UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO

SIMONE MESQUITA ÁLVARES

**Desempenho térmico de habitações do PMCMV em paredes de concreto:
estudo de caso em São Carlos-SP e diretrizes de projeto para a Zona
Bioclimática 4**

São Carlos

2018

SIMONE MESQUITA ÁLVARES

**Desempenho térmico de habitações do PMCMV em paredes de concreto:
estudo de caso em São Carlos-SP e diretrizes de projeto para a Zona
Bioclimática 4**

Dissertação apresentada ao Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Profa. Dra. Kelen Almeida Dornelles

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2018

AUTORIZO A REPRODUCAO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRONICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Instituto de Arquitetura e Urbanismo
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

AAL473
d Alvares, Simone Mesquita
 Desempenho térmico de habitações do PMCMV em
paredes de concreto: estudo de caso em São Carlos-SP
e diretrizes de projeto para a Zona Bioclimática 4 /
Simone Mesquita Alvares; orientadora Kelen Almeida
Dornelles. -- São Carlos, 2018.
 143 p.

 Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Arquitetura e Urbanismo, Arquitetura, Urbanismo e
Tecnologia -- Instituto de Arquitetura e Urbanismo,
Universidade de São Paulo, 2018.

 1. Habitação de interesse social. 2. Desempenho
térmico. 3. Conforto térmico. 4. Parede de concreto.
I. Dornelles, Kelen Almeida, orient. II. Título.

Bibliotecária responsável pela estrutura de catalogação da publicação de acordo com a AACR2:
Brianda de Oliveira Ordonho Sígolo - CRB - 8/8229

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Simone Mesquita Álvares**

Título da dissertação: **"Desempenho térmico de habitações do PMCMV em paredes de concreto: estudo de caso em São Carlos-SP e diretrizes de projeto para a Zona Bioclimática 4"**.

Data da defesa: **13/06/2018**

Orientador: **Profa. Dra. Kelen Almeida Dornelles**

Comissão Julgadora:

Resultado:

Profa. Dra. Kelen Almeida Dornelles
(IAU/USP)

Não votante

Profa. Dra. Marieli Azoia Lukiantchuki
(UEM)

Profa. Dra. Lucila Chebel Labaki
(FEC/UNICAMP)

Profa. Dra. Helenice Maria Sacht
(UNILA)

Coordenadora e Presidente da Comissão de Pós-Graduação do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo: **Prof. Dr. Tomás Antonio Moreira.**

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Prof. Dra. Kelen Almeida Dornelles, que muito me ensinou e incentivou contribuindo para o meu crescimento científico e pessoal.

À Prof. Dra. Rosana Maria Caram, Prof. Dra. Lucila Chebel Labaki e Prof. Dra. Karin Maria Soares Chavtal, pelas suas construtivas colaborações ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Gostaria também de agradecer a gentileza de todos os entrevistados durante a pesquisa, os quais foram, sem dúvida, fundamentais para as conclusões obtidas.

Às minhas colegas, Bojana Galusic e Nayara Marucci pela amizade e pela importante ajuda com as pesquisas em campo.

Ao Laboratório de Conforto Ambiental da Universidade de São Paulo pelo apoio com os equipamentos necessários para realização dessa pesquisa.

Ao meu noivo, Aliel, pela paciência e por estar sempre ao meu lado, me ajudando em todos os momentos.

Aos meus pais, Lourdes e Otávio, por sua torcida e apoio incondicionais.

À CAPES pelo apoio e fomento a este trabalho de pesquisa.

RESUMO

ALVARES, S. M. **Desempenho térmico de habitações do PMCMV em paredes de concreto: estudo de caso em São Carlos-SP e diretrizes de projeto para a Zona Bioclimática 4**. 2018. 143 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

O atual programa de contenção do déficit habitacional brasileiro, Minha Casa Minha Vida, criado em 2009, apesar de numericamente significativo, apresenta uma série de complicações e inadequações. Um importante exemplo é a inadequação das construções à Zona Bioclimática na qual o projeto é construído. Diante desse fato, o conforto térmico do usuário deixa a desejar pois os ambientes são desconfortáveis e nada sustentáveis do ponto de vista ambiental. Neste contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho térmico de habitações de interesse social do PMCMV na Zona Bioclimática 4 construídas com paredes de concreto armado moldadas no local, técnica de rápida execução que vem sendo utilizada em larga escala no país; complementarmente, foi analisada a percepção do usuário frente às condições de conforto térmico em um desses residenciais. A avaliação do desempenho térmico das habitações foi feita com base nos regulamentos nacionais NBR 15220 e NBR 15575 em seus procedimentos simplificados; para avaliar a ventilação, via método de visualização de escoamento (mesa d'água) e a insolação, via simulação computacional de horas de sombreamento com auxílio de cartas solares; para a avaliação da percepção do usuário frente ao conforto térmico, foram feitas pesquisas de campo em um dos empreendimentos de habitações sociais na zona em estudo tendo como base os questionários ASHRAE 55 juntamente com coleta de dados climáticos de temperatura e umidade relativa e com levantamento de modificações projetuais. A partir dos dados coletados, pôde-se confirmar objetivamente a inadequação aos limites mínimos estabelecidos pelas normas de desempenho térmico nos parâmetros de vedação vertical e cobertura. Em entrevista com os moradores, as casas foram consideradas desconfortáveis termicamente no inverno e verão. A partir do diagnóstico das alterações nos projetos, nota-se que a maior parte das casas sofrem alterações para maior adequação à vida dos moradores, essas que se tornam responsáveis pelo desconforto térmico. Fica evidente a necessidade do aumento da inércia térmica do sistema construtivo, para futuras casas construídas com o referido sistema além da necessidade de um plano de expansão da moradia que oriente o morador a fazer modificações que não prejudiquem o desempenho térmico do edifício e o conforto térmico dos habitantes.

Palavras-chave: Habitação de interesse social. Desempenho térmico. Conforto térmico. Parede de concreto.

ABSTRACT

ALVARES, S. M. **Thermal Sensation in Low-income Brazilian houses built in Concrete Walls.** 2018. 143 f. Master's of Science Thesis (MSc in Architecture and Urbanism) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

The current Brazilian low-income housing program, named Minha Casa Minha Vida, was created in 2009 by the Brazilian government and despite being numerically significant, it has many significant issues that affect its quality. One important example is the used construction methods that do not take into account the climate or the bioclimatic zones where the houses are located resulting in energy efficiency, environmental and thermal comfort issues. This work is developed in this context and aims to evaluate the objective and subjective thermal performance of the houses built in the Zone 4 with reinforced concrete walls molded in place, which is a widespread construction technique within the studied program. Thermal performance of the dwellings was analyzed in the light of the Brazilian regulation norm NBR15220 and NBR 15575. Surveys based on ASHRAE 55 norm were conducted to evaluate the user's thermal comfort perception and in situ measurements were taken at the studied bioclimatic zone. From the data collected, we conclude that the houses do not meet the norm limits and that they are also subjectively uncomfortable, during summer and winter. As means to increase comfort, we note that all houses dwellers modified their houses making it clear that future houses should have more thermal inertia and that, as the program expands, dwellers should be instructed to not make construction changes that might affect their thermal comfort.

Keywords: Low-income houses. Thermal performance. Thermal comfort. Concrete wall.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Planta Baixa do conjunto residencial Realengo

Figura 2 – Planta Baixa do conjunto residencial Cachambi

Figura 3 – Conjunto residencial Pedregulho (Planta Baixa de apartamento tipo duplex (a) e apartamento de um dormitório (b))

Figura 4 – Planta baixa do conjunto residencial Lagoinha

Figura 5 – Planta baixa do conjunto residencial Areal

Figura 6 - Exemplo de Tipologia 1 Faixa 1

Figura 7 - Exemplo de Tipologia 2 Faixa 1

Figura 8 - Diagrama do Conforto Térmico Humano WMO (adaptado)

Figura 9 - Zona de conforto em edifícios com ventilação natural (adaptado)

Figura 10 - Carta Bioclimática Adaptada de Olgyay

Figura 11 - Carta Bioclimática adaptada de Givoni

Figura 12 – Modelo real de sombra em escala

Figura 13 – Modelo SketchUp 5.0 ensaio de sombra

Figura 14 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro (adaptado)

Figura 15 - Zona Bioclimática 4

Figura 16 - Carta bioclimática da Zona Bioclimática 4

Figura 17 - Casas feitas em parede de concreto moldada no local

Figura 18 – Desenho esquemático do sistema de parede de concreto moldada no local

Figura 19 - Comprimento equivalente l_e e esquema de dimensões mínimas previstas em norma

Figura 20 – Fluxograma do Método

Figura 21 – Empreendimento A

Figura 22 – Empreendimento B

Figura 23 – Empreendimento C

Figura 24 – Empreendimento D

Figura 25 – Empreendimento E

Figura 26 - Classificação bioclimática de Ribeirão Preto (ZBBR)

Figura 27 – Implantação Empreendimento A (adaptada)

Figura 28 – Planta Pavimento Tipo - Empreendimento A (adaptado)

Figura 29 – Planta de cobertura - Empreendimento A (adaptado)

Figura 30 – Corte BB - Empreendimento A (adaptado)

Figura 31 - Classificação bioclimática de São Carlos – SP (ZBBR)

Figura 32 – Implantação - Empreendimento B

Figura 33 – Planta - Empreendimento B

Figura 34 – Corte AA - Empreendimento B

Figura 35 – Corte BB - Empreendimento B

Figura 36 – Implantação - Empreendimento C

Figura 37 - Planta baixa - 2 Dormitórios - Empreendimentos C e D (adaptado)

Figura 38 - Planta baixa - 3 Dormitórios - Empreendimentos C e D (adaptado)

Figura 39 – Implantação Empreendimento D (adaptada)

Figura 40 – Implantação - Empreendimento E (adaptado)

Figura 41 – Planta - Empreendimento E (adaptado)

Figura 42 – Planta Cobertura - Empreendimento E (adaptado)

Figura 43 – Corte CC - Empreendimento E (adaptado)

Figura 44 – Interface do Plug-in Sun Hours dentro do SketchUP (versão 2016)

Figura 45 – Interface do Plug-in Shadow Analysis dentro do SketchUP (versão 2016)

Figura 46 – Mesa D'água

Figura 47 – Maquete Empreendimento A

Figura 48 – Maquete Empreendimento B

Figura 49 – Maquete Empreendimento C

Figura 50 – Maquete Empreendimento D

Figura 51 – Maquete Empreendimento E

Figura 52 - Direção Predominante dos Ventos em Franca – SP, adotado para Ribeirão Preto – SP

Figura 53 - Direção Predominante dos Ventos em São Carlos – SP

Figura 54 – Implantação do Empreendimento E com marcação das casas medidas (adaptada)

Figura 55 – Planta baixa com indicação do local dos equipamentos (adaptada)

Figura 56 – Equipamentos HOBO

Figura 57 – Sensores instalados na Casa A – Empreendimento E

Figura 58 – Sensores instalados na Casa B – Empreendimento E

Figura 59 – Sensores instalados Casa C – Empreendimento E

Figura 60 – Ensaio de Ventos Empreendimento A

Figura 61 – Ensaio de Ventos Empreendimento B

Figura 62 – Ensaio de Ventos Empreendimento C

Figura 63 – Ensaio de Ventos Empreendimento D

Figura 64 – Ensaio de Ventos Empreendimento E

Figura 65 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 7h Fachada Norte (verão)

Figura 66 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 17h Fachada Norte (verão)

Figura 67 – Representação da Trajetória Solar - Julho 7h Fachada Norte (inverno)

Figura 68 – Representação da Trajetória Solar - Julho 17h Fachada Norte (inverno)

Figura 69 – Insolação - Fevereiro Fachada Norte

Figura 70 – Insolação - Julho Fachada Norte

Figura 71 – Insolação – Fevereiro Fachada Sul

Figura 72 – Insolação – Julho Fachada Sul

Figura 73 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 7h Fachada Noroeste (verão)

Figura 74 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 17h Fachada Noroeste (verão)

Figura 75 – Representação da Trajetória Solar - Julho 7h Fachada Noroeste (inverno)

Figura 76 – Representação da Trajetória Solar - Julho 17h Fachada Noroeste (inverno)

Figura 77 – Insolação - Fevereiro Fachada Noroeste

Figura 78 – Insolação - Julho Fachada Noroeste

Figura 79 – Insolação - Fevereiro Fachada Sudeste

Figura 80 – Insolação - Julho Fachada Sudeste

Figura 81 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 7h Fachada Noroeste (verão)

Figura 82 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 17h Fachada Noroeste (verão)

Figura 83 – Representação da Trajetória Solar - Julho 7h Fachada Noroeste (inverno)

Figura 84 – Representação da Trajetória Solar - Julho 17h Fachada Noroeste (inverno)

Figura 85 – Insolação - Fevereiro Fachada Noroeste

Figura 86 – Insolação - Julho Fachada Noroeste

Figura 87 – Insolação - Fevereiro Fachada Sudeste

Figura 88 – Insolação - Julho Fachada Sudeste

Figura 89 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 7h Fachada Nordeste (verão)

Figura 90 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 17h Fachada Nordeste (verão)

Figura 91 – Representação da Trajetória Solar - Julho 7h Fachada Nordeste (inverno)

Figura 92 – Representação da Trajetória Solar - Julho 17h Fachada Nordeste (inverno)

Figura 93 – Insolação - Fevereiro Fachada Nordeste

Figura 94 – Insolação - Julho Fachada Nordeste

Figura 95 – Insolação – Fevereiro Fachada Sudoeste

Figura 96 – Insolação - Julho Fachada Sudoeste

Figura 97 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 7h Fachada Nordeste (verão)

Figura 98 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 17h Fachada Nordeste (verão)

Figura 99 – Representação da Trajetória Solar - Julho 7h Fachada Nordeste (inverno)

Figura 100 – Representação da Trajetória Solar - Julho 17h Fachada Nordeste (inverno)

Figura 101 – Insolação – Fevereiro Fachada Nordeste

Figura 102 – Insolação - Julho Fachada Nordeste

Figura 103 – Insolação - Fevereiro Fachada Sudoeste

Figura 104 – Insolação – Julho Fachada Sudoeste

Figura 105 - Exemplo de casa Sem Modificação – Empreendimento E

Figura 106 - Exemplo de casa Pouco Modificada– Empreendimento E

Figura 107 - Exemplo de casa Modificada– Empreendimento E

Figura 108 – Levantamento das residências – nível de alterações

Figura 109 – Tipo 1 de modificações – Empreendimento E

Figura 110 – Tipo 2 de modificações – Empreendimento E

Figura 111 – Tipo 3 de modificações – Empreendimento E

Figura 112 – Tipo 4 de modificações – Empreendimento E

Figura 113 – Tipo 5 de modificações – Empreendimento E

Figura 114 – Tipo 6 de modificações – Empreendimento E

Figura 115 – Tipo 7 de modificações – Empreendimento E

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Mudanças projetuais Fase 1, 2 e 3 do PMCMV (adaptada)

Tabela 2 - Aberturas para ventilação

Tabela 3 - Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico

Tabela 4 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar admissíveis para cada tipo de vedação externa

Tabela 5 - Transmitância térmica de parede externa

Tabela 6 - Capacidade térmica de parede externa

Tabela 7 - Abertura para ventilação em dormitórios e sala de estar

Tabela 8 - Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica

Tabela 9 - Dados da temperatura e pluviosidade de Ribeirão Preto (2017)

Tabela 10 - Limites de temperatura para conforto térmico (ASHRAE 55) – São Carlos 2017

Tabela 11 - Comparação dos resultados com os limites da norma do Empreendimento A para vedações verticais

Tabela 12 - Comparação dos resultados com o limite da norma nos Empreendimentos B, C, D, E para vedações verticais

Tabela 13 - Comparação dos resultados com o limite da norma para o Empreendimento A para cobertura

Tabela 14 - Comparação dos resultados com o limite da norma nos Empreendimentos B,C,D,E para cobertura

Tabela 15 - Comparação dos resultados com o limite da norma no Empreendimento A para aberturas para ventilação

Tabela 16 - Comparação dos resultados com o limite da norma nos Empreendimentos B, C, D, E, para aberturas para ventilação

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperaturas médias mensais (INMET) São Carlos – SP 2017

Gráfico 2 - Umidade média mensal (INMET) São Carlos – SP 2017

Gráfico 3 - Qual o cômodo de maior estadia?

Gráfico 4 - Qual a orientação solar da sua casa?

Gráfico 5 - Quais itens você utiliza para melhorar a sensação térmica?

Gráfico 6 - Qual a causa da sensação de desconforto no frio ou no calor?

Gráfico 7 - Qual sua satisfação com a temperatura interna geral da sua casa?

Gráfico 8 - Como você classifica a sensação térmica dentro da sua casa no Calor-Verão?

Gráfico 9 - Como você classifica a sensação térmica dentro da sua casa no Frio-Inverno?

Gráfico 10 - Em qual período você percebe o desconforto?

Gráfico 11 - Vestimentas (Junho-Inverno)

Gráfico 12 - Como você está se sentindo no momento (Junho – Inverno)

Gráfico 13 - Qual cômodo da casa você estava (Junho – Inverno)

Gráfico 14 - Nível de atividade (Junho – Inverno)

Gráfico 15 - Vestimentas (Outubro-Verão)

Gráfico 16 - Como você está se sentindo no momento (Outubro-Verão)

Gráfico 17 - Qual cômodo da casa você estava (Outubro-Verão)

Gráfico 18 - Nível de atividade (Outubro-Verão)

Gráfico 19 - Distribuição das Médias Diárias de Temperatura no Verão – Empreendimento E

Gráfico 20 - Distribuição das Médias Diárias de Temperatura no Inverno – Empreendimento E

Gráfico 21 - Distribuição das Médias Diárias de Umidade Relativa no Verão – Empreendimento E

Gráfico 22 - Distribuição das Médias Diárias de Umidade Relativa no Inverno – Empreendimento E

Gráfico 23 - Diagrama do Conforto Térmico Humano (adaptado)

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Síntese dos resultados do ensaio de ventilação

Quadro 2 - Síntese dos resultados de insolação dos empreendimentos

Quadro 3 - Temperatura Interna e Externa para Verão e Inverno (média de 10 dias)

Quadro 4 - Umidade Relativa Interna e Externa para Verão e Inverno (média de 10 dias)

Quadro 5 - Recomendações projetuais ZB4 - paredes de concreto moldadas no local

SUMÁRIO

<i>Capítulo 1</i>	25
1 Introdução	25
1.1 Contextualização e justificativa	25
1.2 Objetivos	27
1.3 Estrutura da Dissertação	27
<i>Capítulo 2</i>	29
2 Revisão Bibliográfica	29
2.1 A Habitação Social no Brasil	29
2.1.1 Problemas e iniciativas do PMCMV	35
2.1.2 Pesquisas sobre o PMCMV	41
2.2 Conforto Térmico	45
2.2.1 ASHRAE 55	47
2.2.2 Estratégias Construtivas para Conforto Térmico	50
2.3 Desempenho Térmico de Edificações	56
2.3.1 Regulamentos Brasileiros: Desempenho Térmico de Edificações	56
2.4 Sistema construtivo de paredes de concreto moldadas no local	65
2.4.1 O Sistema	65
2.4.2 NBR 16055 – Paredes de Concreto Moldada no Local	68
2.4.3 Críticas ao Sistema e a seu desempenho	70
<i>Capítulo 3</i>	73
3 Materiais e Métodos	73
3.1 Identificação de edificações construídas em parede de concreto na ZB4	74
3.1.1 Empreendimento A	76

3.1.2 Empreendimentos B, C, D, E	80
3.2 Ensaio de Insolação	96
3.3 Ensaio de Ventilação	101
3.4 Estudo de caso em São Carlos - SP	96
3.4.1 Levantamento em campo	96
3.4.2 Monitoramento das condições ambientais	96
3.4.3 Entrevistas.....	101
<i>Capítulo 4</i>	<i>103</i>
4 Resultados.....	103
4.1 Ensaios de Ventilação	103
4.2 Ensaios de Insolação	112
4.3 Desempenho Térmico das habitações.....	122
4.4 Estudo de Caso – Levantamento em Campo	127
4.4.1 Modificações ao projeto	128
4.4.2 Questionários	134
4.4.3 Medições in loco	143
<i>Capítulo 5</i>	<i>149</i>
5 Recomendações - Diretrizes de Projeto.....	149
5.1 Conclusões	151
Referências	153

Capítulo 1

1 Introdução

1.1 Contextualização e justificativa

A partir da década de 1930, período do início da Revolução Industrial no Brasil, houve intenso deslocamento da população rural para as cidades em busca de trabalho nas indústrias e de novas oportunidades de trabalho; por consequência, para comportar todo esse contingente populacional, surgiram crescentes demandas por infraestrutura, transporte e habitação nas cidades. Com o intuito de sanar o déficit habitacional já existente somado à população de baixa renda recém-chegada às cidades (BONDUKI, 1998) foram criados, em 1960, os programas governamentais de habitação de interesse social. Desde então, a população urbana no Brasil só tem crescido; estatísticas recentes mostram que a população total brasileira está 84,35% concentrada na zona urbana (IBGE, 2012), justificando ainda alta demanda por moradias.

O atual programa habitacional brasileiro é chamado Programa Minha Casa Minha Vida – PMCMV e criado pelo Ministério das Cidades em 2009. Tal programa foi considerado um dos maiores programas já existentes no país tanto no que diz respeito aos recursos disponibilizados, quanto à abrangência no território (BRASIL, 2011).

Segundo Rolnik et. al (2015), um importante problema do programa é que trata suas casas como um objeto único separado da implantação, com aspectos quantitativos e não qualitativos. Devido a este princípio o conforto térmico do usuário, dentre diversos outros itens, apresenta-se insatisfatório. Segundo Grzybowski (2004), o desconforto térmico é um dos fatores que mais gera reclamações dos usuários nos edifícios.

Desde os primórdios, o ser humano buscou proteger-se de intempéries através de abrigos que amenizassem a sensação de frio, calor e umidade. As residências devem oferecer condições compatíveis ao conforto humano no interior de seus edifícios independentemente da condição externa. O estado de conforto térmico é essencial, pois, dessa maneira o organismo funciona sem fadiga ou estresse, ou seja, as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem maior esforço garantindo melhores condições de vida e de saúde (RUAS, 1999).

Outro problema condizente à falta de análise do local no qual o projeto é implantado é relacionado com a eficiência energética da residência. Segundo dados do Balanço Energético Nacional de 2016 (EPE, 2017), os edifícios residenciais são responsáveis por 21,4% do consumo total de energia

elétrica utilizada no país, valor muito significativo se comparado com os outros setores. Desse total, uma grande parcela do consumo energético residencial vem do uso do ar condicionado (20%), da iluminação artificial (14%) e para aquecimento de água (24%), ou seja, residências com baixo desempenho térmico levam os habitantes a consumirem mais energia para reestabelecer a sensação de conforto térmico (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

A preocupação no Brasil com a economia de energia se intensificou em 2001 com a crise energética nacional. A partir desse ano instituiu-se formalmente a promoção da eficiência energética através da Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001 (BRASIL, 2001). Foram elaboradas normas, selos, regulamentações e programas de desempenho térmico nos diferentes contextos, dentre eles para as edificações. Os instrumentos regulamentadores para edificações surgiram na seguinte ordem: NBR 15220 (ABNT, 2005a) que estabelece um zoneamento bioclimático brasileiro abrangendo um conjunto de recomendações e estratégias construtivas, NBR 15575¹ (ABNT, 2008) norma de desempenho térmico e acústico para edificações de até cinco pavimentos, RTQ-R (BRASIL, 2012), regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais. Anteriormente às regulamentações nacionais, os parâmetros adotados tanto pelos fabricantes quanto pelos projetistas baseavam-se, na maioria das vezes, nos códigos de obras das cidades, que levavam em consideração apenas a área e o uso dos ambientes, desconsiderando-se as características dos materiais, a influência da orientação solar e os contextos climáticos gerais.

