aqui, especialmente à minha família que
sempre me apoiou.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por ter permitido que eu chegasse à UFRGS, por ter me apoiado em todo o curso e por ter perdoado minhas faltas em datas especiais.

Agradeço ao Lidiomar, pela paciência, apoio nos momentos difíceis e pelas dicas para que esse trabalho se tornasse sempre melhor.

Agradeço à Larissa Schöller pela ideia que deu início a esse trabalho e pelas constantes informações repassadas para aprimoramento do mesmo.

Agradeço à empresa responsável pelo projeto analisado, pela total disponibilidade de seu empreendimento, para estudo desse trabalho.

Agradeço aos Engenheiros Roger Madail e João Paltian, responsáveis pelo empreendimento analisado, pela total disponibilidade e presteza.

Agradeço ao Setor Comercial da empresa contribuinte desse trabalho pela disponibilização da Casa Decorada para medições.

Agradeço a Isabel Turatti pelo empréstimo do aparelho de medição usado nesse trabalho.

Agradeço à Ana Paula Kirchheim e ao Maurício Torres, orientadores desse trabalho, por toda a paciência, compreensão, disponibilidade, amizade e ensinamentos repassados.

Agradeço à Professora Carin pela paciência, esforço em ajudar e ensinamentos valiosos, sem os quais esse trabalho não seria possível.

Agradeço às amigas Paula Lemos, Larissa Schöller e Fabiana Maliszewski pela parceria, constante apoio e torcida a cada entrega parcial desse trabalho.

Porque eu sou do tamanho do que vejo e
não do tamanho da minha altura.
E o que vejo são os meus sonhos.

Alberto Caeiro (heterônimo de Fernando Pessoa)

RESUMO

A indústria da construção civil, no Brasil, ainda encontra-se baseada fortemente em técnicas artesanais, com elevados índices de desperdício de materiais e sem grande preocupação com os impactos causados ao meio ambiente. No entanto, técnicas mais sustentáveis e industrializadas, com ênfase na racionalização dos processos, têm ganhado destaque, como o *Light Steel Frame* (LSF). Sistema já consolidado em países desenvolvidos, o LSF pode trazer inúmeras vantagens construtivas, como obra limpa, seca, organizada e com baixa geração de resíduos. Por trabalhar integrado a outros subsistemas, para o adequado funcionamento da construção como um todo, o *Steel Frame* pode representar uma alternativa interessante no que diz respeito a aspectos considerados, até então, secundários na maioria das construções convencionais, como o conforto térmico. Assim, com a publicação do novo texto da NBR 15.575/2013, deve ser grande a procura por alternativas que possibilitem a obtenção de desempenho térmico adequado nas edificações habitacionais. Nesse contexto, o presente trabalho trata da verificação de adequação de desempenho térmico que edificações em LSF podem alcançar com o uso do sistema de isolamento externo EIFS, comumente empregado em países que já utilizam esse método construtivo. O trabalho desenvolveu-se a partir de pesquisa bibliográfica, abordando desde os componentes do LSF, até os métodos de avaliação de desempenho térmico empregados. A avaliação de desempenho térmico foi feita através dos procedimentos simplificado e de medição, indicados pela NBR 15.575/2013, tomando-se como referência uma edificação em LSF do tipo sobrado, pertencente a um condomínio residencial. A edificação estudada foi utilizada como referência tanto para os cálculos das propriedades das vedações verticais externas (procedimento 1) quanto para as medições de temperatura *in loco*, realizadas para avaliação através do procedimento 2. Sob forma de resultados comparativos, a pesquisa demonstrou em que situações o sistema estudado pode atender à Norma de Desempenho e sob quais requisitos. Quanto às propriedades dos materiais, a edificação estudada não atendeu ao requisito referente a uma das propriedades avaliadas, porém, no que diz respeito à avaliação global de desempenho, através de medições *in loco*, o sistema atendeu ao indicado pela Norma em nível satisfatório. Além das avaliações realizadas, são também apresentadas algumas dificuldades encontradas para aplicação do texto da Norma de Desempenho, bem como apontamentos de, consideradas, imprecisões nas avaliações de desempenho térmico abordadas pela NBR 15.575/2013.

Palavras-chave: Desempenho Térmico, *Light Steel Frame*, EIFS, Norma de Desempenho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de etapas de trabalho	19
Figura 2 – Estrutura em <i>Light Steel Frame</i>	21
Figura 3 – Estruturas executadas em <i>Wood Framing</i>	22
Figura 4 – Montagem dos perfis estruturais	24
Figura 5 – Montagem dos painéis	24
Figura 6 – Hotel Ibis em Canoas/RS	24
Figura 7 – Fundação em <i>radier</i> em edificação de <i>Steel Frame</i>	29
Figura 8 – Perfis para LSF	30
Figura 9 – Esquema de painel estrutural com abertura de esquadrias	31
Figura 10 – Fechamento externo com placas OSB	32
Figura 11 – Laje seca	33
Figura 12 – Laje úmida	33
Figura 13 – Apoio de OSB para telhamento do tipo <i>Shingle</i>	34
Figura 14 – Edificação com <i>siding</i> vinílico	35
Figura 15 – Sistema EIFS: 1 – substrato de apoio; 2 – placa de EPS; 3 – base para revestimento; 4 – tela de reforço em fibra; 5 – regulador de fundo; 6 – revestimento final	36
Figura 16 – Inserção de lã mineral entre perfis no LSF	38
Figura 17 – Zoneamento bioclimático brasileiro	44
Figura 18 – Localização da cidade de Canoas	44
Figura 19 – Implantação do condomínio	50
Figura 20 – Localização do empreendimento	50
Figura 21 – Perspectiva da fachada	51
Figura 22 – Montante estrutura 140 mm	53
Figura 23 – Guia estrutural 140 mm	53
Figura 24 – Contraventamento em diagonal	54
Figura 25 – Reforço com fita metálica	54
Figura 26 – Colocação de cobertura tipo <i>shingle</i> isolada	55
Figura 27 – Composição de paredes externas	56
Figura 28 – Passagem de tubulação	57
Figura 29 – Manta hidrófuga sobre placa OSB	57
Figura 30 – Aplicação de argamassa sobre tela	58
Figura 31 – Composição das paredes de geminação	59

Figura 32 – Instrumento de medição	69
Figura 33 – Orientação solar ambientes pavimento térreo	71
Figura 34 – Orientação solar ambientes segundo pavimento	71
Figura 35 – Orientação solar sótão	72
Figura 36 – Dados medidos em 06 de março de 2013	74
Figura 37 – Dados medidos em 07 de março de 2013	75
Figura 38 – Dados medidos em 08 de março de 2013	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custos de produção em cada sistema	26
Tabela 2 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão	46
Tabela 3 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno ...	46
Tabela 4 – Transmitância térmica de paredes externas	47
Tabela 5 – Capacidade térmica de paredes externas	48
Tabela 6 – Ambientes e áreas úteis	52
Tabela 7 – Propriedades dos materiais	61
Tabela 8 – R_{si} , R_{se} e R_{ar} consideradas	62
Tabela 9 – Propriedades dos componentes das esquadrias de PVC	65
Tabela 10 – Propriedades calculadas para cada fachada	67
Tabela 11 – Umidade relativa do ar (UR) medida	76
Tabela 12 – Propriedades calculadas	77
Tabela 13 – Comparação de valores das propriedades	78
Tabela 14 – Temperaturas das piores situações nos dias medidos	81

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço

DECIV – Departamento de Engenharia Civil

EE – Escola de Engenharia

EIFS – *Exterior Insulation and Finish System*

EPS – *Expandable Polystyrene*

IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia

LSF – *Light Steel Frame*

NBR – Norma Brasileira

OSB – *Oriented Strand Board*

PVC – *Polyvinyl Chloride*

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

XPS – *Extruded Polystyrene*

LISTA DE SÍMBOLOS

c – Calor Específico (kJ/kg.K)

C_T – Capacidade Térmica (kJ/m².K)

e – espessura (m)

ε – Emissividade da superfície

λ – Condutividade Térmica (W/m.K)

ρ – Densidade de Massa Aparente (kg/m³)

R_T – Resistência Térmica ambiente a ambiente (m².K/W)

R_t – Resistência Térmica superfície a superfície (m².K/W)

R_{si} – Resistência Superficial Interna (m².K/W)

R_{se} – Resistência Superficial Externa (m².K/W)

R_{ar} – Resistência da câmara de ar não ventilada (m².K/W)

$T_{e,max}$ – Temperatura externa máxima (°C)

$T_{e,min}$ – Temperatura externa mínima (°C)

$T_{i,max}$ – Temperatura interna máxima (°C)

$T_{i,min}$ – Temperatura interna mínima (°C)

U – Transmitância Térmica (W/m².K)

UR – Umidade Relativa (%)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	17
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	17
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	17
2.2.1 Objetivo Principal	17
2.2.2 Objetivo Secundário	17
2.3 HIPÓTESE	17
2.4 DELIMITAÇÕES	18
2.5 LIMITAÇÕES	18
2.6 DELINEAMENTO	18
3 LIGHT STEEL FRAME	21
3.1 HISTÓRIA	22
3.2 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA	23
3.2.1 Rapidez de execução	23
3.2.2 Racionalização	25
3.2.3 Custos	25
3.2.4 Limitações do sistema	27
3.3. COMPONENTES	27
3.3.1 Fundações	28
3.3.2 Perfis	29
3.3.3 Painéis	30
3.3.4 Lajes e coberturas	32
3.3.5 Acabamento externo	34
3.4 ISOLAMENTO TÉRMICO.....	36
3.4.1 Princípios de isolamento no LSF	37
3.4.2 Isolamento térmico e vedações verticais	38
4 NORMA DE DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO	40
4.1 EXIGÊNCIAS DE HABITABILIDADE	40
4.1.1 Conforto e isolamento térmico	41
4.1.2 Zoneamento bioclimático brasileiro	43
4.2 A NBR 15.575/2013	44
4.2.1 Exigências de desempenho térmico	45
4.2.2 Importância de adequação	48

5 PROJETO DE ESTUDO	49
5.1 O EMPREENDIMENTO	49
5.2 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO	51
5.2.1 Projeto arquitetônico	51
5.2.2 Estrutura e vedações verticais	53
5.2.3 Sistemas de isolamento térmico e materiais empregados	54
6 AVALIAÇÕES DE DESEMPENHO TÉRMICO	60
6.1 PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO	60
6.1.1 Cálculo da Transmitância Térmica	61
6.1.2 Cálculo da Capacidade Térmica	63
6.1.3 Considerações quanto à composição das fachadas	65
6.2 PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO	68
6.2.1 Instrumento e método de medição	68
6.2.2 Dias medidos e condições dos ambientes	72
6.2.3 Valores medidos	73
6.3 AVALIAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS	77
6.3.1 Procedimento 1	77
6.3.2 Procedimento 2	80
6.3.2.1 Segundo dia de medições	81
6.3.2.2 Terceiro dia de medições	81
6.3.2.3 Observações relativas à sequência de medições	82
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES	84
7.1 QUANTO AOS CÁLCULOS DAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS	84
7.2 QUANTO ÀS MEDIÇÕES REALIZADAS	85
7.3 DIFICULDADES NA APLICAÇÃO DA NBR 15.575/2013	87
7.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	89
REFERÊNCIAS	90

1 INTRODUÇÃO

Mesmo o concreto sendo um material amplamente utilizado na indústria da construção civil brasileira, técnicas menos artesanais, desenvolvidas sob os princípios de racionalização e de sustentabilidade têm ganhado destaque em novos empreendimentos no Brasil. Atendendo a essa necessidade de mercado, o *Light Steel Frame* (LSF) vem sendo considerado, cada vez mais, uma opção pelas empresas do setor: aliando fatores como obra seca, rápida e com custos competitivos. Segundo Crasto e Freitas (2006a, p. 60), o *Steel Frame* é “[...] um sistema construtivo de concepção racional caracterizado pelo uso de perfis formados a frio de aço galvanizado compondo sua estrutura e por subsistemas que proporcionam uma construção industrializada e a seco.”.

Muito utilizado em países industrializados como Estados Unidos, Inglaterra, China, Japão e Austrália, o LSF apresenta características como:

- a) alta resistência estrutural e durabilidade, com leveza dos componentes construtivos;
- b) rígido controle de qualidade dos materiais utilizados, sendo padronizados e certificados oficialmente por normas específicas internacionais;
- c) baixa ou inexistente geração de resíduos e de desperdício de material durante o período da construção, contribuindo para a redução dos efeitos de impactos ambientais;
- d) desempenho termoacústico diferenciado em relação a obras convencionais devido ao tipo de sistema de vedação empregado.

O uso do *Light Steel Frame* apresenta poucas restrições de projetos, possibilitando uma grande variedade de aplicações na construção civil, inclusive para habitações de interesse social, devido à rapidez das etapas construtivas, à redução de custos e à minimização de desperdícios. Por se tratar de um sistema construtivo cuja mão de obra ainda não está completamente preparada, não só no que diz respeito à execução, como também a projetos e a planejamento, ainda existem questões técnicas que carecem de conhecimento mais aprofundado. Sendo um processo construtivo em que a precisão em todas as etapas é imprescindível, ainda há uma grande necessidade de alguns processos serem melhor

compreendidos e aperfeiçoados para que todas as possíveis vantagens possam ser alcançadas com o seu emprego no Brasil.

A resistência cultural, que se costuma ter frente a novas tecnologias, gera dúvidas e contestações a respeito de fundamentos do sistema; inclusive, quanto ao desempenho térmico da edificação construída em *Steel Frame*. Devido ao fato de as vedações verticais utilizadas no sistema não possuírem massa, espessura ou características físicas suficientes para oferecer qualquer tipo de isolamento acústico ou térmico, o isolamento, que nem sempre é utilizado em construções tradicionais, é componente obrigatório e está integrado ao sistema. Como um subsistema inovador e racionalizado da construção em LSF, o isolamento térmico não é realizado sob os antigos preceitos do isolamento por massa (quanto maior e mais espessa a camada, melhor o isolamento), mas sim de acordo com os princípios de isolamento por barreiras multicamadas.

Tendo em vista a crescente preocupação com a necessidade de atendimento ao estabelecido pela Norma de Desempenho NBR 15.575/2013, a qual passou por revisões e que vigorará a partir de julho de 2013, os sistemas utilizados em edificações de *Steel Frame* podem representar alternativas interessantes. O EIFS (sistema de isolamento térmico externo com o uso do princípio de multicamadas) se destaca por apresentar grande potencial de isolamento térmico como promessa de adequado conforto ambiental aos ocupantes da edificação. Assim, mesmo sendo o conforto térmico uma medida subjetiva, dependente da percepção de cada indivíduo, atualmente, existem diretrizes e normas específicas que estabelecem limites de variação de temperatura e de umidade, por exemplo, possibilitando melhores condições de habitabilidade ao ambiente.

Assim sendo, com base nas características do sistema e dos materiais empregados, bem como em medições de fatores determinantes de conforto térmico a serem realizadas, o presente trabalho tem como objetivo verificar a adequação do sistema EIFS aplicado a edificações em LSF no Brasil, ao que estabelece a NBR 15.575/2013.

Para possibilitar as verificações necessárias, o presente trabalho desenvolve-se a partir dessa introdução. No capítulo 2, são apresentadas as diretrizes que o conduzem: questão de pesquisa, objetivos, hipótese, delimitações, limitações e delineamento. No capítulo 3, com base em pesquisa bibliográfica específica do *Steel Frame*, o sistema é apresentado desde sua

origem, abordando suas principais características, vantagens, limitações e componentes, com destaque para os subsistemas de isolamento térmico utilizados nesse método construtivo. O quarto capítulo trata especificamente da Norma de Desempenho, NBR 15.575/2013, levando-se em consideração suas formas de avaliação de desempenho térmico, as recomendações e exigências para cada região bioclimática brasileira, assim como a importância de adequação dos projetos das novas edificações ao que prescreve a Norma. A partir do capítulo 5, o trabalho torna-se mais específico, apresentando o projeto objeto de estudo, com a caracterização do empreendimento analisado; detalhando-se o método construtivo adotado, os materiais empregados, bem como as características de localização do projeto consideradas relevantes. No capítulo 6, são apresentados todos os dados de desenvolvimento dos métodos de análise de desempenho térmico propostos pela NBR 15.575/2013, abordados no trabalho; tratando-se tanto do método simplificado, quanto do método de medições, sendo apresentados os resultados obtidos para cada procedimento. O sétimo capítulo trata da apresentação das considerações finais das análises realizadas nesse trabalho.

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: frente aos níveis de desempenho térmico descritos na NBR 15.575/2013, qual o nível atendido por edificações em *Light Steel Frame* que utilizam o sistema EIFS como isolamento externo?

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 avaliação do nível de desempenho térmico atendido por uma edificação unifamiliar de *Light Steel Frame*, que utiliza o sistema de isolamento externo EIFS, considerando-se as exigências prescritas na NBR 15.575/2013.

2.2.2 Objetivo secundário

O objetivo secundário do trabalho é a caracterização dos materiais e dos princípios que fundamentam o processo de isolamento no sistema EIFS.

2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é de que as edificações em *Light Steel Frame*, quando isoladas externamente com EIFS, atendem, pelo menos, aos níveis mínimos de desempenho térmico exigidos pela NBR 15.575/2013.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à avaliação, segundo os critérios da NBR 15.575/2013, do desempenho térmico de uma edificação unifamiliar estruturada em *Light Steel Frame*, pertencente a um condomínio residencial situado na cidade de Canoas, RS.

2.5 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

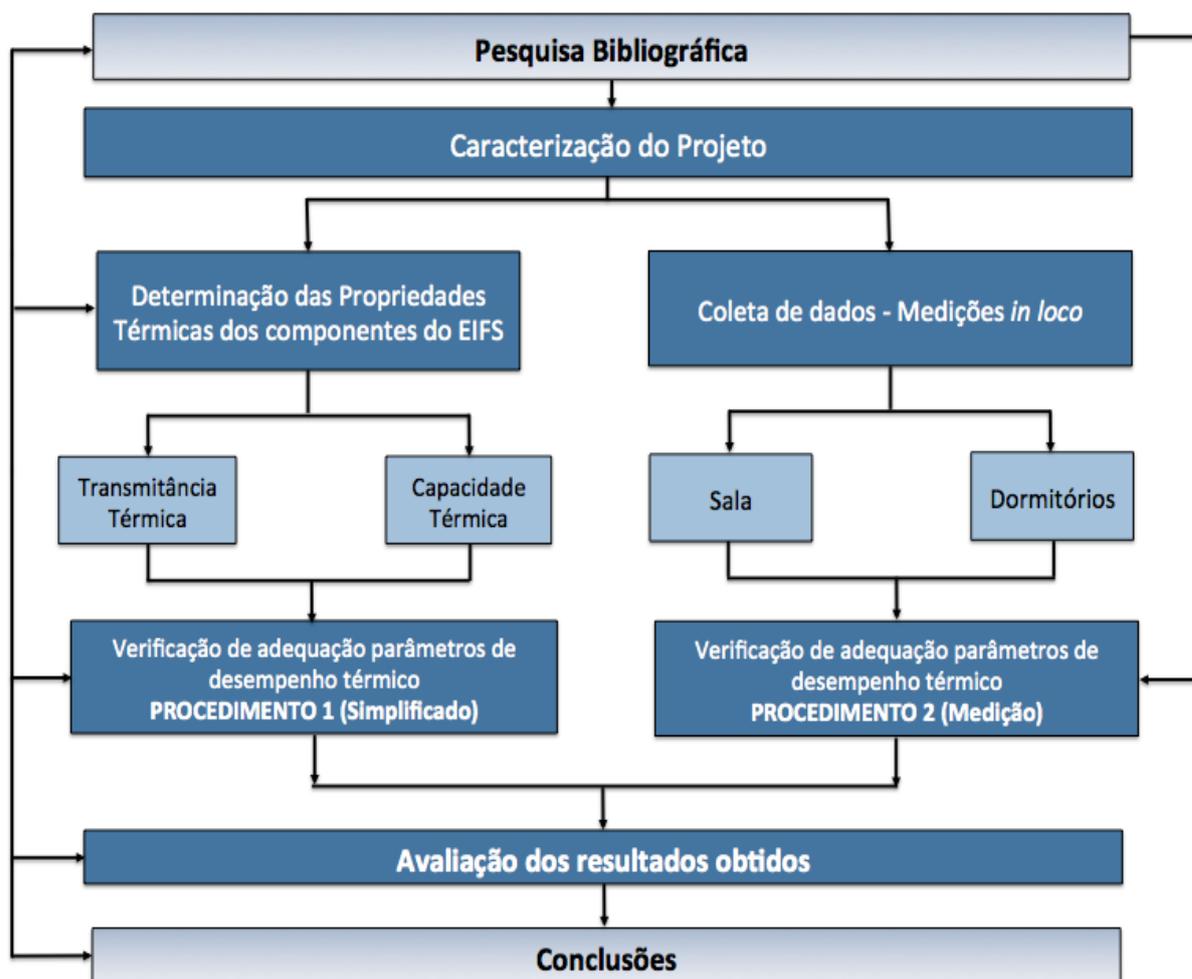
- a) estudo de uma única unidade de edificação habitacional em *Light Steel Frame*, com parede geminada;
- b) consideração dos efeitos da cobertura existente no local em telhas do tipo *shingle* isoladas;
- c) verificações de adequação ao nível de atendimento exigido pela Norma de Desempenho realizadas através dos Procedimentos 1 (Simplificado) e 2 (Medição);
- d) comportamento do sistema de isolamento da edificação avaliado apenas para um dia típico de verão, conforme definição apresentada na NBR 15.575/2013.