Os sistemas construtivos empregados pelo programa também são outro fator muito questionado. Um deles, e que teve sua normatização recente (2012), o sistema construtivo de parede de concreto moldada no local vem sendo utilizado em série por todo o território brasileiro pelo PMCMV. As justificativas de seu uso ao invés de um sistema construtivo tradicional se dão, principalmente, pelo rápido retorno do investimento e produtividade, razões essas que não garantem que o usuário tenha suas necessidades ou satisfação com o espaço atendidas. Salientando que a escolha de seu uso não tem relação alguma com o conforto térmico propiciado pelo sistema.

Devido à dimensão territorial e financeira do país, é considerável o impacto em torno do déficit habitacional e do consumo energético do programa habitacional e por essa razão é fundamental a realização de uma avaliação rigorosa para um possível melhor direcionamento dos critérios de produção de habitação de interesse social.

Em presença do contexto exposto, situa-se o tema desta pesquisa, que diz respeito à análise do desempenho térmico de conjuntos habitacionais do PMCMV construídos com o sistema de parede de concreto. Além dos estudos de casos dos empreendimentos, o trabalho conta com uma pesquisa de campo em um dos conjuntos habitacionais. O intuito é traçar um paralelo entre o conforto térmico

¹ Apesar de ter sido lançada em 2008, entrou em revisão em 2010 e passou a vigorar apenas em 2013.

do usuário, as normas de desempenho e a técnica construtiva para elaboração de orientações gerais para futuras construções que adotem o sistema construtivo em paredes de concreto moldadas no local em toda a Zona Bioclimática 4, visando o conforto térmico dos usuários e o adequado desempenho térmico das habitações.

1.2 Objetivos

O objetivo geral dessa pesquisa é a avaliação do desempenho térmico de habitações do PMCMV construídas em paredes de concreto e propor diretrizes projetuais que atendam às demandas de conforto térmico dos usuários na Zona Bioclimática 4.

Os objetivos específicos são:

- Identificar as diretrizes de projeto do PMCMV que impactam o desempenho térmico das habitações e o conforto dos usuários;
- Avaliar o desempenho térmico de um conjunto de habitações do PMCMV construídas em paredes de concreto, segundo os regulamentos NBR 15220 (ABNT, 2005a) e NBR 15575 (ABNT, 2013a) método simplificado.
- Identificar e avaliar a percepção dos usuários sobre o desempenho térmico e as condições de conforto em um empreendimento construído na cidade de São Carlos-SP, Zona Bioclimática 4.
- Identificar alterações de projeto realizadas por moradores neste empreendimento e os possíveis impactos sobre as condições de conforto térmico no interior das habitações.
- Apresentar recomendações projetuais para habitações construídas em paredes de concreto na Zona Bioclimática 4, que atendam às demandas de conforto térmico dos usuários.

1.3 Estrutura da Dissertação

A estrutura deste trabalho encontra-se dividida em cinco capítulos. Nesse primeiro capítulo é apresentada a introdução com justificativa do tema, a contextualização do estudo e os objetivos traçados.

No Capítulo 2, Revisão Bibliográfica, é abordado o panorama habitacional no Brasil apresentando um histórico de iniciativas governamentais e pesquisas já realizadas na área de conforto térmico e desempenho térmico nessas habitações. Em seguida é apresentado o conceito de conforto

térmico e desempenho térmico juntamente com suas normativas. O último tópico desse capítulo trata do sistema de parede de concreto moldada no local, sua norma reguladora e estudos já realizados sobre o sistema construtivo no contexto do desempenho térmico.

No Capítulo 3 são detalhados os materiais e métodos adotados para se atingir os objetivos desta pesquisa. Estes são: identificação de algumas edificações construídas em parede de concreto na Zona Bioclimática 4 pertencentes ao PMCMV no estado de SP; estudo de caso em São Carlos-SP com entrevistas, levantamento de campo e monitoramento das condições ambientais no verão e inverno.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados referentes aos empreendimentos da Zona Bioclimática 4 selecionados. Estes foram analisados com a abordagem de ensaio de ventilação, modelo de sombra simplificado, aferimento do desempenho térmico via NBR 15575 (ABNT, 2013a) e 15220 (ABNT, 2005a) e análise do projeto com foco no conforto térmico do morador. Dos cinco empreendimentos analisados um foi selecionado para pesquisa em campo e este é apresentado no fim desse capítulo com os resultados dos questionários de conforto térmico, medição de variáveis ambientais e análise de modificações feitas ao projeto inicial e seu impacto no desempenho térmico do sistema e no conforto térmico do morador. Este capítulo se encerra com as recomendações projetuais para cidades da Zona Bioclimática 4 construídas em parede de concreto moldada no local visando melhor conforto térmico dos moradores.

Por fim, no quinto capítulo são apresentadas as conclusões obtidas através da análise dos resultados.

Capítulo 2

2 Revisão Bibliográfica

2.1 A Habitação Social no Brasil

A crise habitacional brasileira teve início na década de 1930, devido ao grande contingente de pessoas que foram morar nas cidades somado a um mercado de habitação que precisava de novas formas de funcionamento. As cidades, a sociedade e o governo não estavam preparados para receber essa grande quantidade de moradores. Segundo Bonduki (1998), no período de 1940-1960 a taxa de urbanização aumentou de 31% para 45%. O acelerado crescimento da população de baixo poder aquisitivo nas cidades vindas do êxodo rural e motivadas pelo desenvolvimento industrial, fez com que surgissem as moradias ilegais em áreas periféricas e que terrenos fossem invadidos devido à impossibilidade de conseguir moradias legais na cidade consolidada, tais como estalagens, cortiços e vilas.

A produção habitacional existente no Brasil até a década de 1930 era, em sua grande maioria, feita pela iniciativa privada, o Estado não tinha a responsabilidade de provê-las. A compra de um imóvel era praticamente impossível por ser algo extremamente oneroso e complicado, o acesso à moradia nesse período se dava quase que exclusivamente via aluguel. Em resposta à gravidade do problema, o governo passa a intervir no setor.

Uma iniciativa do Estado frente à questão habitacional foi o início da produção em larga escala de conjuntos habitacionais, cujo marco foi a criação em 1937 das carteiras prediais dos Institutos de Aposentadoria e Pensões (IAPs), seguida pela instituição da Fundação da Casa Popular (FCP), em 1946. Ambos tinham o objetivo de viabilizar a construção de habitações. Nos IAPs, o objetivo principal era garantir aposentadoria e pensão aos associados, ficando a função do edifício enquanto moradia em segundo plano, o que diferia do objetivo da Fundação da Casa Popular, que era produzir moradias para a população de baixa renda. Eles eram organismos que deveriam funcionar juntos, porém seus objetivos mudaram ao longo do caminho.

Apesar dos descompassos dos programas, os IAPs exerceram importante papel na concepção de moradias no Brasil, pois tinham uma enorme preocupação com a qualidade, durabilidade e detalhamento das suas construções. Segundo Koury, Bonduki e Manoel (2016) destacam-se cinco tipologias construtivas desta época.

A primeira foi a tipologia dos blocos compostos por uma caixa de escada para cada duas unidades (KOURY; BONDUKI; MANOEL, 2016), tendo variações no pavimento térreo e podendo consistir em unidades isoladas ou conjugadas. Um dos exemplos desta tipologia foi o conjunto residencial Realengo, com 2347 unidades habitacionais dispostas em blocos, construído no Rio de Janeiro em 1940 (Figura 1) pelo arquiteto Carlos Frederico Ferreira. Os apartamentos possuíam 3 quartos, sala, cozinha, área de serviço e banheiro, além de uma pequena varanda. As janelas altas da cozinha e dos banheiros possibilitam uma completa ventilação cruzada. Além disso, tem-se segundo Bittencourt e Candido (2005) o uso de pilotis que pode melhorar a eficiência da ventilação interna de uma edificação em cerca de 20%, contanto que se leve em conta uma distância mínima de 1m acima do solo e o vento fique livre de obstáculos embaixo das construções.

Figura 1 – Planta Baixa do conjunto residencial Realengo

Fonte: Koury; Bonduki; Manoel, 2016

A segunda tipologia foram os blocos em "H" com uma caixa de escada para cada quatro unidades (KOURY; BONDUKI; MANOEL, 2016). É uma solução que possibilitou maior adensamento usando apenas uma circulação vertical. O problema dessa tipologia, diferente da primeira, é que alguns apartamentos eram privilegiados quanto à insolação. O raciocínio dos blocos em "H" foi explorado por diversos arquitetos que mesmo com uma solução padrão conseguiram implantações com qualidade ao variar tamanhos das unidades e altura dos edifícios. Um dos exemplares desta tipologia, é o conjunto residencial Cachambi, construído no Rio de Janeiro na década de 50 que possui 1054 unidades habitacionais (Figura 2). A planta consiste em 3 quartos por unidade habitacional, cozinha, área de serviço, sala, banheiro e uma pequena varanda. Embora esta tipologia seja usada na atualidade pelo PMCMV, observa-se grandes diferenças quanto à disposição dos ambientes em planta, a tipologia de hoje não apresenta pilotis e nem varanda. Além disso, a área da unidade habitacional em si na tipologia "H" de hoje é bem mais reduzida.

Figura 2 – Planta Baixa do conjunto residencial Cachambi

Fonte: Koury; Bonduki; Manoel, 2016

A terceira tipologia foram os blocos laminares, compostos por grandes corredores coletivos (KOURY; BONDUKI; MANOEL, 2016). Esse modelo tem sua origem no modelo da Unidade de Habitação de Marselha (1945-1952) por Le Corbusier. A implantação dos blocos laminares era feita com edifícios separados ou em conjunto com outras tipologias. Este modelo foi o que mais possibilitou variações do programa em seu interior. O principal exemplar desta tipologia é o conjunto residencial Pedregulho, construído em 1945 no Rio de Janeiro, com 478 unidades habitacionais. Este projeto do arquiteto Affonso Eduardo Reidy é uma das obras de habitação social mais citadas em literaturas especializadas como um exemplo de arquitetura de qualidade.

Observa-se pelas plantas (Figura 3), que existem apartamentos de um dormitório e apartamentos duplex, onde no piso inferior localiza-se sala, cozinha e banheiro. No piso superior, localizam-se dois quartos e um banheiro. A implantação deste conjunto foi feita num terreno onde o declive foi aproveitado para que um bloco não tomasse a vista/ventilação do outro. A posição das aberturas associada ao uso de corredor propicia o uso da ventilação natural cruzada de forma eficiente. Soluções como estas marcam a diferença entre as obras desta época e as que são construídas nos dias atuais.

Figura 3 – Conjunto residencial Pedregulho (Planta Baixa de apartamento tipo duplex (a) e apartamento de um dormitório (b))

Fonte: Koury; Bonduki; Manoel, 2016

A quarta tipologia foram os blocos com pátio central (KOURY; BONDUKI; MANOEL, 2016). Essa tipologia tem atrativos quanto a riqueza urbanística. Os IAP's utilizaram essa solução apenas no Conjunto residencial de Lagoinha, em Belo Horizonte, de autoria do Eng. White Lírío da Silva com 928 unidades habitacionais (Figura 4) por ser uma solução que demanda muita área térrea.

Figura 4 – Planta baixa do conjunto residencial Lagoinha

Fonte: Koury; Bonduki; Manoel, 2016

A quinta tipologia foram os blocos em "Y", uma variação do esquema dos Edifícios Cartesianos que compõem a proposta de Le Corbusier para o Plano Voisin (Paris, 1925) (KOURY; BONDUKI; MANOEL, 2016). Esse modelo permite o aumento da superfície livremente ensolarada e ventilada, aliando a isso economia de circulação vertical, pois uma caixa de escada pode atender até seis unidades sem necessidade de corredores internos. Os IAP's produziram um exemplar desta tipologia que é o conjunto Areal (1950) de autoria do engenheiro João Carlos Vital no Rio de Janeiro que possui 600 unidades habitacionais dispostas em blocos (Figura 5).

Figura 5 – Planta baixa do conjunto residencial Areal

Fonte: Koury, Bonduki e Manoel, 2016

Em síntese, o caráter social das construções na década de 30 era o cerne para a criação das moradias. Porém, mesmo com bons projetos arquitetônicos, as IAPs foram extintas em 1964 devido a desarticulação de iniciativas e rentabilidade pouco expressiva (BONDUKI, 1998).

Nesse mesmo período (1930 a 1945) foram criadas as primeiras políticas públicas para conter o déficit habitacional como a Lei do Inquilinato. Esta regulamentava as relações entre inquilinos e proprietários através do congelamento de todos os aluguéis no país por dois anos. O congelamento dos aluguéis culminou no despejo dos inquilinos pois os proprietários visavam aumentar o custo dos alugueis ao alugar para uma nova pessoa o que acabou resultando em maiores restrições ao acesso à moradia (MARICATO, 1997).

“As habitações produzidas pelo BNH caracterizam-se, em geral, pela monotonia de sua arquitetura; pela ausência de relação com o entorno; por sua localização periférica, estendendo horizontalmente as cidades; pela despreocupação com a qualidade dos projetos e com o meio físico, resultando na depredação ambiental.” (BONDUKI, 2000)

Em 1964, no Regime Militar, foi criado o Sistema Financeiro de Habitação (SFH) e o Banco Nacional de Habitação (BNH) frente à crise da moradia financiados pelos Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS) e o Sistema Brasileiro de Poupança e Empréstimo (SBPE) para investimento nas Companhias de Habitação (COHABs). Porém, muitas pessoas ainda não conseguiam ter acesso à moradia.

Do ponto de vista arquitetônico e urbanístico, uma série de problemas afetaram o BNH, dentre eles: construção de grandes conjuntos habitacionais na periferia das cidades; desencontro com as políticas urbanas, pouca qualidade nos projetos e reprodução exaustiva de modelos pré-concebidos. Do ponto de vista quantitativo, das 4,5 milhões de unidades habitacionais financiadas ao longo da existência do BNH, apenas 33,5% foram destinadas aos setores populares (RIBEIRO; AZEVEDO, 1996). Com o fim do regime militar em 1986, o BNH também foi extinto e suas atribuições foram transferidas para a Caixa Econômica Federal (CAIXA).

Nas décadas de 80 e 90, o financiamento para o setor de habitação diminuiu e os problemas de moradia se agravaram. De forma gradual, os municípios, os estados e governo federal, lançaram programas paliativos e com fontes alternativas de financiamento na tentativa de conter o problema. Alguns desses programas foram: urbanização de favelas e assentamentos precários, construção de novas moradias por mutirão e autogestão, apoio à autoconstrução e intervenções em cortiços e em habitações nas áreas centrais (BONDUKI, 1998).

A atuação de forma conjunta das três instâncias de poder foi positiva e levou a sua legitimação na Constituição de 1988. Essa constituição reconheceu o direito à moradia como fundamental de todo cidadão, adotando diretrizes e instrumentos de combate à exclusão que foram regulamentadas pela Lei Federal de Desenvolvimento Urbano, denominada Estatuto da Cidade (BONDUKI, 1998).

Em 2003, tem-se a criação de um órgão coordenador, gestor e formulador da Política Nacional de Desenvolvimento Urbano (PNDU), o Ministério das Cidades. Ele trata de forma integrada todas as questões das cidades com apoio dos instrumentos legais estabelecidos no Estatuto das Cidades. Antes desse ministério, o setor do governo federal responsável pela gestão da política habitacional era descontínuo, pois estava subordinado a vários ministérios e estruturas administrativas diferentes (FERREIRA, 2012).

Assim, foi elaborada a Nova Política Nacional de Habitação (PlanHab), caracterizado por um plano estratégico de longo prazo com operações de ação de curto, médio e longo prazo devendo fechar suas metas a cada quatro anos. Em 2005, foi aprovado o projeto de lei de criação do fundo de moradia, denominado de Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social (FNHIS), marcando um momento no qual o governo federal subsidia moradias especificamente para as camadas de mais baixa renda (BONDUKI, 2014).

A partir de 2005, o mercado imobiliário habitacional passa por uma fase de crescimento constante, configurando um *boom* imobiliário. Nessa época, tem-se a emergência e consolidação da Classe C, a população até então considerada renda baixa, passa a ser um ramo de mercado visado. Como uma das estratégias da Nova Política Nacional de Habitação (PlanHab) de médio prazo, em 2007 foi criado o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC-I) que consistia em uma série de medidas para alavancar o crescimento do país para os quatro anos seguintes. Em 2008, o mundo entra em uma profunda crise econômica que teve início nos Estados Unidos e afetou o mundo todo. Uma das ações emergenciais do governo brasileiro perante a crise mundial foi investir no setor habitacional como parte do PAC-I. Nessa perspectiva, surge o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) (BONDUKI, 2014).

2.1.1 Problemas e iniciativas do PMCMV

Em 2009, o governo anuncia a primeira fase do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Segundo Maricato (2009), o programa é uma ação econômica camuflada, que remete à construção civil o foco da tarefa de geração de postos de trabalho de forma a causar um movimento na economia do país frente à crise internacional e tentar conter o déficit habitacional da população com renda de até 10 salários mínimos.

O programa se dividiu em faixas salariais distintas, em fases de desenvolvimento e em modalidade de subprogramas. O programa de créditos é tanto para o consumidor quanto ao produtor. No caso da produção, o construtor solicita crédito à CAIXA e as unidades construídas devem ser comercializadas no valor definido dentro de limites estabelecidos segundo as características da cidade e da região. Para cada faixa foram propostas fontes diferentes de auxílio e concessão de benefícios.

Na primeira fase do programa (2009-2011), a divisão era feita por três tipos diferentes de financiamento habitacional: Faixa 1, Faixa 2 e Faixa 3. O Faixa 1 era voltado para população com renda de até 3 salários mínimos (R\$1.600). Seu financiamento era via Fundo de Arrendamento Residencial (FAR). Nele, a construtora define o terreno e o projeto de acordo com os parâmetros do programa e das leis locais. O acesso às unidades era distribuído pela CAIXA através de sorteio feito a partir de listas

elaboradas pelas prefeituras. Os municípios têm como incumbência para essa faixa do programa, doar terrenos, fazer a isenção tributária, desburocratização nos processos de aprovação e licenciamento e também flexibilização das normas urbanísticas para permitir aumentar os índices de utilização do solo. Outra forma de financiamento para essa faixa de renda podia ser através do Minha Casa Minha Vida Entidades, que é uma modalidade que permite que famílias se reúnam de forma associativa, através de uma entidade organizadora como COHABs, Associações de Moradores, Cooperativas, dentre outras e o financiamento se dá através de outra fonte, o Fundo de Desenvolvimento Social (FDS).

Para essa faixa existiam duas tipologias construtivas padrão, a Tipologia 1 (Figura 6) que consistia em casas térreas de 35m² e a Tipologia 2 (Figura 7) que consistia em apartamentos de 42m². O programa contava com uma cartilha que especificava como deveriam ser construídas as edificações: na Tipologia 1, as casas deveriam conter sala, cozinha, banheiro, 2 dormitórios, área externa com tanque, piso cerâmico na cozinha e banheiro, o restante é cimentado, revestimento das alvenarias em azulejo a 1,50m de altura nas paredes hidráulicas e box, no restante, reboco interno e externo com pintura PVA; forro da laje de concreto, madeira ou PVC, a cobertura deveria ser em telha cerâmica, as janelas de ferro ou alumínio e portas em madeira, pé direito de 2,20m na cozinha e banheiro e 2,50m no restante.

Figura 6 - Exemplo de Tipologia 1 Faixa 1

Fonte: Brasil, 2011

Para a Tipologia 2 os edifícios deveriam ter no máximo 5 pavimentos com 20 apartamentos no total ou 4 pavimentos com 16 apartamentos no total, por bloco. Os apartamentos deveriam ter piso cerâmico na cozinha e banheiro, cimentado no restante, revestimento das alvenarias com azulejo a 1,50 m nas paredes hidráulicas e box, reboco interno e externo, pintura PVA no restante, forro de laje

de concreto, cobertura em telha de fibrocimento, janelas em ferro ou alumínio e portas de madeira, pé direito 2,20 m na cozinha e banheiros e 2,40 m no restante (BRASIL, 2011).

Figura 7 - Exemplo de Tipologia 2 Faixa 1

Fonte: Brasil, 2011

O que se percebe nas plantas-padrão das Tipologias 1 e 2 do Faixa 1 no que tange o conforto térmico dos moradores, são: as aberturas (portas e janelas) sugerem ventilação cruzada, porém tal fenômeno só acontecerá mediante à implantação com ventos propícios. Nota-se a falta de opções de adequação para insolação e ventilação, como protetores ou dispersores (brises, prateleiras de luz), o que pode deixar a residência diretamente exposta às condições climáticas externas. A altura do pé direito recomendada para as duas tipologias impossibilita inclusive a instalação de ventiladores de teto.

Outro ponto a ser salientado é o fato do projeto padrão não considerar muros, portões, garagens, área de lazer e futuras ampliações. Ao se tratar de mudanças no projeto deve-se ter um planejamento prévio para que a ventilação, insolação, desempenho e conforto térmico não sejam comprometidos assim como a integridade estrutural da residência. Ter um planejamento de adequação, é uma medida inteligente e humanitária que entende que cada família é diferente uma da outra.

O Faixa 2 (R\$ 1.600 a R\$ 3.275) e o Faixa 3 (R\$ 3.275 a R\$ 5.000) do programa, correspondiam a população com renda entre 3 a 10 salários mínimos. O financiamento se dava via Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS). Para essas faixas, os moradores podiam escolher qual casa queriam comprar, as construtoras apresentavam projetos de empreendimentos à CAIXA, que realizava pré-avaliação e autorização do lançamento e comercialização. Também era possível que a pessoa física

construísse sua casa individualmente com o financiamento, desde que a construção estivesse de acordo com as normas brasileiras, com a legislação municipal e com os parâmetros mínimos de avaliação da CAIXA. O programa em sua primeira fase construiu 1 milhão de moradias. Atendendo ao estabelecido pelo PlanHab, em setembro de 2011 a primeira fase do PMCMV é revista, e a partir dessas análises é lançada a fase 2 do programa (2012-2014).

Metas e escopo do programa foram ampliados, a acessibilidade universal passou a ser requerida nos projetos, o uso misto foi permitido (com restrições), além do aumento do limite de preço de venda final da unidade em certos municípios de acordo com seu tamanho e população. Construtivamente, houve desenvolvimento nas especificações e detalhamentos das unidades e incentivo ao uso de medidas sustentáveis, que em sua grande maioria se resumiram na utilização de aquecedores solares. O uso de aquecimento solar foi questionado por não ser necessário em todas as regiões brasileira, como no Norte e Nordeste. A obrigatoriedade do seu uso em todos os estados iria em direção oposta à sustentabilidade e de encontro a um potencial desperdício de recursos (CRESPO, 2012).

Concluídas as metas da Fase 2, e construídas 2 milhões de unidades habitacionais, em 2016 é lançada a Fase 3, com a meta de construir 2 milhões de moradias até 2018. Nessa fase houve revisão dos valores de renda mensal e acrescentada mais uma faixa de renda salarial, ficando desta forma Faixa 1, corresponde a famílias com renda de até R\$ 1.800 (de 0 a 3 salários mínimos), Faixa 1,5 entre R\$ 1.800 e R\$ 2.350 (de 3 a 5 salários mínimos), Faixa 2 entre 2.350 e R\$ 3.600 (de 5 a 6 salários mínimos), Faixa 3 entre R\$ 3.600 e R\$ 6.500 (de 6 a 10 salários mínimos) (BRASIL, 2016). Projetualmente, o programa teve a proposta para aumento de 2 m² nas áreas das Tipologias 1 e 2, foi retirada a necessidade de aquecimento solar em algumas regiões e foi determinado o uso de equipamentos que geram economia. As alterações em cada fase do programa podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1 - Mudanças projetuais Fase 1, 2 e 3 do PMCMV (adaptada)

ITENS	PMCMV 1	PMCMV 2	PMCMV 3
Tamanho Mínimo	Casa: 35,00 m ² Apartamento: 42 m ²	Casa: 39,60 m ² Apartamento: 45,50 m ²	Aumento da área em 2 m ²
Especificações	Piso cerâmico no banheiro, cozinha e área de serviço	Piso cerâmico em todos os ambientes	Manteve
	Azulejo nas paredes das áreas molhadas	Manteve	Manteve
	Aquecedor solar em uma parcela de unidades	Aquecedor solar em todas as casas	Não será obrigatório aquecimento solar no Norte e Nordeste
	Limite mínimo para portas externas 0,80 m	Todas as portas com 0,80m e janelas maiores para melhoria da iluminação e ventilação	Esquadrias com sombreamento, aumento da espessura de parede, aumento da espessura das lajes Uso de aerador de torneira, válvula de descarga com duplo acionamento, sensor de presença nas áreas comuns, bomba d'água com Selo Procel

Fonte: Sinduscon, 2015

“É importante destacar que o combate ao déficit habitacional não pode se resumir apenas aos números. A qualidade é um fator de extrema importância para a longevidade do que está sendo executado. Desde o BNH, na década de 60, a questão habitacional no Brasil foi tratada apenas quantitativamente, o sucesso ou fracasso dos programas eram medidos apenas pelo número de unidades construídas, e o mesmo está se repetindo no então programa em vigor, o Minha Casa Minha Vida.” (MARICATO, 2009)

Segundo Bonduki (2014), o conjunto das estratégias que o PlanHab julgou indispensáveis para equacionar o problema habitacional não está sendo colocado em prática. No plano existe uma série de opções criativas para conter o déficit habitacional, como o auxílio à compra de materiais de construção para reformas, descontos progressivos para municípios que colocarem moradias centrais

desocupadas no mercado, dentre outros, porém o PMCMV enfrenta o problema do déficit habitacional apenas construindo novas moradias. O poder público municipal deixou de ter controle sobre a implantação dos empreendimentos habitacionais, pois pouco influenciam nos aspectos morfológicos e na localização, já que a estrutura de provisão passou a seguir a estrutura de mercado. Não há uma separação clara entre quem formula e decide e quem implanta as decisões menores do programa. Existe uma necessidade de revisão dos papéis dos agentes envolvidos. Apesar de estar claro no plano habitacional que deve existir um controle em vários órgãos, as brechas no programa dão espaço para amplo controle por parte do mercado (LOUREIRO; MACARIO; GUERRA, 2013).

No relatório feito pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2013), o déficit habitacional brasileiro estava em 12,1%, cerca de 24 milhões de pessoas ainda necessitam de moradia. Um montante de 70% deste déficit é composto pela demanda de moradia de famílias com renda de até 3 salários mínimos, aproximadamente 17 milhões de pessoas (SAPORITO, 2015).

Outra vertente do problema está relacionada à distribuição das moradias por demanda. Rufino (2015) aponta que a produção habitacional do programa está mais relacionada com a viabilidade econômica dos empreendimentos do que pelo déficit habitacional. O déficit é mais expressivo nas cidades maiores, por outro lado os empreendimentos do PMCMV acabam se realizando em maior número onde a terra é mais barata, portanto em municípios menores. O que numericamente parece estar funcionando, na realidade apresenta várias residências desocupadas.

O controle das construtoras sobre a promoção imobiliária é, segundo Cardoso, Mello e Jaenisch (2015), um dos problemas graves do programa. Visando maximizar o lucro, elas buscam os terrenos mais baratos e, portanto, com maiores problemas de acessibilidade e infraestrutura. Por elas trabalharem com valores pré-estabelecidos para o preço final do produto, essa escolha as permitirá incluir uma margem de lucro nos empreendimentos, sendo que o lucro não é necessariamente revertido em melhorias ou redução no preço final. Essa estratégia tem como consequência aumento do custo para o morador, o qual tem que arcar com maiores distâncias do trabalho, problemas de infraestrutura do entorno e falta de equipamentos urbanos.

Porém, as construtoras também têm problemas frente ao programa, o qual impõe tempo e preços fixos sem levar em consideração as mudanças ou particularidades que possam existir, deixando as menores organizações em uma situação de risco. Por esse motivo, apenas grandes construtoras assumem os projetos. Em entrevista realizada por Rufino (2015) o representante de uma construtora alega que o programa força a busca por novas tecnologias devido ao prazo de entrega das obras e do preço fixo estabelecido, que não leva em consideração a inflação, motivo que torna necessário maximizar o número de unidades produzidas em um menor tempo. Segundo o mesmo representante, a lógica do programa tende a adensar as periferias pela inexistência de lotes centrais nos tamanhos necessários para atender o programa.

É dessa forma que o desenvolvimento de sistemas inovadores de construção é incentivado pelo programa, para viabilizar construções mais rápidas e mais baratas. Alguns exemplos que têm sido amplamente empregados são sistemas de paredes de concreto moldadas in loco, paredes em PVC+concreto, *steel-frame*, blocos de EPS, grandes painéis cerâmicos pré-fabricados, formas *blanche*, paredes pré-moldadas em concreto, entre outras (FERREIRA, 2012).

Pesquisas realizadas em municípios do estado do Rio de Janeiro feitas por Cardoso, Mello e Jaenisch (2015) reafirmam que o objetivo central do programa tem sido apenas construir de forma rápida para atender às metas estabelecidas, e que a qualidade dos empreendimentos é coadjuvante.

Carvalhosa (2016), coloca em pauta uma forma de assegurar a qualidade da entrega das obras, o modelo de seguro *Performance Bond*, utilizado a mais de 120 anos nos Estados Unidos da América. Nesse modelo o papel de fiscalizar prazos, garantir a qualidade dos materiais utilizados, acompanhar as etapas da obra ficam com a seguradora, sendo uma forma de fiscalização para todos os envolvidos.

Por fim, pode-se afirmar que existe uma pressão por parte do governo em produzir um grande número de habitações, porém há também grande pressão por parte dos construtores para atenderem às normas de financiamento do programa e obter lucro. Sendo assim, a qualidade das construções não é prioridade por parte de quem executa e planeja como também não é cobrada corretamente por parte dos órgãos de financiamento e fiscalização, culminando num processo onde o morador é desconsiderado (MORAIS, 2013).

2.1.2 Pesquisas sobre o PMCMV

Uma série de requisitos e exigências devem ser atendidos nas unidades habitacionais do PMCMV. No entanto, essas exigências não têm se mostrado suficientes para garantir a qualidade dos projetos, que apresentam patologias construtivas e necessidade de manutenção muito precocemente, possivelmente provocados pela redução de custo e pressão excessiva para uma produção acelerada (BLUMENSCHIN; PEIXOTO; GUINANCIO, 2015).

O aspecto de baixo custo não deve condicionar o baixo desempenho ou a baixa qualidade de habitações, principalmente em um programa de extensão nacional como o PMCMV. Kowaltowski et al.(2002) salientam que projetos de casas e de conjuntos habitacionais que atendam apenas à necessidade de abrigo estão condenados à destruição.

Pesquisa realizada por Andrade (2015), em conjuntos habitacionais no bairro de Santa Cruz no Rio de Janeiro, apresenta problemas relacionados à monofuncionalidade dos empreendimentos, que possuem pouco comércio e serviços forçando os moradores a improvisarem nos espaços vazios ou

mesmo em cômodos das residências. Os moradores mostraram insatisfação com a tipologia de sobrados, onde sentem falta de um quintal. Observações feitas pela pesquisadora apontam que os espaços de convívio são praticamente inexistentes pela proximidade de um sobrado do outro. A impossibilidade de adaptação dos apartamentos à realidade de cada família também foi uma característica negativa apresentada, devido ao sistema construtivo adotado com paredes estruturais em alvenaria autoportante.

Pesquisas realizadas por Lopes e Shimbo (2015) apontam que mesmo existindo normas às quais as unidades habitacionais devem seguir, as implantações não analisam o clima ou as especificidades dos terrenos, sendo distribuídas as unidades habitacionais de forma a maximizar a quantidade de unidades. Foram analisados aspectos térmicos com base no procedimento simplificado da NBR 15575 (ABNT, 2013a), por meio de simulações e medições no local. Segundo os pesquisadores, para os climas das cidades analisadas a prioridade para um bom conforto térmico deveria ser a adequada orientação solar das residências, porém foi comprovado que tal preocupação foi deixada de lado. Observou-se a elevada exposição solar nos ambientes de maior permanência, ausência de elementos de proteção solar e sombreamento excessivo em alguns casos.

Arantes (2013), analisou o conforto térmico dentro de uma habitação da fase 1 do PMCMV na cidade de Bauru – SP. Concluiu que devido à falta de preocupação com variáveis ambientais ao ser feita a implantação do conjunto, as casas não proporcionam conforto térmico adequado. Os cômodos de maior permanência ficam expostos a longos períodos de exposição solar e o beiral de 0,50 m não é suficiente para proteger a residência do superaquecimento interno, levando ao desconforto do morador nos dias mais quentes do ano.

Na pesquisa realizada por Costa (2013), foi feita uma análise pós-ocupação em conjuntos habitacionais nas cidades de Alvorada e Santa Cruz do Sul - RS, construído com a mesma tipologia e com o mesmo sistema construtivo de parede de concreto moldada no local. Verificou-se que algumas residências sofreram com umidade nos cômodos, além de desconforto térmico no inverno e verão. Evidenciou-se a ocorrência de problemas técnicos no sistema construtivo que necessitavam de mão de obra qualificada para solucionar. Entretanto, é previsto que ocorram dificuldades técnicas em empreendimentos massivos e que aplicam sistemas construtivos não convencionais. Portanto, torna-se fundamental a supervisão de uma equipe de manutenção técnica para dar apoio aos usuários. Foi verificado que os moradores estavam satisfeitos com o conforto acústico; em contrapartida, uma grande rejeição foi verificada quanto ao acabamento das casas, sendo o maior problema referente às paredes fora de prumo e esquadro. Concluíram que o sistema de parede de concreto exige um grande cuidado no nivelamento da fundação para que o prumo e o esquadro de formas e os travamentos tenham condições de serem bem feitos e receber o revestimento de forma correta. O sistema possui apenas uma camada posterior de revestimento, portanto a possibilidade de esconder erros gerados

na concretagem é quase nula, necessitando de uma maior conferência na etapa de montagem das formas.

Na pesquisa de Silva (2015), foi analisado um conjunto habitacional em João Pessoa – PB, onde os ambientes das residências apresentaram condições térmicas desfavoráveis no inverno e no verão. O autor salienta que apenas uma orientação solar correta dos edifícios possibilitaria a minimização da radiação térmica recebida e, dessa forma, aumentaria as trocas de ar interna dos ambientes aproveitando-se dos ventos.

Segundo Kowaltowski et al. (2015), apesar de em algumas pesquisas apontarem que os usuários estão satisfeitos com suas moradias, esse dado precisa ser melhor analisado pois ele não invalida o fato de serem precárias do ponto de vista do projeto. A satisfação do usuário com o ambiente pode estar relacionada com a alteração de status social, quando a pessoa passa a ser proprietária da moradia ou quando a atual casa é melhor que a anterior, esta passa a ter um sentimento de satisfação que pode influenciar na avaliação. O indivíduo também pode se sentir satisfeito com uma moradia de baixa qualidade técnica ao constatar que não tem possibilidade futura de obter uma habitação melhor que a atual, nesse caso o conformismo é ponto positivo para reverter uma situação de frustração (BLANK-FREITAS; AÑAÑA; SCHRAMM, 2013). Portanto, aspectos subjetivos influenciam de maneira significativa a resposta sobre satisfação dos indivíduos com suas moradias.

Morais (2013), investigou a ventilação natural em habitações multifamiliares do PMCMV e concluiu que os tamanhos das aberturas indicadas pelas normas de desempenho térmico brasileiras são mínimos e deveriam ser aumentados, pois dessa forma o usuário teria uma residência mais bem iluminada e ventilada, o que geraria economia e maior vida útil da habitação em geral. A pesquisa também chegou às seguintes recomendações projetuais: para uma boa ventilação natural é necessário que se faça a implantação do edifício no lote em uma posição de oblíqua (ou diagonal) do edifício em relação ao vento dominante. O uso de reentrâncias nas fachadas ajuda na diferença de pressão nas aberturas ali contidas, melhorando a ventilação como um todo. É indicado o uso de portas com bandeiras ventiladas para que exista ventilação cruzada; o uso de uma mesma abertura para ventilar ambientes adjacentes é ineficaz. A pesquisa alerta que para que a qualidade do ar interior seja mais saudável os ambientes devem ser posicionados de modo que o fluxo do ar parta sempre de zonas secas (sala) para molhadas (cozinha). A existência de varandas nas tipologias de apartamento são uma ótima alternativa tanto para proteção das aberturas da radiação ou ventilação direta quanto para criar reentrâncias na fachada e contribuir para a ventilação de forma geral.

Labaki e Kowaltowski (1995) verificaram uma HIS na cidade de Campinas – SP, na qual o conforto térmico não era adequado e analisam que esses poderiam ser melhorados se houvesse uma preocupação maior com a qualidade do projeto, através da inclusão de um detalhamento simples. O desempenho térmico também não estava adequado e os problemas detectados poderiam ser

resolvidos com a aplicação de princípios básicos de projeto bioclimático. A pesquisa identificou também que ao longo do tempo esses conjuntos habitacionais sofrem alterações como um todo, principalmente no que se refere à infraestrutura urbana e a qualidade das habitações. Os moradores se esforçam para adaptar suas moradias às suas necessidades, a incidência de modificações realizadas em relação à tipologia inicial foi aferida sendo de 70%. Resultado esse que reafirma a inadequação dos projetos e a necessidade de um planejamento prévio no que diz respeito a ampliações.

Villa (2013) afirma que os projetos do PMCMV não são capazes de agregar os aspectos da grande diversidade das formações familiares que tem surgido na sociedade moderna, bem como não consideram a personalidade e identidade dos moradores e de cada família.

Morais e Labaki (2017) investigaram a ventilação natural em três habitações verticais do PMCMV. Na pesquisa salienta-se que a ventilação natural é uma estratégia projetual que deve ser usada sempre que possível em países de clima quente como o Brasil, dentre suas vantagens está o conforto térmico e a economia de energia. Essa estratégia deve ser priorizada principalmente em projetos destinados à população de baixa renda. Porém, foi comprovado pela pesquisa que o conforto térmico nas moradias populares é um aspecto desprezado. A partir de simulação computacional constatou-se que quando a implantação do edifício no lote é feita de forma aleatória, há prejuízo significativo na ventilação natural interna dos apartamentos. A implantação diagonal do edifício em relação ao vento dominante forneceu melhores resultados de velocidades médias internas. As volumetrias monolíticas e muito alongadas com fachadas desprovidas de reentrâncias resultaram em apartamentos centrais sem ventilação cruzada. A simetria formal prejudicou, no mínimo, 50% da ventilação natural das unidades habitacionais. A pesquisa alerta que se os apartamentos fossem pensados de modo mais independente uns dos outros no tocante à posição e quantidade de aberturas, bem como à configuração do ambiente interno, provavelmente seriam atingidos melhores resultados de ventilação natural.

Oliveira (2009), analisou a ventilação em casas autoconstruídas na cidade de Campinas – SP essas foram comparadas com casas iguais, mas que não haviam sido alteradas. Através de modelagem computacional foram analisadas possíveis alterações na ventilação natural no espaço do lote padrão, exterior às habitações em relação às alterações ocasionadas por transformações construtivas nestas edificações. Os resultados demonstram que as residências modificadas apresentaram alterações na velocidade e no fluxo do vento em relação às não modificadas. A observação geral da quadra, e o diagnóstico de cada casa, constata as alterações na relação do fluxo e velocidade do vento na malha urbana, as quais, na maior parte dos casos, são negativas. Portanto o trabalho deixa claro que alterações particulares interferem no fluxo do vento do espaço externo, repercutindo nas áreas urbanas do entorno próximo; quando a modificação consiste na construção de coberturas acontece a

recirculação do ar e por fim, que a construção de muros ao invés de grades, aumentam a geração de vórtices nas vias locais.

Como se pode perceber a partir dessas pesquisas, a temática do PMCMV é bastante estudada devido à sua importância política, urbanística, econômica e social. Porém, foi identificado por Kowaltowski et al. (2015) que apenas 8% dessas pesquisas são sobre a temática do conforto ambiental e desempenho energético. Devido à dimensão do programa, há a necessidade de mais pesquisas visando os aspectos de conforto térmico, acústico, luminoso, de desempenho e funcionalidade, com intuito dos resultados refletirem no aprimoramento dos projetos do PMCMV, com impactos positivos sobre as condições de vida da população. E é justamente neste contexto que esta pesquisa se insere.

De forma geral, é de extrema importância que o ser humano se sinta confortável termicamente com o ambiente que o circunda, quando se trata de casas construídas para população de baixa renda, isso se torna imprescindível. A habitação precisa ter um nível bom de conforto térmico para que o morador não precise recorrer a formas custosas para reestabelecer a sensação de conforto e para que os produtos do PMCMV tenham maior longevidade.

2.2 Conforto Térmico

Kroemer e Grandjean (2005) afirmam que dificilmente uma pessoa nota o clima no interior de uma sala enquanto ele é agradável, porém, quanto mais desvia de um padrão de conforto, mais ele atrai a atenção, podendo até gerar alterações funcionais que podem afetar todo o corpo. O superaquecimento gera cansaço e sonolência, redução do desempenho físico e aumento de erros. Já o super resfriamento gera superatividade, reduzindo o estado de alerta e concentração, particularmente nas atividades mentais.

De acordo com a American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers – Standard 55 (ASHRAE, 2013) conforto térmico é definido como o estado de espírito que expressa satisfação com ambiente térmico. As condições de conforto térmico variam para cada pessoa, devido às diferenças psicológicas e fisiológicas entre cada indivíduo. Portanto, é impossível que todos os ocupantes de um ambiente se sintam confortáveis termicamente, assim, busca-se uma situação na qual a maior porcentagem de pessoas estejam satisfeitas termicamente (LAMBERTS et al., 2014).

Segundo Olgyay e Olgyay (1963), o conforto térmico é atingido quando a pessoa necessita consumir a menor quantidade de energia para se adaptar ao ambiente que a rodeia. Quanto maior a atuação do sistema termorregulador para manutenção da temperatura interna, maior a sensação de desconforto.

Em relação à definição das condições ambientais de conforto, tem-se duas correntes de pensamentos nas literaturas especializadas, “analítica” e “adaptativa”. A analítica parte do pressuposto que as pessoas por serem biologicamente idênticas, independente do país de origem devem ter as mesmas preferências térmicas. Este grupo acredita, portanto, que os limites confortáveis de temperatura possam ser universais. Fanger (1972) sendo o maior representante dessa vertente, desenvolveu pesquisas em câmaras climáticas, com controle de temperatura, umidade e velocidade do ar. As pessoas permaneciam algum tempo nas câmaras e respondiam questionários sobre suas sensações térmicas. As conclusões consideravam as influências de parâmetros individuais (peso, roupa e taxa metabólica), e parâmetros ambientais (temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade e umidade do ar). As equações de Fanger foram amplamente aceitas e serviram de base para importantes normas como, a ASHRAE 55 (2013) e a ISO 7730 (2005).

A outra corrente adota uma abordagem adaptativa, defendendo que quando ocorre alguma mudança ambiental que provoque desconforto, as pessoas procuram tomar providências que restabeleçam as condições confortáveis como abertura de janelas, fechamento de portas dentre outros. Das pesquisas de abordagem adaptativa, em 1970 foram publicadas as Planilhas de Mahoney (KOENINGSBERGEN, 1969), que constituem um método simplificado de análise bioclimática que adota um conceito adaptativo de Zona de Conforto, no qual os limites desejáveis de temperatura são distintos para os períodos diurno e noturno e dependem das médias mensais da umidade relativa e da média anual da temperatura do ar exterior. Na mesma corrente de pensamento Humphreys (1978) em sua pesquisa examinou os resultados de aproximadamente sessenta estudos de campo em diversas regiões do planeta. Foi observado que as temperaturas preferidas nos interiores das edificações apresentavam acentuada dependência em relação às médias mensais das temperaturas externas. Nicol e Humphreys (2001) propuseram uma modificação nas equações de Fanger, no que tange ao caráter adaptativo das sensações térmicas humanas. Além das ações humanas conscientes de preservação do conforto, um outro argumento contra a adoção de limites universais para temperaturas confortáveis é a própria aclimação.

Portanto, à luz das duas correntes, conforto térmico pode ser definido pela sensação de bem-estar que envolve o equilíbrio entre as trocas de calor com o ambiente. Essas trocas de calor acontecem em função da atividade física exercida pela pessoa, da resistência térmica do vestuário e das variáveis ambientais (velocidade do ar, temperatura do ar, temperatura radiante, umidade relativa do ar). Todas essas somadas à arquitetura do local determinam a satisfação de uma pessoa com o ambiente, contando também com características individuais, como idade, peso, sexo e altura (LAMBERTS *et al.*, 2016).

Uma forma simplificada de se informar sobre o conforto térmico em um determinado ambiente é através do Diagrama do Conforto Humano (Figura 8), elaborado pela WMO (*World Meteorological Organization*) e veiculado pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

O diagrama apresenta, no eixo horizontal, escala de umidade relativa e, no eixo vertical, escala de temperatura. As situações de conforto térmico estão compreendidas entre umidades relativas de 30% a 80% concomitantes com temperaturas entre 8°C e 33°C. Dentro da área de possível conforto térmico há duas faixas de temperatura que requerem condições extras para conforto (a depender da umidade relativa), quais sejam, abaixo de 20°C, situação na qual se necessita de insolação, e acima de 26°C, quando se necessita de ventilação para se ter sensação de conforto térmico.

Figura 8 - Diagrama do Conforto Térmico Humano WMO (adaptado)

Fonte: INMET, 2017

2.2.1 ASHRAE 55

A norma americana ASHRAE Standard 55 (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*) (2013) especifica as condições ambientais térmicas aceitáveis em espaços internos para a maioria dos ocupantes. Em sua última versão de 2013, apresenta três modelos gerais de simulação para determinar a aceitabilidade das condições térmicas de um espaço ocupado, sendo eles: gráfico, analítico e para ambientes ventilados naturalmente.

O modelo gráfico é aplicável para espaços onde os ocupantes apresentem atividade metabólica entre 1,0 e 1,3 met², isolamento da roupa entre 0,5 e 1,0 clo³, e que a velocidade média do ar não ultrapasse 0,20 m/s. Para ambientes com velocidade do ar superiores à este limite, a norma apresenta outro gráfico com uma correção nos valores de temperatura operativa interna;

O modelo analítico é aplicável para espaços onde os ocupantes apresentem atividade metabólica entre 1,0 e 2,0 met e a velocidade média do ar não ultrapasse 0,20 m/s. Nesse modelo são fornecidas as diretrizes e método para cálculo dos índices PMV e PPD.

O modelo para avaliação em ambientes ventilados naturalmente e controlados pelo usuário é aplicável em espaços onde a atividade metabólica dos ocupantes se restringe ao intervalo entre 1,0 e 1,3 met, e os ocupantes devem ser livres para adaptar a sua vestimenta em um intervalo que varia entre 0,5 e 1,0 clo. Neste método, a temperatura média do ar externo deve estar entre 10°C e 33°C.

Para análise do conforto térmico em edifícios existentes a norma propõe dois métodos informativos, sendo eles: medições climáticas e questionários. Nesta pesquisa foi utilizado o método informativo via questionários.

No método de medições climáticas para ambientes naturalmente condicionados, é usado o modelo adaptativo para a determinação dos limites aceitáveis (Figura 9). As variáveis são: temperatura do ar interna, temperatura radiante média, temperatura do ar externa e temperatura operativa (média ponderada entre a temperatura média radiante e a temperatura do ar) via PMV⁴, além de levados em consideração as vestimentas e o nível de atividade dos ocupantes. Essas medições devem ser feitas por no mínimo 2h e devem representar um exemplar do total de horas ocupadas no período selecionado para aferição (mês, estação, ano) enquanto que a medição da temperatura do ar e da temperatura média radiante devem ser feitas por no mínimo 7 dias e no máximo 30 dias seguidos, assim como no método analítico.

² met: unidade utilizada para descrever a energia produzida por unidade de área superficial de uma pessoa média em repouso (1 MET = 58W/m²)

³ clo: Unidade de medida da resistência térmica da roupa. (1 clo = 0.155m² °C/W)

⁴ PMV: Voto Médio Estimado (*Predicted Mean Vote*) é um índice que prevê o valor médio dos votos de um grande grupo de pessoas, segundo a escala de sensações de 7 pontos.