2.6 DELINEAMENTO

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

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) caracterização do projeto objeto de estudo;
- c) determinação das propriedades térmicas – transmitância e capacidade – dos materiais empregados no sistema EIFS;
- d) coleta de dados através de medições de temperatura *in loco*;
- e) verificação de adequação dos parâmetros de desempenho térmico pelos Procedimentos 1 e 2 da NBR 15.575/2013, não sendo abordada a verificação por simulação computacional, ainda que o sistema não atenda aos requisitos do Procedimento 1;
- f) avaliação dos resultados obtidos e conclusões.

Figura 1 – Fluxograma de etapas de trabalho



(fonte: elaborado pela autora)

A **pesquisa bibliográfica** foi uma etapa presente em todo o desenvolvimento do trabalho, desde a fundamentação teórica e técnica a respeito do assunto tratado, até o embasamento necessário para que sejam consideradas adequadas as conclusões finais. Nas primeiras etapas, a pesquisa bibliográfica orientou a fase de entendimento dos princípios relativos ao método construtivo *Light Steel Frame*: a origem do sistema, as particularidades dos materiais empregados, a forma como se torna possível sua estabilidade estrutural, a função de cada componente, suas vantagens, suas limitações e demais fatores relevantes envolvidos. Além disso, nessa fase inicial, a pesquisa bibliográfica também auxiliou na compreensão de conceitos relativos a desempenho térmico, formas de funcionamento dos sistemas de isolamento e detalhamento dos materiais empregados no EIFS. Como o trabalho trata de requisitos específicos prescritos na Norma de Desempenho NBR 15.575/2013, a pesquisa bibliográfica foi fundamental para que se tivesse um entendimento completo dos conceitos,

das especificações e dos métodos descritos na Norma, para correta aplicação dos procedimentos de avaliação de desempenho, bem como para que seja válida a interpretação dos resultados obtidos.

A **caracterização do projeto objeto de estudo** se fez necessária devido à influência exercida, pelos materiais empregados na edificação, sobre os fatores que estabelecem os níveis de desempenho prescritos na NBR 15.575/2013. Assim, tanto o comportamento de cada material componente de cobertura e de vedações verticais, quanto a interação desses elementos foram determinantes para a adequada avaliação dos resultados finais.

A verificação de adequação aos níveis aceitáveis de desempenho térmico da edificação pode ser realizada através de três métodos recomendados no texto da Norma de Desempenho. Na pesquisa, foram empregados dois deles: o Procedimento 1 (Simplificado) e o Procedimento 2 (Medição). O Procedimento 1 é normativo e avalia o desempenho térmico através de **propriedades térmicas**, calculadas de acordo com o estabelecido pela NBR 15220-2/2005, características dos materiais empregados nas vedações verticais da habitação. Dessa forma, no contexto do trabalho, para que o desempenho pudesse ser avaliado pelo referido método, fez-se necessária a determinação de tais propriedades para o sistema de isolamento externo EIFS. Já, para o Procedimento 2 (informativo), a Norma recomenda que sejam feitas **medições de temperatura**, em condições ambientais específicas, para posterior comparação com valores de referência. No trabalho, as medições foram feitas para um dia típico de verão (conforme descrito na NBR 15.575/2013), no início do mês de março.

Após a realização dos procedimentos de avaliação, foi feita a **verificação dos resultados obtidos** através das prescrições da Norma de Desempenho e também dos embasamentos adquiridos por meio da pesquisa bibliográfica. Assim, foi possível uma interpretação mais segura e precisa dos efeitos observados em ambos os procedimentos.

De posse dos resultados obtidos, foram realizadas análises críticas dos resultados, chegando-se a **conclusões** importantes a respeito do sistema avaliado. Tais conclusões não se restringem apenas à avaliação dos dados colhidos, mas também, auxiliam em uma análise geral a respeito do emprego da Norma de Desempenho.

3 LIGHT STEEL FRAME

O método de construção em *Light Steel Frame* (LSF) pode ser explicado como “[...] um sistema construtivo estruturado em perfis de aço galvanizado formados a frio, projetados para suportar as cargas da edificação e trabalhar em conjunto com outros subsistemas industrializados, de forma a garantir os requisitos de funcionamento da edificação.” (JARDIM; CAMPOS, [2005], p. [3]). Como uma forma de construção inovadora e de aplicação ainda recente no Brasil, alguns fundamentos próprios dessa tecnologia, necessários para seu entendimento e aplicação, não estão amplamente disponíveis ou mesmo esclarecidos. Assim sendo, nesse capítulo, são expostos os principais fundamentos que estruturam o LSF (figura 2), desde o histórico de sua concepção nos países de origem, seus principais componentes e as vantagens que podem ser obtidas com a sua aplicação, tanto durante o período de execução quanto as observadas durante a utilização da edificação pelos usuários.

Figura 2 – Estrutura em *Light Steel Frame*



(fonte: CONSTRUTORA SEQUÊNCIA LTDA, 2005)

3.1 HISTÓRIA

Concebido em países mais habituados com a racionalização da construção, o *Steel Frame* teve sua origem em um sistema semelhante, estruturado em perfis de madeira, denominado *Wood Framing* (figura 3). Nos Estados Unidos, impulsionado pelo rápido crescimento da população, houve um aumento consequente de necessidade de habitação e, nesse caso, os métodos construtivos mais ágeis e práticos, como o *Wood Framing*, ganharam destaque (JARDIM; CAMPOS, [2005], p. [2]).

Figura 3 – Estruturas executadas em *Wood Framing*



(fonte: PENNER et al., 2011, p. 60)

Com o crescimento e aprimoramento de produção das indústrias metalúrgicas norte-americanas, segundo Jardim e Campos ([2005], p. [2]), os perfis de madeira foram sendo, aos poucos, substituídos por aço galvanizado, dando origem, então, ao sistema conhecido como *Light Steel Frame*. Tendo ocorrido a consolidação definitiva do sistema com a passagem do furacão Andrew, que gerou a destruição de grande parte das edificações do País, foi dado grande destaque para o desempenho estrutural apresentado pelo *Steel Frame*. Dessa forma, as companhias seguradoras minimizaram de maneira notável as taxas para construções nesse sistema, alavancando o uso de tecnologias em estrutura metálica.

No Brasil, a utilização do LSF ainda é considerada recente, presente, de forma mais determinante, em construções individuais e não em larga escala. Esse fato deve-se muito à resistência cultural frente a tecnologias que empregam princípios diferentes daqueles presentes nas construções em materiais maciços. No País, de acordo com Sales (2001, p. 2), estabeleceu-se a **cultura do concreto**, devido às facilidades de utilização de construções que empregam esse material, desde a aquisição de produtos, até a sua execução, pois não se trata de um método construtivo que exige grande precisão ou qualificação de mão de obra. Porém,

esse cenário se tem modificado devido à necessidade de utilização de métodos menos artesanais, com aumento da produtividade, racionalização e com a minimização do desperdício de materiais, tanto para habitações de interesse social ou de alto padrão, como para obras públicas, como hospitais e escolas.

3.2 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

A afirmação do *Steel Frame* como sistema construtivo de grande utilização nos países desenvolvidos pode ser explicada, em parte, por sua identidade industrializada. A grande maioria das vantagens construtivas que pode ser obtida com o uso do LSF, segundo Crasto e Freitas (2006a, p. 65), é consequência dos processos racionalizados empregados no método; condição que pode ser usada como um caminho para avanços tecnológicos na indústria da construção civil. A seguir, são apresentadas características do sistema construtivo que são determinantes para a escolha de seu emprego, tratando das principais vantagens, até suas limitações.

3.2.1 Rapidez de execução

O sistema *Light Steel Frame* é mundialmente conhecido pela rapidez na execução das etapas construtivas. Como os componentes utilizados são de natureza industrializada, o local de trabalho não se torna um local de produção dos componentes (como muitas vezes é observado nos métodos tradicionais) e, sim um local de montagem do produto final (CRASTO; FREITAS, 2006b, p. 17), conforme apresentado nas figuras 4 e 5. Além disso, as atividades relacionadas ao LSF devem contar com absoluta precisão de informações, desde as fases iniciais de projeto e de planejamento. Dessa forma, quando se chega à etapa de execução, os processos já estão bem definidos e a logística de transporte e de armazenamento organizada de forma tal a agilizar consideravelmente o prazo final de construção.

Figura 4– Montagem dos perfis estruturais



(fonte: PALATINIK, 2012, p. [23])

Figura 5 – Montagem dos painéis



(fonte: PALATINIK, 2012, p. [24])

Um exemplo dessa característica é a obra do Hotel Ibis (figura 6), localizado na cidade de Canoas/RS. O empreendimento possui estrutura mista, com utilização de componentes em aço e concreto, mas com fechamento externo unicamente em *Steel Frame*. A edificação de sete pavimentos e 15 metros de altura foi construída e finalizada em apenas 67 dias, tempo muito inferior se comparado a uma construção convencional (GRUPO MEDABIL, 2011).

Figura 6 – Hotel Ibis em Canoas/RS



(fonte: GRUPO MEDABIL, 2011)

3.2.2 Racionalização

Para que seja viável a característica de rapidez de execução verificada no *Steel Frame*, o emprego dos conceitos de racionalização na construção é fundamental. Tais conceitos envolvem prioridade de utilização de componentes secos, sem utilização de água na maioria das atividades. Dessa forma, o canteiro de obras permanece limpo, organizado e há uma minimização significativa de desperdício de materiais e de recursos naturais. Além disso, os materiais empregados no LSF possuem alto potencial de reciclagem, logo, caso haja descarte de algum material resultante, na maioria das vezes, dos cortes de perfis, o reuso é assegurado.

Para Crasto e Freitas (2006a, p. 65):

Como sistemas industrializados são incompatíveis com improvisações no canteiro, a racionalização construtiva deve ser proporcionada desde a concepção do projeto, pela otimização do uso dos componentes por meio da coordenação modular, da compatibilização entre projetos e subsistemas [...].

Assim, enquanto sistema industrializado e racionalizado, o LSF deve contar com componentes que apresentem alta precisão dimensional, o que é obtido através dos processos de fabricação industrializados e certificados. O aço, elemento fundamental para o sistema, em sua fabricação na indústria metalúrgica, conta com rigorosos controles de qualidade, garantindo um produto resistente, durável e com elevado desempenho estrutural. O bloco cerâmico, utilizado em sistemas construtivos tradicionais e consolidados, na maioria das vezes, não possui certificação de sua fabricação, podendo ser produzido em locais despreparados e, assim, ter como resultado um produto com desempenho inadequado, o que, normalmente, não ocorre na maioria das indústrias de perfis de aço galvanizado.

3.2.3 Custos

Uma das principais barreiras para implantação de sistemas construtivos inovadores, no Brasil, é a concepção de custo elevado. Por empregar materiais certificados e de qualidade comprovada, dão a ideia de que o preço final será superior aos dos sistemas convencionais.

Porém, cabe lembrar que os materiais utilizados no *Steel Frame* são consideravelmente mais leves quando comparados aos materiais empregados nos sistemas tradicionais. Como demonstra Kiss (2007), a média de peso de uma parede de vedação em *Steel Frame* fica em

torno de 30 kg/m², enquanto que uma parede de mesma função de alvenaria acabada pode chegar a pesar 200 kg/m². Essa característica acarreta reduções de custos indiretos, verificados em outras etapas da obra, como nas fundações. O tipo de fundação mais utilizado nas edificações em *Light Steel Frame* é o *radier*, definido como uma fundação rasa, atuando na transmissão dos carregamentos ao solo como uma laje (CRASTO; FREITAS, 2006b, p. 26). Assim, reduzem-se os custos com escavações e estabilização dos solos.

Por consequência da racionalização como característica básica, o método também proporciona uma redução natural de custos devido à modulação utilizada (400 ou 600 mm) e ao baixo desperdício de materiais, uma vez que não há sobras. Por outro lado, a agilidade superior observada na construção reduz os gastos com pessoal e despesas fixas provenientes da implantação do canteiro de obras. Da mesma forma, a fidelidade orçamentária é considerada uma grande vantagem para gestão no *Steel Frame*. Os orçamentos, uma vez avaliados e estabelecidos, dificilmente, têm mudanças no momento da execução.

Como resultado de análise específica realizada por uma pesquisa de custos de Milan et al. (2011, p. 199), tendo-se como objeto de estudo um projeto base de uma residência de dois pavimentos, com 261 m², os custos relativos à construção em *Steel Frame* resultaram em, aproximadamente, 2,74% maiores do que se o projeto fosse executado em um sistema tradicional, conforme tabela 1. Essa variação é considerada pequena, visto os benefícios que podem ser obtidos no pós-ocupação da edificação.

Tabela 1 – Custos de produção em cada sistema

Tipos (Sistemas) de Construção	Custos por m ² (em R\$)	Custo Total (em R\$)
Convencional	R\$ 985,80	R\$ 257.293,80
<i>Light Steel Frame</i>	R\$ 1.012,84	R\$ 264.351,24

(fonte: MILAN et al., 2011, p. 199)

No estudo, também foram realizadas entrevistas com clientes das classes A e B, sobre a satisfação em alguns aspectos do sistema, sendo considerados superiores ao convencional em requisitos como qualidade do produto, confiabilidade no sistema, durabilidade e tranquilidade proporcionada ao habitante da edificação. A partir dessas e de outras análises, os resultados

obtidos apontaram para a aprovação de viabilidade tanto técnica como de mercado para o LSF (MILAN et al., 2011, p. 201).

3.2.4 Limitações do sistema

Apesar de possuir características que agregam grandes vantagens à edificação, tanto na etapa de construção, quanto no seu uso pelos habitantes, o método construtivo *Steel Frame*, assim como qualquer outro sistema, pode apresentar algumas limitações que devem ser observadas quando de seu emprego. Tais verificações se fazem necessárias para que se possa tirar maior proveito de suas vantagens, melhor adequação de custos e maior aproveitamento e segurança dos usuários.

Por ser um sistema estruturado em perfis leves de aço galvanizado, não se conseguem grandes alturas em edificações de *Light Steel Frame*. Existem casos de edifícios de até 7 pavimentos, porém, com adaptações de projeto relativas à estrutura da edificação. Em relação à altura, outro ponto importante é o de que, em relação aos custos, o *Steel Frame* só se torna competitivo para habitações térreas ou de até, no máximo, 4 pavimentos (CICHINELLI, 2011, p. 62).

Sendo um sistema em implantação no País, a falta de qualificação de mão de obra é, muitas vezes, limitante para a adoção desse método. Mesmo no âmbito de projetos, há um cenário de poucos profissionais qualificados para cálculos estruturais relativos ao *Steel Frame*. No que diz respeito à mão de obra de execução, a situação é a mesma, poucos profissionais preparados e experientes nas equipes de trabalho. Segundo Cichinelli (2011, p. 62), o fator mão de obra despreparada é uma limitação importante, uma vez que esse não é um sistema que permite imprecisões de compatibilidade ou de execução, sob o risco de redução na vida útil e desempenho da edificação.

3.3 COMPONENTES

Por ser uma estrutura que trabalha de forma diferenciada, o *Steel Frame* é integrado por componentes peculiares, diferentes dos utilizados tradicionalmente na construção civil. Esses componentes possuem particularidades que devem estar claras e bem compreendidas para sua

correta utilização. A seguir, cada um dos elementos básicos do *Steel Frame* é descrito e caracterizado através de sua função para o desempenho global da estrutura.

3.3.1 Fundações

No *Steel Frame*, os carregamentos da edificação não são transferidos ao solo por meio de cargas concentradas (como nos sistemas construtivos tradicionais), mas na forma de cargas uniformemente distribuídas. Assim, as fundações utilizadas devem suportar os carregamentos ao longo de toda a construção, sendo as mais utilizadas, segundo Crasto (2005, p. 31), o *radier* e a fundação em sapata corrida.

A fundação em *radier* (figura 7) apresenta a limitação de não ser recomendada para topografias acidentadas, porém, é a fundação mais utilizada por construtoras que empregam o LSF. Trata-se de uma laje contínua, executada em toda a extensão da edificação (CRASTO, 2005, p. 31), devendo sua execução ser extremamente controlada e precisa, pois alguns milímetros de diferença em seu nivelamento podem causar imprecisões dimensionais acentuadas na estrutura, afetando a modulação planejada. Porém, quando bem executada, dispensa, inclusive, a construção de contrapiso, podendo receber diretamente o revestimento do piso, sem limitações de materiais a serem assentados (TERNI et al., 2008, p. 77). Para que se possa alcançar a precisão desejada, é comum o uso de níveis a *laser* para verificação final da superfície da fundação, bem como de concreto auto adensável, mais fluído e com grande trabalhabilidade, facilitando a execução controlada.

Assim como nas fundações em *radier*, as fundações em sapata corrida são dispostas ao longo edificação em função da distribuição de carregamentos característica do *Steel Frame*. Porém, não são executadas de forma contínua, mas sim na forma de conjuntos de vigas de concreto armado. Sua finalização não permite receber diretamente o revestimento de piso, necessitando que o contrapiso seja executado separadamente (TERNI et al., 2008, p. 78).

Figura 7 – Fundação em *radier* em edificação de *Steel Frame*

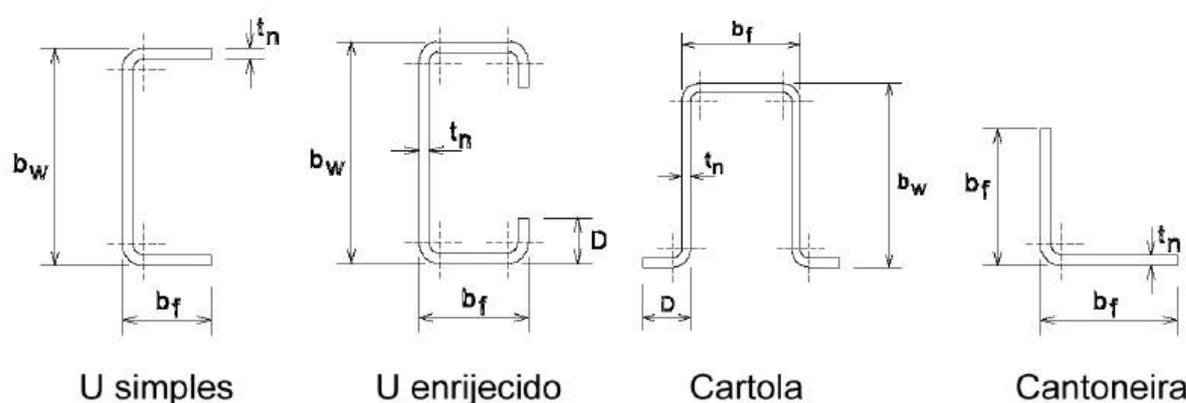
(fonte: foto da autora)

3.3.2 Perfis

Os perfis de aço galvanizado empregado no *Light Steel Frame* são os principais responsáveis pela estabilidade e resistência estrutural das edificações. Esse tipo de perfil de aço é obtido através da imersão do aço cru em zinco ou mesmo em uma liga contendo zinco, formando uma película capaz de proteger o perfil da ação de corrosão, o que aumenta sua durabilidade.

As espessuras mais utilizadas e disponíveis no mercado variam de 0,4 mm até 1,75 mm, porém, para efeitos estruturais, consideram-se perfis a partir de 0,8 mm. Os tipos de perfis mais típicos de utilização (figura 8) são os em C, U, U enrijecido, cartola e do tipo cantoneira (SANTIAGO, 2008, p. 13-14). Os perfis na forma U enrijecidos podem também ser denominados montantes, sendo sua função principal na estrutura a transmissão do carregamento a que estão submetidos através de sua alma. Para que a transmissão ocorra de maneira adequada, os montantes devem ser posicionados de forma tal a serem coincidentes no caso de edificações com mais de um pavimento, bem como seu espaçamento deve ser função do carregamento a que cada montante estará submetido (RODRIGUES, 2006, p. 16).