Figura 9 - Zona de conforto em edifícios com ventilação natural (adaptado)

Fonte: ASHRAE, 2013

Segundo a norma, o limite inferior de temperatura interna pode ser encontrado através da Equação 1:

$$Temperatura\ interna\ (^{\circ}C) = \frac{[3 \times (Temperatura\ externa) + 145]}{10} \quad [Eq. 1]$$

Segundo a norma, para encontrar o limite superior pode ser utilizada a Equação 2:

$$Temperatura\ interna\ (^{\circ}C) = \frac{[3 \times (Temperatura\ externa) + 215]}{10} \quad [Eq. 2]$$

O outro método informativo é através de questionários, os quais são considerados pela norma um diagnóstico valioso para edifícios construídos e ocupados. Por meio da aplicação de questionários é possível a obtenção de resultados mais reais do que aqueles utilizando modelos de conforto térmico (LAMBERTS et al., 2016). A norma ressalta que o objetivo desse método não é uma avaliação abrangente da qualidade ambiental, mas sim uma visão detalhada e informativa sobre a perspectiva da sensação térmica de quem ocupa e vivencia diariamente o edifício. Para fins analíticos é necessário que se tenha uma parcela representativa de respostas. Na norma consta que se mais de 45 ocupantes

forem questionados a taxa de respostas deve ser maior que 35%, se o total de ocupantes for entre 20 e 45 pelo menos 15 desses devem responder e para menos de 20 ocupantes, 80% devem responder.

Existem dois tipos de questionários indicados nos quais são feitas perguntas sobre conforto térmico, adicionalmente outras perguntas são feitas a fim de ajudar a identificar problemas e formular possíveis respostas.

O primeiro tipo de questionário é o *Point-in-time* ou “instantâneo”. Nele o ocupante deve avaliar sua sensação térmica momentânea de acordo com a escala sétima da ASHRAE 55 (2013) (“muito quente” até “muito frio”), a mesma utilizada nos estudos de Fanger. Nele são feitas perguntas diretas se o ocupante acha o ambiente termicamente aceitável, se preferia que estivesse mais frio mais quente e também sua preferência em relação à velocidade do ar. Para análise das respostas os votos devem ser divididos pelo total para obter a probabilidade de aceitabilidade de conforto durante os períodos de pesquisa.

O segundo tipo são os questionários de “satisfação”, que são utilizados para avaliar as respostas dos ocupantes com relação ao espaço em geral dentro de um intervalo de tempo determinado (exemplo: verão de 2017). Nele é questionada a satisfação do ocupante em relação ao ambiente térmico e também quais instrumentos de controle são utilizados para reestabelecer a sensação de conforto térmico (exemplo: abertura de janelas, fechamento de portas). Os ocupantes são solicitados a avaliar o ambiente térmico considerando uma escala de sete pontos de satisfação. A aceitabilidade é determinada por meio da porcentagem de ocupantes que assinalaram sua resposta no intervalo que vai de “neutro” até “satisfeito”.

A premissa básica deste tipo de pesquisa é a natureza das respostas dos ocupantes, podendo recordar períodos ou casos de desconforto térmico, identificando padrões de operação dos sistemas de climatização e envoltória. Desta maneira, os ocupantes fornecem informações gerais de voto com relação ao conforto térmico em seu ambiente. Como resultado esse questionário fornecerá a porcentagem de ocupantes satisfeitos, insatisfeitos ou neutros a partir do total da amostragem.

2.2.2 Estratégias Construtivas para Conforto Térmico

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) afirmam que desde os primórdios, o homem construía seus abrigos a partir do aproveitamento das características desejáveis do clima, de forma que as indesejáveis fossem evitadas. Na Roma Antiga foi criada uma lei que garantia o direito do povo ao sol,

em algumas cidades o aquecimento de água e de ambientes se dava através de túneis subterrâneos. Nos desertos, quando haviam construções, essas eram protegidas pelas encostas de pedra de forma que no verão (quente e seco) as edificações ficassem sombreadas, e no inverno os raios solares entrassem devido à angulação de implantação das moradias e aquecessem as mesmas. Em cidades que tinham o clima extremamente severo, as edificações eram subterrâneas.

Os avanços tecnológicos que ocorreram na Revolução Industrial tiveram grande impacto nas técnicas construtivas, nos materiais e na forma de se construir. A partir da maior liberdade para se projetar e do surgimento das soluções arquitetônicas internacionais além do uso de condicionamento artificial, aspectos climáticos foram deixados de lado. Os edifícios não deveriam mais se adaptar ao local de implantação e o uso de materiais regionais foi deixado para segundo plano. Só seria possível a existência de uma solução projetual universal se houvesse um clima universal também, o que não existe. Com a crise mundial energética na década de 1970, viu-se a necessidade de abandonar esse modelo de construção, a análise do local passou a fazer parte novamente dos projetos de forma gradual.

Três fatores são essenciais para melhor conforto térmico e eficiência energética em um edifício (RUAS, 1999). A forma do edifício é importante, pois é a ponte entre o interior e o exterior, logo sua superfície de contato influencia em ganhos ou perdas de calor. A orientação solar e os ventos dominantes são fatores que, quando não analisados, podem aumentar vários graus dentro do ambiente. Outra estratégia é o uso da massa térmica para controlar o fornecimento de calor para o interior do edifício. A massa térmica é responsável pelo atraso entre o fornecimento de calor e o aumento da temperatura no interior do edifício. Durante o Inverno, a massa térmica faz com que a energia recebida durante o dia se manifeste no interior durante a noite. No verão a função é idêntica, mas o calor pode ser liberado durante a noite para o exterior usando a ventilação. Quanto ao isolamento, este previne a transferência de calor por condução entre o interior e o exterior. Esta razão faz do isolamento uma característica essencial tanto no verão quanto no inverno.

Todos esses fatores citados podem ser conseguidos se aliados o projeto com o clima, não sendo necessária a aplicação de soluções caras e artificiais. Algumas estratégias projetuais visam usar o clima a favor do conforto ambiental, havendo uma simbiose entre fatores climáticos e projeto arquitetônico. Esses são os chamados projetos bioclimáticos.

O conceito de projeto bioclimático, criado na década de 1960 pelos irmãos Olgyay, ganhou maior destaque após a crise do petróleo da década de 1970. Essa vertente projetual dá grande ênfase para o clima local e trabalha com a insolação, a direção dos ventos, a vegetação e topografia do local, de forma que aproveita as condições naturais, provocando maior integração entre o homem e seu

meio natural. Algumas estratégias projetuais em um projeto bioclimático são (LUCIANTCHUKI; CARAM, 2013):

- Ventilação natural: é eficaz entre as temperaturas de 20°C a 32°C, para temperaturas maiores há promoção de ganhos térmicos por convecção, ao invés do resfriamento. Para as temperaturas entre 27°C e 32°C há resfriamento apenas se a umidade relativa do ar estiver entre 15% e 75%. Algumas estratégias para se conseguir maior ventilação natural em um edifício são: a chaminé solar, o lanternim, os sheds, os captadores de vento, o peitoril ventilado e a ventilação cruzada;
- Iluminação natural: prateleiras de luz (fixa ou móvel), toldos, marquises, maiores aberturas;
- Sombreamento para evitar o aquecimento das paredes e interior: beirais, brises, cobogós, vegetação (árvores);
- Resfriamento evaporativo e umidificação;
- Uso de massa térmica para aquecimento e resfriamento;
- Aquecimento solar com ganho direto e indireto.

Para determinar quais estratégias bioclimáticas devem ser aplicadas, os irmãos Olgyay desenvolveram uma carta bioclimática, que relaciona umidade relativa do ar com a temperatura, conforme a Figura 10.

Figura 10 - Carta Bioclimática Adaptada de Olgyay

Fonte: Koch-Nielsen, 2002

Em 1968, Givoni, (1976) apresenta sua carta bioclimática original sendo considerada mais evoluída que a de Olgyay devido ao fato de que estende a zona de conforto por meio das estratégias bioclimáticas. Em 1992, Givoni (1992) apresentou novos estudos com os limites da zona de conforto alterados (Figura 11). Foi observado que as pessoas que vivem e trabalham em cidades de países em desenvolvimento, situadas em regiões úmidas e quentes, apresentavam-se aclimatadas para valores superiores de temperatura. Em sua carta bioclimática são relacionadas umidade relativa e umidade absoluta, temperatura de bulbo seco e velocidade do ar (ANDRADE, 1996).

Figura 11 - Carta Bioclimática adaptada de Givoni

Sendo:

- A – Zona de aquecimento artificial (calefação)
- B – Zona de aquecimento solar da edificação
- C – Zona de massa térmica para aquecimento
- D – Zona de Conforto Térmico (baixa umidade)
- E – Zona de Conforto Térmico
- F – Zona de desumidificação (renovação do ar)
- G + H – Zona de resfriamento evaporativo
- H + I – Zona de massa térmica de refrigeração
- I + J – Zona de ventilação
- K – Zona de refrigeração artificial
- L – Zona de umidificação do ar

Fonte: ABNT, 2005b

A presença ou ausência do vento constitui o maior impacto no conforto e clima local (HOUGH, 1995). O vento influencia a sensação térmica, evaporação, taxa de perda de umidade e transpiração da vegetação, aspectos particularmente importantes às condições microclimáticas. Dessa forma a ventilação natural se faz importante para o conforto térmico, podendo diminuir as temperaturas e o calor interno, aumentando a satisfação do usuário. Por se tratar de um sistema passivo, o aproveitamento adequado das correntes de ar naturais pode reduzir o consumo de energia dos edifícios uma vez que edifícios bem ventilados não necessitam de climatização artificial.

O que ocasiona a ventilação natural é a diferença de pressão, entre a pressão do vento na entrada e na saída. Quanto maior a diferença de pressão, maior a força do vento. Adicionalmente, a ventilação também influencia na qualidade do ar interior, possibilitando uma atmosfera interna mais saudável aos usuários através da renovação do ar.

O ganho de calor devido à absorção da radiação solar pelas superfícies externas das edificações é a principal causa de desconforto térmico em países de clima tropical. Cuidados como a proteção contra radiação solar, orientação das superfícies externas e o emprego de iluminação natural são medidas que ajudam a minimizar o fluxo térmico e, conseqüentemente, tornam o ambiente interno mais agradável (CAMPONHONI; ROMERO, 2010).

O uso da massa térmica, é uma estratégia que têm o potencial de gerar um ambiente confortável termicamente a partir da escolha de materiais somados a correta orientação solar do edifício. Ela é uma propriedade presente em alguns dos componentes construtivos e significa a capacidade dos materiais em absorver e armazenar calor nas horas quentes, e de o libertar posteriormente, de forma lenta, no período mais frio.

A orientação solar também tem grande influência no desempenho térmico da edificação. O posicionamento do edifício aumenta ou reduz a incidência da radiação solar pelas superfícies externas, acarretando em maior ou menor desconforto térmico do usuário e maior ou menor consumo de energia elétrica (MASCARÓ; MASCARÓ, 1992; LOUREIRO, 2003; AMORIM; BRAGA, 2004; MATOS, 2007; MARQUES, 2008; SORGATO, 2009; CAMPANHONI; ROMERO, 2010; ALMEIDA, 2014).

Para estudo da insolação as ferramentas de apoio usuais são: os métodos gráficos - como a carta solar e métodos de estudos de sombra; os modelos em escala reduzida - com céu real, relógio de sol ou simuladores da trajetória solar e os modelos digitais construídos em programas específicos Ecotect®, Revit®, Autocad®, SkechUp® e Rhinoceros® (CORDEIRO; LEDER; CASTRO, 2010).

Segundo Cordeiro, Leder e Castro (2010) o Sketchup®, é uma ferramenta confiável para o estudo solar, principalmente para a reprodução da sombra sendo importante ferramenta para auxiliar arquitetos nas decisões projetuais. Para comprovar a confiabilidade da ferramenta, os autores construíram um modelo físico real que foi submetido à insolação (Figura 12), e realizaram registros fotográficos, reproduzindo a mesma situação no SketchUp® (Figura 13). Na análise final, compararam as sombras projetadas no software com as sombras reais, e chegaram em um resultado bem similar, confirmando a confiabilidade da ferramenta de simulação.

Figura 12 – Modelo real de sombra em escala

Fonte: Cordeiro; Leder; Castro, 2010

Figura 13 – Modelo SketchUp 5.0 ensaio de sombra

Fonte: Cordeiro; Leder; Castro, 2010

2.3 Desempenho Térmico de Edificações

2.3.1 Regulamentos Brasileiros: Desempenho Térmico de Edificações

Com o crescimento populacional surgiu a necessidade de as edificações terem melhor eficiência energética, conceito que está diretamente relacionado com o desempenho térmico do sistema construtivo. Isso seria possível através de critérios normatizados para a classe da construção civil com o intuito de atingir um nível mínimo de qualidade da construção como um todo.

Em 2005 foi aprovada a primeira norma de desempenho térmico brasileira, a NBR 15220, que estabelece requisitos construtivos de acordo com parâmetros climáticos brasileiros.

Em razão de limitações da primeira norma, em 2008 é sancionada a NBR 15575, que entra em vigor em 2013. Esta norma estabelece vários aspectos dentre eles, exigências de conforto e segurança em imóveis residenciais. Nela contêm os níveis de segurança, conforto e resistência que devem proporcionar cada um dos sistemas que compõem um imóvel: estrutura, pisos, vedações, coberturas e instalações. É um marco para a área da construção civil nacional que agora trata do desempenho global do edifício (DELL'SANTO; ALVAREZ; NICO-RODRIGUES, 2014).

2.3.1.1 NBR 15220: Desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005a)

A norma NBR 15220, na parte 3, (ABNT, 2005c) apresenta a divisão do Brasil em oito zonas bioclimáticas. Esta distribuição em zonas foi realizada com base na Carta Bioclimática de Givoni (Figura 11). Apresentam-se estratégias importantes e relativamente simples de serem aplicadas nos projetos, sendo específica nos valores de transmitância térmica, atraso térmico e fator solar recomendados. Dessa forma, o zoneamento bioclimático resulta da interpolação de três variáveis: dados climáticos, zonas de conforto térmico humano, diretrizes de projeto e construção melhorando o desempenho térmico e reduzindo o consumo de energia.

Os textos da norma NBR 15220 (ABNT, 2005a) estão divididos em 5 partes, a saber:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica em regime estacionário pelo método fluximétrico.

Neste trabalho será dado destaque às partes 2 e 3 da norma, porque serão avaliados os componentes construtivos de residências e para isso será utilizada a divisão bioclimática brasileira.

A) Zoneamento Bioclimático Brasileiro

O território brasileiro tem grande diversidade climática, principalmente devido à sua extensão. Existem várias maneiras para se caracterizar o clima de uma região, cada qual partindo de um pressuposto para descrever e zonear determinado território como, por exemplo, a partir de variáveis como vegetação, relevo e temperaturas.

Por este trabalho tratar de avaliações de desempenho térmico, adota-se a classificação climática estabelecida pela NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social (ABNT, 2005c) que traz, paralelamente ao zoneamento bioclimático, diretrizes construtivas para habitações de interesse social.

A Figura 14 apresenta o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, dividido em oito diferentes zonas. Esse zoneamento veio de uma versão adaptada da Carta Bioclimática de Givoni (1992), em que o território brasileiro foi dividido em oito zonas bioclimáticas. Para cada zona, a Norma oferece recomendações técnico-construtivas como tamanho das aberturas, proteção das aberturas, tipo de vedações externas e estratégias de condicionamento passivo a serem consideradas durante o projeto. Entretanto, é importante enfatizar que o zoneamento bioclimático brasileiro se encontra em um processo de revisão que apresenta como proposta a divisão do território brasileiro em 20 zonas bioclimáticas (RORIZ, 2012).

Figura 14 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro (adaptado)

Fonte: ABNT, 2005

A.1) Parâmetros de Desempenho Térmico

As propriedades térmicas que devem atender requisitos mínimos para melhor desempenho térmico em diferentes Zonas Bioclimáticas são: transmitância térmica, atraso térmico, fator solar e

absortância. Além das variáveis físicas, a ventilação natural é também considerada um dos fatores para obtenção do desempenho térmico satisfatório. Portanto, os parâmetros e diretrizes para cada uma das zonas são:

a) Tamanho das aberturas para ventilação, expressas como percentual de área de piso. As aberturas são classificadas como pequenas, médias ou grandes.

b) Proteção das aberturas, condições de sombreamento para determinados períodos do ano.

c) Vedações externas, tipo de parede externa e cobertura de acordo com valores de transmitância térmica, atraso térmico e fator solar. As vedações são classificadas como leves ou pesadas e isoladas ou refletoras.

d) Estratégias de condicionamento térmico passivo. São obtidas, após análise climática, através da carta bioclimática.

Vale ressaltar que apesar de seu nome, a norma não se caracteriza por um normativo de avaliação de desempenho, já que em última análise, apresenta diretrizes para obtenção do desempenho mínimo sem, no entanto, apresentar metodologia para verificação e avaliação do mesmo (SILVEIRA, 2014).

Aqui serão contempladas as recomendações para a Zona Bioclimática 4, analisada nesta pesquisa.

- **Zona Bioclimática 4 (ZB4)**

Para a Zona Bioclimática 4 (Figura 15), que ocupa 2,0% da área brasileira, destaca-se a cidade de Brasília. Para ela, propõe-se: aberturas médias e sombreadas; com paredes externas pesadas e cobertura leve isolada. As estratégias recomendadas (Figura 16) para o inverno são o aquecimento solar da edificação (B) e vedações internas pesadas para maior inércia térmica (C); para o verão resfriamento evaporativo e massa térmica de resfriamento (H) e a ventilação seletiva (J).

Figura 15 - Zona Bioclimática 4

Fonte: ABNT, 2005c

Figura 16 - Carta bioclimática da Zona Bioclimática 4

Fonte: ABNT, 2005c

A Tabela 2 mostra as possibilidades de classificação das aberturas para ventilação segundo a norma. Elas são divididas entre pequenas, quando a área da abertura corresponde de 10 a 15% da área de piso do cômodo; médias, quando a área da abertura corresponde de 15 a 25% da área do piso do e grandes, quando a área da abertura corresponde a mais de 40% da área do piso. Para a ZB4 são consideradas adequadas aberturas médias.

Tabela 2 – Aberturas para ventilação

Aberturas para ventilação	A (em % da área de piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$
<u>Médias</u>	<u>$15\% < A < 25\%$</u>
Grandes	$A > 40\%$

Fonte: ABNT, 2005c

A tabela 3 mostra o detalhamento das diversas estratégias de condicionamento térmico passivo presentes na norma. Para cada zona bioclimática, existem combinações de estratégias adequadas. Para a ZB4 as mais adequadas são as estratégias destacadas na tabela 3.

Tabela 3 – Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico

Estratégia	Detalhamento
A	O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio, através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido
D	Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades)
E	Caracteriza a zona de conforto térmico
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
G e H	<u>Em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada através da evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido através do uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar</u>
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem
I e J	<u>A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deve ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos</u>
K	O uso de resfriamento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor
L	Nas situações em que a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura do ar estiver entre 21°C e 30°C, a umidificação do ar proporcionará sensações térmicas mais agradáveis. Essa estratégia pode ser obtida através da utilização de recipientes com água e do controle da ventilação, pois esta é indesejável por eliminar o vapor proveniente de plantas e atividades domésticas

Fonte: ABNT, 2005c

Para as vedações externas, paredes e coberturas, a tabela 4 apresenta os valores mínimos admissíveis pela norma. Para a ZB4 a indicação é que as paredes externas sejam pesadas ou seja, que tenham valores de transmitância térmica menor que 2,20 W/m².K; atraso térmico menor que 6,5 horas

e que tenha fator solar menor que 3,5%. A cobertura deve ser leve e isolada, com transmitância térmica menor que 2,00 W/m².K; atraso térmico menor que 3,3 horas e fator solar menor que 6,5%.

Tabela 4 – Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar admissíveis para cada tipo de vedação externa

Vedações externas		Transmitância térmica – U (W/m ² .K)	Atraso térmico – ϕ (h)	Fator solar - FSo (%)
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\phi \leq 4,3$	$FSo \leq 5,0$
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	$FSo \leq 4,0$
	<u>Pesada</u>	<u>$U < 2,20$</u>	<u>$\phi < 6,5$</u>	<u>$FSo < 3,5$</u>
Coberturas	<u>Leve isolada</u>	<u>$U < 2,00$</u>	<u>$\phi < 3,3$</u>	<u>$FSo < 6,5$</u>
	Leve refletora	$U \leq 2,30.FT$	$\phi \leq 3,3$	$FSo \leq 6,5$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 6,5$	$FSo \leq 6,5$

NOTAS

1 Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar (ver ABNT NBR 15220-2).

2 Aberturas efetivas para ventilação são dadas em porcentagem da área de piso em ambientes de longa permanência (cozinha, dormitório, sala de estar).

3 No caso de coberturas (este termo deve ser entendido como o conjunto telhado mais ático mais forro), a transmitância térmica deve ser verificada para fluxo descendente.

4 O termo “ático” refere-se à câmara de ar existente entre o telhado e o forro.

Fonte: ABNT, 2005c

2.3.1.2 NBR 15575 - Desempenho de edifícios habitacionais (ABNT, 2013a)

Em 2013, entrou em vigor a NBR 15575 – Desempenho de edifícios habitacionais (ABNT, 2013a) que foi idealizada pela Caixa Econômica Federal a fim de atender às necessidades de mercado, dos arquitetos, engenheiros e dos consumidores das atuais edificações brasileiras. Ela estabelece parâmetros mínimos de desempenho ao longo da vida útil dos elementos principais de uma edificação habitacional, sendo dividida em seis partes:

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

A NBR 15575 (ABNT, 2013a) associada à metodologia presente na NBR 15220 (ABNT, 2005a) deram base para análise de desempenho térmico de edificações nacionais, tornando-se importantes ferramentas para a construção civil. As partes que tratam sobre desempenho térmico são: 1, 4 e 5.

Na parte 1 da norma, Requisitos Gerais, no tópico sobre desempenho térmico são estabelecidos procedimentos de avaliação do desempenho térmico. Os resultados obtidos variam entre os índices M, I ou S (mínimo, intermediário ou superior). Os procedimentos de avaliação são os seguintes:

- a) Procedimento 1 – Simplificado (normativo): avalia o atendimento aos requisitos e critérios para os sistemas de vedação e coberturas conforme a ABNT NBR 15575-4 (ABNT, 2013e) e ABNT NBR 15575-5 (ABNT, 2013f). Caso os resultados tenham desempenho insatisfatório, deve-se fazer o aferimento por simulação computacional.
- b) Procedimento 2 – Medição que tem caráter informativo e não se sobrepõe aos procedimentos descritos no item a). Nela verifica-se o atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos no item a).
- c) Simulação computacional - Análise: os requisitos, critérios e métodos são detalhados. Devem ser utilizadas informações sobre a localização geográfica de algumas cidades brasileiras e os dados climáticos correspondentes aos dias típicos de projeto de verão e de inverno para aplicação dessa análise.

Na parte 4 da norma, *Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas*, são apresentados os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico de vedações verticais externas, sendo:

- **Adequação de paredes externas:**

As paredes externas devem atingir valores mínimos de Transmitância Térmica (Tabela 5) e Capacidade Térmica (Tabela 6) de acordo com a zona bioclimática na qual ela será construída.

Para a ZB4 as paredes externas se tiverem absorvância menor ou igual a 0,6 essas devem ter Transmitância térmica menor ou igual a $3,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Se a absorvância for maior ou igual a 0,6 a Transmitância térmica deve ser menor ou igual a $2,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Outro parâmetro a ser atendido é que a Capacidade térmica deve ser maior ou igual a $130 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$.

Tabela 5 – Transmitância térmica de parede externa

Transmitância térmica U (W/m².K)		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a \geq 0,6$
$U \leq 2,5$	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

^a α é a absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.