Figura 8 – Perfis para LSF



(fonte: adaptada de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a, p. 10)

3.3.3 Painéis

No sistema *Steel Frame*, os painéis utilizados para fechamento podem ser tanto responsáveis apenas pela vedação vertical (externa) ou divisória (interna) quanto por funções estruturais fundamentais para o desempenho adequado da edificação (CRASTO, 2005, p. 40). Como subsistema horizontal estrutural, os painéis transferem o carregamento horizontal advindo principalmente das cargas de vento para as fundações através do princípio de diafragmas rígidos (RODRIGUES, 2006, p. 16), tendo funções de contraventamento da estrutura e de reforço à flambagem dos perfis de aço galvanizado. Quando os painéis estruturais são interrompidos por ocasião de esquadrias da edificação (figura 9), devem receber reforço estrutural através de vergas para correta redistribuição das cargas a que estão submetidos para o restante da estrutura (SANTIAGO, 2008, p. 16).

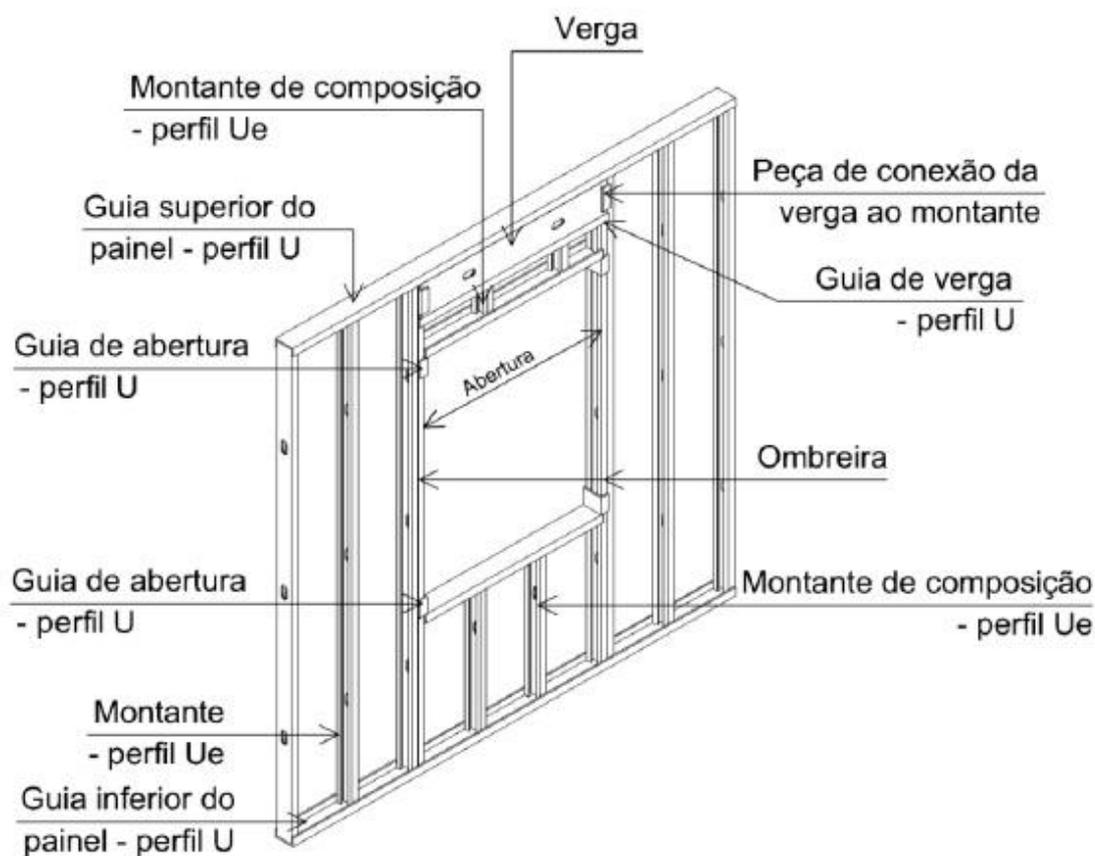
De modo geral, segundo Santiago (2008, p. 21), os tipos de painéis mais utilizados no LSF são as placas:

- cimentícias, usadas como fechamento externo não estrutural;
- de gesso acartonado, utilizadas como fechamento interno não estrutural;
- de OSB (*Oriented Strand Board*) com função estrutural em fechamentos externo e interno.

Por desempenhar função estrutural, as placas de OSB (figura 10) têm um uso elevado na construção em *Light Steel Frame*, sendo definidas como placas constituídas por tiras de madeira orientadas em camadas perpendiculares, formando um produto uniforme (LP BRASIL INDÚSTRIA E COMÉRCIO SA, [2012]a). As tiras de madeira são unidas através

de resina, garantindo, dessa forma, a proteção contra intempéries necessária a sua utilização externa. Normalmente, as tiras de madeira resinadas são prensadas a altas temperaturas, aumentando a rigidez do elemento.

Figura 9 – Esquema de painel estrutural com abertura de esquadrias



(fonte: CRASTO, 2005, p. 48)

Figura 10 – Fechamento externo com placas OSB



(fonte: CRASTO, 2005, p. 127)

3.3.4 Lajes e coberturas

As lajes e coberturas utilizadas no sistema *Light Steel Frame* seguem os padrões de racionalização e industrialização do sistema, empregando materiais prontos, modulados e de baixo peso próprio. Alguns dos componentes empregados em outras etapas da edificação também podem ser usados para compor alguns tipos de lajes e contrapisos, como as placas de OSB e as placas cimentícias. As lajes podem ser classificadas como secas ou úmidas, dependendo do tipo de material empregado na sua composição.

As lajes secas, segundo Crasto (2005, p. 78), são aquelas compostas por conjuntos de placas OSB ou cimentícias afixadas ao piso, podendo servir como contrapiso do pavimento (figura 11). Normalmente, é utilizada uma combinação dessas duas placas para compor a laje, sendo as de OSB responsáveis pelo desempenho estrutural do elemento e as cimentícias por propriedades favoráveis de exposição à água, quando utilizadas em áreas molhadas. A laje seca é muito utilizada na construção em *Steel Frame* por ser leve, de fácil transporte e manuseio, assim como segue os princípios de obra seca empregados no sistema construtivo, pois, como dispensa a produção de contrapiso, não há utilização de água nessa etapa (GOMES, 2007, p. 51).

A laje do tipo úmida (figura 12) tem como estrutura uma fôrma metálica ondulada, afixada às vigas de piso da estrutura, sobre a qual é feita a colocação de uma camada de concreto, servindo como contrapiso do pavimento. Contudo, para evitar o aparecimento de fissuras na camada de concreto, faz-se necessária a utilização de uma armadura de distribuição a ser inserida sobre a forma metálica antes da concretagem (CRASTO, 2005, p. 76).

Figura 11 – Laje seca



(fonte: CRASTO, 2005, p. 78)

Figura 12 – Laje úmida



(fonte: PALATINIK, 2012, p. [29])

De forma semelhante aos sistemas convencionais, o *Steel Frame* permite, devido à sua versatilidade, a utilização de diversos tipos de cobertura, com o emprego dos mais diversos materiais, desde coberturas inclinadas, planas impermeabilizadas, com telhas cerâmicas, metálicas, asfálticas, entre outras (SANTIAGO, 2008, p. 20). As coberturas planas, diferentemente dos sistemas convencionais, são as mais comuns em utilização no LSF. As coberturas inclinadas também podem ser empregadas, com a diferença de que a estrutura em madeiramento usada em construções tradicionais é substituída por montantes de perfis de aço galvanizado (CRASTO, 2005, p. 97). Nas coberturas inclinadas, existem particularidades para fixação de cada tipo de telha empregado. Para a utilização de telhas cerâmicas ou do tipo *shingle* (telhas planas e finas, tendo em sua composição grãos de cerâmica, fibra de vidro e emulsão asfáltica), é necessário um embasamento para apoio das telhas sendo, geralmente, usadas placas de OSB (figura 13). Já para o uso de telhas metálicas, os próprios caibros, componentes da estrutura da cobertura, podem servir de apoio para sua colocação, sendo que esse tipo de telha também possui propriedades de contraventamento para a cobertura.

Figura 13 – Apoio de OSB para telhamento do tipo *Shingle*

(fonte: CRASTO, 2005, p. 104)

3.3.5 Acabamento externo

Devido à versatilidade de projetos e às características dos painéis responsáveis pelo fechamento de estruturas em *Steel Frame*, as edificações permitem a inserção dos mais variados tipos de acabamentos externos. Porém, para Santiago (2008, p. 145):

O desempenho satisfatório do fechamento de fachadas em LSF é garantido pela combinação do correto planejamento estrutural com o bom detalhamento das interfaces dos acabamentos. Sem o diálogo entre estes dois fatores, o fechamento pode apresentar patologias que comprometem o desempenho estrutural, estético e de salubridade da edificação.

Assim, mesmo sendo possível a utilização de diversos tipos de acabamentos, tais componentes devem ter características que correspondem aos princípios de industrialização e de racionalização empregados no *Steel Frame* para um desempenho adequado da edificação como um todo. Atualmente, alguns dos acabamentos externos mais utilizados pelas construtoras do ramo de estruturas metálicas são o *siding* vinílico, o EIFS (*Exterior Insulation and Finish System*) e a finalização em argamassa.

O *siding* vinílico, representado na figura 14, é um revestimento exterior muito empregado em LSF, sendo composto por placas paralelas de PVC dispostas sobre os painéis de fechamento externo (normalmente, OSB). As placas são leves, o que facilita sua trabalhabilidade, proporcionando uma execução de acabamentos rápida, compatível com os fundamentos

empregados no *Light Steel Frame*. Além disso, o sistema possui facilidade de retirada de elementos que precisem ser substituídos ou mesmo, caso seja necessário o acesso a instalações elétricas e hidráulicas localizadas na fachada. Contudo, o *siding* vinílico não é recomendado para regiões climáticas caracterizadas por grandes variações térmicas, uma vez que apresenta significativas variações dimensionais sob essas condições, podendo gerar problemas na execução de grandes paredes cegas (SANTIAGO, 2008, p. 100-101).

O uso de argamassa como acabamento externo em edificações de *Steel Frame* pode ser considerado positivo no sentido de que oferece maior confiabilidade de mercado ao sistema por fornecer um aspecto final semelhante ao de construções convencionais (SANTIAGO, 2008, p. 105). Porém, por ser um processo pouco racionalizado, vai de encontro aos princípios do LSF, podendo gerar desperdícios, sujeira e desorganização no canteiro de obras, além de inadequado uso de água no processo. Além disso, as movimentações características do *Steel Frame* são incompatíveis com as propriedades da argamassa, podendo gerar fissuras, dentre outras patologias, comprometendo, dessa forma, o desempenho da fachada da estrutura (SANTIAGO, 2008, p. 106).

Figura 14 – Edificação com *siding* vinílico

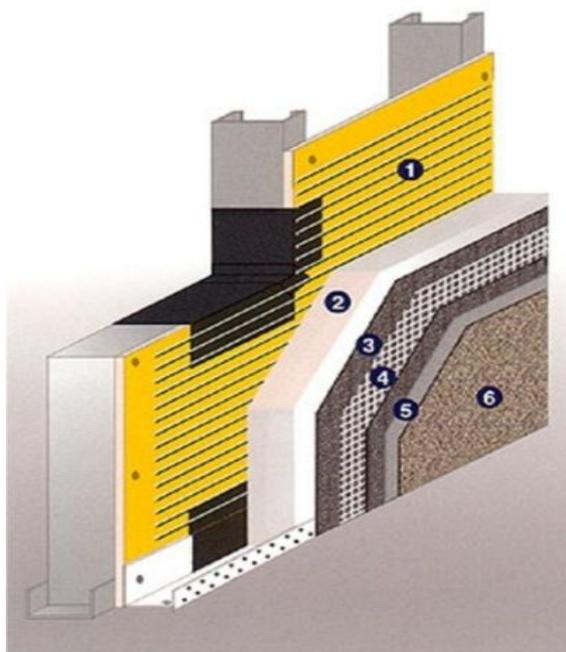


(fonte: LP INDÚSTRIA E COMÉRCIO SA, [2012]b)

Uma alternativa muito utilizada em *Steel Frame* fora do Brasil e que vem sendo cada vez mais empregada no mercado nacional é o sistema EIFS, o qual apresenta acabamento final

bastante semelhante ao resultado obtido com o uso de argamassa (aumentando a sua aceitação), porém, mais compatível com o método construtivo, reduzindo consideravelmente as ocorrências de patologias (SANTIAGO, 2008, p. 107). O EIFS é um sistema de acabamento com elevada capacidade de isolamento térmico, fornecendo, assim, além de um acabamento externo de qualidade, melhores condições de habitabilidade aos ambientes da edificação. O acabamento é composto, basicamente, após a parede da edificação, por uma placa de poliestireno expandido (EPS), principal agente de isolamento térmico do sistema; malha de ancoragem, conferindo maior desempenho de resistência, bases para execução e regularização de acabamento e acabamento final, geralmente, sendo usada a argamassa polimérica (FUTURENG, 2009), conforme representado na figura 15.

Figura 15 – Sistema EIFS: 1- substrato de apoio; 2 – placa de EPS;
3 – base para revestimento; 4 – tela de reforço em fibra;
5 – regulador de fundo; 6 – revestimento final



(fonte: FUTURENG, 2009)

3.4 ISOLAMENTO TÉRMICO

O *Steel Frame* apresenta diversas características que lhe conferem o título de construção sustentável. Na etapa de construção, podem ser citadas as reduções no consumo de energia com a movimentação dos materiais (devido a sua leveza), a baixa geração de resíduos e a minimização de impactos ambientais na implantação da obra. Embora o aço, base de sua

estrutura, apresente significativa emissão de CO₂ na etapa de produção, essa emissão é compensada, em parte, pela expressiva redução de viagens destinadas ao transporte dos componentes. Além disso, o índice de reaproveitamento de materiais no canteiro de obras é alto, pois, praticamente todos os materiais empregados podem ser reaproveitados ou reciclados. No pós-ocupação, um aspecto que merece destaque é o conforto térmico disponibilizado aos usuários das edificações construídas nesse sistema. Devido ao emprego de vedações externas leves, com pouca massa, os sistemas de isolamento térmico são desenvolvidos desde a origem do sistema, sendo integrados à estrutura, executados em conjunto com o fechamento externo, com promessa de desempenho térmico bastante superior aos sistemas construtivos convencionais, como a alvenaria. A seguir, são apresentados os princípios básicos de isolamento térmico no LSF, bem como o papel que as vedações externas desempenham para que o adequado isolamento térmico possa ser observado nessas construções.

3.4.1 Princípios de isolamento no LSF

No *Steel Frame*, segundo Crasto e Freitas (2006b, p. 89), não são empregados os princípios de isolamento baseados em massa e em espessura dos componentes, como em construções convencionais. Os elementos básicos usados em sua composição são materiais leves, industrializados, não possuindo características intrínsecas de isolamento. Assim, para conferir adequado isolamento térmico à edificação, são utilizados conceitos inovadores de isolamento termoacústico pelo princípio multicamada, combinando placas de acabamento leves e vedações externas afastadas, podendo ser feita a inserção de lã mineral ou de vidro nesses espaços (figura 16), aumentando, assim, sua capacidade de isolamento. Logo, as características próprias de materiais leves com pouca massa ou espessura, não significam que os materiais utilizados não podem proporcionar adequado isolamento termoacústico ao ambiente interno. O aumento da capacidade de isolamento da edificação que utiliza o princípio de multicamadas, de acordo com Gomes (2007, p. 68), será maior quanto mais camadas de material isolante forem empregados, porém, o poder de isolamento dependerá das propriedades térmicas desses materiais.

Conforme indicado por Crasto e Freitas (2006b, p. 92), no caso de edificação em LSF, deve ser também considerada, além das camadas de material isolante e as propriedades

características desses, a possibilidade de que os perfis de aço galvanizado empregados na estrutura, com altíssima capacidade condutora, em contato direto com os sistemas de vedação vertical, produzam pontes térmicas, afetando o desempenho termoacústico da edificação. Assim, para o sistema *Steel Frame*, recomenda-se, a utilização de um isolamento externo aos perfis, com material de elevada capacidade isolante, como o poliestireno expandido, empregado no sistema EIFS, eliminando, dessa forma, os riscos de formação de pontes térmicas.

Figura 16 – Inserção de lã mineral entre perfis no LSF



(fonte: foto da autora)

3.4.2 Isolamento térmico e vedações verticais

O desempenho termoacústico das edificações em *Light Steel Frame* está intimamente ligado à qualidade de isolamento de seus sistemas de vedações verticais externas. Como são esses elementos que comandam as trocas de calor com o ambiente externo, suas propriedades térmicas, formas de execução e acabamentos são fundamentais para as melhorias de condições de habitabilidade da edificação como um todo.

Dessa forma, o planejamento e a escolha adequada de materiais e de sistemas de vedações verticais para projetos específicos em LSF são fundamentais para garantir condições de salubridade e de habitabilidade, como impedir a entrada de água nos ambientes e proporcionar conforto térmico satisfatório aos usuários (CRASTO; FREITAS, 2006b, p. 92). Em países que já utilizam largamente o *Steel Frame* em seus projetos, o sistema EIFS é bastante empregado, uma vez que proporciona um alto grau de isolamento térmico através da ação da camada de poliestireno expandido, com a vantagem de evitar a formação de pontes térmicas, prejudiciais ao desempenho térmico da edificação, reduzindo, assim os custos com energia para resfriamento e aquecimento dos ambientes (GOMES, 2007, p. 68). No Brasil, já há registros de utilização do sistema EIFS em edificações, como cita Gomes (2007, p. 69) em seu trabalho, no caso de uma residência em *Steel Frame*, de 283,5 m², construída na cidade de Belo Horizonte, em Minas Gerais, onde o emprego do sistema EIFS foi escolhido devido ao acabamento final da edificação resultar muito semelhante ao de construções convencionais. Ainda que as características de isolamento das vedações verticais utilizadas na edificação sejam fatores importantes a serem considerados, segundo Pinto (2000, p. 15), para países de clima quente, como o Brasil, onde as variações de temperatura ao longo do dia costumam ser significativas, devem ser levados em conta também fatores com a perda e o ganho de calor pela edificação, caracterizados por suas trocas térmicas com o ambiente externo através dos componentes da edificação.

Assim, devido à necessidade de se avaliar de uma maneira mais precisa e objetiva o desempenho que as vedações verticais apresentam, de forma tal a proporcionar maior conforto térmico para as edificações, melhorando as condições de habitabilidade dos ambientes, foi desenvolvida a Norma de Desempenho NBR 15.575/2013. A Norma aborda avaliações de desempenho não só das vedações verticais, como de outros componentes da edificação, assim como recomenda critérios a outros fatores, além do conforto térmico, que influenciam diretamente o desempenho global da edificação. Os requisitos exigidos pela Norma no que se refere ao desempenho térmico das vedações verticais e seus principais fundamentos são tratados no próximo capítulo.

4 NORMA DE DESEMPENHO E CONFORTO TÉRMICO

A NBR 15.575, também conhecida como Norma de Desempenho, foi publicada em maio de 2008, com a promessa de entrar em vigor em maio de 2010. Entretanto, sua vigência foi adiada até 2012, quando passou por novas revisões e por consultas públicas, tendo novo texto aprovado em novembro de 2012. Sendo publicada em fevereiro de 2013 e prevista para entrar em vigor em julho de 2013, acredita-se que a implementação da Norma trará mudanças na gestão de processos das empresas envolvidas, para que os novos projetos possam se adaptar às exigências de desempenho prescritas em seu texto. As recomendações trazidas são de desempenho dos sistemas durante o período de uso das edificações e não de uma normatização de como esses sistemas devem ser construídos. Assim, a Norma de Desempenho é dividida em seis partes de acordo com os requisitos estabelecidos, sendo:

- a) parte 1 de requisitos gerais,
- b) parte 2 para sistemas estruturais;
- c) parte 3 para sistemas de pisos;
- d) parte 4 para vedações verticais internas e externas;
- e) parte 5 para coberturas;
- f) parte 6 para sistemas hidrossanitários.