Fonte: ABNT, 2005c

Tabela 6 – Capacidade térmica de parede externa

Capacidade térmica (CT)kJ/m².K	
Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7	Zona 8
≥ 130	Sem requisito

Fonte: ABNT, 2005c

- Aberturas para ventilação:**

As aberturas para ventilação nas fachadas das habitações devem apresentar dimensões adequadas para proporcionar a ventilação interna dos ambientes.

Este requisito aplica-se somente aos ambientes de longa permanência: salas e dormitórios. Quando não houver requisitos de ordem legal para o local de implantação da obra, devem ser adotados os valores indicados na Tabela 7.

Para a ZB4 a exigência é que todas as aberturas tenham área maior ou igual a 7% da área do piso, esse valor se encontra sublinhado na Tabela 7. O cálculo da porcentagem de aberturas é feito de acordo com a Equação 3.

Tabela 7 – Abertura para ventilação em dormitórios e sala de estar

Nível de desempenho	Aberturas para ventilação (A)	
	Zonas 1 a 7	Zona 8 - Aberturas grandes
Mínimo	<u>$A > 7\%$ da área de piso</u>	$A \geq 12\%$ da área de piso – região norte do Brasil $A \geq 8\%$ da área de piso – região nordeste e sudeste do Brasil

NOTA Nas zonas de 1 a 6, as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio.

Fonte: ABNT, 2005c

$$A = 100 \times \left(\frac{Aa}{Ap} \right) (\%) \quad [\text{Eq. 3}]$$

Onde: Aa é a área efetiva de abertura de ventilação do ambiente;

Ap é a área de piso do ambiente.

A parte 5 da norma, Requisitos para os sistemas de coberturas, apresenta os requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico:

- **Isolamento térmico da cobertura:**

A cobertura deve apresentar valores de Transmitância térmica e Absortância à radiação solar que proporcionem um desempenho térmico apropriado para cada zona bioclimática (Tabela 8). Para a ZB4, se a Absortância for menor que 0,6 a Transmitância térmica deve ser menor que 2,3 W/m².K, se a Absortância for maior que 0,6 a Transmitância térmica deve ser menor que 1,5 W/m².K.

Tabela 8 – Critérios de coberturas quanto à transmitância térmica

Transmitância térmica U (W/m ² .K)				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
	<u>$\alpha < 0,6$</u>	<u>$\alpha > 0,6$</u>	$\alpha \leq 0,4$	$\alpha \geq 0,4$
$U \leq 2,30$	<u>$U < 2,3$</u>	<u>$U < 1,5$</u>	$U \leq 2,3 \text{ FT}$	$U \leq 1,5 \text{ FT}$

α é a absortância à radiação solar da superfície externa da cobertura.
 NOTA O fator de correção da transmitância (FT) é estabelecido na ABNT NBR 15220-3.

Fonte: ABNT, 2005c

2.4 Sistema construtivo de paredes de concreto moldadas no local

2.4.1 O Sistema

De acordo com a norma brasileira NBR 16055: Parede de concreto moldada no local para construção de edificações – requisitos e procedimentos (ABNT, 2012, p.3), uma parede de concreto pode ser definida como: “um elemento estrutural autoportante, moldado no local, com comprimento maior que dez vezes sua espessura e capaz de suportar carga no mesmo plano da parede [...]” (Figura 17).

Figura 17 - Casas feitas em parede de concreto moldada no local

Fonte: Castro, 2018

Essa técnica apresenta custo inicial elevado, porém o investimento é compensado quando as vantagens são analisadas. Ela tem características atrativas quanto à rapidez, facilidade de replicação, redução da mão de obra e a racionalização do canteiro, diminuição de perdas e entulhos, substituindo sistemas convencionais que utilizam técnicas por vezes, com muito desperdício e demoradas. É um sistema no qual, após a desforma, as paredes podem conter embutidas em seu interior todos os elementos previstos em projeto, tais como: caixilhos (ou vãos) de portas e janelas, tubulações elétricas e hidráulicas, fixação de cobertura ou outros (Figura 18) (DORNELLES, 2012).

Figura 18 – Desenho esquemático do sistema de parede de concreto moldada no local

Fonte: Silva, 2011

O sistema é utilizado no Brasil desde a década de 70 nas COHAB's, com concreto celular (sistema Gethal) e concreto convencional (sistema Outinord), sendo o segundo o mais comum. Sacht (2008) afirma que nessa época as paredes de concreto foram utilizadas na cidade de Santa Luzia-MG

para construir 46 unidades do Conjunto Habitacional Carreira Comprida e em Poços de Caldas-MG no Conjunto Habitacional Dr. Pedro Afonso Junqueira. De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (2008), o sistema também foi utilizado em Natal (RN) e Manaus (AM) em casas populares. Entretanto, na época, esse sistema não era normatizado e apresentou alta taxa de patologias, sendo problemas de fissuras as mais comuns (MISURELLI; MASSUDA, 2009).

Com a extinção do Banco Nacional da Habitação (BNH), órgão financiador das COHAB's, não existia demanda suficiente para o desenvolvimento e consolidação do sistema no mercado nacional, sendo mais utilizado em países sujeitos a abalos sísmicos, como Chile, México e Colômbia (CORRÊA, 2012). Nunes (2011) relata a utilização deste método nos Estados Unidos e na Austrália. Elas foram escolhidas nessas regiões por proverem resistência e rigidez, o que limita os danos causados nos abalos (MASSONE; WALLACE, 2004). Taylor, Cote e Wallace (1998) justificam o uso desta técnica por se esperar deformações inelásticas estáveis nas paredes, geralmente na base, o que diminui o que a parede precisa resistir, fornecendo amortecimento significativo e a diminuição dos danos.

Mais recentemente, a grande demanda por habitações de interesse social forçou o mercado a investir em sistemas construtivos inovadores eficientes, sendo retomado o sistema de parede de concreto moldada no local com o PMCMV (CBIC, 2013). Com o uso expressivo do sistema surgiu a necessidade de normatizá-lo. Poucas construtoras brasileiras conseguiam utilizar a técnica por dificuldades burocráticas. Anteriormente à norma, o interessado a utilizar precisaria desenvolver os procedimentos técnicos do sistema por conta própria a título de passar pela avaliação de um órgão certificador, portanto com a norma o sistema se torna mais seguro e acessível (CORSINI, 2011).

Do ponto de vista projetual, várias tipologias podem ser construídas com essa técnica: casas térreas, sobrados, edifícios de 4 até 30 pavimentos. Recomenda-se que, para edifícios altos, a mesma planta seja repetida do térreo ao último pavimento a fim de se evitar estruturas complexas de transição, o que iria interferir no custo, rapidez e complexidade do projeto. Recomenda-se evitar coberturas e platibandas com estruturas complexas, permitindo o uso das formas de pavimento tipo (ou parte delas) para sua execução, com racionalização no número de formas para a construção completa do edifício (DORNELLES, 2012).

Ainda na parte do projeto arquitetônico, recomenda-se evitar pequenos trechos de parede, pois necessitam de vários painéis de formas para seu fechamento, o que acarreta no aumento de tempo da obra e maior custo final. Caso seja necessária a existência desses pequenos trechos, para menos impacto na obra, orienta-se que tenham no mínimo 37 cm de comprimento em paredes de 10 cm de espessura. Deve-se evitar, da mesma forma, vãos de janela muito próximos de paredes

transversais. O alto custo em caso de retrabalhos exige que se tenha grande coordenação entre os projetos elétrico, hidráulico, arquitetônico e estrutural (PANDOLFO, 2007).

Na parte construtiva, para imóveis térreos o mais comum é que as fundações desse sistema sejam feitas com laje de apoio ou radier, porém há a possibilidade de se fazer sapata corrida, blocos de travamento de estacas e tubulões. A partir da fundação o sistema começa a ser montado, são utilizadas formas para moldar o concreto. Estas podem ser metálicas, plásticas, de madeira, mistas ou trepadeira (SACHT, 2008). Segundo Pandolfo (2007) a seleção da forma vai depender do grau de repetição do uso, da qualidade exigida, da espessura da parede e consequente empuxo gerado pelo peso do concreto, da disponibilidade de fornecedores na região, do ritmo de obra desejado, e até mesmo do estudo de grua.

2.4.2 NBR 16055 – Paredes de Concreto Moldada no Local (ABNT, 2012)

A NBR 16055 (ABNT, 2012), norma para o sistema construtivo de parede de concreto, orienta que a espessura mínima das paredes com altura de até 3m deve ser de 10cm. Permite-se espessura de 8 cm apenas nas paredes internas de edificações de até dois pavimentos. Para paredes com alturas maiores, a espessura mínima deve ser $le/30$, sendo le o comprimento equivalente da parede, apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Comprimento equivalente l_e e esquema de dimensões mínimas previstas em norma

Fonte: ABNT, 2012

O gabarito deve ser cuidadosamente posicionado, a partir do eixo central da parede, são considerados 13 cm para cada lado, totalizando a distância de 26 cm, correspondente aos 10 cm de espessura da parede e mais 8 cm de cada lado para colocação das faces das fôrmas (interna e externa) (SILVA, 2015). Se a parede for de espessura maior, as distâncias mudam, porém segundo Morquecho (2016) em construções de até 5 pavimentos no Brasil raramente se vê paredes de espessura maior que 12 cm, a não ser por exigências de desempenho.

A NBR 16055 (2012) não define um concreto específico a ser utilizado, este devendo apenas ter resistência a compressão menor ou igual a 40MPa. Segundo Batalha e Guarda (2014) essa restrição existe devido à reação exotérmica de hidratação do cimento, que, por liberar calor, pode provocar fissuras. Entretanto, Misurelli e Massuda (2009) afirmam que é recomendado utilizar uma das seguintes opções para melhor acabamento às paredes e maior facilidade na execução: concreto celular, concreto com elevado teor de ar incorporado – 9%, concreto com agregados leves com baixa massa específica, concreto convencional ou concreto autoadensável. Porém Sulaiman (2011) comprova que a profundidade da carbonatação é maior nos concretos celulares, o que pode influenciar negativamente na durabilidade do mesmo.

No caderno técnico da CAIXA (2017) consta uma série de medidas a serem seguidas na obra para garantir a qualidade do sistema construtivo com base na NBR 16055 (2012). Dentre as principais orientações consta que os executores devem se certificar dos seguintes itens: uso de concreto usinado bombeado, $f_{ck} \geq 20$ MPa, consumo mínimo de cimento = 280 kg/m^3 , fator água/cimento $\leq 0,55$, *slump* 20 ± 2 cm, início de pega $\geq 2,5$ horas, dimensão característica do agregado graúdo compatível com a espessura da parede e densidade de armaduras, de acordo com a norma.

Antes do lançamento do concreto assegurar-se que as armaduras estão de acordo com o projeto estrutural, que todos os embutidos foram adequadamente instalados nas fôrmas (negativos de portas e janelas, eletrodutos, caixas de elétrica e outros), que as fôrmas foram montadas e escoradas corretamente (geometria dos elementos, nivelamento, estanqueidade, etc.), se o traço do concreto está com a trabalhabilidade especificada correspondente ao pedido da compra, via nota fiscal. Após o lançamento do concreto, deve-se adensá-lo com uso de vibrador de imersão de forma que toda a armadura e os componentes embutidos sejam adequadamente envolvidos na massa de concreto. A desforma poderá ser realizada somente após o concreto atingir a resistência prevista no projeto e para retirar as formas deve-se aplicar desmoldante em todas as faces que estarão em contato com o concreto.

2.4.3 Críticas ao Sistema e a seu desempenho

Em uma pesquisa de campo realizada na cidade de São Carlos-SP foram verificadas as situações das casas de um conjunto habitacional (nome não revelado) com 596 unidades habitacionais construído com o sistema de parede de concreto moldada no local. Segundo Shimbo e Martins (2015), o sistema só funciona e tem garantia pela construtora se seguidas as orientações do Manual do Proprietário (guia de manutenção da habitação) e se não houverem alterações em relação ao projeto original. Porém, observou-se que 80% do total de unidades do conjunto haviam sofrido modificações e que todas elas foram feitas em um sistema diferente do entregue. Usam o sistema construtivo tradicional, devido à falta de conhecimento técnico ou a falta de esclarecimento sobre o auxílio que a construtora poderia oferecer no caso de uma ampliação. Portanto, o conjunto da residência se torna um sistema híbrido, sendo preocupante no sentido de agravamento de problemas relacionados à estabilidade estrutural e às patologias construtivas, prejudicando a manutenção do sistema construtivo inovador. As ampliações mais observadas foram a retirada da cozinha conjugada à sala, a criação de uma área de lazer e a construção de um novo banheiro na parte que era tida como área permeável. Diante desses fatos, torna-se necessária maior vistoria pós ocupação para que as habitações tenham maior longevidade.

Vanlin e Lima (2008) em suas pesquisas apontam a extrema necessidade da impermeabilização feita corretamente nesse sistema. A umidade é uma das principais preocupações em edifícios de parede de concreto e deve-se evitar que a mesma migre do solo para o edifício. Outro cuidado é em relação à cura do concreto que, caso feita incorretamente, pode deixar a camada superficial fraca, porosa e permeável gerando patologias nas construções.

Sacht (2008) avaliou o desempenho térmico por meio de simulação computacional para todas as zonas bioclimáticas brasileiras e concluiu que a espessura da parede de concreto juntamente com o tipo de cobertura exerce a maior influência sobre os resultados das temperaturas internas sendo mais relevante a variação de massa específica dos concretos. Grande parte das tipologias com painéis de concreto de 12 cm de espessura e massa específicas 2400 e 2200 kg/m³ atenderam aos requisitos de desempenho tanto para inverno quanto para verão. Os painéis em concreto tradicional apresentam melhor desempenho térmico que os com concreto leve. A pesquisa ressaltou que o fato de determinada tipologia não atender aos níveis de desempenho estabelecidos por norma não implica exatamente em inadequação para aplicação em determinados locais de acordo com a zona bioclimática, pois para contornar tais problemas podem ser utilizados recursos de projeto adicionais,

principalmente soluções passivas de adequação climática quando possível, por tratar-se de habitação de interesse social.

Morquecho (2016), defende que as informações de dimensionamento do sistema presentes na NBR 16055 (2012) deixam a desejar, assim como as limitações que a mesma impõe. A pesquisa ainda aponta que ao se utilizar concreto celular no sistema de paredes de concreto moldadas no local, deve-se ter limitações específicas, como fixação de uma faixa de densidades permitidas, controle rígido na produção e principalmente a exigência de um sistema adequado de impermeabilização nas paredes externas.

Nemer (2016) aborda o conforto ambiental nos edifícios construídos com o sistema de parede de concreto. Conclui que os parâmetros estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013a) não garantem necessariamente o conforto do usuário final da edificação desse sistema construtivo, mas visam garantir condições mínimas de habitabilidade às edificações neste período de grande evolução na indústria da construção civil brasileira.

Arêas (2013) aponta a necessidade de maiores investigações sobre a ocorrência e qualificação das imperfeições na superfície do sistema, focando as principais causas e o custo da operação de retrabalho, consequência das imperfeições.

Sacht, Rossignolo e Rezende Neto (2008) analisaram casas térreas feitas no sistema de parede de concreto e concluem o não atendimento aos requisitos de desempenho térmico no verão das mesmas na cidade de São Carlos-SP. Identificaram um acréscimo expressivo na temperatura interna e explicam que tal fenômeno ocorreu principalmente pela ausência de laje. A telha cerâmica quando aliada a alguma vedação horizontal forma um ático, e o ar existente entre telha e laje isolaria termicamente e, portanto, a utilização de laje diminuiria as temperaturas internas das habitações no verão. Por fim, salienta-se que o fato de determinada tipologia não atender aos requisitos de desempenho térmico estabelecidos por norma não implica exatamente em inadequação para aplicação em determinados locais de acordo com a Zona Bioclimática.

Capítulo 3

3 Materiais e Métodos

Para atingir os objetivos desta pesquisa, o método foi separado em duas fases essas sendo: Levantamento de dados e Pesquisa em Campo. O fluxograma presente na Figura 20 sumariza o método e a sequência utilizada na pesquisa.

Figura 20 – Fluxograma do Método

Fonte: a autora, 2018

a) Levantamento de dados:

- Identificação de alguns conjuntos habitacionais construídos em paredes de concreto que fizessem parte do PMCMV e que pertencessem à Zona Bioclimática 4;

- Levantamento de características de projeto dos empreendimentos selecionados nos quais foram analisados: implantação, arquitetura, materiais e componentes construtivos, orientação solar e orientação dos ventos na cidade a qual pertence;
- Ensaios de insolação e ventilação para todos os empreendimentos;
- Avaliação do desempenho térmico dos conjuntos habitacionais segundo os critérios da NBR 15575 (ABNT, 2013a) em seu método simplificado e uso do zoneamento bioclimático brasileiro presente na NBR 15220 (ABNT, 2005a).

b) Pesquisa em campo:

- Estudo em de um empreendimento selecionado, para avaliação das condições de conforto térmico, a partir de análise documental e visitas em campo. Identificação das principais alterações realizadas nas unidades habitacionais pelos moradores e análise dos possíveis impactos sobre as condições de conforto térmico dos usuários a partir de visitas em campo.
- Monitoramento das condições ambientais (temperatura e umidade relativa do ar externo e interno) em unidades habitacionais que sofreram modificação ou não em seus projetos originais, pelo período de 10 dias no inverno e verão.
- Aplicação de questionários de conforto térmico segundo modelos existentes na ASHRAE 55. Foram aplicados para identificação da percepção do morador acerca das condições de conforto térmico no interior das habitações em condições típicas de inverno e verão.

3.1 Identificação de edificações construídas em parede de concreto na ZB4

Foram utilizados alguns critérios para a escolha das edificações: que fossem construídas em parede de concreto moldada no local, que pertencessem à ZB4 e que o projeto fosse fornecido pela construtora.

Para que os critérios fossem atendidos, primeiramente foi feito um levantamento via ferramentas de busca na internet de construtoras que utilizam a técnica de parede de concreto moldada no local e que construíssem no estado de São Paulo via PMCMV. Em seguida, foi realizada uma triagem via site das empresas selecionando às que possuíam projetos construídos ou em fase de construção. Posteriormente, foi feito contato via e-mail e telefone com as 3 construtoras selecionadas. Por fim, obtivemos respostas de 2 construtoras sendo recebidos um total de 8 projetos. Foram utilizados 5 projetos, pois 3 deles não pertenciam a ZB4.

As construtoras pediram que a identidade dos empreendimentos fosse preservada por essa razão os são chamados de Empreendimento A, B, C, D e E (Figuras 21 a 25). Os Empreendimentos A, D e E foram recebidos pela Construtora 1 e o Empreendimento C e D pela Construtora 2. Sendo que o

Empreendimento A fica na cidade de Ribeirão Preto – SP e os outros na cidade de São Carlos-SP. Apenas o Empreendimento B pertence a Faixa 1 do PMCMV enquanto que os outros pertencem a Faixa 2.

Figura 21 – Empreendimento A

Fonte: Construtora 1, 2017

Figura 22 – Empreendimento B

Fonte: Construtora 1, 2017

Figura 23 – Empreendimento C

Fonte: Construtora 2, 2017

Figura 24 – Empreendimento D

Fonte: Construtora 2, 2017

Figura 25 – Empreendimento E

Fonte: Construtora 1, 2017

3.1.1 Empreendimento A

O Empreendimento A está localizado na cidade de Ribeirão Preto, município brasileiro no interior do estado de São Paulo, na região Sudeste do país, a uma altitude de 554 m acima do nível do mar, na Latitude de 21°10'38" Sul e na Longitude 47°48'37" a Oeste de Greenwich segundo dados do *Date and Time* (2018). Segundo dados do *Climate Data* (2018), a cidade apresenta clima tropical semiúmido com estação chuvosa e a estação seca no inverno (Tabela 9). Segundo a classificação bioclimática da NBR 15220 (ABNT, 2005c), o município pertence à ZB 4 e as recomendações construtivas consistem em aquecimento solar da edificação e paredes pesadas para o inverno e refrigeração evaporativa, inércia térmica para resfriamento e ventilação seletiva para o verão (Figura 26).

Tabela 9 - Dados da temperatura e pluviosidade de Ribeirão Preto (2017)

Mês	Temperatura do Ar (°C)			Chuva (mm)
	Mínima Média	Máxima Média	Média	
JAN	20,0	30,0	25,0	265,0
FEV	20,0	30,0	25,0	206,8
MAR	19,0	30,0	25,0	156,6
ABR	17,0	29,0	23,0	69,1
MAI	15,0	27,0	21,0	47,8
JUN	13,0	26,0	20,0	28,6
JUL	13,0	27,0	20,0	20,9
AGO	14,0	29,0	22,0	21,0
SET	16,0	30,0	23,0	51,9
OUT	18,0	31,0	25,0	128,8
NOV	19,0	30,0	24,0	168,5
DEZ	19,0	30,0	25,0	257,5
Ano	16,9	29,1	23,2	1422,5
Mín	13,0	26,0	20,0	20,9
Máx	20,0	31,0	25,0	265,0

Fonte: Cepagri, 2017

Figura 26 - Classificação bioclimática de Ribeirão Preto (ZBBR)

Fonte: Roriz, 2004

O condomínio está localizado a 6 km do centro da cidade. O empreendimento pertence a Faixa 2 do PMCMV, portanto o morador pode escolher a unidade de habitação. Conta com 224 unidades habitacionais tipo apartamento, sendo distribuídos em 14 edifícios (Figura 27) com 4 apartamentos por pavimento. Os apartamentos (Figuras 28, 29 e 30) têm área de 47,0 m² e 49 m² com 2 dormitórios, 1 banheiro, sala, cozinha e área de serviço.

Suas características construtivas são as seguintes: sistema construtivo de parede de concreto moldada no local com aplicação de textura acrílica com cor próxima ao cinza claro. A cobertura é com telhas cerâmicas apoiadas em estrutura metálica com uma inclinação de 35%. A laje é de concreto com espessura de 10 centímetros e aplicada pintura lisa na cor branca.

Nos banheiros, cozinhas e áreas de serviço há forro de gesso com pintura lisa na cor branca. O beiral mede 0,60 m e possui forro de PVC em toda sua extensão. As portas são de madeira com pintura lisa na cor branca. As janelas dos quartos são de aço de correr com veneziana e vidro com 3 folhas (1 fixa e 2 móveis). Já as das salas também são de alumínio, mas com 2 folhas de correr de vidro.

Figura 27 – Implantação Empreendimento A (adaptada)

Fonte: Construtora 1, 2017

Figura 28 – Planta Pavimento Tipo - Empreendimento A (adaptado)

Fonte: Construtora 1, 2017

Figura 29 – Planta de cobertura - Empreendimento A (adaptado)

Fonte: Construtora 1, 2017

Figura 30 – Corte BB - Empreendimento A (adaptado)

Fonte: Construtora 1, 2017

3.1.2 Empreendimentos B, C, D, E

Os empreendimentos B, C, D, E localizam-se em São Carlos, município brasileiro localizado no interior do estado de São Paulo, na região Centro-Leste, a uma altitude de 838 m acima do nível do mar, na Latitude de 22°01'02" Sul e na Longitude 47°53'26" a Oeste de Greenwich, segundo dados do *Date and Time* (2018). Segundo dados do *Climate Data* (2018), a cidade apresenta clima tropical de altitude com inverno seco e verão chuvoso, sendo também quente e temperado. Além disso, mesmo no mês mais seco, ainda assim tem elevada pluviosidade. O relevo da cidade é acidentado em 60% do território, 30% é ondulado e 10% é plano. Segundo a classificação bioclimática da NBR 15220 (ABNT, 2005c), o município pertence à ZB 4 e as recomendações construtivas são para o inverno: aquecimento solar da edificação e paredes internas pesadas; para o verão: refrigeração evaporativa, inércia térmica para resfriamento e ventilação seletiva (Figura 31).

Figura 31 - Classificação bioclimática de São Carlos – SP (ZBBR)

Fonte: Roriz, 2004

a) Empreendimento B

O condomínio está localizado a 9 km do centro da cidade em uma região periférica da cidade. O empreendimento pertence a Faixa 1 do PMCMV, portanto o morador é sorteado pela CAIXA e não pode escolher a unidade de habitação. Área total de implantação do residencial é de 432.000 m², com 986 unidades habitacionais tipo casa térrea (Figura 32). Cada casa tem área de 45,51 m² com 2 dormitórios, 1 banheiro, sala, cozinha e área de serviço externa e 1 garagem descoberta (Figuras 33, 34 e 35).