A seguir, são abordadas as recomendações de desempenho térmico trazidas pela Norma, sendo apresentados os principais requisitos de desempenho térmico para edificações habitacionais recomendados pela NBR 15.575/2013, bem como algumas definições e conceitos básicos de conforto térmico, necessários para um melhor entendimento de tais requisitos.

4.1 EXIGÊNCIAS DE HABITABILIDADE

As exigências de habitabilidade de um ambiente estão intimamente ligadas a questões de conforto dos usuários da edificação: são requisitos de condições dentro da construção, que tornam o local habitável de forma salubre. No item 4.3 da NBR 15.575-1/2013, são indicados

fatores que influenciam nas condições de habitabilidade dos ambientes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 11):

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

Nesse contexto, o isolamento térmico da edificação é um fator de grande influência na habitabilidade dos ambientes e que, normalmente, não recebe a atenção necessária por parte das empresas construtoras, sendo tratado como um item secundário. Porém, essa situação deve mudar com as novas exigências que deverão ser cumpridas com a vigência da Norma de Desempenho. A seguir, são apresentados conceitos e formas de avaliação de conforto e de isolamento térmico de edificações, bem como a forma como as exigências de conforto térmico são definidas para cada região do Brasil, de acordo com suas características.

4.1.1 Conforto e isolamento térmico

O conforto térmico é um importante fator da adequação dos requisitos de habitabilidade dos ambientes. Segundo Frota e Schiffer (2009, p. 20), “O organismo humano experimenta sensação de conforto térmico quando perde, para o ambiente, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, o calor produzido pelo metabolismo compatível com sua atividade.”.

As variáveis envolvidas na sensação de conforto térmico experimentada pelos usuários das edificações dependem de diversos fatores, sendo muito deles bastante subjetivos, podendo ser classificados como fatores humanos ou ambientais. As variáveis humanas dependem basicamente das atividades desenvolvidas pelo indivíduo, assim como das vestimentas que esse utiliza; enquanto que as variáveis ambientais relacionam-se a dados verificados no ambiente em que a atividade está sendo desenvolvida, como temperatura e umidade relativa

do ar (DE VECCHI, 2011, p. 5). No que diz respeito aos fatores ambientais, verifica-se que os mesmos dependem fundamentalmente das características do clima da edificação estudada, ficando claro que, para climas diferentes, são necessárias diferentes condições ambientais a fim de se proporcionar adequado conforto térmico a cada indivíduo.

Nesse contexto, o estudo das variáveis humanas é bastante complexo, não havendo uma medida exata para avaliação de conforto térmico que englobe todos os usuários da edificação. Diversos estudos reforçam essa ideia, como, por exemplo, expõe Xavier (1999, p. 17):

Para que uma pessoa se encontre em estado de conforto térmico, é necessários que se verifiquem três condições fisiológicas e ambientais, sem as quais este estado não é capaz de ser atingido, quais sejam: que a pessoa se encontre em neutralidade térmica; que a temperatura de sua pele e a sua taxa de secreção de suor estejam dentro de certos limites compatíveis com sua atividade; que a pessoa não esteja sujeita a nenhum tipo de desconforto térmico localizado.

Ainda assim, segundo Frota e Schiffer (2009, p. 141-146), alguns estudos apontam limites de conforto humano, frente a determinadas condições térmicas, como sendo de 4°C para condições de clima frio e de 28°C para condições de clima quente. Tais temperaturas são obtidas com base em entrevistas e em desenvolvimento de estudos científicos, não sendo, contudo, determinantes, necessitando-se que haja sempre uma avaliação detalhada das condições dos ambientes estudados, bem como do perfil dos usuários da edificação.

Assim, pode-se avaliar o conforto térmico como uma medida única de cada indivíduo, de acordo com sua percepção. Contudo, é possível avaliar o conforto térmico de uma edificação, segundo alguns requisitos objetivos, de forma tal a proporcionar melhores condições de conforto à maioria dos usuários. À medida que as condições de conforto térmico dos ambientes mostram-se adequadas, sem o uso de equipamentos que controlem as perdas e ganhos de calor, fica comprovada a qualidade dos subsistemas de isolamento empregados na edificação.

Sendo assim, conforme indicam Crasto e Freitas (2006b, p. 92), a finalidade do isolamento térmico é a de oferecer adequadas condições de conforto ao ambiente através do controle das trocas de calor entre os ambientes internos e externos, principalmente em regiões caracterizadas por climas que registram temperaturas extremas, tanto no verão quanto no inverno. Nesses locais, os sistemas de isolamento térmico quando bem projetados, para cada

edificação, evitam gastos excessivos com energia elétrica provenientes de aparelhos que regulem a temperatura dos espaços de permanência.

4.1.2 Zoneamento bioclimático brasileiro

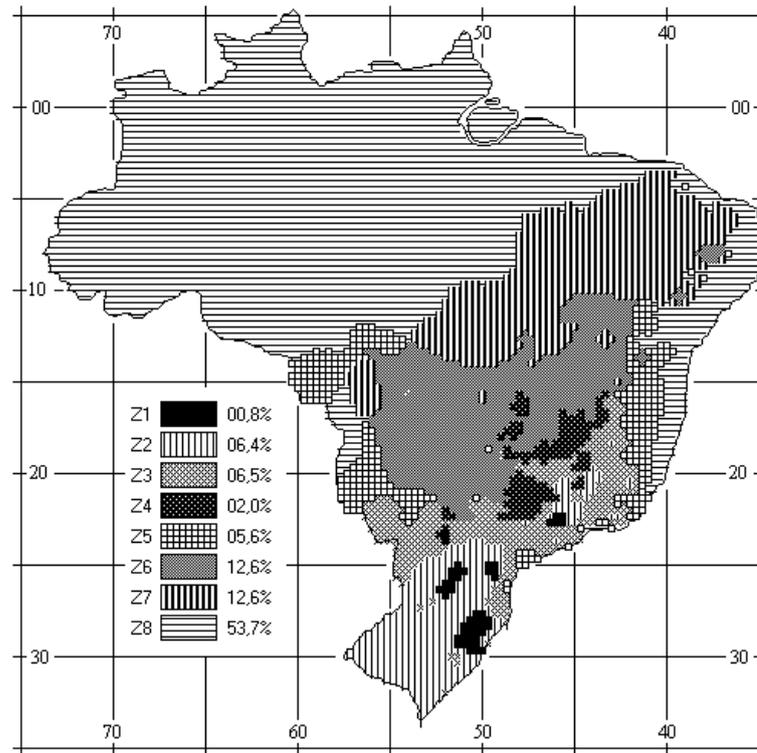
Devido ao fato de o Brasil possuir um território consideravelmente extenso, as mais variadas características climáticas podem ser encontradas em suas diferentes regiões, podendo, inclusive, haver diferenças climáticas dentro de um mesmo estado. Assim, surge a necessidade do emprego de diferentes soluções construtivas para proporcionar o adequado conforto térmico a cada localidade.

Frente a essas características peculiares do País, a ABNT criou, através da NBR 15.220-3/2005 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b, p. 3) oito divisões climáticas do território brasileiro, chamadas zonas bioclimáticas. Dessa forma, cada zona bioclimática é caracterizada através de suas particularidades, sendo recomendadas diretrizes construtivas para que possa ser alcançado apropriado desempenho térmico nas edificações de cada região considerada. Na figura 17, são apresentadas as divisões em zonas bioclimáticas conforme recomendação da Norma.

A cidade de Canoas (figura 18), cidade onde está situada a edificação avaliada nesse trabalho, localiza-se na zona bioclimática 3, sendo recomendado, de acordo com suas características (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b, p. 5):

- a) sombreamento das aberturas para ventilação;
- b) aberturas médias, possibilitando incidência de sol no inverno;
- c) paredes leves como vedação externa;
- d) coberturas isoladas;
- e) facilidade de ventilação cruzada no verão;
- f) aquecimento solar da edificação no inverno;
- g) uso de vedações internas pesadas para favorecer a inércia térmica entre os ambientes.

Figura 17 – Zoneamento bioclimático brasileiro



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

Figura 18 – Localização cidade de Canoas



(fonte: adaptado de GOOGLE MAPS, 2013)

4.2 A NBR 15.575/2013

Em seu texto, a NBR 15.575 faz recomendações de desempenho sob vários aspectos para edificações habitacionais, independente do tipo de material empregado em sua construção.

Dessa forma, tanto uma construção convencional, quanto as que utilizam sistemas inovadores, devem se adequar aos seus critérios.

Os critérios indicados, conforme item 3.7 da NBR 15.575-1/2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 6), são quantitativos e mensuráveis, de forma tal que os níveis de desempenho verificados em cada caso possam ser avaliados de forma objetiva. Nos próximos itens, são apresentados tais critérios, no que se refere ao desempenho térmico de edificações, bem como a importância de adequação a esses e outros critérios descritos na Norma.

4.2.1 Exigências de desempenho térmico

As recomendações de desempenho térmico que constam no anexo E da NBR 15.575-1/2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 62), estabelecem valores máximos e mínimos de temperatura que podem ser observados no interior da edificação para que se atenda, pelo menos, aos níveis mínimos (M) de desempenho estabelecidos. Os níveis de desempenho adequados que podem ser alcançados para atendimento aos requisitos da Norma são os níveis mínimo (M), intermediário (I) e satisfatório (S), sendo recomendado que a empresa responsável pela construção disponibilize a informação de que o desempenho obtido é superior ao mínimo sempre que o fato ocorrer. Abaixo, estão relacionadas as temperaturas máximas e mínimas que devem ser verificadas nos locais de maior permanência nas edificações (salas e dormitórios) sem a utilização de fontes de calor, como equipamentos e ocupantes, para que sejam atendidos os níveis adequados de desempenho, tanto para condições de verão quanto para condições de inverno. Nas tabelas 2 e 3, T_i e T_e correspondem ao valor diário da temperatura do ar, máximo ou mínimo, no interior e no exterior da edificação, respectivamente, em graus Celsius. As zonas bioclimáticas relacionadas são as determinadas pela NBR 15.220-3/2005.

Tabela 2 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

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

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

Tabela 3 – Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

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

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

Como forma de avaliação do desempenho térmico das edificações, a NBR 15.575-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 21) estabelece dois procedimentos diferentes, sendo o primeiro normativo e o segundo informativo, que possibilitam a avaliação do conforto térmico para condições de verão e de inverno. Como o conforto térmico obtido em uma edificação depende da interação entre o desempenho de pisos, coberturas e vedações externas, caso não seja alcançado o nível mínimo de atendimento através do procedimento 1, a edificação deve ser avaliada, pelos critérios estabelecidos, pelo método de simulação computacional.

O procedimento 1, ou simplificado (normativo), trata da verificação de atendimento de desempenho térmico de coberturas e de fachadas, os quais estão descritos de forma específica nas partes 4 e 5 da Norma. Desta forma, ocorre a determinação de propriedades térmicas determinantes dos materiais que compõem as coberturas e as vedações externas; sendo consideradas a capacidade térmica (CT) e a transmitância térmica (U) dos elementos. O

procedimento 2, ou medição (informativo), realiza as verificações de adequação aos critérios de desempenho térmico através de medições *in loco* podendo ser desenvolvidas em protótipos ou em edificações reais. Esse procedimento é apenas informativo e não se sobrepõe ao verificado através do procedimento 1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 21).

A parte 4 da NBR 15.575/2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b, p. 26-27) recomenda, no caso de sistemas de vedações verticais externas e internas, valores de referência para avaliação através do procedimento 1 (simplificado), já que os comparativos de avaliação para o procedimento 2 estão descritos na parte 1 da Norma, para condições típicas de verão e de inverno. Considerando-se que o procedimento 1 avalia o desempenho térmico da edificação através de propriedades térmicas dos materiais (tabelas 4 e 5), na parte 4 da Norma, esse método de avaliação é aplicado para os componentes das fachadas da construção, de acordo com cada zona bioclimática do território brasileiro. Tais propriedades são determinadas através dos procedimentos de cálculo constantes na NBR 15.220-2/2005.

Tabela 4 – Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância Térmica U		
W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

^{a)} α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b, p. 27)

Tabela 5 – Capacidade térmica de paredes externas

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

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b, p. 27)

4.2.2 Importância de adequação

A Norma de Desempenho traz mudanças significativas para diversos setores das empresas construtoras, uma vez que alcançar um desempenho adequado das edificações, segundo os requisitos recomendados na NBR 15.575/2013, envolvem diversos profissionais e o uso de novas práticas de controle e de adequação. Segundo Reis e Blanco (2010, p. 36-39), assim como outros diversos profissionais da construção civil, os projetistas, por exemplo, precisam rever conceitos utilizados rotineiramente, bem como as especificações dos materiais utilizados para que esses possam cumprir a função adequada na construção. Já, aos profissionais de suprimentos, cabe selecionar e cobrar de fornecedores que os materiais disponibilizados cumpram com as exigências da NBR 15.575/2013. Os setores de assistência técnica e de perícia também sofrem mudanças significativas, considerando-se a necessidade de que esses profissionais estudem de forma aprofundada as exigências de desempenho, por um lado, para que possam cobrar o seu cumprimento, no caso dos peritos, e de outro, para que possam se defender e argumentar as contestações de não adequação que podem ocorrer, no caso dos assistentes técnicos.

Com o início do período de vigor do novo texto da Norma, em 2013 (REIS; BLANCO, 2010, p. 34-35), aumentam as cobranças, por parte de diversos segmentos, às empresas construtoras, para que os critérios de desempenho da Norma sejam cumpridos, vindas de peritos, de agentes de financiamento de imóveis e, principalmente, do cliente final. Dessa forma, os problemas jurídicos com o descumprimento de uma norma em vigor podem ser grandes, principalmente no que se refere ao direito de defesa do consumidor. Por outro lado, as empresas que cumprem tais exigências, podem usar o cumprimento a seu favor, como fator de *marketing*, colocando em risco as vendas e o faturamento daquelas empresas que não trabalharam para se adequar à Norma, como ameaça de concorrência em um mercado já tão disputado.

5 PROJETO DE ESTUDO

Para possibilitar o estudo e a avaliação de desempenho térmico que pode ser obtido por edificações em *Light Steel Frame* isoladas pelo sistema EIFS, foi utilizada, como referência e objeto de estudo, uma construção executada com a finalidade de ser a casa modelo de um condomínio em fase inicial de obras na cidade de Canoas/RS. A casa serve como demonstrativo para futuros clientes do empreendimento, tendo, porém, sido construída de forma idêntica às construções previstas para o condomínio, sendo utilizados os mesmo materiais, métodos construtivos e mão de obra. Nos próximos itens, são apresentados detalhes da edificação estudada, desde informações relevantes, referentes ao condomínio em que está inserida, sua localização, especificações de projeto, detalhes construtivos e composição do sistema de isolamento térmico empregado.

5.1 O EMPREENDIMENTO

O condomínio, o qual pertence a edificação estudada, está distribuído sobre uma área de 33.130,51 m². Trata-se de um condomínio residencial misto, contendo casas tipo sobrado e torres de apartamentos no mesmo terreno. É prevista, em projeto, a construção de duas torres residenciais, totalizando 160 unidades e de 178 casas, sendo, dessas, 70 casas de dois dormitórios e 108 casas de 3 dormitórios. As torres, de 10 pavimentos, serão construídas em alvenaria estrutural e as casas no método *Light Steel Frame*.

As áreas comuns foram projetadas de forma tal que o condomínio tivesse, como característica marcante, o uso de técnicas sustentáveis, com redução de desperdícios, tanto na etapa de obra, através do emprego de métodos racionalizados, quanto da utilização pelos moradores. Na fase de pós-ocupação, procura-se a diminuição de desperdício através de medidas como:

- a) redução do consumo de energia elétrica para resfriamento e aquecimento dos ambientes através do isolamento térmico empregado;
- b) execução de rede hidráulica específica para aproveitamento de água das chuvas;
- c) projeto pensado com a prioridade de possibilitar ventilação cruzada e uso de iluminação natural nas edificações.

5.2 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

As particularidades dos projetos das edificações são determinantes para avaliação de seu desempenho; seja ele estrutural, térmico, acústico, de resistência a fogo ou qualquer outro. Para o caso específico do desempenho térmico, diversos fatores especificados em projeto exercem influência significativa sobre o comportamento da construção ante a situações extremas de frio e de calor. O entendimento do modo como os componentes da edificação interagem entre si é fundamental para a adequada avaliação de desempenho térmico, uma vez que o desempenho final é resultado da qualidade de atuação individual de elementos como pisos, vedações verticais e cobertura. Nos próximos itens, são apresentadas as características principais do projeto estudado, consideradas influentes para tal avaliação.

5.2.1 Projeto arquitetônico

A edificação estudada trata-se de uma casa do tipo sobrado, com fachada contínua e uma das paredes geminada. No empreendimento, existem casas chamadas de meio ou de ponta, sendo, a casa objeto de estudo, classificada como de ponta, possuindo 3 dormitórios. A perspectiva da fachada das casas é apresentada na figura 21.

Figura 21 – Perspectiva da fachada



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

O projeto das casas foi elaborado em três pavimentos, estando as áreas de estar, de cozinha e lavanderia localizadas no térreo, as áreas íntimas, no segundo pavimento e o terceiro pavimento possuindo apenas o sótão, com pé direito reduzido em relação aos demais. As casas de ponta contam ainda com pátio externo em forma de L, contornando o terreno na área dos fundos e lateral esquerda. A porção pertencente à frente da casa é aberta, porém, delimitada, havendo vegetação e podendo ser utilizada como garagem para carros. A tabela 6 relaciona cada ambiente com sua área útil, conforme projeto arquitetônico aprovado, totalizando em 91,01 m² de área privativa.

Tabela 6 – Ambientes e áreas úteis

Área útil por ambiente		
Pavimento	Ambiente	Área útil (m ²)
Térreo	Estar/Jantar	28,24
Térreo	Cozinha	6,19
Térreo	Lavanderia	3,95
Térreo	Lavabo	2,27
2°	Dormitório Suíte	12,27
2°	Banho Suíte	4,10
2°	Dormitório 2	8,01
2°	Dormitório 3	8,06
2°	Banho Social	4,14
2°	Circulação	2,87
3°	Sótão	10,91

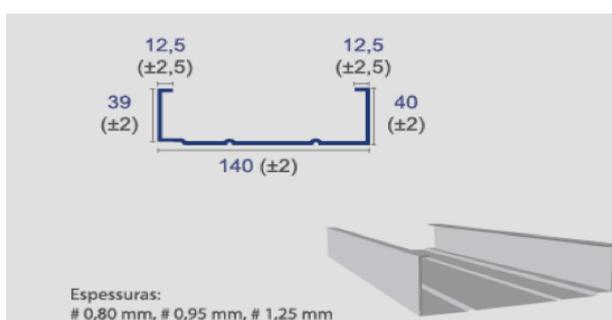
(fonte: elaborado pela autora¹)

¹ Tabela elaborada com base em dados do projeto arquitetônico aprovado.

5.2.2 Estrutura e vedações verticais

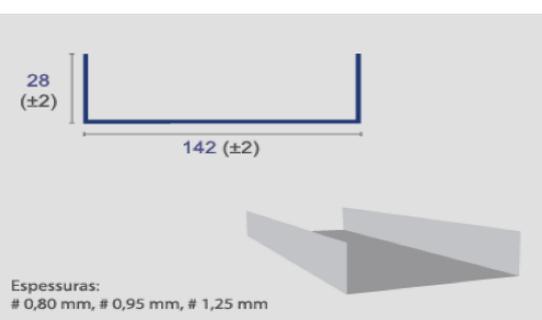
A edificação estudada segue os princípios fundamentais da construção em *Light Steel Frame*, sendo estruturada em perfis de aço galvanizados, espaçados entre si de 600 mm, conforme modulação de projeto. Os perfis para paredes externas e internas têm a espessura de 0,8 mm e os destinados à estrutura das paredes de geminação, 1,25 mm, com largura de 140 mm. As figuras 22 e 23 representam os componentes para perfis de 140 mm das paredes de geminação. Os perfis do pavimento térreo são tipo U enrijecido e estão diretamente conectados à fundação do tipo *radier*, sendo chumbados com conectores do tipo *parabolt* a cada 1,20 metros de distância.

Figura 22 – Montante estrutural 140 mm



(fonte: SMART SISTEMAS CONSTRUTIVOS INTELIGENTES, [2011])

Figura 23 – Guia estrutural 140 mm



(fonte: SMART SISTEMAS CONSTRUTIVOS INTELIGENTES, [2011])

Os painéis de fechamento, do tipo OSB, possuem função estrutural, sendo utilizados em todas as paredes externas e de geminação da edificação estudada. Nesse caso, foram empregados painéis de 11,1 mm de espessura. As placas estruturais são fundamentais tanto para reforço contra a flambagem, como para contraventamento, resistindo, inclusive, a esforços de torção. No caso da construção estudada, foram feitos reforços com montantes em posição diagonal em grandes paredes cegas, como reforço de contraventamento (figura 24). Além disso, nos locais onde os perfis e os painéis estruturais são interrompidos para colocação das esquadrias (tanto portas quanto janelas), foram feitos reforços com fitas metálicas específicas para tal uso, conforme apresentado na figura 25.

A estrutura da laje do segundo pavimento é composta por duas placas OSB de 18 mm de espessura cada uma. Na face voltada ao segundo pavimento, foi feita a colocação de placas cimentícias para acabamento final, resultado em um contrapiso de 5 cm. Para apoio das placas

na estrutura da laje, são utilizados os mesmos montantes das paredes de geminação, com espessura de 1,25 mm, havendo, entre os perfis, preenchimento com lã de vidro a fim de otimizar o isolamento térmico e acústico entre os ambientes.

Figura 24 – Contraventamento em diagonal



(fonte: foto da autora)

Figura 25 – Reforço com fita metálica



(fonte: foto da autora)

5.2.3 Sistemas de isolamento térmico e materiais empregados

O isolamento térmico executado na edificação estudada é baseado em conceitos de isolamento multicamada, no qual não é a massa dos elementos de vedação a responsável pelo isolamento. Uma vez que os componentes do *Light Steel Frame* são leves, não possuindo massa ou espessura suficientes para, por si só, proporcionar adequado isolamento térmico ou acústico aos ambientes da edificação, são suas propriedades, como densidade e resistência térmica que possibilitam o adequado isolamento. Dessa forma, foram empregados isolamentos térmicos em diferentes componentes, a fim de que se obtivesse uma maior eficácia global de desempenho, sendo eles:

- a) isolamento da cobertura;
- b) isolamento externo da fachada;

- c) isolamento das paredes de geminação;
- d) isolamento nas paredes divisórias dos ambientes.

As telhas utilizadas na edificação são do tipo *shingle*, as quais são comumente utilizadas em construções de LSF, já que são elementos leves, não adicionando peso tão significativo à estrutura, como comumente ocorre em construções convencionais. As telhas *single* são resistentes à ação da radiação solar e à proliferação de fungos, contribuindo para maior durabilidade da estrutura da cobertura. O tipo de telha empregado foi o *shingle* isolado, devido à necessidade de melhoria das condições de habitabilidade do sótão, ambiente mais próximo ao telhado e, conseqüentemente, mais sujeito a elevadas temperaturas, devido à radiação solar. A cobertura do tipo *shingle* isolada se diferencia da cobertura *shingle* simples devido ao tipo de placa OSB onde as telhas são apoiadas (figura 26). Na cobertura *shingle* isolada, os painéis de OSB possuem, em uma das faces, isolamento com *foil* de alumínio, sendo o painel, nessa face, composto, basicamente, por várias folhas de alumínio sobrepostas. O *foil* de alumínio é um material que possui como propriedade a baixa emissividade, acarretando em melhores condições de isolamento térmico. Dessa forma, a decisão para uso desse tipo de cobertura teve a finalidade de possibilitar adequadas condições de conforto térmico no verão e no inverno ao ambiente mais suscetível.

Figura 26 – Colocação de cobertura tipo *shingle* isolada

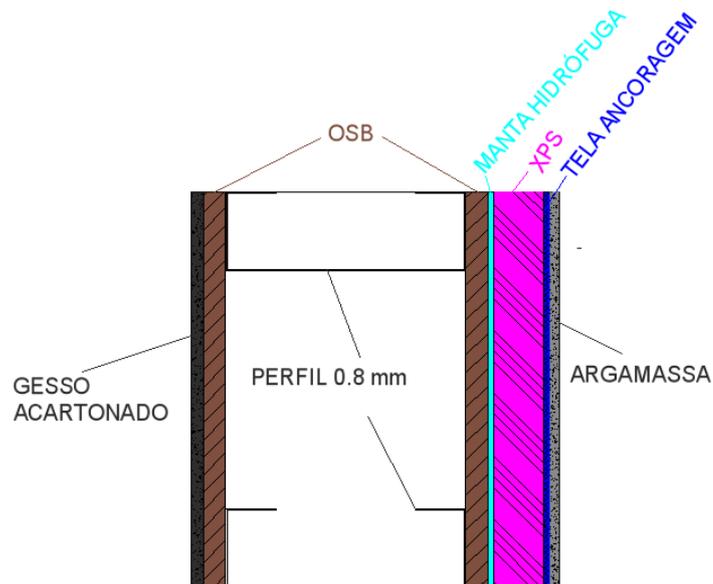


(fonte: LP INDÚSTRIA E COMÉRCIO SA, [2012]c)

As vedações verticais externas da edificação são termicamente isoladas através do sistema EIFS, com acabamento final em argamassa flexível. As paredes das fachadas são compostas, conforme figura 27, pelos seguintes elementos:

- a) placa de gesso acartonado;
- b) placas OSB estruturais;
- c) manta hidrófuga;
- d) placa de poliestireno extrudado (XPS);
- e) tela para ancoragem;
- f) argamassa flexível.

Figura 27 – Composição de paredes externas



(fonte: elaborado pela autora)

Os espaços vazios entre as placas OSB funcionam como uma espécie de *shaft*, por onde é feita a passagem da rede hidráulica, elétrica e de ar condicionado, sem a necessidade de quebra de parede ou rasgos para passagem de dutos. Na figura 28, pode-se observar a passagem das redes elétrica e de ar condicionado antes do fechamento da parede com a placa OSB pertencente à face interna de uma das paredes da edificação.

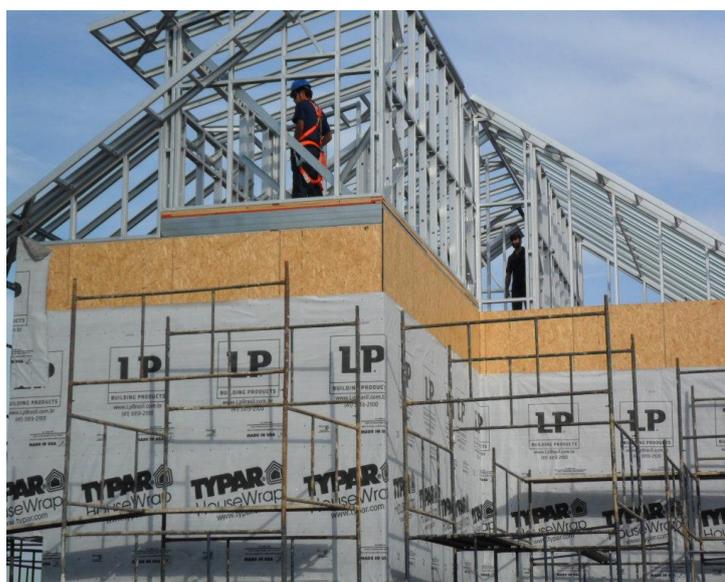
Figura 28 – Passagem de tubulação



(fonte: foto da autora)

Na face externa das placas que compõem a fachada, foi feita a instalação, sobre o painel OSB, de uma manta hidrófuga (figura 29), a qual atua como barreira à passagem de água e vento. A manta hidrófuga é uma espécie de lona fina, sendo grampeada sobre as placas estruturais a cada 400 mm, em todo o perímetro da edificação, exceto nas paredes de geminação. Embora as placas de fechamento recebam tratamento especial, podendo ser expostas à umidade, a membrana hidrófuga, ao dificultar a passagem de água, protege os painéis, preservando suas propriedades e aumentando sua vida útil, o que garante que tenham desempenho adequado por mais tempo.

Figura 29 – Manta hidrófuga sobre placa OSB



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

Sobre a manta de impermeabilização, seguindo o preceito multicamadas de isolamento do sistema EIFS, foi feita a colocação das placas de XPS (Poliestireno Extrudado) em todo o perímetro da fachada. Usualmente, nas edificações que utilizam o EIFS como isolamento externo, o principal agente de isolamento é o Poliestireno Expandido (EPS). Contudo, na edificação estudada, optou-se por utilizar o XPS, material bastante semelhante, que utiliza os mesmos princípios de isolamento, porém, com densidade superior, o que acarreta em um melhores condições de estabilidade para execução de revestimento externo da edificação.. O XPS utilizado possui espessura de 25 mm, sendo fixado diretamente sobre a placa OSB com parafusos autoperfurantes. Sobre a camada de isolamento, é colocada a tela de ancoragem em fibra de vidro, utilizada para se obter maior rigidez e estabilidade ao acabamento final que, nesse caso, é a argamassa flexível. A argamassa é aplicada diretamente sobre a tela de ancoragem, conforme figura 30. Com o acabamento exterior finalizado, é feita a pintura da fachada diretamente sobre a camada de argamassa.

Figura 30 – Aplicação de argamassa sobre tela

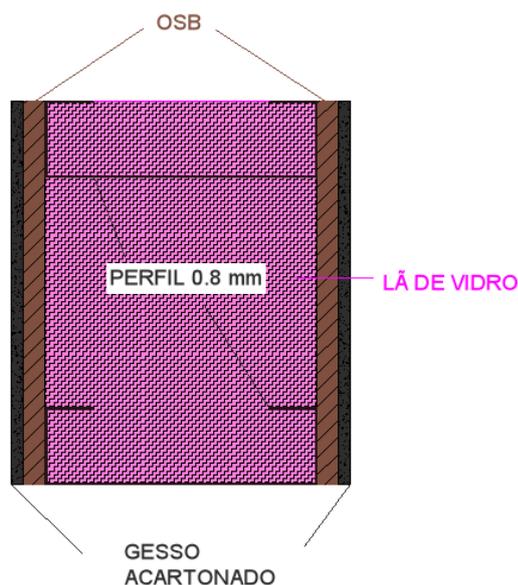


(fonte: empresa responsável pelo projeto)

Na face interna das paredes das fachadas, ao invés de argamassa, é feito o acabamento final com placas de gesso acartonado, também sendo utilizadas com essa finalidade nas paredes de geminação. Tais paredes são compostas por duas placas OSB para cada lado, sendo o vazio entre elas preenchido por lã de vidro (figura 31), material que auxilia no isolamento termo acústico entre as edificações. As paredes divisórias internas são compostas por placas de

gesso acartonado para áreas secas, com preenchimento do espaço entre placas por lã de vidro, de forma semelhante às paredes de geminação.

Figura 31 – Composição das paredes de geminação



(fonte: elaborado pela autora)

As especificações dos materiais que compõem as vedações externas são determinantes para o desempenho térmico da edificação. Assim, a análise das propriedades dos materiais escolhidos, aliada às recomendações de projeto, são essenciais para que se obtenham melhores resultados de isolamento térmico, de acordo com o clima de cada região e o nível de conforto térmico exigido para a edificação, dependendo do tipo de atividade ali desenvolvida. Os procedimentos adotados para verificação da avaliação de desempenho térmico através da NBR 15.575/2013, para a edificação estudada, os dados obtidos para cada procedimento e as análises dos resultados são apresentados no capítulo seguinte.

6 AVALIAÇÕES DE DESEMPENHO TÉRMICO

Para que fosse possível a avaliação do conforto térmico proporcionado pelas paredes externas da edificação em estudo, através da Norma de Desempenho, NBR 15.575/2013, nesse trabalho, foram desenvolvidos os métodos descritos nos Procedimentos 1 (Simplificado) e 2 (Medição). O Procedimento Simplificado é normativo e avalia o desempenho térmico que pode ser obtido através das propriedades dos materiais que compõem as vedações verticais externas. Já o procedimento 2, de Medição, é informativo e auxilia na classificação do nível de desempenho alcançado pela edificação quando essa atende às exigências mínimas de desempenho térmico prescritas. Nos próximos itens, são apresentados os dados obtidos quando da verificação de desempenho térmico da edificação estudada através dos dois procedimentos previstos na Norma.

6.1 PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO

Para a verificação de adequação de desempenho térmico através do Procedimento Simplificado, conforme recomendado pela NBR 15.575-1/2013, foi necessário realizar o levantamento de propriedades específicas de cada material que compõe as vedações verticais externas da edificação em estudo. Tal levantamento foi feito para que fossem possíveis os cálculos de Transmitância Térmica (U) e Capacidade Térmica (C_T), propriedades determinantes para a verificação do atendimento ao desempenho térmico mínimo prescrito na Norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005c, p. 3-4).

Assim, a tabela 7 apresenta os valores das propriedades pesquisadas para cada elemento significativo das paredes externas da casa modelo em estudo. Todos os valores apresentados foram obtidos com os fabricantes de cada produto empregado, logo, representam características específicas das marcas utilizadas e não necessariamente dos produtos de forma geral. Dessa maneira, podem haver diferenças entre características de produtos de mesma finalidade, produzidos por diferentes empresas. Nos próximos itens, são apontados os valores obtidos para Transmitância e Capacidade Térmica, de acordo com as propriedades dos materiais componentes das vedações consideradas.

Tabela 7 – Propriedades dos materiais

Material	Espessura (mm)	Condutividade Térmica (W/m.K)	Calor Específico (kJ/kg.K)	Densidade (kg/m ³)
Gesso Acartonado	12,5	0,35	0,84	960
OSB	11,1	0,13	2,30	680
XPS	25	0,029	1,67	38
Argamassa Flexível	70	1,15	1,0	1.400

(fonte: elaborado pela autora²)

6.1.1 Cálculo da Transmitância Térmica

Para o cálculo da Transmitância Térmica das paredes externas da edificação estudada, inicialmente, foi feito o cálculo da Resistência Térmica dessas paredes. No cálculo da Resistência Térmica de ambiente a ambiente (R_T), além das propriedades dos materiais, são levadas em conta também as resistências superficiais interna (R_{si}) e externa (R_{se}), além da resistência da câmara de ar não ventilada (R_{ar}), existente entre as placas que compõem as paredes.

Na verificação dos valores a serem adotados de R_{si} , R_{se} e R_{ar} , considerou-se que a direção do fluxo de calor nas vedações verticais externas é horizontal. Para as resistências superficiais, os valores foram obtidos de acordo com o Anexo A (normativo), tabela A.1 da NBR 15.520-2/2005; enquanto que a resistência da câmara de ar não ventilada foi verificada através da tabela B.1 do Anexo B (informativo) da referida Norma. Para a verificação do valor a ser adotado de R_{ar} , foi considerada superfície de alta emissividade ($\varepsilon > 0,8$) e espessura da câmara de ar superior a 5 centímetros, conforme descrito em projeto. Os valores verificados para cada uma das resistências especificadas são apresentados na tabela 8.

² Tabela elaborada de acordo com dados fornecidos pelos fabricantes de cada componente.

Tabela 8 – R_{si} , R_{se} e R_{ar} consideradas

Resistência	Valor obtido $m^2.K/W$
Superficial Interna (R_{si})	0,13
Superficial Externa (R_{se})	0,04
Câmara de ar não ventilada (R_{ar})	0,17

(fonte: baseado em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005c, p. 10-11)

Conforme recomenda a NBR 15.220-2/2005, o cálculo da resistência ambiente a ambiente foi iniciado pelo cálculo da resistência superfície à superfície (R_t), o qual, para paredes que se utilizam dos princípios multicamada, é feito somando-se as resistências de cada componente da vedação vertical, assim como da câmara de ar; sendo que a resistência de cada componente é calculada a partir de sua espessura e condutividade térmica. As fórmulas que representam o cálculo para a resistência de cada componente (fórmula 1) e a resistência superfície a superfície das vedações verticais externas da casa modelo (fórmula 2), respectivamente, são:

$$R_{ti} = e_i/\lambda_i \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

R_{ti} = resistência térmica da camada i da parede ($m^2.K/W$);

e_i = espessura da camada i (m);

λ_i = condutividade térmica do material da camada i ($W/(m.K)$).

$$R_t = R_{t \text{ gesso acartonado}} + R_{t \text{ OSB}} + R_{ar} + R_{t \text{ OSB}} + R_{t \text{ XPS}} + R_{t \text{ argamassa}} \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

R_t = resistência térmica de superfície a superfície da parede;

$R_{t \text{ gesso acartonado}}$ = resistência térmica da placa de gesso acartonado;

$R_{t \text{ OSB}}$ = resistência térmica da placa de OSB;

R_{ar} = resistência térmica da câmara de ar não ventilada

R_{t_XPS} = resistência térmica da placa de XPS;

$R_{t_argamassa}$ = resistência térmica da argamassa flexível.

Para o cálculo final da resistência térmica de ambiente a ambiente, são, então, somadas, à resistência térmica de superfície à superfície, as resistências de superfície interna e externa. Assim, o valor de tal propriedade obtido para a edificação em estudo foi de 1,4694 m².K/W.

Tendo sido obtido o valor de resistência térmica das paredes de ambiente a ambiente, foi, então, possível calcular a Transmitância Térmica das mesmas (fórmula 3). O valor obtido para essa propriedade é um dos parâmetros diretos de verificação de adequação de desempenho térmico utilizado pela NBR 15.575-4/2013. Para o caso da edificação em estudo, o valor obtido foi de 0,6805 W/m².K. A fórmula que representa o cálculo da transmitância térmica das paredes consideradas é:

$$U = 1/R_T \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

U = Transmitância Térmica da parede;

R_T = resistência térmica total.

6.1.2 Cálculo da Capacidade Térmica

Seguindo os princípios multicamadas empregados nas vedações verticais externas da casa modelo estudada, o cálculo da Capacidade Térmica também foi realizado a partir da soma de valores de Capacidade Térmica obtidos para cada componente das paredes. As fórmulas que apresentam como foi feito o cálculo para cada elemento considerado (fórmula 4), assim como deve ser feita a composição do cálculo para a estrutura da parede considerada (fórmula 5) são:

$$C_{Ti} = e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad (\text{fórmula 4})$$

Onde:

C_{Ti} = Capacidade Térmica do componente i da parede ($\text{kJ/m}^2 \cdot \text{K}$);

e_i = espessura da camada i (m);

c_i = Calor Específico do componente i ($\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$);

ρ_i = densidade de massa aparente do material da camada i (kg/m^3)

$$C_T = C_{T \text{ gesso acartonado}} + C_{T \text{ OSB}} + C_{T \text{ ar}} + C_{T \text{ OSB}} + C_{T \text{ XPS}} + C_{T \text{ argamassa}} \quad (\text{fórmula 5})$$

Onde:

C_T = capacidade térmica da parede ;

$C_{T \text{ gesso acartonado}}$ = capacidade térmica da placa de gesso acartonado;

$C_{T \text{ OSB}}$ = capacidade térmica da placa de OSB;

$C_{T \text{ ar}}$ = capacidade térmica da câmara de ar não ventilada

$C_{T \text{ XPS}}$ = capacidade térmica da placa de XPS;

$C_{T \text{ argamassa}}$ = capacidade térmica da argamassa flexível.

Nos cálculos, o valor de capacidade térmica da câmara de ar foi considerado igual a zero. Assim, o valor de Capacidade Térmica total da parede externa da edificação, considerando-se todos os componentes empregados, resultou em $144,39 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$. Entretanto, a NBR 15.575-4/2013 traz uma ressalva em relação ao cálculo da Capacidade Térmica em paredes que possuem isolantes térmicos em sua composição. Para esses casos, a Norma recomenda que, para paredes que possuem isolantes térmicos com condutividade térmica igual ou inferior a $0,065 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ e resistência térmica superior a $0,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, o cálculo da Capacidade Térmica deve desconsiderar todos os componentes voltados para o ambiente externo a partir da camada correspondente ao material isolante (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b, p. 27). Dessa forma, uma vez que a edificação estudada possui material isolante que corresponde a essas características, seguindo-se tal orientação, a camada correspondente à argamassa flexível foi desconsiderada, e o valor final de Capacidade Térmica obtido, para efeitos de verificação de desempenho para as vedações verticais externas da residência, foi de $46,39 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$.