Suas características construtivas são as seguintes: sistema construtivo de parede de concreto moldada no local com aplicação de textura acrílica com cor próxima ao amarelo. A cobertura é com telhas cerâmicas sem forro com inclinação de 30%. A laje é de concreto com espessura de 10 cm com aplicação de pintura lisa branca.

A casa possui piso em concreto desempenado, portas de madeira com batente metálico e de aço com báscula e pintura na cor branca (sala e cozinha), as janelas são de aço pintadas na cor branca.

Figura 32 – Implantação - Empreendimento B

Fonte: Construtora 1, 2017

Figura 33 – Planta - Empreendimento B

Fonte: Construtora 1, 2017

Figura 34 – Corte AA - Empreendimento B

Fonte: Construtora 1, 2017

Figura 35 – Corte BB - Empreendimento B

Fonte: Construtora 1, 2017

b) Empreendimento C

O condomínio está localizado a 8 km do centro da cidade em uma região periférica da cidade. O empreendimento pertence à Faixa 2 do PMCMV, portanto o morador pode escolher a unidade de habitação.

Conta com 602 unidades habitacionais tipo casa térrea (Figura 36) com duas plantas diferentes (Figuras 37 e 38). Cada casa tem área de 51,05 m² ou 51,46 m² com 2 ou 3 dormitórios, 1 banheiro, sala, cozinha e área de serviço externa e 1 garagem descoberta.

Figura 36 – Implantação - Empreendimento C

Fonte: Construtora 2, 2017

Suas características construtivas são as seguintes: sistema construtivo de parede de concreto moldada no local; com aplicação de textura acrílica com cor próxima ao amarelo. A cobertura é com telhas cerâmicas apoiadas com estrutura metálica com inclinação de 30%. Não possui laje e tem forro com gesso acartonado e acabamento com tinta branca e textura.

A casa possui piso em concreto desempenado, portas e janelas pintadas na cor branca, fachada em textura acrílica. Janelas de correr com duas folhas, sendo as do quarto com veneziana e a porta da cozinha com duas folhas de correr de vidro.

Figura 37 - Planta baixa - 2 Dormitórios - Empreendimentos C e D (adaptado)

Fonte: Construtora 2, 2017

Figura 38 - Planta baixa - 3 Dormitórios - Empreendimentos C e D (adaptado)

Fonte: Construtora 2, 2017

c) Empreendimento D

O condomínio está localizado a 8 km do centro da cidade em uma região periférica da cidade. O empreendimento pertence a Faixa 2 do PMCMV, portanto o morador pode escolher a unidade de habitação.

Conta com 454 unidades habitacionais tipo casa térrea com duas plantas diferentes sendo divididas em 3 módulos (244 unidades no módulo I, 120 unidades no módulo II e 90 unidades no módulo III) com 2 tipos de casas (Figura 39). Cada casa tem área de 51,05 m² ou 51,46 m² com 2 ou 3 dormitórios, 1 banheiro, sala, cozinha e área de serviço externa e 1 garagem descoberta.

Figura 39 – Implantação Empreendimento D (adaptada)

Fonte: Construtora 2, 2017

Suas características construtivas são iguais às do Empreendimento C: sistema construtivo de parede de concreto moldada no local; com aplicação de textura acrílica com cor próxima ao amarelo. A cobertura é com telhas cerâmicas apoiadas com estrutura metálica com inclinação de 30%. Não possui laje e tem um forro com gesso acartonado e acabamento com tinta branca e textura.

A casa possui piso em concreto desempenado, portas e janelas pintadas na cor branca, fachada em textura acrílica. Janelas de correr com duas folhas, sendo as do quarto com veneziana e a porta da cozinha com duas folhas de correr de vidro.

d) Empreendimento E

O bairro está localizado a 10 km do centro da cidade em uma região periférica da cidade fazendo divisa com a Rodovia Washington Luís. O empreendimento pertence à Faixa 2 do PMCMV, portanto o morador pode escolher a unidade de habitação. Conta com 650 casas (Figura 40), cada uma com área de 43,92 m² ou 37,3 m² com 2 dormitórios, 1 banheiro, sala, cozinha e área de serviço externa e 1 garagem descoberta (Figuras 41, 42 e 43).

Figura 40 – Implantação - Empreendimento E (adaptado)

Fonte: Construtora 1, 2017

Suas características construtivas são as seguintes: sistema construtivo de parede de concreto moldada no local, com aplicação de textura acrílica com cor próxima ao amarelo. A cobertura é em telhas cerâmicas apoiadas sobre estrutura metálica com inclinação de 42%. A laje é de concreto com espessura de 10 cm pintada com tinta branca. A casa possui portas de madeira com batente de aço nos quartos, na cozinha e sala a porta é toda de aço pintada de branco. As janelas dos quartos são de aço com veneziana e 3 folhas de correr, na sala e cozinha a janela é de 4 folhas de correr de vidro.

Figura 41 – Planta - Empreendimento E (adaptado)

Fonte: Construtora 1, 2017

Figura 42 – Planta Cobertura - Empreendimento E (adaptado)

Fonte: Construtora 1, 2017

Figura 43 – Corte CC - Empreendimento E (adaptado)

Fonte: Construtora 1, 2017

3.2 Ensaio de Insolação

O estudo solar foi realizado com o auxílio do software SketchUp® tendo como base de mapas o Google Maps®, para georreferenciamento dentro do software. Foram simuladas as situações de inverno e verão, por serem os casos mais extremos de insolação, considerando o período da manhã e o período da tarde (das 7h às 17h) para os 5 empreendimentos. Para todas as simulações foram consideradas as alturas dos edifícios do próprio empreendimento e a inclinação do terreno, desconsiderando-se a altura do entorno na análise de sombreamento. No entanto, ressalta-se que para uma análise fidedigna a modelagem do entorno é de grande importância.

Para utilizar o SketchUp® para o estudo solar é necessário fazer a modelagem geométrica com a máximo de precisão possível do edifício real. Devem ser inseridas informações das variáveis do modelo – localização e orientação – fiéis ao original para que se possa atingir um resultado confiável. Por fim, escolhe-se a data e hora à serem analisadas.

Alguns plug-ins auxiliam em análises mais complexas como o *Sun Hours*® que auxilia em análises com cartas solares através da definição do local, posicionamento da fachada a ser analisada geograficamente e escolha do dia e data que se pretende analisar no modelo (Figura 44). Outro plug-in é o *Shadow Analysis*® que analisa as horas de exposição solar e sombras ao longo do dia através da definição do local e período a ser analisado no modelo (Figura 45). Para os empreendimentos analisados nessa pesquisa foram utilizados estes dois plug-ins em conjunto com o *SketchUp*® por entendermos que se tratam de ferramentas complementares, enquanto o *Sun Hours*® nos mostra

análises pontuais o *Shadow Analysis*® é uma integração dos estudos pontuais. Os ensaios para os 5 empreendimentos estão no item “Resultados”.

Figura 44 – Interface do Plug-in *Sun Hours* dentro do *SketchUP* (versão 2016)

Fonte: a autora, 2018

Figura 45 – Interface do Plug-in *Shadow Analysis* dentro do *SketchUP* (versão 2016)

Fonte: a autora, 2018

3.3 Ensaio de Ventilação

A experimentação da ventilação natural dos edifícios pode ser realizada por duas abordagens distintas, porém complementares: a numérica, a qual inclui medições in loco e em modelos (em escala real ou reduzida); a experimental, a qual inclui a utilização dos métodos e técnicas de visualização de escoamentos ambas com resultados qualitativos e quantitativos.

Os métodos de visualização de escoamentos via mesa d'água com modelos em escala reduzida são uma boa alternativa aos modelos CFD's (Dinâmica de Fluidos Computacional) pois apresenta baixo custo de execução, facilidade de operação e manutenção, necessidade de pouco espaço físico, facilidade de utilização de maquetes, instrumento comumente utilizado pelos arquitetos; caracterização instantânea das aberturas de entrada e de saída, visualização continuada do escoamento, possibilitando tanto o registro fotográfico como a sua filmagem (TOLEDO, 2006).

Porém é uma ferramenta que apresenta simplificações e possui limitações como: visualização apenas em duas dimensões, simplificando a visualização do fenômeno real que é essencialmente

tridimensional; impossibilidade de mensuração de grandezas aerodinâmicas, como pressão e velocidade, e em decorrência, as taxas de vazão; simulação de escoamentos apenas isotérmicos – não servindo para analogia de ventilação natural por diferenças de temperatura (TOLEDO; PEREIRA, 2003). Contudo, verifica-se o grande potencial dos ensaios com a mesa d'água como ferramenta de visualização qualitativa para o entendimento do escoamento do ar pela ação do vento no interior dos edifícios (GERMANO; ROULET, 2006).

Nesta pesquisa foi utilizado o equipamento mesa d'água do Laboratório de Conforto Ambiental do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, trata-se de um método de visualização de escoamentos. O equipamento (Figura 46) consiste em um canal aberto e paralelo que trabalha em ciclo fechado. Ele é composto por sistema hidráulico, elétrico, e sua estrutura é feita por placas horizontais e verticais de vidro transparente, montada sob perfis metálicos, contendo reservatórios de onde a água provém e para o qual ela escoar. Em uma das placas horizontais é onde se localiza o campo de observação do ensaio sendo por onde a água passa em velocidade uniforme podendo ser controlada para mais lenta ou mais rápida simulando a ação dos ventos no modelo tridimensional. Para melhor visualização é utilizado um indicador, o utilizado nesta pesquisa foi detergente lava-louça que produz espuma como traçador de direção.

Figura 46 – Mesa D'água

Fonte: a autora, 2018

Para se fazer os ensaios foram confeccionadas maquetes vazadas dos 5 edifícios (Figuras 47 a 51) na escala 1:50, a fim de impedir a interferência das paredes laterais do canal no escoamento e para que a taxa de obstrução nas aberturas fosse baixa.

Essas foram feitas em MDF por se tratar de um material com peso suficiente para os ensaios. Para construção dos modelos, foram diagramadas as peças da maquete no software *AutoCAD®* tendo como base os projetos dos empreendimentos para que em seguida fossem cortadas a laser e coladas com cola plástica para evitar possíveis vazamentos. Foi considerado apenas o vão de abertura efetiva das esquadrias. Realizaram-se ensaios de escoamento para 8 orientações diferentes de fachada principal (Norte, Nordeste, Noroeste, Sul, Sudeste, Sudoeste, Leste e Oeste) sendo afixado a direção de maior frequência de ventos da cidade à qual o edifício é localizado. Registraram-se os ensaios dos 5 empreendimentos por meio de câmera fotográfica digital, totalizando 40 ensaios, sendo 8 por maquete. Para melhor visualização é utilizado um traçador. Nesta pesquisa foi utilizado o detergente lava-louça que produz espuma como traçador de direção.

Figura 47 – Maquete Empreendimento A

Fonte: a autora, 2017

Figura 48 – Maquete Empreendimento B

Fonte: a autora, 2017

Figura 49 – Maquete
Empreendimento C

Fonte: a autora, 2017

Figura 50 – Maquete
Empreendimento D

Fonte: a autora, 2017

Figura 51 – Maquete
Empreendimento E

Fonte: a autora, 2017

Os empreendimentos estão localizados nas cidades de Ribeirão Preto - SP e São Carlos - SP. Segundo dados do ProjetEEE (2017), a cidade mais próxima à Ribeirão Preto com estação

meteorológica é a cidade de Franca - SP. Portanto, para os ensaios do Empreendimento A, foi adotado o registro que os ventos vem predominantemente do leste para a cidade, com velocidade de até 6 m/s (Figura 52).

Figura 52 - Direção Predominante dos Ventos em Franca – SP, adotado para Ribeirão Preto - SP

Fonte: PROJETEEE, 2017

Segundo dados do ProjetEEE (2017), a cidade de São Carlos – SP possui ventos vindos do leste, com velocidade chegando até a 6 m/s (Figura 53). Portanto, para os Empreendimentos B, C, D e E foi adotada a direção leste para os ensaios de vento.

Figura 53 - Direção Predominante dos Ventos em São Carlos - SP

Fonte: PROJETEEE, 2017

3.4 Estudo de caso em São Carlos – SP

O Empreendimento E foi selecionado para a pesquisa em campo, devido à viabilidade para realizar a pesquisa e à sua localização (São Carlos – SP). Outro ponto importante é que diferente dos outros projetos do PMCMV da cidade, ela se configura em um bairro e não em um condomínio fechado, o que possibilitou um contato mais aberto com as residências e seus moradores. Além disso, apresenta um total de 650 residências, sendo uma amostragem estatisticamente significativa.

3.4.1 Levantamento em campo

Em um primeiro momento, em dezembro de 2016, foi feito um levantamento externo a partir das ruas do bairro, passando pela frente das 650 residências, observando as fachadas das mesmas e quais haviam passado por modificações em relação ao projeto inicial. Em um segundo momento, em abril de 2017, foram feitas novas visitas ao bairro e pré-testes com os questionários e equipamentos com 15 moradores de 15 residências diferentes. Em junho e outubro de 2017 foram realizadas novas visitas ao bairro e aplicado o questionário de conforto térmico nas 300 residências ocupada. Por fim, foi feita a identificação das alterações mais recorrentes realizadas pelos moradores.

3.4.2 Monitoramento das condições ambientais

De acordo com Dornelles e Roriz (2005) no clima semi-úmido que é predominante na cidade de São Carlos-SP, o maior desconforto se dá por frio ou calor, devido a isso analisou-se os períodos de inverno e verão nas casas. Essas medições de temperatura e umidade relativa foram registradas por 10 dias com intervalos de 5 em 5 minutos e possibilitaram constatar as residências (modificadas e não modificadas) mais sujeitas a trocas térmicas com o exterior além de traçar um paralelo com as respostas de conforto térmico.

Os meses representativos destes períodos foram determinados a partir de dados coletados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o ano de 2017. Por apresentar a menor média mensal de temperaturas mínimas, junho e julho são meses representativos de inverno na cidade, assim como outubro representou o verão, por apresentar a maior média mensal de temperaturas máximas como pode ser visto nos Gráficos 3 e 4.

Gráfico 1 – Temperaturas médias mensais (INMET) São Carlos – SP 2017

Fonte: a autora, 2018

Gráfico 2 – Umidade média mensal (INMET) São Carlos – SP 2017

Fonte: a autora, 2018

O monitoramento foi feito em 3 residências: Casa A (Figura 57) sem alterações e voltada para nordeste, Casa B (Figura 58) alterada e voltada para sudoeste e Casa C (Figura 59) alterada voltada para nordeste, as localizações das residências podem ser conferidas na implantação da Figura 54.

Figura 54 – Implantação do Empreendimento E com marcação das casas medidas (adaptada)

Fonte: Construtora 1, 2017

As medições foram feitas mediante ocupação dos moradores pelo período de 10 dias nos meses de junho (inverno) e outubro (verão) de 2017 com registros de 5 em 5 minutos e calibração prévia dos equipamentos. Foram utilizados dois equipamentos por casa, modelo HOBO (Figura 56), para medição da temperatura interna e externa e da umidade do ar interna e externa. Os sensores foram colocados nas salas, por serem o ambiente de maior permanência e nos fundos das residências por serem locais mais seguros para deixar o equipamento como demarcado na planta baixa da Figura 55. Os moradores foram esclarecidos sobre o uso de tripés, barbantes e fitas adesivas para que ajustássemos os sensores para a altura ideal (1,20m), porém não obtivemos permissão em nenhuma das residências. A solução encontrada foi definirmos a altura de acordo com a permissão dos moradores de forma que considerassem não atrapalhar suas atividades. Todos os equipamentos foram protegidos da radiação externa através de um recipiente com furos laterais coberto com papel alumínio.

Figura 55 – Planta baixa com indicação do local dos equipamentos (adaptada)

Fonte: Construtora 1, 2017

Figura 56 – Equipamentos HOBO

Fonte: a autora, 2017

Sabe-se que, segundo a norma de desempenho térmico brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013b), para monitoramentos o ambiente deve estar desocupado. Porém, segundo Dell’Santo et al. (2014) ao se levar em conta uma abordagem adaptativa e ao se relacionar o desempenho térmico da edificação com o conforto do usuário, este critério da não ocupação não é adequado pois a temperatura de conforto é um resultado da interação entre os usuários e o ambiente. Devido a esse estudo, além da

difficuldade de acesso a casas sem ocupação e em função da segurança para deixar os equipamentos no local, optou-se por realizar as medidas em casas ocupadas. Também segundo a norma de desempenho, a altura ideal para se posicionar um equipamento em um ambiente corresponde a 1,20 m do chão. Entretanto, para monitorar edificações ocupadas, a altura ideal incomoda os moradores e os equipamentos podem ser removidos por crianças ou animais de estimação, logo não é uma altura segura como constatado na pesquisa de Barbosa (2017).

Figura 57 – Sensores instalados na Casa A – Empreendimento E

Fonte: a autora, 2017

Figura 58 – Sensores instalados na Casa B – Empreendimento E

Fonte: a autora, 2017

Figura 59 – Sensores instalados Casa C – Empreendimento E

Fonte: a autora, 2017

Para analisar a probabilidade de os moradores estarem em estado de conforto ou desconforto térmico, foi adotado o critério estabelecido pela ASHRAE 55 (2013) considerando os intervalos de aceitabilidade térmica para 80% dos ocupantes. Adotou-se as médias de temperatura do ano de 2017 obtidas através da Equação 1 e Equação 2. Portanto, a faixa de conforto térmico para Junho (mês típico

de inverno) está entre 19.8°C e 26.8°C e para Outubro (mês típico de verão) a faixa de conforto térmico está entre 21.3°C e 28.3°C. Esses limites estão apresentados na Tabela 10, cujos valores destacados são utilizados neste trabalho.

Tabela 10 – Limites de temperatura para conforto térmico (ASHRAE 55, 2013) – São Carlos 2017

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Limite Inferior (°C)	21.2	21.5	21.0	20.8	20.3	19.8	19.3	20.0	21.1	21.3	21.0	21.3	20.7
Limite Superior (°C)	28.2	28.5	28.0	27.8	27.3	26.8	26.3	27.0	28.1	28.3	28.0	28.3	27.7

Fonte: a autora, 2017

3.4.3 Entrevistas

Foram aplicados os dois questionários contidos no método informativo de conforto térmico da ASHRAE 55 (2013), um disponibilizado online e outro aplicado em dois momentos diferentes presencialmente (Junho e Outubro de 2017). Segundo a norma, para que os questionários tenham relevância estatística na amostragem é necessário obter 35% de respostas em relação ao total. A Associação de Moradores do bairro tem dados que das 650 residências apenas 300 estão ocupadas, portanto seriam necessárias pelo menos 116 respostas para validade de amostragem.

O questionário aplicado online (Apêndice B) é um questionário que exige a memória térmica dos moradores. Ele foi aplicado via grupo exclusivo para moradores do bairro na rede social Facebook® e foram obtidas 122 respostas que estão expressas no item “Resultados”.

O questionário aplicado em campo (Apêndice A) consiste em questionamentos de sensação térmica pontual momentânea. Foi aplicado em junho (inverno) e outubro (verão), juntamente com perguntas relacionadas a quais mudanças foram feitas nas residências. Vale ressaltar que foi informado aos moradores o caráter voluntário das entrevistas assim como seu livre arbítrio em participar da pesquisa após saber o teor das perguntas. Todas as fotos das residências presentes neste trabalho foram previamente consentidas pelos moradores (Apêndice C).

Capítulo 4

4 Resultados

4.1 Ensaio de Ventilação

Foram realizados ensaios qualitativos de escoamento do fluido (água) com maquetes vazadas no equipamento mesa d'água, utilizando o método do traçador e a técnica de injeção direta do indicador (detergente lava-louça). A ventilação foi analisada, pois, sabe-se que nos trópicos a ventilação natural é de suma importância para garantir o conforto térmico dos usuários de edifícios não climatizados, sobretudo os residenciais. Portanto, a escolha certa da direção para implantação do edifício é fator fundamental para que essa estratégia funcione. Para todos os ensaios a fachada principal está voltada para cima; a seta azul demarcada indica a direção do vento mais frequente na cidade do empreendimento, e para cada foto do ensaio tem-se a simulação de implantações geográficas distintas afim de encontrar a situação de implantação na qual a maior quantidade de cômodos tenha ventilação.

- **Empreendimento A - Ventilação**

Os ventos predominantes na cidade do Empreendimento A vem do Leste. As fachadas mais frequentes são a Norte e Sul de acordo com a implantação do residencial essas estão destacadas com um quadro laranja na Figura 60.

De acordo com o experimento, se a fachada principal do apartamento estiver voltada para a direção Norte, Nordeste e Sudeste, as trocas de ar internas são praticamente inexistentes. Isso é notado nos ensaios na mesa d'água pela ausência de espuma nos espaços internos, o que indica o fluxo de ar interno parado, com velocidades muito baixas. Nos apartamentos com fachada principal Noroeste e Oeste a ventilação é centralizada na sala e na cozinha. Enquanto que na fachada Sul, a corrente de vento é existente de forma mais significativa, porém ficando restrita em dois quartos e banheiro. A implantação na qual o fluxo do ar esteve melhor distribuído internamente foi a Fachada Leste, destacada em verde na Figura 60.

Figura 60 – Ensaio de Ventos Empreendimento A

- **Empreendimento B - Ventilação**

O vento predominante na cidade do Empreendimento B é o Leste. As fachadas mais frequentes de acordo com a planta de implantação nesse empreendimento estão voltadas para Noroeste e Sudeste, destacadas com o quadro laranja na Figura 61.

Figura 61 – Ensaio de Ventos Empreendimento B

Fonte: a autora, 2017

De acordo com o experimento, se a fachada principal da casa estiver voltada para a direção Sul as trocas de ar internas são praticamente inexistentes. Isso é notado no ensaio na mesa d'água pela ausência de espuma nos espaços internos, o que indica o fluxo de ar interno parado, com velocidades muito baixas. Nas casas com fachada principal Leste, Sudeste e Nordeste a ventilação é centralizada na sala, cozinha e banheiro. Enquanto que na fachada Sul, a corrente de vento é existente de forma mais significativa, exceto em um quarto, sendo considerada a melhor forma de implantação para esse projeto.

- **Empreendimento C - Ventilação**

O vento predominante na cidade do Empreendimento C é o Leste. As fachadas mais frequentes de acordo com a planta de implantação nesse empreendimento estão voltadas para Noroeste e Sudeste, destacadas com o quadro laranja na Figura 62.

De acordo com o ensaio, se a fachada principal da casa estiver voltada para a direção Norte e Sudoeste, as trocas de ar internas são praticamente inexistentes. Isso é notado no ensaio na mesa d'água pela ausência de espuma nos espaços internos, o que indica o fluxo de ar interno parado, com velocidades muito baixas. Nas casas com fachada principal Sudeste e Sul, a ventilação é centralizada no quarto da frente e no quarto dos fundos respectivamente. Casas com fachada Nordeste recebem ventilação no quarto da frente, sala e cozinha. Enquanto que casas com fachada Noroeste e Oeste recebem alguma ventilação em todos os cômodos. Por ser a fachada com maior distribuição significativa de ventos, a Fachada Leste foi considerada a mais adequada.

Figura 62 – Ensaio de Ventos Empreendimento C

Fonte: a autora, 2017

- **Empreendimento D - Ventilação**

O vento predominante na cidade do Empreendimento D é o Leste. As fachadas mais frequentes de acordo com a planta de implantação nesse empreendimento estão voltadas para Nordeste e Sudoeste, destacadas com o quadro laranja na Figura 63.