6.1.3 Considerações quanto à composição das fachadas

Com relação à análise das propriedades das vedações verticais externas recomendada pela Norma de Desempenho, alguns especialistas avaliam que a mesma carece de maiores detalhamentos, que os cálculos realizados necessitam de verificações mais complexas, nas quais seja levado em conta o sistema de vedação como esse se apresenta, de fato, em cada edificação. As fachadas das edificações não são, de forma geral, compostas apenas pelos elementos das paredes em si, mas também pelas esquadrias instaladas, assim como por qualquer outro elemento; o que faz do sistema de vedação um sistema heterogêneo, composto por diferentes materiais, com diferentes áreas expostas à radiação. Os diferentes elementos que compõem a fachada afetam diretamente o desempenho térmico da edificação como um todo, devendo, assim, serem considerados seus efeitos. Dessa forma, a fim de se verificar de forma mais precisa as propriedades das vedações verticais externas da edificação em estudo, foram realizados os cálculos de Transmitância e Capacidade térmica também levando em conta as esquadrias, para as fachadas expostas dos ambientes de permanência prolongada, do projeto analisado nesse trabalho. Para tanto, foram colhidas informações de características dos materiais das esquadrias (caixilhos e vidros) com o seu fabricante, seguindo-se a mesma linha de cálculo empregada para a avaliação segundo o procedimento padrão da Norma; sendo que as esquadrias utilizadas no projeto possuem caixilhos em material PVC, com vidro simples comum. As características consideradas nos cálculos, para o que diz respeito às esquadrias, são apresentadas na tabela 9.

Tabela 9 – Propriedades dos componentes das esquadrias de PVC

Material	Espessura (mm)	Condutividade Térmica (W/m.K)	Calor Específico (kJ/kg.K)	Densidade (kg/m ³)
PVC (caixilhos)	110	0,19	0,96	1.450
Vidro comum	6	1,00	0,84	2.500

(fonte: elaborado pela autora)

O método de cálculo adotado, tanto para transmitância quanto para capacidade térmica, é o descrito na NBR 15.220-2/2005 para sistemas de vedações heterogêneos, no qual considera-se

uma relação ponderada entre as áreas expostas de cada elemento e suas propriedades individuais. Assim, foram nomeadas as seguintes seções:

- a) seção A: paredes;
- b) seção B: caixilhos das esquadrias (em PVC);
- c) seção C: vidros das folhas das esquadrias.

Para cada fachada considerada, foi avaliada a área exposta para cada uma das seções e realizada a relação ponderada para obtenção do resultado final das propriedades avaliadas no desempenho térmico. As fórmulas 6 e 7, que demonstram como as relações ponderadas foram feitas para resistência e capacidade térmica, no caso das fachadas analisadas, são:

$$R_t = (A_A + A_B + A_C) / (A_A / R_A + A_B / R_B + A_C / R_C) \quad (\text{fórmula 6})$$

Onde:

R_t = resistência térmica de superfície a superfície da fachada;

A_A = área da seção A (parede);

A_B = área da seção B (caixilhos das esquadrias);

A_C = área da seção C (vidros das esquadrias);

R_A = resistência térmica da seção A;

R_B = resistência térmica da seção B;

R_C = resistência térmica da seção C.

$$C_T = (A_A + A_B + A_C) / (A_A / C_{TA} + A_B / C_{TB} + A_C / C_{TC}) \quad (\text{fórmula 7})$$

Onde:

C_T = capacidade térmica da fachada;

A_A = área da seção A (parede);

A_B = área da seção B (caixilhos das esquadrias);

A_C = área da seção C (vidros das esquadrias);

C_{TA} = capacidade térmica da seção A;

C_{TB} = capacidade térmica da seção B;

C_{TC} = capacidade térmica da seção C.

A partir da resistência térmica, foi obtida diretamente a transmitância térmica, de forma semelhante ao cálculo indicado no procedimento padrão da NBR 15.220/2005. Os valores obtidos de transmitância e capacidade térmica, para cada fachada avaliada, assim como as áreas consideradas para cada uma das seções são apresentados na tabela 10.

Tabela 10 – Propriedades calculadas para cada fachada

	Estar/Jantar Fachada Norte	Dorm. Suíte Fachada Sul	Dorm. 3 Fachada Norte	Sótão Fachada Sul
Área Seção A (m ²)	8,52	3,53	5,45	9,50
Área Seção B (m ²)	3,02	0,82	0,82	0,801
Área Seção C (m ²)	5,08	1,46	1,46	1,40
R_T (m ² .K/W)	0,1890	0,1935	0,2011	0,2183
U (W/m ² .K)	5,28	5,20	4,97	4,58
C_T (kJ/m ² .K)	34,49	39,88	48,62	64,24
C_T (kJ/m ² .K) ³	27,40	29,44	32,38	36,43

(fonte: elaborado pela autora)

³ Valores obtidos desconsiderando a camada de argamassa flexível da seção da parede (seção A).

6.2 PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO

O Procedimento de Medição, trazido pela NBR 15.575/2013, tem caráter informativo, auxiliando na classificação do nível de atendimento alcançado pelas edificações em situações específicas de dias de verão ou de inverno. Tal procedimento pode também ser utilizado como forma de avaliação global de desempenho térmico da edificação, quando do não atendimento a uma das propriedades avaliadas no Procedimento Simplificado. Os dados obtidos com o procedimento de medição não se sobrepõem aos resultados obtidos com o Procedimento 1, mas podem representar a influência e a importância que o não atendimento a essas propriedades causa no comportamento global da edificação analisada.

Para esse trabalho, a avaliação foi feita apenas para dias semelhantes aos considerados para o verão, sendo as medições realizadas em 3 dias da primeira semana do mês de março de 2013, no turno da tarde, tendo sido feitas, aproximadamente, na mesma faixa de horário, nos 3 dias considerados. Nos próximos itens, são relatados os dados de interesse das medições realizadas na casa modelo utilizada como referência nesse trabalho, desde o instrumento de medição utilizado, o método que foi aplicado, as características dos dias de medição, bem como os valores de temperatura obtidos em cada um deles.

6.2.1 Instrumento e método de medição

Para possibilitar as medições *in loco* na edificação estudada, foi utilizado um instrumento de medição de precisão devidamente calibrado e certificado (figura 32). O instrumento é uma combinação de medidor de umidade, de temperaturas de bulbo úmido, seco e ponto de orvalho. Para as medições com precisão, o higrômetro conta com um sensor semicondutor de temperatura e de umidade do tipo *chip* único, fazendo uma média de 2,5 amostragens por segundo, sendo a escala de temperatura do ar variável de -30°C a 100°C. Para medições de umidade, a precisão é de mais ou menos 3,5% de Umidade Relativa (UR) em uma escala de 20% a 80% de UR. Como fonte de alimentação, o instrumento utiliza uma bateria de 9 Volts.

Figura 32 – Instrumento de medição



(fonte: fabricante do medidor)

As medições foram realizadas segundo as recomendações do Anexo A (informativo) da NBR 15.575-1/2013, no que diz respeito a edificações já existentes. O anexo sugere que as medições sejam realizadas nas áreas de maior permanência das edificações, como salas e dormitórios (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 41), assim, no caso da edificação em estudo, as medições internas foram realizadas nos seguintes ambientes:

- a) estar/ jantar;
- b) dormitório suíte;
- c) dormitório 3;
- d) sótão.

O sótão não é considerado, necessariamente, um ambiente de permanência prolongada, porém, é possível que seja usado como escritório, sala de televisão ou mesmo local de permanência de crianças, logo, a título de informação, foram também realizadas medições nesse ambiente. Nas recomendações trazidas no anexo A da Norma, são tratadas edificações térreas ou pertencentes a edifícios multipiso, não sendo citadas edificações do tipo sobrado, como a utilizada nesse trabalho. Nesse caso, as medições foram feitas através de uma combinação das duas recomendações, sendo realizadas tanto nos ambientes de maior

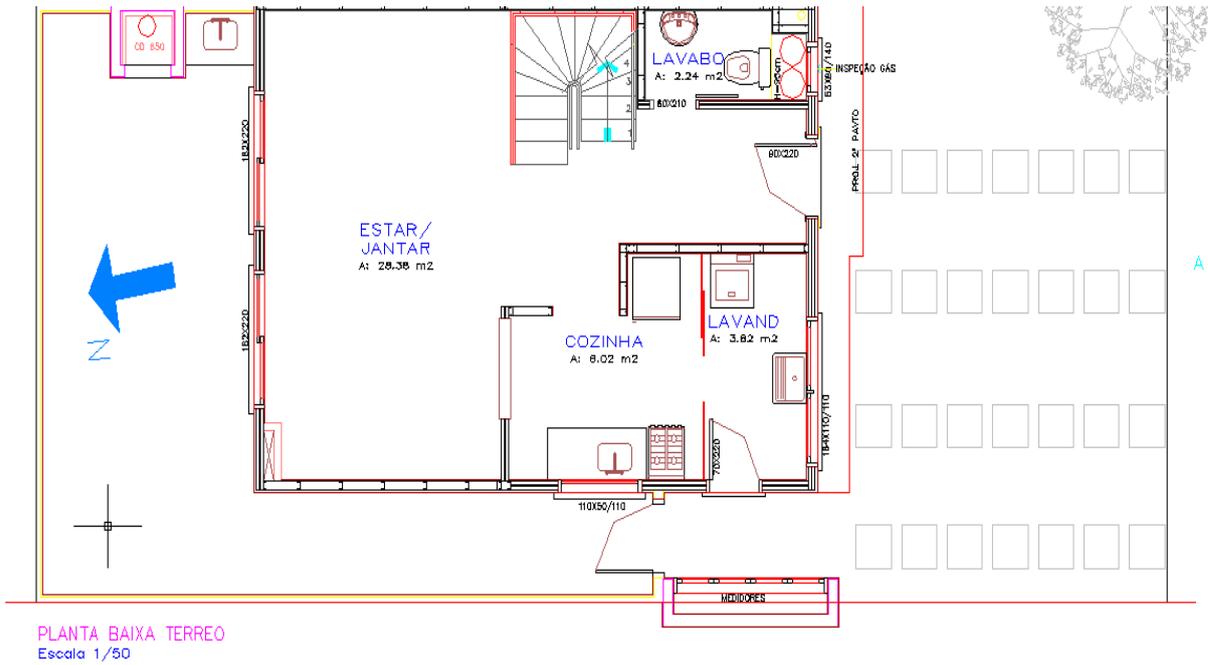
permanência, quanto nos localizados no último pavimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 41), como é o caso do sótão.

Segundo as recomendações da Norma de Desempenho, as medições devem ser realizadas de acordo com as especificações apresentadas na ISO 7726⁴. Assim, nos ambientes selecionados, as medições foram feitas o mais próximo o possível do centro de cada cômodo, estando o sensor do aparelho de medição a 1,20 metro de altura. Os dados medidos, conforme recomendação da Norma, são os de temperatura de bulbo seco do ar, porém, a nível de informação, foram medidos também os níveis de umidade relativa do ar em cada ambiente.

Para os casos de medições em edificações já existentes, considerando-se os dias de verão, é recomendável que as janelas da sala ou dormitórios medidos sejam voltadas para oeste, havendo outra parede exposta voltada para o norte (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 41). Na edificação estudada, não foi possível atender a essa recomendação e, nesse caso, segundo orientações da Norma, deve-se levar em consideração ambientes que tenham o maior número de paredes expostas ou orientações das janelas o mais próximo o possível do ideal. Seguindo-se tal indicação, foi feita a escolha dos dormitórios que seriam medidos. As figuras 33 e 34 apresentam a orientação solar dos ambientes medidos no primeiro e segundo pavimentos e, a figura 35, a orientação solar do sótão. A sala de estar/jantar possui três paredes expostas, sendo uma delas voltada para o norte e as janelas existentes são voltadas para o norte e para o sul. Já o dormitório suíte possui duas paredes expostas, uma para o sul e outra para oeste, sendo sua janela voltada também para o sul. O dormitório 3 tem apenas uma parede exposta, voltada para o norte, com a janela voltada para a mesma direção. O sótão é o único ambiente do terceiro pavimento, tendo três paredes expostas, para o norte, sul e oeste, ficando protegida apenas a parede de geminação à leste. O ambiente possui uma abertura voltada para o sul, direção da fachada principal da casa. Com exceção da parede de geminação, todas as demais paredes e todas as janelas da casa são livres de obstrução por outras construções, uma vez que as obras do empreendimento ainda encontram-se em fase inicial, estando o terreno praticamente desocupado.

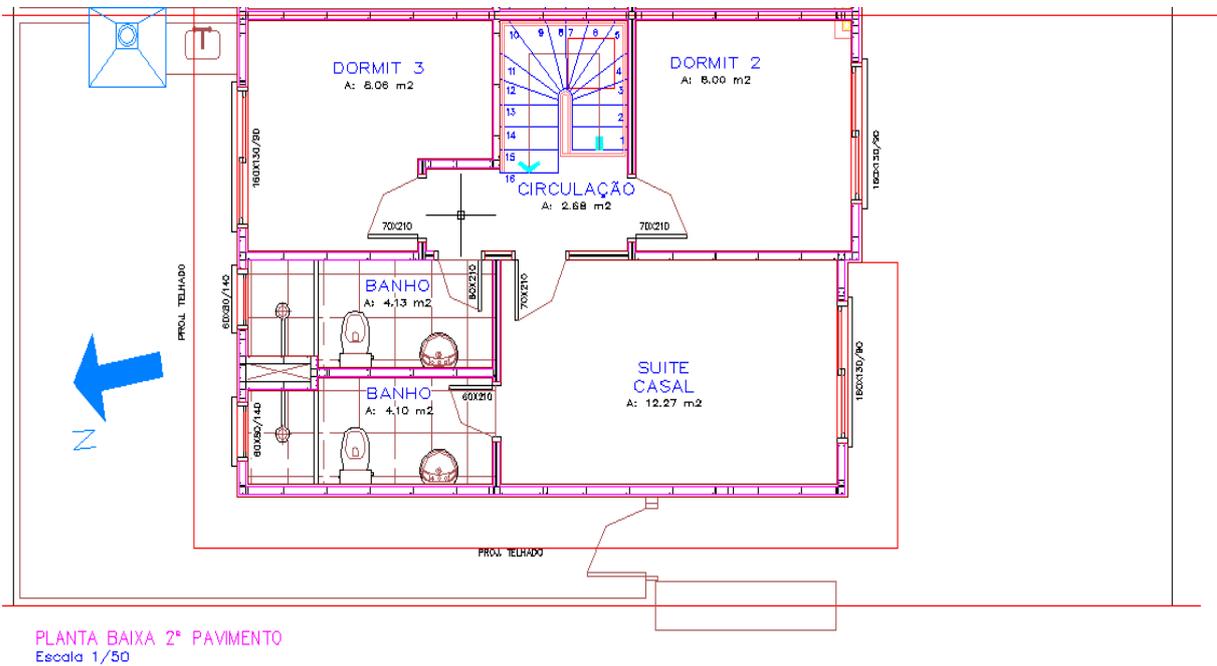
⁴ INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARDIZATION. **ISO 7726**: Ergonomics of the thermal environment: instruments for measuring physical quantities. Genève, 1988.

Figura 33 – Orientação solar ambientes pavimento térreo



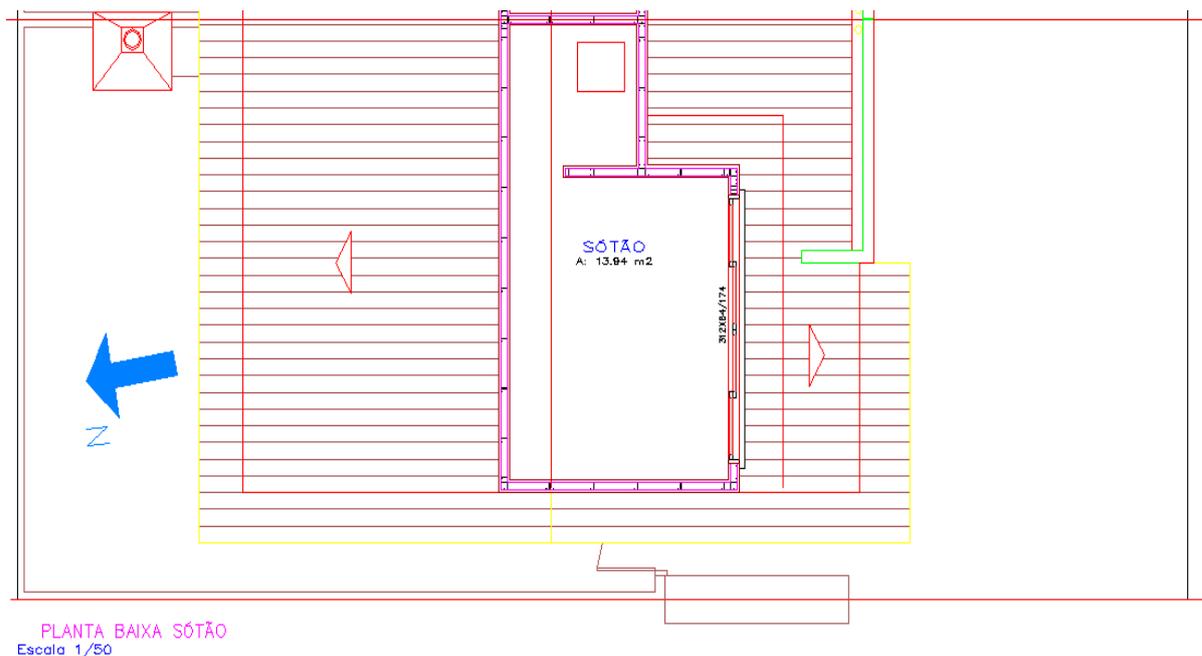
(fonte: empresa responsável pelo projeto)

Figura 34 – Orientação solar ambientes segundo pavimento



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

Figura 35 – Orientação solar sótão



(fonte: empresa responsável pelo projeto)

6.2.2 Datas das medições e condições dos ambientes

As medições na casa modelo foram realizadas nos dias 06, 07 e 08 de março de 2013, no período compreendido entre às 15h e às 17h. As medições em cada ambiente foram realizadas em rodadas espaçadas entre si a cada 20 minutos, durante o período de duas horas contínuas selecionado.

A edificação estudada está localizada na cidade de Canoas/RS, na região metropolitana de Porto Alegre. Assim, os dados para referência de um dia típico de verão, foram adotados a partir da cidade de Porto Alegre. Segundo a tabela A.2 da NBR 15.575-1/2013, para um dia típico de verão, a temperatura máxima diária característica na cidade é de 35,9°C, dentre outros dados, como temperatura de bulbo úmido e radiação solar. Porém, para efeitos de medição, a fim de se caracterizar o dia típico, é permitido que seja levada em conta apenas a temperatura de bulbo seco externa máxima do dia considerado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 42).

Nesse caso, de acordo com o clima local, o ideal seria que as medições tivessem sido realizadas no período de janeiro a fevereiro, quando a probabilidade de que ocorram dias típicos de verão é maior. Contudo, no mês de janeiro, a casa modelo esteve fechada e, no mês

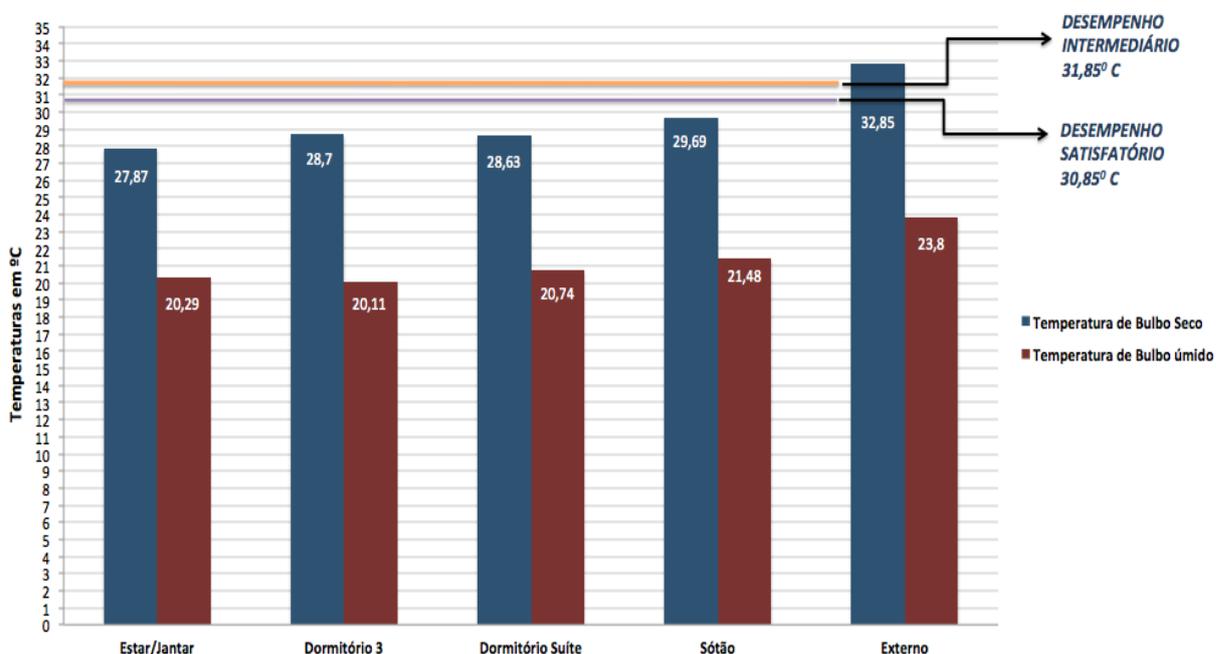
de fevereiro, o aparelho de medição utilizado nesse trabalho esteve indisponível, possibilitando apenas que as medições fossem feitas no início do mês de março. Uma das grandes limitações de ser utilizado o método da medição é, justamente, que se alcancem os valores adequados de temperatura do dia típico para os dias analisados, uma vez que a Norma recomenda que sejam tomados três dias típicos de verão em sequência e sejam analisados os dados do último dia (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 42). Tal condição nem sempre é possível de ser alcançada, ainda que as medições tivessem sido realizadas no período ideal.