Figura 63 – Ensaio de Ventos Empreendimento D

— Fachadas mais frequentes

— Fachada com melhor distribuição de ventos internos

→ Direção de maior frequência de ventos na cidade

Fonte: a autora, 2017

De acordo com o experimento, se a fachada principal da casa estiver voltada para a direção Norte as trocas de ar internas são praticamente inexistentes. Isso é notado no ensaio na mesa d'água pela ausência de espuma nos espaços internos, o que indica o fluxo de ar interno parado, com velocidades muito baixas. Nas casas com fachada principal Leste e Sudeste a ventilação é centralizada na nos quartos. Enquanto que casas com a fachada principal Sudoeste, Nordeste e Noroeste, a corrente de vento é existente de forma mais significativa concentrando-se na sala, cozinha, banheiros e quarto dos fundos. As fachadas que obtiveram distribuição mais homogênea em mais cômodos foram a Sul e a Oeste.

O vento predominante na cidade do Empreendimento E é o Leste. As fachadas mais frequentes de acordo com a planta de implantação nesse empreendimento estão voltadas para Nordeste e Sudoeste, destacadas com o quadro laranja na Figura 64.

De acordo com o ensaio, se a fachada principal da casa estiver voltada para a direção Noroeste e Oeste, as trocas de ar internas acontecerão apenas no quarto dos fundos e casas voltadas para Norte terão apenas a sala ventilada. Isso é notado no ensaio na mesa d'água pela ausência de espuma no restante dos espaços internos, o que indica o fluxo de ar interno parado, com velocidades muito baixas. Nas casas com fachada principal Oeste, Sul, Sudoeste e Noroeste, a ventilação é centralizada no quarto dos fundos e no banheiro. Casas com fachada Nordeste recebem ventilação apenas no quarto da frente. Casas voltadas para Sudeste recebem uma maior distribuição, tendo a sala, cozinha e banheiro ventilados. Enquanto que casas com fachada Leste, recebem ventilação em todos os cômodos e foi considerada a mais adequada forma de se implantar nesse local.

Figura 64 – Ensaio de Ventos Empreendimento E

Fonte: a autora, 2017

A síntese dos resultados obtidos de todos os empreendimentos analisados pode ser vista no Quadro 1.

Quadro 1 – Síntese dos resultados do ensaio de ventilação

Empreendimento	Direção de ventos mais frequentes na cidade do empreendimento	Direção predominante das fachadas principais dos empreendimentos	Melhor orientação para implantação da fachada principal segundo experimento⁵
A	Leste	Norte e Sul	Leste
B	Leste	Noroeste e Sudeste	Norte
C	Leste	Noroeste e Sudeste	Leste
D	Leste	Nordeste e Sudoeste	Sul e Oeste
E	Leste	Nordeste e Sudoeste	Leste

Fonte: a autora, 2018

Como pode-se comprovar com os experimentos através de estimativas visuais, a direção do vento é essencial para estabelecer a pressão do vento de entrada e saída. Contudo para análises mais precisas são necessários outros tipos de ensaios e experimentos (túnel de vento ou simulação CFD).

A estratégia bioclimática da ventilação cruzada aconteceu quando haviam aberturas em zonas de pressão opostas. As diferentes estimativas visuais de velocidades do ar notadas em cada experimento foram em função da área de entrada e saída do ar, da velocidade do vento em sua origem e da direção do vento em relação às aberturas.

O projeto arquitetônico está diretamente relacionado com a eficiência da ventilação natural. A locação das aberturas, assim como suas dimensões, a fluidez dos espaços internos são alguns dos responsáveis pelo funcionamento da estratégia e, consequentemente, pela renovação do ar, pelo resfriamento por convecção. A chuva acompanha o sentido dos ventos, por isso o projeto deve prever artifícios ou elementos impeditores da penetração dela e da proteção das paredes.

Portanto, a partir desses ensaios, reforça-se a necessidade de análise da direção dos ventos ao se projetar assim como das indicações específicas para cada ZB, principalmente para projeto como o PMCMV onde a economia pós ocupação é fator imprescindível.

⁵ Foram consideradas melhores orientações para implantação da fachada principal aquelas que tiveram quantidade significativa de ventilação no maior número de cômodos visualizados no ensaio de ventilação

4.2 Ensaio de Insolação

As Cartas Solares permitem entender a trajetória solar ao longo do dia no edifício sendo um dado importante para estudo preliminar ao se projetar. Estas foram geradas com o programa *Sun Hours*® através da inserção da latitude, longitude, data e hora, para fevereiro (verão) e para julho (inverno) feito para às 7h e para às 17h. O estudo de insolação é uma integração dos dados pontuais da carta solar, permitindo identificar as fachadas que mais recebem ou receberiam insolação direta. Estes foram gerados no programa *Shadow Analysis*® através da inserção de informações da latitude, longitude, período a ser analisado (das 7h às 17h) e intervalo de tempo de captação do movimento do sol (15 em 15 minutos). Foram consideradas as orientações reais das habitações analisadas, de acordo com a implantação real do conjunto habitacional.

- **Empreendimento A- Insolação**

Neste empreendimento a direção mais recorrente das fachadas principais são Norte e Sul. Analisa-se (Figuras 65 a 72) que no verão a fachada norte recebe 4h de insolação enquanto que a Sul recebe apenas 1h. No inverno, a fachada norte recebe 6h de insolação enquanto que a sul recebe 0 horas.

Portanto, considerando-se a implantação real e desconsiderando o entorno, a situação mais extrema quanto ao recebimento de calor na fachada seria o da fachada sul tanto para o inverno quanto para o verão. De forma geral ambas recebem pouca incidência solar se comparado com a fachada norte.

Figura 65 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 7h Fachada Norte (verão)

Fonte: a autora, 2017

Figura 66 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 17h Fachada Norte (verão)

Fonte: a autora, 2017

Figura 67 – Representação da Trajetória Solar - Julho 7h Fachada Norte (inverno)

Fonte: a autora, 2017

Figura 68 – Representação da Trajetória Solar - Julho 17h Fachada Norte (inverno)

Fonte: a autora, 2017

Figura 69 – Insolação - Fevereiro Fachada Norte

Fonte: a autora, 2017

Figura 70 – Insolação - Julho Fachada Norte

Fonte: a autora, 2017

Figura 71 – Insolação – Fevereiro Fachada Sul

Fonte: a autora, 2017

Figura 72 – Insolação – Julho Fachada Sul

Fonte: a autora, 2017

- **Empreendimento B - Insolação**

Neste empreendimento a direção mais recorrente das fachadas principais são Noroeste e Sudeste. Analisa-se (Figuras 73 a 80) que no verão a fachada noroeste recebe 0h de insolação enquanto que a Sudeste recebe 3h. No inverno, a fachada noroeste recebe 1h de insolação enquanto que a sudeste recebe 2 horas.

Portanto, considerando-se a implantação real e desconsiderando o entorno, a situação mais extrema quanto ao recebimento de calor na fachada seria o da fachada noroeste tanto para o inverno quanto para o verão. De forma geral ambas recebem pouca incidência solar se comparadas com a fachada sudeste.

Figura 73 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 7h Fachada Noroeste (verão)

Fonte: a autora, 2017

Figura 74 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 17h Fachada Noroeste (verão)

Fonte: a autora, 2017

Figura 75 – Representação da Trajetória Solar -
Julho 7h Fachada Noroeste (inverno)

Fonte: a autora, 2017

Figura 76 – Representação da Trajetória Solar -
Julho 17h Fachada Noroeste (inverno)

Fonte: a autora, 2017

Figura 77 – Insolação - Fevereiro Fachada
Noroeste

Fonte: a autora, 2017

Figura 78 – Insolação - Julho Fachada Noroeste

Fonte: a autora, 2017

Figura 79 – Insolação - Fevereiro Fachada Sudeste

Fonte: a autora, 2017

Figura 80 – Insolação - Julho Fachada Sudeste

Fonte: a autora, 2017

- **Empreendimento C - Insolação**

Neste empreendimento a direção mais recorrente das fachadas principais são Noroeste e Sudeste. Analisa-se (Figuras 81 a 88) que no verão a fachada noroeste recebe 3h de insolação enquanto que a Sudeste recebe 2h. No inverno, a fachada noroeste recebe 5h de insolação enquanto que a sudeste recebe 0 horas.

Portanto, considerando-se a implantação real e desconsiderando o entorno, a situação mais extrema quanto ao recebimento de calor na fachada seria o da fachada sudeste tanto para o inverno quanto para o verão. De forma geral ambas recebem pouca incidência solar se comparadas com a fachada noroeste.

Figura 81 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 7h Fachada Noroeste (verão)

Fonte: a autora, 2017

Figura 82 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 17h Fachada Noroeste (verão)

Fonte: a autora, 2017

Figura 83 – Representação da Trajetória Solar - Julho 7h Fachada Noroeste (inverno)

Fonte: a autora, 2017

Figura 84 – Representação da Trajetória Solar - Julho 17h Fachada Noroeste (inverno)

Fonte: a autora, 2017

Figura 85 – Insolação - Fevereiro Fachada Noroeste

Fonte: a autora, 2017

Figura 86 – Insolação - Julho Fachada Noroeste

Fonte: a autora, 2017

Figura 87 – Insolação - Fevereiro Fachada Sudeste

Fonte: a autora, 2017

Figura 88 – Insolação - Julho Fachada Sudeste

Fonte: a autora, 2017

• Empreendimento D - Insolação

Neste empreendimento a direção mais recorrente das fachadas principais são Nordeste e Sudoeste. Analisa-se (Figuras 89 a 96) que no verão a fachada nordeste e sudoeste recebem em média, 2h de insolação. No inverno, a fachada nordeste recebe 4h de insolação enquanto que a sudoeste recebe apenas 1 hora.

Portanto, considerando-se a implantação real e desconsiderando o entorno, a situação mais extrema quanto ao recebimento de calor na fachada seria o da fachada sudoeste tanto para o inverno quanto para o verão. De forma geral ambas recebem pouca incidência solar se comparadas com a fachada nordeste.

Figura 89 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 7h Fachada Nordeste (verão)

Fonte: a autora, 2017

Figura 90 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 17h Fachada Nordeste (verão)

Fonte: a autora, 2017

Figura 91 – Representação da Trajetória Solar - Julho 7h Fachada Nordeste (inverno)

Fonte: a autora, 2017

Figura 92 – Representação da Trajetória Solar - Julho 17h Fachada Nordeste (inverno)

Fonte: a autora, 2017

Figura 93 – Insolação - Fevereiro Fachada Nordeste

Fonte: a autora, 2017

Figura 94 – Insolação - Julho Fachada Nordeste

Fonte: a autora, 2017

Figura 95 – Insolação – Fevereiro Fachada Sudoeste

Fonte: a autora, 2017

Figura 96 – Insolação - Julho Fachada Sudoeste

Fonte: a autora, 2017

• Empreendimento E - Insolação

Neste empreendimento a direção mais recorrente das fachadas principais são Nordeste e Sudoeste. Analisa-se (Figuras 97 a 104) que no verão a fachada nordeste recebe 3h de insolação enquanto que a sudoeste recebe 2h. No inverno, a fachada nordeste recebe 4h de insolação enquanto que a sudoeste recebe 3 horas.

Portanto, considerando-se a implantação real e desconsiderando o entorno considera-se que ambas as fachadas possuem uma distribuição similar de insolação, tanto para o inverno quanto para o verão.

Figura 97 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 7h Fachada Nordeste (verão)

Fonte: a autora, 2017

Figura 98 – Representação da Trajetória Solar - Fevereiro 17h Fachada Nordeste (verão)

Fonte: a autora, 2017

Figura 99 – Representação da Trajetória Solar - Julho 7h Fachada Nordeste (inverno)

Fonte: a autora, 2017

Figura 100 – Representação da Trajetória Solar - Julho 17h Fachada Nordeste (inverno)

Fonte: a autora, 2017

Figura 101 – Insolação – Fevereiro Fachada Nordeste

Fonte: a autora, 2017

Figura 102 – Insolação - Julho Fachada Nordeste

Fonte: a autora, 2017

Figura 103 – Insolação - Fevereiro Fachada Sudoeste

Fonte: a autora, 2017

Figura 104 – Insolação – Julho Fachada Sudoeste

Fonte: a autora, 2017

A síntese das simulações feitas para todos os empreendimentos pode ser vista no Quadro 2.

Quadro 2 – Síntese dos resultados de insolação dos empreendimentos

Empreendimento	Direção da Fachada principal recorrente	Horas de Insolação Verão (entre 7h e 17h)	Horas de Insolação Inverno (entre 7h e 17h)
A	Norte	4	6
	Sul	1	0
B	Noroeste	0	1
	Sudeste	3	2
C	Noroeste	3	5
	Sudeste	2	0
D	Nordeste	2	4
	Sudoeste	2	1
E	Nordeste	3	4
	Sudoeste	2	3

Fonte: a autora, 2017

Corbella e Castanheira (2001) destacam a necessidade de controle da radiação solar incidente nas paredes e aberturas das fachadas. Este controle da radiação solar é obtido através da adoção correta da orientação, do dimensionamento das fachadas, da vegetação, da disposição dos elementos de proteção, dentre outros parâmetros. Ressalta-se que, para optar pelo controle adequado deve-se conhecer a radiação incidente em cada plano externo da edificação.

Portanto as piores situações se comparados todos os empreendimentos ficam para o A, B e C. Pois, existem fachadas que recebem 0 horas de insolação, o que não é uma situação desejável em nenhuma estação para nenhum ambiente. Uma implantação levando em consideração a orientação solar pode corrigir ou diminuir potencialmente essa situação.

4.3 Desempenho Térmico das habitações

Todas as comparações dos resultados obtidos na análise foram relacionadas com os limites da norma NBR 15575 (ABNT, 2013a). Todos os valores em destacados, significam que os mesmos não estão dentro do limite imposto pela norma. As análises foram separadas por componentes construtivos: vedações verticais externas, cobertura e aberturas para ventilação.

Para todos os valores de Condutividade Térmica (λ) e Calor Específico (c) foram adotados os da tabela do Anexo A. Para os valores de Resistência Térmica superficial interna e externa foram

adotados os valores da tabela presente no Anexo B. Os valores da Absortância à radiação solar foram retirados da tabela do Anexo C.

• Vedações verticais externas

Para fazer as comparações das paredes externas foi utilizada a norma da ABNT 15575-4:2013 “Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas” assim como as equações presentes nessa parte da norma.

No Empreendimento A, B e E as paredes externas são de concreto maciço, camada homogênea sem uso de argamassa em qualquer um dos lados. A espessura (e) é de 10 cm e a densidade de massa aparente do material utilizado (ρ) é de 2500 kg/m³. Desse modo, pela tabela que se encontra no Anexo A, obtém-se os valores da condutividade térmica (λ) e do calor específico (c) que são, respectivamente, 1,75 W/(m.K) e 1,00 kJ/(kg.K). Os valores das resistências térmicas superficiais interna e externa foram adotados de acordo com a tabela do Anexo B sendo eles 0,13 (m².K)/K e 0,04 (m².K)/K respectivamente.

Nos Empreendimento C e D, as paredes externas são de concreto maciço, camada homogênea sem uso de argamassa em qualquer um dos lados. A espessura (e) é de 10 cm e a densidade de massa aparente do material utilizado (ρ) é de 2300 kg/m³. Desse modo, pela tabela que se encontra no Anexo A, obtém-se os valores da condutividade térmica (λ) e do calor específico (c) que são, respectivamente, 1,75 W/(m.K) e 1,00 kJ/(kg.K). Os valores das resistências térmicas superficiais interna e externa foram adotados de acordo com a tabela do Anexo B sendo eles 0,17 (m².K)/K e 0,04 (m².K)/K respectivamente.

A partir das informações numéricas de característica específicas do material das vedações externas verticais, foram calculados os valores de Transmitância Térmica (U), Capacidade Térmica (C_t), Atraso Térmico (ϕ) e Fator Solar (F_{So}) para as vedações verticais do Empreendimento A. Os memoriais de cálculos das vedações externas verticais encontram-se no Apêndice D.

Portanto, para o Empreendimento A as vedações verticais tiveram 3 parâmetros que não atenderam a norma sendo eles: a transmitância térmica que ficou 0,7(W/(m².K)) acima do limite, o atraso térmico que ficou 3,7 horas abaixo do limite e o fator solar que ficou 9,04% acima do limite sendo a capacidade térmica o único parâmetro de acordo com o estipulado (Tabela 11).

Tabela 11 - Comparação dos resultados com os limites da norma do Empreendimento A para vedações verticais

Ribeirão Preto - SP - Zona 4		
Parâmetros	Empreendimento A	Limites Norma
Transmitância térmica (U) (W/(m ² .K))	<u>4,40</u>	≤ 3,7
Capacidade térmica (C _T) (kJ/(m ² .K))	250	≥ 130
Atraso térmico (φ) (h)	<u>2,75</u>	≥ 6,5
Fator Solar (FS _o) (%)	<u>12,54</u>	≤ 3,5

Fonte: a autora, 2017

Para os Empreendimentos B e E as vedações verticais tiveram 3 parâmetros que não atenderam a norma sendo eles: a transmitância térmica que ficou 0,7 acima do limite, o atraso térmico que ficou 3,75 abaixo do limite e o fator solar que ficou 1,78 acima do limite sendo a capacidade térmica o único parâmetro de acordo com o estipulado. Para os Empreendimentos C e D as vedações verticais tiveram 2 parâmetros que não atenderam a norma sendo eles: transmitância térmica que ficou 0,7 acima do limite, atraso térmico que ficou 3,86 abaixo do limite sendo que a capacidade térmica e o fator solar atingiram os limites (Tabela 12).

Tabela 12 - Comparação dos resultados com o limite da norma nos Empreendimentos B, C, D, E para vedações verticais

São Carlos - SP - Zona 4				
Parâmetros	Empreendimentos			Limites Norma
	B	C, D	E	
Transmitância térmica (U) (W/(m ² .K))	<u>4,40</u>	<u>4,40</u>	<u>4,40</u>	≤ 3,7
Capacidade térmica (C _T) (kJ/(m ² .K))	250	230	250	≥ 130
Atraso térmico (φ) (h)	<u>2,75</u>	<u>2,64</u>	<u>2,75</u>	≥ 6,5
Fator Solar (FS _o) (%)	<u>5,28</u>	3,5	<u>5,28</u>	≤ 3,5

Fonte: a autora, 2017

• Cobertura

Para fazer as comparações das coberturas de cada empreendimento foi utilizada a norma da ABNT 15575-5 (2013) “Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 5: Requisitos para os sistemas de cobertura” assim como as equações presentes nessa parte da norma.

As características gerais das coberturas dos Empreendimentos A, B, C, D e E são as seguintes: telhado com telhas cerâmicas na cor natural do material (superfície de alta emissividade, ϵ maior que 0,80) com câmara de ar (espessura maior 5cm) apoiada em estrutura metálica; apresenta laje de concreto com espessura de 10 cm com pintura lisa na cor branca. Os empreendimentos A e E não possuem forro. Enquanto que o empreendimento A possui forro em placas de gesso nos banheiros, cozinha e área de serviço e o Empreendimento C e D possuem forro em placas de gesso acartonado.

O memorial de cálculo para as coberturas estão no Apêndice E. Para todos os valores de Condutividade Térmica (λ) e Calor Específico (c) foram adotados os da tabela do Anexo A. Para os valores de Resistência térmica superficial interna e externa foram adotados os valores da tabela presente no Anexo B. Os valores da Absortância à radiação solar foram retirados da tabela do Anexo C. Para os valores de Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas foram usados os dados do Anexo D.

Portanto, para os Empreendimentos A, B e E, a cobertura ficou fora dos limites em 5 dos 6 parâmetros sendo eles: a transmitância térmica no verão ficou 0,55 acima e no inverno 0,96 acima, o atraso térmico no verão ficou 2,16 acima e para o inverno ficou 1,42 acima do limite, o fator solar-inverno ficou 0,39 acima sendo o fator solar – verão o único limite respeitado (Tabela 13).

Tabela 13 - Comparação dos resultados com o limite da norma para o Empreendimento A para cobertura

Ribeirão Preto - SP – Zona Bioclimática 4		
Parâmetros	Empreendimento A	Limites Norma
Transmitância térmica (U) (W/(m ² .K)) - VERÃO	<u>2,05</u>	$\leq 1,5$
Transmitância térmica (U) (W/(m ² .K)) - INVERNO	<u>2,46</u>	$\leq 1,5$
Atraso térmico (ϕ) (h) - VERÃO	<u>5,46</u>	$\leq 3,3$
Atraso térmico (ϕ) (h) - INVERNO	<u>4,72</u>	$\leq 3,3$
Fator Solar (FS _o) (%) - VERÃO	5,75	$\leq 6,5$
Fator Solar (FS _o) (%) - INVERNO	<u>6,89</u>	$\leq 6,5$

Fonte: a autora, 2017

Para os Empreendimentos C e D, a cobertura ficou fora dos limites em 3 dos 6 parâmetros sendo eles: a transmitância térmica no verão ficou 0,62 acima e no inverno 1,05 acima, o fator solar- inverno ficou 0,64 acima sendo o atraso térmico verão e inverno e o fator solar – verão de acordo com a norma (Tabela 14).

Tabela 14 - Comparação dos resultados com o limite da norma nos Empreendimentos B,C,D,E para cobertura

São Carlos – SP - Zona Bioclimática 4				
Parâmetros	Empreendimentos			Limites Norma
	B	C,D	E	
Transmitância térmica (U) (W/(m ² .K)) - VERÃO	<u>2,05</u>	<u>2,12</u>	<u>2,05</u>	≤ 1,5
Transmitância térmica (U) (W/(m ² .K)) - INVERNO	<u>2,46</u>	<u>2,55</u>	<u>2,46</u>	≤ 1,5
Atraso térmico (φ) (h) - VERÃO	<u>5,46</u>	1,12	<u>5,46</u>	≤ 3,3
Atraso térmico (φ) (h) - INVERNO	<u>4,72</u>	0,96	<u>4,72</u>	≤ 3,3
Fator Solar (FS _o) (%) - VERÃO	5,75	5,93	5,75	≤ 6,5
Fator Solar (FS _o) (%) - INVERNO	<u>6,89</u>	<u>7,14</u>	<u>6,89</u>	≤ 6,5

Fonte: a autora, 2017

Pelos resultados obtidos, é possível perceber que em todos os empreendimentos há vários parâmetros que não estão de acordo com a norma e isso ocorre pelo fato da cobertura não ter uma resistência térmica total maior, o que iria influenciar na diminuição da transmitância térmica.

- **Aberturas para ventilação**

Para fazer as comparações das aberturas para ventilação de cada empreendimento foi utilizada a norma da ABNT 15575-4 (2013) “Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas”.

Segundo a norma NBR 15575 (ABNT, 2013f), somente ambientes de longa permanência se adequam a avaliação da abertura para ventilação. Então, foram avaliados Quartos e Sala. No caso dos empreendimentos C e D a cozinha também foi considerada porque não existe divisão entre os dois cômodos.

Tabela 15 - Comparação dos resultados com o limite da norma no Empreendimento A para aberturas para ventilação

Ribeirão Preto – SP – Zona Bioclimática 4		
Ambientes	Empreendimento A	Limites Norma (%)
Dormitório 01	8,39	≥ 7
Dormitório 02	8,65	≥ 7
Sala	11,89	≥ 7

Fonte: a autora, 2017

Tabela 16 - Comparação dos resultados com o limite da norma nos Empreendimentos B, C, D, E, para aberturas para ventilação

São Carlos – SP - Zona Bioclimática 4					
Ambientes	Empreendimentos				Limites Norma (%)
	C,D		B	E	
	Tipo 3D	Tipo 2D			
Dormitório 01	7,34	7,34	8,70	8,59	≥ 7
Dormitório 02	9,84	9,84	8,90	8,73	≥ 7
Dormitório 03	11,34	-	-	-	≥ 7
Sala	8,86	8,86	5,78	12,67	≥ 7

Fonte: a autora, 2017

Todos os empreendimentos atenderam aos valores estabelecidos pela norma quanto a dimensão das aberturas. Sendo que a sala da casa do Empreendimento D apresentou dimensão de janela muito pequena em relação à área de piso, devido a esse fator a residência não alcançou o desempenho térmico mínimo. Porém de acordo com os resultados de ventilação vistos nos ensaios na mesa d'água essa dimensão mínima estabelecida não mostrou garantir uma boa ventilação.