A Norma recomenda ainda que, nos ambientes medidos, preferencialmente, não hajam fontes internas geradoras de calor, como ocupantes, lâmpadas ou outros equipamentos. Porém, a casa em estudo é uma casa modelo, não havendo a possibilidade de ter sido fechada apenas para que ocorressem as medições desse trabalho. Assim, embora os equipamentos de ar condicionado estivessem desligados durante o período das medições, todas as lâmpadas de todos os ambientes permaneceram acesas, os aparelhos de televisão ligados e, ocasionalmente, houve presença de visitantes na casa, permanecendo em torno de 30 minutos e em mais de um ambiente considerado.

6.2.3 Valores medidos

As primeiras medições na edificação em estudo iniciaram no dia 06 de março de 2013. A preparação dos ambientes iniciou em torno das 14h30, com o desligamento dos aparelhos de ar condicionado que estavam em funcionamento e com a abertura parcial de janelas para possibilitar a ventilação natural cruzada. As primeiras medidas foram realizadas às 15h23, estendendo-se até às 15h54. Nesse dia, foi realizada apenas uma rodada de medições em cada um dos ambientes selecionados. Essa rodada foi feita a fim de que se verificassem as melhores posições para o equipamento de medição em cada ambiente, assim como a qualidade dos valores medidos, de acordo com a ordem de grandeza esperada. Os dados de temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido registrados nesse dia são apresentados na figura 36. Na figura, é possível verificar ainda os níveis de temperatura necessários para atendimento aos níveis de desempenho prescritos na Norma, com base na temperatura externa registrada.

Figura 36 – Dados medidos em 06 de março de 2013



(fonte: elaborado pela autora)

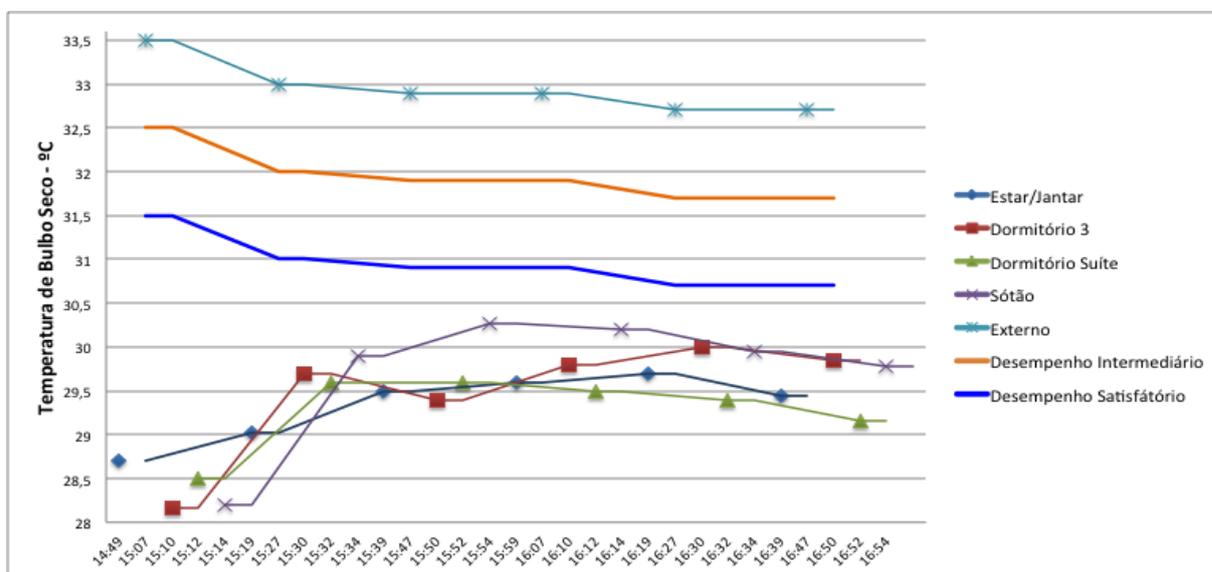
No dia 07 de março de 2013, segundo dia de medições, foram realizadas seis rodadas para coletas dos dados, iniciando às 14h59 e finalizando às 16h54. Para início de nova rodada, aguardava-se sempre um intervalo de 20 minutos contados do início da rodada anterior, respeitando o mesmo intervalo para todos os ambientes e para o ambiente externo. A partir desse dia, a sequência de medições consistiu em:

- posicionar o instrumento de medição aproximadamente no centro do ambiente;
- medir a altura de 1,20 metro para o sensor do higrômetro;
- aguardar o tempo de 10 segundos para estabilização dos valores (conforme orientações do fabricante do instrumento);
- colher os valores de temperatura apresentados;
- registrar os dados na planilha criada para esse fim.

Nesse dia, a medição do ambiente externo foi feita entre as medições dos demais ambientes, uma vez que havia um grupo de 15 pessoas visitando a casa. Assim, evitou-se, o máximo possível, que um número grande de pessoas permanecesse no ambiente que estivesse sendo medido. Porém, devido à permanência desse grupo ter sido de, aproximadamente, uma hora, no interior da casa, 4 das 6 rodadas foram feitas na presença de pelo menos 8 pessoas em cada ambiente. A figura 37 apresenta os valores de temperatura de bulbo seco coletados no

segundo dia de medições, bem como os limites para atendimento aos desempenhos térmicos intermediário e satisfatório.

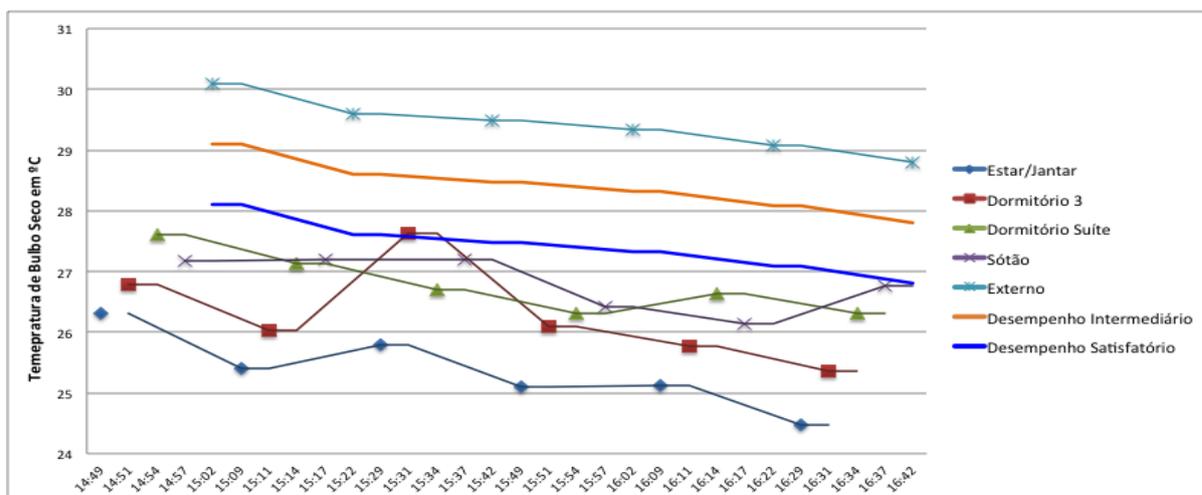
Figura 37 – Dados medidos em 07 de março de 2013



(fonte: elaborado pela autora)

No último dia considerado (08 de março), as medições iniciaram às 14h49 e finalizaram às 16h42. Nesse dia, a temperatura externa baixou em torno de 12% em relação aos dias anteriormente medidos, não havendo radiação solar considerável e tendo ocorrido, inclusive, uma pequena precipitação ao final da última rodada de medições. Para essas coletas de dados, a temperatura de bulbo seco do ambiente externo foi a última a ser medida na sequência de ambientes. A figura 38 apresenta os dados coletados no último dia de medição. Na tabela 11, são apresentados os valores de umidade relativa do ar para cada medição realizada da sequência de três dias.

Figura 38 – Dados medidos em 08 de março de 2013



(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 11 – Umidade relativa do ar (UR) medida

	Medição	Estar/Jantar	Dormitório 3	Dormitório Suíte	Sótão	Externo
6 de março	1	49,80%	49,00%	48,20%	49,19%	50,00%
	2	55,90%	49,40%	54,94%	52,10%	51,20%
	3	54,40%	52,20%	54,80%	54,37%	52,09%
07 de março	4	54,30%	51,00%	53,20%	51,56%	50,04%
	5	53,74%	54,20%	56,20%	53,84%	54,63%
	6	56,03%	55,80%	57,32%	56,00%	56,60%
	7	56,13%	56,20%	58,25%	56,23%	56,93%
08 de março	1	80,67%	74,50%	73,10%	75,45%	82,30%
	2	80,60%	77,25%	73,64%	73,23%	81,73%
	3	80,80%	72,58%	75,86%	74,56%	80,50%
	4	81,88%	75,90%	79,60%	75,86%	81,70%
	5	81,13%	77,21%	74,6%	73,74%	80,53%
	6	79,63%	79,12%	74,57%	74,20%	80,09%

(fonte: elaborado pela autora)

6.3 AVALIAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS

Os dados verificados na aplicação dos procedimentos simplificado e de medição prescritos na Norma de Desempenho traduzem, de forma direta ou indireta, a resposta da edificação sob situações diversas. O comportamento da edificação, apresentado em cada um dos procedimentos, pode ser avaliado de forma tal a que seja possível uma maior compreensão de, em que situações, o sistema de isolamento utilizado pode ser melhor empregado ou como o próprio sistema construtivo como um todo pode ser melhorado. A avaliação dos dados obtidos para a edificação em estudo através dos Procedimentos 1 e 2 é apresentada nos próximos itens.

6.3.1 Procedimento 1

No que diz respeito às propriedades dos materiais componentes das paredes da edificação estudada, a avaliação foi realizada através da comparação com valores de referência de Transmitância e Capacidade Térmica, conforme recomendações da NBR 15.575-4/2013. A tabela 12 apresenta os valores obtidos para cada uma das propriedades avaliadas para as paredes externas da edificação. Os valores de Capacidade Térmica são apresentados considerando-se a parede conforme sua composição original (1) e conforme a recomendação da Norma, sendo desconsiderada a camada de argamassa flexível (2).

Tabela 12 – Propriedades calculadas

Propriedade calculada	Valor obtido
Transmitância Térmica	0,6805 W/m ² .K
Capacidade Térmica (1)	144,39 kJ/m ² .K
Capacidade Térmica (2)	46,39 kJ/m ² .K

(fonte: elaborado pela autora)

A fachada da casa modelo possui faixas de pintura na cor branca e faixa de pintura na cor cinza. Assim, como a composição de materiais das paredes é a mesma tanto para as paredes pintadas de cor clara quanto às pintadas de cinza, foram consideradas as duas situações de absorvância à radiação solar da superfície externa da parede. Para a faixa de pintura branca,

conforme Tabela B.2 da NBR 15.220-2/2005, foi considerada absorvância igual a 0,20 e, para a faixa de pintura cinza, absorvância de 0,70. Logo, conforme a tabela 4 constante nesse trabalho, segundo o critério de transmitância térmica, para ambas as situações, a edificação estudada atende aos requisitos mínimos, uma vez que possui valor tanto inferior a 3,7 quanto a 2,5 W/m².K.

No caso da Capacidade Térmica, conforme a tabela 5 desse trabalho, se considerada a composição total das paredes externas da edificação, a casa modelo também atenderia a esse requisito, pois a Capacidade Térmica calculada é superior a 130 kJ/m².K. Porém, com a retirada da camada de argamassa flexível para fins de cálculo da Capacidade Térmica, o valor obtido é em torno de apenas 35% do valor mínimo exigido. Dessa forma, no requisito referente à Capacidade Térmica, a edificação estudada não atende à exigência mínima prevista na Norma.

A tabela 13 apresenta um resumo dos valores mínimos exigidos para cada propriedade, assim como, os valores obtidos nos cálculos realizados para a edificação em estudo. Os valores grifados em verde são aqueles que atendem aos requisitos mínimos e o grifado em vermelho é o que não atende.

Tabela 13 – Comparação de valores das propriedades

Propriedade calculada	Valor exigido	Valor obtido
Transmitância Térmica	2,5 ou 3,7 W/m ² .K	0,6805 W/m ² .K
Capacidade Térmica (1)	130 kJ/m ² .K	144,39 kJ/m ² .K
Capacidade Térmica (2)	130 kJ/m ² .K	46,39 kJ/m ² .K

(fonte: elaborado pela autora)

Para os cálculos das propriedades considerando as esquadrias de cada fachada, nenhum trecho de vedação vertical analisado atendeu aos requisitos mínimos para transmitância e capacidade térmica, sendo o ambiente estar/jantar o que apresentou os piores valores, ou seja, maior transmitância térmica e menor capacidade térmica. Tal resultado deve-se ao fato de essa fachada apresentar grande área de vidro exposta, devido às dimensões das esquadrias empregadas. O sótão foi o ambiente que apresentou a fachada com melhores valores (ainda que muito abaixo dos recomendados pela Norma de Desempenho), uma vez que possui

esquadria com dimensões de vidro reduzidas em relação às dos demais ambientes avaliados. Mesmo na melhor situação de propriedades verificada, o valor de transmitância térmica chegou a ser 6 vezes maior que o valor obtido desconsiderando as esquadrias e, no caso da capacidade térmica, verificou-se valor menor que 2 vezes o valor originalmente calculado.

Sendo considerado o cálculo apenas com os elementos que compõem as paredes, o não atendimento aos critérios referentes a uma das propriedades térmicas prescritos na Norma de Desempenho pode ocorrer, inclusive, em sistemas construtivos tradicionais e já utilizados em larga escala no País, como é o caso da alvenaria convencional. Em sua obra, Pereira Júnior (2004, p. 18) realiza uma comparação de desempenho térmico de edificações residenciais entre o sistema construtivo tradicional, em alvenaria convencional, e o sistema *Light Steel Frame*, sem isolamento térmico externo. Essa comparação é feita unicamente através da comparação de valores de resistência térmica, importante parâmetro que mede a capacidade dos materiais em dificultar as perdas de calor para o ambiente externo. Em sua avaliação, comparando-se uma parede de 15 cm de espessura total, com blocos cerâmicos e revestimento interno e externo de argamassa (composição usualmente utilizada na construção civil), a parede de LSF, mesmo sem o componente XPS, apresentou valor de resistência térmica bastante superior, o que acarreta em melhores condições de habitabilidade aos ambientes. A própria NBR 15.220-2/2005 traz, em seus exemplos de cálculo de propriedades das paredes, um modelo referente a paredes compostas por tijolos maciços (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005c, p. 18), sistema construtivo tradicional e consolidado. No cálculo apresentado pela Norma, a parede apresenta transmitância térmica igual a 3,34 $W/(m^2.K)$ e, caso fosse avaliada para uma parede de cores escuras, com absorvância à radiação solar da superfície externa da parede superior a 0,6, não atenderia a esse critério de avaliação da Norma.

O fato de não ter sido atendido o critério referente à capacidade térmica, pela edificação em estudo, não significa, de forma definitiva, que a mesma não atende aos critérios de desempenho térmico prescritos na Norma; uma vez que, segundo a avaliação referente à transmitância térmica, a edificação atende ao requisito com facilidade. Assim, para que possa ser verificado o impacto que o não atendimento de uma das propriedades tem sobre o desempenho real em uso da edificação, seria necessária uma análise global de tal desempenho. Ainda que a parte 1 da NBR 15.575/2013 expresse que os resultados obtidos com o procedimento de medição não podem se sobrepor aos verificados com a avaliação

referente ao procedimento simplificado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a, p. 21), entende-se que a medição, nesse caso, auxilia no sentido de identificar a influência da não adequação de uma das propriedades, uma vez que os critérios da outra propriedade avaliada são atendidos. A análise global, feita através de análise detalhada da edificação quando de seu uso, pode ser verificada através do procedimento de simulação computacional ou através de medições *in loco*. Assim, além de classificar o nível de atendimento aos critérios da Norma, as medições realizadas nesse trabalho podem servir de auxílio para a avaliação do desempenho térmico da edificação como um todo.

6.3.2 Procedimento 2

Para análise dos dados de medições obtidos, em relação aos três dias medidos, devem ser considerados, preferencialmente, os piores pontos de temperaturas de cada dia, ou seja, a pior situação possível das temperaturas internas dos ambientes para cada um dos dias de levantamento de dados. Essa análise da pior situação foi realizada para que, dentro o intervalo de tempo coletado, possam ser consideradas as situações de temperatura interna e externa máximas a que a edificação esteve submetida. A tabela 14 apresenta as temperaturas coletadas nas piores situações de cada um dos dias analisados. Nessa tabela, são sempre apresentados o ambiente de permanência prolongada que apresentou maior temperatura interna, assim como a maior temperatura interna registrada no sótão, o qual se localiza no último pavimento, sofrendo também influência dos efeitos da cobertura isolante da edificação. Para cada temperatura interna selecionada, são apresentadas também a temperatura externa registrada na tomada de medições correspondente.

Os itens a seguir apresentam a análise dos dados coletados a partir do segundo dia de medições, assim como observações relevantes a respeito da sequência de medições realizadas, sendo sua análise fundamental para conclusões a respeito do comportamento térmico da edificação em estudo.

Tabela 14 – Temperaturas das piores situações nos dias medidos

Dia	Ambiente	Temperatura interna (°C)	Temperatura externa (°C)
06 de março	Sótão	29,69	32,85
	Dormitório 3	28,70	
07 de março	Sótão	30,27	32,90
	Dormitório 3	30,00	
08 de março	Sótão	27,20	29,60
	Dormitório 3	27,63	

(fonte: elaborado pela autora)

6.3.2.1 Segundo dia de medições

Comparando-se os três dias em que foram realizadas as rodadas de medições, o segundo dia pode ser considerado o dia que apresentou características mais próximas das típicas para o dia de verão determinado pela Norma. Assim, os dados coletados nesse dia podem representar mais fielmente o comportamento do tipo de edificação analisado para situações de temperaturas mais elevadas, como as que ocorrem nessa época do ano.

Dentre os dados medidos no dia 07 de março, das 24 temperaturas internas coletadas, todas situaram-se na zona classificada como de desempenho satisfatório. A pior situação, verificada no dormitório 3, apresenta ainda 2,70°C abaixo da temperatura externa verificada na tomada de medições, estando próxima do equivalente ao desempenho intermediário, o qual se caracteriza por temperatura interna 2°C inferior à externa.

Nesse dia, mesmo na pior situação, o sótão também apresentou desempenho térmico satisfatório, porém, esse fato deve-se à combinação de ações do sistema EIFS e da cobertura isolada da edificação, bem como ao tipo de ventilação utilizada, não sendo, assim, o EIFS o único responsável pelo nível de desempenho alcançado por esse ambiente.

6.3.2.2 Terceiro dia de medições

Em relação ao último dia de medições, no caso de ser realizada análise conforme prevê a Norma de Desempenho, foi observado que as temperaturas internas, embora, em sua maioria,

dentro do limite aceito para desempenho satisfatório, encontram-se mais próximas da fronteira com a temperatura característica do desempenho térmico intermediário.

No dia 08 de março, verificou-se que, dentre os três dias medidos, foi o que apresentou maior amplitude térmica durante o período de medições, sendo essa de $1,3^{\circ}\text{C}$, o que pode justificar a diferenciação no comportamento do sistema EIFS. Esse sistema de isolamento é utilizado com frequência em países de clima frio, pois mostra-se bastante eficiente no isolamento térmico em condições de baixas temperaturas. O sistema EIFS é um sistema de isolamento e não de resfriamento, logo, com a queda de temperatura externa observada, sua tendência, no dia em questão, foi a de manter a temperatura interna dos ambientes, evitando as perdas para o exterior. Nos dias anteriores, as temperaturas externas verificadas foram mais altas, havendo, no período de medições, menor amplitude térmica, o que não forçava, necessariamente, o sistema a manter a temperatura do ambiente mais alta.

No dia em questão, no dormitório 3, observa-se, na terceira tomada de medições, um ponto na zona de desempenho intermediário, o qual não segue o comportamento observado no restante do período. Esse ponto fora da curva foi observado devido ao aparelho de ar condicionado ter sido ligado em aquecimento por uma funcionária da limpeza da casa modelo de forma equivocada. Assim que foi percebido, o aparelho foi desligado, sendo observado o retorno do comportamento anterior nos próximos pontos.

Quanto ao sótão, nesse dia, as temperaturas internas observadas estiveram bastante próximas ao limite de desempenho intermediário, principalmente, porque não houve grande influência da cobertura isolada. As telhas *shingle* isoladas atuam refletindo a radiação solar através do *foil* de alumínio e como, nesse dia, a radiação solar era muito baixa, não se devendo a esse fator a temperatura externa elevada, o isolamento da cobertura não exerceu atuação suficiente para manter amena a temperatura do ambiente, sendo o sistema EIFS insuficiente, nesse caso.

6.3.2.3 Observações relativas à sequência de medições

De acordo com as especificações previstas na Norma de Desempenho, preferencialmente, as medições devem ocorrer em três dias seguidos e tomadas as medidas do terceiro dia. Porém, para as medições realizadas, o terceiro dia não registrou comportamento semelhante ao dia típico de verão, uma vez que houve baixa radiação solar, inclusive com ocorrência de pequena precipitação ao final das medições. O segundo dia observado é o período que mais se

assemelha ao dia típico de verão conforme descrito na tabela A.2 da NBR 15.575-1/2013, tendo sido registrada máxima temperatura externa de 33,5°C, na primeira rodada de medições. Esse dia foi precedido também por um dia semelhante ao dia típico de verão, tendo ocorrido, no dia 06 de março, a temperatura externa máxima de 32,5°C na tomada de medições realizada. Assim, para fins de análise das piores situações de temperatura máxima, com base nas medições realizadas, o dia 07 de março pode ser considerado o dia de referência.

Em relação ao comportamento observado dos ambientes da edificação individualmente, nos três dias observados, o dormitório 3 apresentou os valores de temperatura interna mais elevados, mais próximos da temperatura externa medida. Identifica-se, dessa forma, a fachada norte como sendo a mais quente, podendo esse fato ser devido à ventilação natural projetada de forma insuficiente, não conseguindo, assim, o sistema EIFS agir com o mesmo nível de eficiência dos demais ambientes.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse trabalho teve como objetivo principal a avaliação do desempenho térmico que edificações em *Light Steel Frame*, isoladas externamente com EIFS, podem alcançar em dias típicos de verão, conforme descrito na Norma de Desempenho. Para tanto, foram realizadas verificações na casa decorada de um condomínio residencial, situado na cidade de Canoas/RS. Tais verificações se deram através dos procedimentos 1 e 2 descritos na NBR 15.575/2013, sem que tenha sido abordado o método de simulação computacional.

As análises e conclusões aqui apresentadas não devem ser tomadas como verdades absolutas, sendo válidas apenas para o caso analisado, nas condições avaliadas; uma vez que foram usados dados específicos dos materiais empregados na edificação referência desse estudo e analisados para os dias específicos em que ocorreram rodadas de medições. Assim, os próximos itens apresentam as análises realizadas para cada procedimento avaliado, assim como algumas discussões sobre dificuldades encontradas para aplicação da Norma e recomendações para trabalhos futuros.

7.1 QUANTO AOS CÁLCULOS DAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

No que diz respeito às propriedades dos materiais avaliadas, a edificação em estudo, como demonstrado anteriormente, não atendeu ao requisito normativo referente à capacidade térmica. O não atendimento se deu devido à exigência da NBR 15.220/2005, a qual determina que, para paredes que apresentam em sua composição material isolante com determinadas características, todos os elementos, a partir do material isolante, devem ser desconsiderados no cálculo da capacidade térmica. Essa determinação se deve ao fato de os elementos localizados além do material isolante não possuírem real efeito sobre a capacidade térmica, uma vez que as trocas de calor são bloqueadas no próprio isolante, nos dois sentidos. No entanto, em relação à transmitância térmica, o requisito foi atendido com facilidade. A Norma não deixa claro, de fato, se as esquadrias devem ser consideradas ou não no cálculo das propriedades dos materiais. Embora, praticamente, todos os exemplos de cálculo trazidos em seu texto apresentem formulações para composições heterogêneas, em nenhum trecho fica clara essa consideração ou não. Assim, nesse trabalho, foram avaliados os efeitos, para as

propriedades dos sistema de vedação tanto considerando-se as esquadrias quanto para o caso em que essas não são levadas em conta.

Em relação aos cálculos envolvendo o efeito das esquadrias, embora os valores tenham resultado, para ambas as propriedades, insatisfatórios, esses não podem ser comparados de forma direta aos valores de referência indicados pela Norma, uma vez que, para tais referências, não são considerados os efeitos de janelas e portas. Logo, não é aconselhável que os valores sejam comparados, pois avaliam o sistema de maneiras distintas. O método de cálculo adotado pela NBR 15.575/2013, no qual são descartadas as aberturas, para fins de cálculos de transmitância térmica e capacidade térmica, não representa a realidade das edificações, uma vez que construções residenciais dificilmente são constituídas somente de paredes externas homogêneas, sem aberturas.

Os resultados obtidos para a avaliação conforme descreve a Norma de Desempenho não apontam, de forma definitiva, que o sistema construtivo seja ineficiente a fim de proporcionar adequado conforto térmico aos ambientes. Assim, para que uma avaliação mais detalhada fosse possível, a edificação em estudo foi submetida à verificação global de seu desempenho em uso , através de medições *in loco*.

7.2 QUANTO ÀS MEDIÇÕES REALIZADAS

Para avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo, por uma visão global, essa foi submetida a medições *in loco* de temperaturas. As medições não foram realizadas, de uma forma geral, dentro de condições ideais, o que acarreta em resultados de mais baixa confiabilidade e precisão. Alguns dos fatores que influenciaram a qualidade dos dados são:

- a) época do ano dos dias medidos;
- b) clima e temperatura dos dias medidos;
- c) possível imprecisão na localização do instrumento nos ambientes;
- d) existência de fontes geradoras de calor nos ambientes avaliados.

Além disso, durante os dias em que ocorreram as medições, a edificação teve seu uso alterado de diversas maneiras, inclusive no que se refere a fontes geradoras de calor. Como a casa estudada não pôde ser controlada em tempo integral, em alguns momentos, os equipamentos de ar condicionado foram ligados e a área de abertura para ventilação natural foi alterada com

frequência, o que interfere de forma significativa no ciclo natural dos materiais que compõem as vedações verticais externas. O fato de os três dias de medições não terem sido caracterizados integralmente como dias típicos de verão, principalmente, no que se refere ao último dia de medição, também pode ser avaliado como significativo na alteração de tal ciclo, influenciando fortemente os resultados obtidos nas medições.

Os dados colhidos, embora sujeitos à influência dos fatores citados, podem ser válidos para verificação de desempenho térmico, uma vez que estão submetidos tanto a fatores que influenciaram positivamente como negativamente nos resultados. Em condições ideais, aconselha-se que as medições tivessem sido realizadas nos meses de janeiro e fevereiro, com valores superiores de temperatura externa, radiação solar mais intensa e por um período de observação maior, assim como, preferencialmente, contínuo. Contudo, o fato de existirem fontes geradoras de calor no interior da edificação pode ter alterado negativamente a temperatura interna dos ambientes. Apesar disso, pode-se considerar que os valores obtidos são bastante fiéis ao desempenho em uso da edificação, principal objetivo da Norma de Desempenho.

Foi possível observar, a partir das medições realizadas, que no dia de temperatura inferior, o sistema teve um comportamento semelhante ao esperado para dias mais frios, dificultando que os ambientes internos perdessem calor para o lado externo. Comercialmente e, conforme indicado pelos próprios fabricantes dos componentes do sistema EIFS utilizado na casa decorada, o sistema tende a ter melhor comportamento nos dias semelhantes aos de inverno; sendo comumente utilizado em países de clima frio. Nesses dias, as perdas para o ambiente externo ocorrem principalmente devido à formação de pontes térmicas entre os perfis de aço galvanizado do *Steel Frame*, porém, em climas quentes e úmidos o efeito das pontes térmicas não é significativo, não sendo o sistema EIFS recomendado para regiões que possuem clima com tais características. Porém, para o caso da zona bioclimática 3, que conta com períodos considerados intensos de frio para o território brasileiro, o sistema pode ser considerado eficiente para atendimento à demanda de isolamento térmico.

Ainda que estudos indiquem que o conforto térmico médio dos usuários ocorra em temperaturas inferiores a 28°C, para condições de verão, de acordo com as indicações da Norma de Desempenho, os ambientes das edificação estudada situaram-se na zona de desempenho satisfatório, mesmo sendo observadas temperaturas superiores a esse valor, uma

vez que a avaliação se dá através de comparação direta com a temperatura externa medida. Assim, as edificações em *Light Steel Frame* isoladas externamente com EIFS podem, ao menos para a zona bioclimática analisada, representar uma opção para concepção de projetos que atendam aos requisitos de desempenho térmico da NBR 15.575/2013.

7.3 DIFICULDADES NA APLICAÇÃO DA NBR 15.575/2013

O novo texto da Norma passou por diversas discussões e reavaliações, até o fechamento final, sendo publicado em fevereiro de 2013. Como a Norma de Desempenho é bastante abrangente, tratando de vários aspectos das edificações habitacionais, segundo avaliação de diversos especialistas, algumas questões tratadas carecem de maiores esclarecimentos ou, até mesmo, de mais clareza para determinados procedimentos. Nesse trabalho, foram encontradas algumas dificuldades de compreensão para aplicação de suas determinações, havendo margens para diversas interpretações, o que pode acarretar em diferentes conclusões dependendo da avaliação realizada.

Referente às propriedades térmicas avaliadas para as vedações verticais externas da edificação em estudo, ressalta-se que no cálculo de ambas as propriedades, conforme recomendações da NBR 15.575/2013, não fica claro se devem ser levadas em consideração as aberturas existentes em cada ambiente, ou seja, a Norma não expõe de forma objetiva se as paredes são consideradas como um grande pano cego, ou se as esquadrias, de fato, devam ser consideradas nos cálculos; sendo esses realizados de forma similar aos exemplos trazidos na NBR 15.220/2005, como, por exemplo, para uma parede de tijolos rebocados em ambas as faces, onde são considerados os efeitos do material do bloco cerâmico e da argamassa, de forma ponderada. Em todos os ambientes avaliados, as fachadas possuíam ventilação natural através das esquadrias de PVC utilizadas. O fato de existirem tais esquadrias, conforme demonstraram os cálculos que levaram em conta tais elementos, elevou a transmitância e reduziu a capacidade térmica da edificação. Tais resultados, no entanto, poderiam ser observados em edificações não só de *Steel Frame*, como de qualquer sistema construtivo analisado, uma vez que, na maioria das vezes, os ambientes possuem ventilação através de esquadrias, independente do tipo de projeto. Essa observação pode ser considerada uma limitação da avaliação de conforto térmico proporcionado pelas edificações realizada pela Norma de Desempenho; uma vez que, levar em conta a presença de esquadrias, confere maior

fidelidade aos referenciais de comparação, uma vez que representa a realidade de uma construção.

Ainda no que se refere à avaliação de desempenho térmico através da capacidade e da transmitância térmica, embora, a partir de outros trechos no texto possa ser entendido, o item 11.2 da parte 4 da NBR 15.575/2013 deixa margem para dúvidas a respeito de quais critérios avaliar para que se considere o desempenho mínimo. No item citado, que trata de requisito para adequação das paredes externas, a Norma indica que as paredes devem: “Apresentar transmitância e capacidade térmica que proporcionem pelo menos o desempenho térmico mínimo estabelecido em 11.2.1 para cada zona bioclimática estabelecida na ABNT NBR 15.220/3.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b, p. 26). O correto seria que, nesse trecho, a Norma dissesse que o desempenho térmico avaliado é o estabelecido em 11.2.1 e em 11.2.2, uma vez que o item 11.2.1 trata apenas da transmitância térmica, sendo tratada a capacidade térmica no item 11.2.2 da referida Norma.

No que se refere às medições a serem realizadas para avaliação global do desempenho da edificação, embora haja um anexo específico para essa verificação, acabam restando muitas dúvidas de ordem prática no momento das medições, como, por exemplo, a definição de faixa horária para que as medições sejam realizadas e a área de ventilação natural recomendada para os ambientes avaliados no momento das medições. Além disso, a definição dos dias típicos de verão e inverno também deixa dúvidas quanto aos dias medidos, se podem ser enquadrados ou não, uma vez que não há uma definição exata do quão próxima a temperatura do dia medido deva estar daquelas determinadas para os dias típicos.

A avaliação que se faz é a de que, quando há um texto normativo, como é o caso da Norma de Desempenho, para diversos itens, esse deve ser claro, objetivo e não deve deixar margens para interpretações diversas. Que funcione como um passo-a-passo, facilitando a execução de procedimentos de avaliação. Porém, no caso das avaliações de desempenho térmico realizadas nesse trabalho, encontraram-se muitos trechos vagos, sem definição clara para os procedimentos adotados, o que dificultou a aplicação da NBR 15.575/2013, tendo ficado claro que, tanto o procedimento de cálculo das propriedades, quanto o método de medição *in loco*, mostraram-se confusos e carecem de maiores especificações e detalhamentos para representar o real desempenho das edificações.

Foi observado, através do estudo da edificação de referência, que a capacidade térmica das paredes externas não é um fator absolutamente determinante para a obtenção de determinadas temperaturas internas, já que essas dependem de inúmeros outros fatores, os quais podem ser tratados de diversas maneiras, através de decisões tomadas em projeto. Da mesma forma, a transmitância térmica global de uma parede, exclusivamente, não pode determinar o nível de conforto interno do ambiente. Assim, não é aconselhável que o projetista limite sua capacidade criativa a coeficientes de transmissão e capacidade térmica, podendo empregar uma série de alternativas mais eficientes, tais como sistemas de ventilação cruzada controlada, sombreamento externo e interno, paredes trombe, recuperação do calor de ventilação, resfriamento e aquecimento passivos do ar de ventilação natural, entre outras.

Assim sendo, o procedimento de simulação computacional pode ser indicado como o mais adequado para verificação das temperaturas resultantes nos ambientes de permanência prolongada, levando-se em conta todas as características e decisões de projeto. Dessa forma, o procedimento de avaliação do desempenho térmico através de simulações computacionais pode assumir papel preponderante para a obtenção de resultados mais aproximados da realidade, tendo-se como resultado ambientes internos mais confortáveis aos usuários.

7.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para os próximos trabalhos, pode-se recomendar que as avaliações de desempenho térmico contem com o método de simulação computacional e que, no caso de medições *in loco*, essas sejam realizadas em condições mais próximas das consideradas ideais, assim como os dados sejam coletados também para dias semelhantes aos típicos de inverno, para comprovação do que foi informado pelos fabricantes dos componentes do sistema EIFS. Sugere-se ainda que o sistema seja avaliado em outras zonas bioclimáticas e que, no caso de haver protótipo ou edificação já construída, essa possua ambientes com orientação solar conforme recomendado pela NBR 15.575/2013.

No que diz respeito às medições, pode ser relevante a comparação de projetos semelhantes em *Light Steel Frame*, isolados com sistema EIFS, e em alvenaria convencional ou mesmo em blocos estruturais. Podendo, ainda, ser realizada uma comparação do ciclo de vida dos componentes dos sistemas construtivos citados, o que ajudaria a esclarecer questões referentes à sustentabilidade desses.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15253**: perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados em edificações: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2005a.

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

_____. **NBR 15220-2**: desempenho térmico de edificações – parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005c.

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

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

CICHINELLI, G. C. Aço leve. **Revista Construção Mercado**, São Paulo, Pini, n. 125, p. 62-66, dez. 2011.

CONSTRUTORA SEQUÊNCIA LTDA. **Obras Residenciais**. São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.construtorasequencia.com.br/Site_Residenciais/Capital%20Ville/005.htm>. Acesso em: 1 dez. 2012.

CRASTO, R. C. M. **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: light steel frame**. 2005. 231 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

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

_____. **Steel Framing**: Arquitetura. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006b.

DE VECCHI, R. **Condições de conforto térmico e aceitabilidade da velocidade do ar em salas de aula com ventiladores de teto para o clima de Florianópolis/SC**. 2011. 142 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 8 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2009.

FUTURENG. **ETICS**. [S. l.], 2009. Disponível em: <<http://www.futureng.pt/etics>>. Acesso em: 3 nov. 2012.

GOOGLE MAPS. [**Canoas, RS**]. [S. l.], 2013. Disponível em: <<https://maps.google.com.br>>. Acesso em 27 maio 2013.

GOMES, A. P. **Avaliação do desempenho térmico de edificações unifamiliares em *light steel framing***. 2007. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

GRUPO MEDABIL. **Construção em tempo recorde**. Canoas, 2011. Disponível em: <<http://construcaoemtemporecorde.com.br/category/diariodaobra/>>. Acesso em: 24 nov. 2012.

JARDIM, G. T. C.; CAMPOS, A. S. ***Light Steel Framing*: uma aposta do setor siderúrgico no desenvolvimento tecnológico da construção civil**. São Paulo: CBCA, [2005]. Disponível em: <<http://www.cbca-iabr.org.br/upfiles/downloads/apresent/SteelFramingCBCA.pdf>>. Acesso em: 5 nov. 2012.

KISS, P. **Steelcon adapta sistema *steel frame* ao estilo brasileiro de construir**. PINIWEB, 14 set. 2007. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/steelcon-adapta-sistema-steel-frame-ao-estilo-brasileiro-de-construir-78504-1.asp>>. Acesso em: 25 nov. 2012.

LP BRASIL INDÚSTRIA E COMÉRCIO SA. **OSB**. Curitiba, [2012]a. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/osb/Index.asp>>. Acesso em: 23 nov. 2012.

_____. **Siding Vinílico**. Curitiba, [2012]b. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/produtos/lp-siding-vinilico.html>>. Acesso em: 27 maio 2013.

_____. **TECHSHIELD**. Curitiba, [2012]c. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/produtos/lp-techshield.html>>. Acesso em: 13 abr. 2013.

MILAN, G. S.; NOVELLO, R. V.; REIS, Z. C. de. A viabilidade do sistema *Light Steel Frame* para construções residenciais. **Revista Gestão Industrial**, Paraná: UTFPR Campus Paraná, v. 7, n. 1, p. 190-209, mar. 2011. Disponível em: <<http://revistas.utfpr.edu.br/pg/index.php/revistagi/article/view/538/647>>. Acesso em: 24 nov. 2012.

PALATINIK, S. ***Steel Framing*: versatilidade na construção industrializada**. In.: ENCONTRO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 84., 2012, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: COMAT/CBIC, 2012. Não paginado. Disponível em: <http://www.cbic.org.br/sites/default/files/4-Steel_Frame_Sidnei_Palatnik_Comat_84ENIC_0.pdf>. Acesso em: 25 maio 2013.

PENNER, E.; WARKENTIN, F.; HAMM, R. Análise do desempenho estrutural de módulos de *Wood Frame*. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 19, n. 171, p. 60-63, jun. 2011.

PEREIRA JÚNIOR, C. J. **Edifícios de pequeno porte contraventados com perfis de chapa fina de aço**. 2004. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

PINTO, M. A. V. **Avaliação térmica de edifícios em estrutura metálica**. 2000. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2000.

REIS, P., BLANCO, M. O que muda para cada agente. **Revista Construção Mercado**, São Paulo, Pini, n. 106, p. 36-39, maio 2010.

RODRIGUES, F. C. **Steel Framing**: Engenharia. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006.

SALES, U. C. **Mapeamento dos problemas gerados na associação entre sistemas de vedação e estrutura metálica e caracterização acústica e vibratória de painéis de vedação**. 2001. 249 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001.

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

SMART SISTEMAS CONSTRUTIVOS INTELIGENTES. **Perfil Metálico**. Ponta Grossa, [2011]. Disponível em:
<http://www.smartsistemasconstrutivos.com.br/produtos/steel_framming>. Acesso em: 13 abr. 2013.

TERNI, A. W.; SANTIAGO, A. K.; PIANHERI, J. *Steel frame* – fundações (parte 1). **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 16, n. 135, p. 77-80, jun. 2008.

XAVIER, A. A. de P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis**. 1999. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.