A orientação para atender a norma é aumentar a dimensão da abertura da janela. Contudo vale ressaltar que se a janela tiver folhas de vidro, o seu aumento pode acarreta no ganho térmico pela superfície envidraçada.

De forma geral, as vedações externas verticais e as coberturas das residências por apresentarem valores de transmitância térmica e fatores solares acima do limite da norma, são superfícies que ganham calor de forma mais rápida do que o desejável. Resultando em uma variação de temperatura interna à mercê da variação de temperatura externa devido à baixa resistência térmica dos sistemas.

4.4 Estudo de Caso – Levantamento em Campo

De acordo com o método adotado, foi feita a pesquisa de campo em um dos empreendimentos. O escolhido foi o Empreendimento E, na cidade de São Carlos-SP, por ser um loteamento aberto, com mais facilidade para estabelecer contato com os moradores, além de ter 650 residências, portanto um número considerável para se chegar a uma generalização de análise do sistema construtivo e para recomendações para a ZB 4.

4.4.1 Modificações ao projeto

Foi observada uma forte tendência de modificações aos projetos originais pelos moradores. A Figura 108 mostra a implantação do Empreendimento A com o levantamento feito em 02 de dezembro de 2016. Nesse levantamento foi notada a necessidade de classificar as casas em: sem modificação (Figura 105), pouca modificação (Figura 106) e modificado (Figura 107). No Apêndice H tem-se mais imagens das casas do bairro.

Na data do levantamento, percebe-se que 66% das residências já haviam sido modificadas sendo que as sem modificações estavam desocupadas, mostrando uma forte tendência de modificação ao projeto padrão. Esse ato sugere insatisfação e inadequação do projeto às necessidades dos moradores.

Diante dessas modificações, existe um grande potencial de piora da situação de desempenho térmico das residências, pois como visto nos cálculos simplificados de desempenho térmico, o projeto padrão já apresenta problemas. Como o conforto térmico do morador está diretamente relacionado com o desempenho térmico da casa é possível inferir que essas modificações afetam o conforto térmico do morador.

Figura 105 - Exemplo de casa Sem Modificação – Empreendimento E

Fonte: a autora, 2017

Figura 106 - Exemplo de casa Pouco Modificada– Empreendimento E

Fonte: a autora, 2017

Figura 107 - Exemplo de casa Modificada– Empreendimento E

Fonte: a autora, 2017

Figura 108 – Levantamento das residências – nível de alterações

Fonte: a autora, 2016

A partir das respostas obtidas através dos questionários, foram produzidas as plantas esquemáticas das Figuras 109 até 115. A cor vermelha marcada nas plantas representa demolição de paredes do projeto original e a cor azul a adição de coberturas, muros ou paredes. As respostas mais recorrentes foram ilustradas como Tipo 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

As modificações classificadas como Tipo 1 (Figura 109) correspondem às casas que adicionaram cobertura na garagem frontal, área de lazer nos fundos, demoliram a parede do corredor de circulação abrindo passagem para os fundos, aumentaram a dimensão da porta de entrada principal, aumentaram a parede de separação entre a sala e a cozinha e por fim, construíram muros e portões nos limites do lote.

Figura 109 – Tipo 1 de modificações – Empreendimento E

Fonte: a autora, 2017

As modificações classificadas como Tipo 2 (Figura 110) correspondem às casas que muraram o terreno e colocaram portões na fachada frontal.

Figura 110 – Tipo 2 de modificações – Empreendimento E

Fonte: a autora, 2017

As modificações classificadas como Tipo 3 (Figura 111) consistem em residências que cobriram a garagem, muraram o lote, colocaram portão na frente e estenderam a cozinha até o limite do lote sem demolições.

Figura 111 – Tipo 3 de modificações – Empreendimento E

Fonte: a autora, 2017

As modificações classificadas como Tipo 4 (Figura 112) consistem em residências que cobriram toda a parte dos fundos. Demoliram a parede divisória entre a sala e a cozinha, criando uma grande sala e moveram a cozinha para os fundos além de terem criado um terceiro quarto.

Figura 112 – Tipo 4 de modificações – Empreendimento E

Fonte: a autora, 2017

As modificações classificadas como Tipo 5 (Figura 113) consistem em residências que foram muradas, que adicionaram área de lazer nos fundos e que demoliram a parede lateral da cozinha para que a mesma fosse ampliada até o limite do lote.

Figura 113 – Tipo 5 de modificações – Empreendimento E

Fonte: a autora, 2017

As modificações classificadas como Tipo 6 (Figura 114) consistem nas residências com maior número de parede demolidas. Nelas foram demolidas duas paredes frontais, uma parede lateral e uma parede dos fundos. O lote foi todo coberto e os dois quartos, a sala e a cozinha foram ampliados. Além de terem murado todo o lote, foi feita área de lazer e colocado portão na fachada frontal.

Figura 114 – Tipo 6 de modificações – Empreendimento E

Fonte: a autora, 2017

As modificações classificadas como Tipo 7 (Figura 115) consistem em residências que cobriram quase toda a garagem, muraram o lote, criaram área de lazer nos fundos e cobriram a lavanderia.

Figura 115 – Tipo 7 de modificações – Empreendimento E

Fonte: a autora, 2017

Segundos os moradores, o sistema construtivo no qual essas alterações são feitas é o tradicional, tijolo cerâmico com argamassa. A cobertura é feita com telhas cerâmicas e estrutura em madeira e em poucos casos telhas metálicas com estrutura em aço.

A partir desse levantamento percebe-se que as mudanças mais recorrentes são: cobrir a garagem, construir muros laterais e área de lazer. Outras modificações que também ocorreram em repetidos projetos é a ampliação da cozinha até o limite lateral da residência, a demolição da parede entre a sala e a cozinha e a construção de mais um quarto. A justificativa dadas pelos moradores para as alterações feitas são: aumento de segurança, melhora da privacidade e para comportar a família.

Todas as alterações foram feitas sem maior estudo ou análise técnica via engenheiro civil ou arquiteto, o que pode gerar sistemas que interferem no funcionamento térmico e estrutural da residência. Em muitas situações há o encontro justo entre a parede de concreto e o tijolo convencional, essas alterações formam sistemas construtivos mistos, que podem gerar diversos problemas.

Arquitetonicamente, as modificações criam plantas labirínticas, cômodos mal dimensionados, muitas vezes prejudicando a iluminação e a ventilação. Alterações de esquadrias e revestimentos, são feitas por questões estéticas e relacionadas a ser um produto de maior qualidade, porém sem a análise do sistema como um todo essas alterações podem diminuir a vida útil da construção.

4.4.2 Questionários

Foram aplicados dois questionários contidos no método informativo de conforto térmico da ASHRAE 55 (2013), um disponibilizado online e outro aplicado em dois momentos diferentes

presencialmente. O questionário aplicado online (Apêndice B) é um questionário que exige a memória térmica dos moradores, ele foi aplicado via grupo exclusivo para moradores do bairro no Facebook®. Foram obtidas 122 respostas que estão expressas nos Gráficos 5 ao 12. O questionário aplicado em campo (Apêndice A) consiste em questionamentos de sensação térmica momentânea. Foi aplicado em junho (inverno) e outubro (verão), juntamente com perguntas relacionadas a quais mudanças foram feitas nas residências. Vale ressaltar que foi informado aos moradores o caráter voluntário das entrevistas assim como seu livre arbítrio em participar da pesquisa após saber o teor das perguntas. Todas as fotos das residências presentes neste trabalho foram previamente consentidas pelos moradores.

4.4.2.1 Questionário de Memória Térmica

Questionário online aplicado durante o mês de abril de 2017 obtendo 122 respostas de 300 casas ocupadas. A partir das respostas dos moradores (Gráficos 3 ao 10), percebe-se que o cômodo de maior estadia é a sala, a orientação solar da fachada principal é desconhecida pela maioria, a satisfação geral com a temperatura interna é nem satisfeito nem insatisfeito. Consideram que no calor-verão a casa está sempre quente, no frio-inverno está sempre fria e que notam esse desconforto em todos os períodos do dia. Os moradores votaram que o motivo desse desconforto mais recorrente é por entrar muito sol na residência. As estratégias para voltar a estabelecer a sensação de conforto térmico mais adotadas pelos moradores foram: abertura de janelas, uso de ventilador e uso de cortinas.

Foram realizadas mais duas perguntas, essas não eram de múltipla escolha, portanto poderiam escrever abertamente as respostas. A primeira pergunta foi se a pessoa alterou algo na casa e o motivo, sendo a maioria das respostas: cobriu a garagem, colocou muros e portão, aumentou a cozinha, tirou a parede divisória entre a sala e a cozinha, fez um terceiro quarto, ou construiu área de lazer nos fundos. Os motivos declarados foram, em grande maioria, para comportar a família e para aumentar a segurança.

A outra pergunta feita foi se o morador teve qualquer outro problema relacionado à casa ser muito fria ou muito quente, as respostas encontram-se no Apêndice G. Os relatos foram variados, salientando-se as seguintes respostas: o vizinho construiu um sobrado e isso fez com que a casa da pessoa ficasse mais fria, também foi relatado que depois que fizeram alterações na casa o conforto térmico melhorou, e que no frio as residências são muito mais desconfortáveis que no calor. Além desses, alguns relatos ressaltaram que a insegurança no bairro os obrigou a retirarem a porta da cozinha e isso fez com que a casa ficasse mais quente.

Gráfico 3 - Qual o cômodo de maior estadia?

● Sala
● Quarto da frente
● Quarto dos fundos
● Cozinha

Fonte: a autora, 2017

Gráfico 4 - Qual a orientação solar da sua casa?

● Não Sei
● Oeste
● Leste
● Sul
● Norte

Fonte: a autora, 2017

Gráfico 5 - Quais itens você utiliza para melhorar a sensação térmica?

Fonte: a autora, 2017

Gráfico 6 - Qual a causa da sensação de desconforto no frio ou no calor?

Fonte: a autora, 2017

Gráfico 7 - Qual sua satisfação com a temperatura interna geral da sua casa?

● Nem Satisfeito Nem Insatisfeito ● Insatisfeito
 ● Satisfeito ● Muito Insatisfeito
 ● Muito Satisfeito

Fonte: a autora, 2017

Gráfico 8 - Como você classifica a sensação térmica dentro da sua casa no Calor-Verão?

● Sempre Quente ● Às vezes Quente
 ● Raramente Quente ● Raramente Fria
 ● Às vezes Fria ● Sempre Fria

Fonte: a autora, 2017

Gráfico 9 - Como você classifica a sensação térmica dentro da sua casa no Frio-Inverno?

Fonte: a autora, 2017

Gráfico 10 – Em qual período você percebe o desconforto?

Fonte: a autora, 2017

Os gráficos 3 ao 10, refletem as repostas de memória térmica dos moradores. Como não foi especificado período de tempo, as respostas, em média, capturam uma tendência global em casas, pessoas e tempo. Como toda pesquisa subjetiva, as respostas são sujeitas a múltiplos vieses, mas as respostas mais proeminentes mostram uma interessante correlação com os resultados apresentados anteriormente.

Quando questionados sobre o que fazem para melhorar a sensação térmica, a grande maioria dos entrevistados escolheram itens relacionados à ventilação, corroborando com o ensaio de vento feito que mostra que a ventilação é insuficiente. Muitos também associaram a causa do desconforto à pouca ventilação.

Como a maioria dos meses em São Carlos não são frios, é natural que os usuários se lembrem de sensações de calor mais que de frio. Como muitos tomam medidas paliativas para evitar desconforto, é natural a maioria não se sinta satisfeita nem insatisfeita com a temperatura interna (uma vez que as medidas paliativas estão sendo usadas). Ainda assim, uma quantidade significativa de moradores se diz insatisfeita com a temperatura interna em todos os períodos do dia.

4.4.2.2 Questionário Momentâneo

- **Respostas de Inverno (Junho – 2017)**

A partir das respostas (Gráficos 11 ao 14) dos moradores no período de inverno analisa-se que as vestimentas mais recorrentes são camiseta/blusa, calça jeans, tênis/sapato, sandália, moletom e meia, portanto vestimentas que aumentam o isolamento em relação a temperatura. A maioria da população 72% estava se sentindo com algum nível de frio e 24% nem com calor nem com frio no interior de suas residências, a maioria se encontrava na sala sentados realizando atividade leve. Total de 125 respostas de 300 residências. A temperatura exterior no momento da pesquisa era de 16°C (Clima Tempo, 2017).

Gráfico 11 – Vestimentas (Junho-Inverno)

Fonte: a autora, 2017

Gráfico 12 – Como você está se sentindo no momento (Junho – Inverno)

● Muito Frio ● Frio ● Pouco Frio ● Nem Calor Nem Frio
● Pouco Calor ● Calor ● Muito Calor

Fonte: a autora, 2017

Gráfico 13 – Qual cômodo da casa você estava (Junho – Inverno)

● Sala ● Quarto ● Cozinha
● Banheiro ● Externo (Lavanderia)

Fonte: a autora, 2017

Gráfico 14 – Nível de atividade (Junho – Inverno)

● Sentado atividade leve ● Sentado atividade moderada
● Em pé relaxado ● Em pé atividade leve
● Em pé atividade moderada ● Atividade pesada

Fonte: a autora, 2017

Portanto, de acordo com as respostas de inverno, os moradores consideram as casas frias necessitando de usar camadas de roupas mais pesadas no interior da residência (se comparadas com o verão).

- **Respostas de Verão (Outubro – 2017)**

A partir das respostas dos moradores no período do verão (Gráficos 15 ao 18) analisa-se que as vestimentas mais recorrentes foram camiseta/blusa, sandália, calça legging, portanto camadas leves com baixo isolamento. Outro dado é que 39% estava se sentindo nem com calor nem frio no interior de suas residências, porém mais da maioria, 61%, se encontrava com algum nível de calor. Total de 119 respostas de 300 residências. A temperatura exterior no momento da pesquisa era de 28°C (Clima Tempo, 2017).

Gráfico 15 – Vestimentas (Outubro-Verão)

Fonte: a autora, 2017

Gráfico 16 – Como você está se sentindo no momento (Outubro-Verão)

Fonte: a autora, 2017

Gráfico 17 – Qual cômodo da casa você estava (Outubro-Verão)

Fonte: a autora, 2017

Gráfico 18 – Nível de atividade (Outubro-Verão)

Fonte: a autora, 2017

Portanto, de acordo com as respostas de verão, os moradores consideram as casas quentes e usam camadas de roupas mais leves no interior da residência (se comparadas com o inverno).

4.4.3 Medições in loco

O monitoramento foi feito em 3 residências dentre elas 2 modificadas e 1 não modificada mediante ocupação dos moradores pelo período de 10 dias nos meses de junho (inverno) e outubro (verão) de 2017 com intervalo de medições de 5 em 5 minutos. Foram utilizados dois equipamentos por casa, modelo HOBO (Figura 83), para medição da temperatura interna (sala) e externa (fundos das casas) e da umidade relativa do ar interna (sala) e externa (fundos das casas). Todos os equipamentos foram protegidos da radiação externa através de um recipiente com furos laterais coberto com papel alumínio assim como descrito no item Método. Sendo que as modificações da Casa B consistem em cobertura de parte da garagem, muros ao redor do lote e cobertura dos fundos; as modificações na Casa C consistem em cobertura de toda a garagem, muros ao redor do lote e criação de área de lazer nos fundos, portanto mudanças que alteram a ventilação e a iluminação diretamente. Os resultados foram expressos nos Gráficos 19 ao 22.

Os gráficos de caixa mostram a distribuição das médias diárias de temperatura uma vez que nosso objetivo não é analisar o comportamento dessas grandezas em intervalos de tempo curtos, mas sim tendências globais. Através deles pode-se concluir que no verão, a Casa A (não modificada) apresentou em média 2°C a mais que o exterior, enquanto que a Casa B (modificada) apresentou em média 1°C a mais que a externa, e a Casa C (modificada) apresentou temperatura interna média igual a média externa. No inverno a Casa A, apresentou em média 1.4°C a mais que a temperatura média do exterior, a Casa B apresentou em média 1.2°C a mais que o exterior e a Casa C apresentou temperatura interna média praticamente igual à média externa.

Comparando as casas modificadas com as não modificadas tem-se os seguintes resultados: para o verão (Outubro), a casa sem modificação apresentou temperaturas internas mais elevadas que as das casas modificadas. Para o inverno (Junho) a casa sem modificação apresentou temperatura interna mais elevada que as casas modificadas.

Gráfico 19 – Distribuição das Médias Diárias de Temperatura no Verão – Empreendimento E

Fonte: a autora, 2017

Gráfico 20 – Distribuição das Médias Diárias de Temperatura no Inverno – Empreendimento E

Fonte: a autora, 2017

Gráfico 21 – Distribuição das Médias Diárias de Umidade Relativa no Verão – Empreendimento E

Fonte: a autora, 2017

Gráfico 22 – Distribuição das Médias Diárias de Umidade Relativa no Inverno – Empreendimento E

Fonte: a autora, 2017

De forma geral, no inverno, as casas são levemente mais quentes em seu interior, mas significativamente mais frias que no verão. Segundo o Quadro 2 a faixa de temperatura de conforto térmico para o Inverno é entre 19.8°C e 26.8°C e para o Verão é de 21.3°C e 28.3°C marcados em

amarelo dos Gráficos 19 e 20. A partir desses valores percebe-se que em média, as casas modificadas (Casas B e C), não estão dentro do intervalo de conforto térmico no inverno. Esse fato, leva à conclusão que as “camadas” extras como muros, portões, cobertura de garagem construídas posteriormente influenciaram na ventilação e no sombreamento da residência diminuindo as trocas térmicas com o exterior resultando em ambientes mais frios termicamente (Quadros 3 e 4).

Quadro 3 – Temperatura Interna e Externa para Verão e Inverno (média de 10 dias)

	Casa A (°C)	Casa B (°C)	Casa C (°C)
Temperatura interna - Verão - Média	24.3	23.7	22.6
Temperatura externa - Verão - Média	22.2	22.7	22.5
Temperatura interna - Verão - Desvio Padrão das médias diárias	2.7	2.4	2.4
Temperatura externa - Verão - Desvio padrão das médias diárias	3.7	4.7	4.5
Temperatura interna - Inverno - Média	20.3	19.5	19.6
Temperatura externa - Inverno - Média	18.9	18.3	19.3
Temperatura interna - Inverno - Desvio Padrão das médias diárias	1.7	1.6	1.2
Temperatura externa - Inverno - Desvio padrão das médias diárias	4.0	3.4	2.7

Fonte: a autora, 2017

Quadro 4 – Umidade Relativa Interna e Externa para Verão e Inverno (média de 10 dias)

	Casa A (%)	Casa B (%)	Casa C (%)
Umidade relativa interna - Verão - Média	52.0	60.3	59.4
Umidade relativa externa - Verão - Média	60.6	57.8	60.7
Umidade relativa interna - Verão - Desvio Padrão das médias diárias	10.0	8.5	9.4
Umidade relativa externa - Verão - Desvio padrão das médias diárias	16.0	18.5	18.1
Umidade relativa interna - Inverno - Média	61.1	57.5	61.1
Umidade relativa externa - Inverno - Média	58.1	60.7	58.3
Umidade relativa interna - Inverno - Desvio Padrão das médias diárias	6.8	9.1	8.2
Umidade relativa externa - Inverno - Desvio padrão das médias diárias	17.9	16.4	12.5

Fonte: a autora, 2017

De acordo com o Diagrama do Conforto Térmico Humano (Gráfico 23) que relaciona umidade e temperatura a partir das Temperaturas Internas Médias e das Umidades Internas Médias presentes nos quadros 3 e 4 os moradores se encontram no seguinte estado de conforto:

Casa A Verão (24,3 °C e 52%), Inverno (20,3 °C e 61.1%) está dentro dos limites de conforto térmico para ambas as estações e podem ser conferidas no Gráfico 27 representado pela marcação de cor vermelha.

Casa B verão (23,7 °C e 60,3%) Casa B inverno (19,5 °C e 57,5%) está dentro dos limites de conforto térmico para verão e para o inverno. O gráfico indica que é um ambiente que pode necessitar de sol para reestabelecer a sensação de conforto térmico. Essas respostas podem ser conferidas no Gráfico 27 representadas pela marcação de cor azul.

Casa C verão (22,6 °C e 59,4%) Casa C inverno (19,6 °C e 61,1%) está dentro dos limites de conforto térmico para ambas as estações.

Os resultados do diagrama mostram que as casas estão à margem do conforto térmico no inverno, onde necessita-se de mais sol. Esse resultado está de acordo com o ensaio solar apresentado.

Gráfico 23 – Diagrama do Conforto Térmico Humano (adaptado)

Fonte: INMET, 2017

Ao se relacionar as análises subjetivas (questionários) com as análises objetivas (medições) encontramos a seguinte situação: moradores consideram casas quentes no verão e frias no inverno e de acordo com as medições apenas no inverno as casas estariam fora da faixa de conforto térmico.

Portanto, a maioria das respostas para os questionários de sensação térmica momentânea aplicada no Inverno vão de encontro com as medições que apresentaram valores médios abaixo da faixa de temperatura de conforto térmico. Por outro lado, nos questionários de sensação térmica momentâneas no Verão os moradores consideraram suas casas quentes, resultado esse que está em desacordo com as análises da medição, que encontrou valores dentro da faixa de conforto térmico. De forma geral as residências modificadas pelos moradores apresentam valores mais próximos dos limites de desconforto térmico se comparada com as medidas da casa sem modificação.

Capítulo 5

5 Recomendações - Diretrizes Projetuais

A partir das análises feitas nesta pesquisa foram obtidas respostas sobre o desempenho térmico do sistema de parede de concreto moldado no local e também foi analisado o conforto térmico dos moradores dessas residências. Foram identificados problemas e a fim de que os mesmos não se repitam para futuras construções, neste tópico foram reunidas recomendações aos projetistas que forem construir residências com esse sistema na ZB4.

Primeiramente, recomenda-se que os componentes construtivos como um todo respeitem os limites das normas de desempenho térmico brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013a), porém com grande margem.

Para o sistema em si, tanto para as vedações verticais externas quanto para as coberturas, recomenda-se que se faça o uso da massa térmica como estratégia construtiva. Dessa forma haverá maior atraso nas trocas térmica do interior com o exterior, resultando em habitações mais protegidas termicamente.

Outra recomendação é quanto à implantação. Como pôde ser visto, o posicionamento da residência em relação à orientação geográfica e à direção predominante de ventos podem fazer toda a diferença para o funcionamento de estratégias bioclimáticas como a ventilação cruzada, que é um item de suma importância em residências de padrão popular. Recomenda-se realizar estudo de insolação para a implantação das unidades e observar a direção predominante dos ventos.

Existem alguns procedimentos que controlam os ganhos de calor advindos do sol, quais sejam: reduzir a energia solar recebida pelas aberturas; reduzir a energia solar absorvida por paredes externas; e utilizar isolantes térmicos. Nesse sentido, a correta orientação da edificação é capaz de reduzir o ganho de calor pelas aberturas e paredes.

Portanto, quando o objetivo é reduzir o ganho de calor devido à absorção solar, o primeiro passo a ser definido durante a concepção do projeto arquitetônico é orientar a edificação adequadamente para que os ambientes de permanência prolongada absorvam pouca carga térmica.

A utilização de brises fixos é também um recurso útil para o controle térmico, porém o controle por si só não possui mesma eficiência que a adoção da correta orientação solar da edificação pois,

mesmo com os brises, em determinados horários a parede externa continuará recebendo radiação solar e, assim, o brise não é tão eficiente contra o ganho de carga térmica no ambiente.

Quanto ao posicionamento de uma edificação em relação às outras, para uma ventilação satisfatória, os edifícios devem estar relativamente afastados uns dos outros, havendo assim boa circulação do vento ao redor deles. Segundo Olgyay (1998), para construções dispostas em fileira o espaçamento ideal é de sete vezes a altura do mesmo, o que garante uma ventilação satisfatória aos demais edifícios vizinhos. A melhor forma do edifício para ventilação cruzada é aquela na qual se pode obter a máxima diferença de pressão nas fachadas, formas monolíticas devem ser evitadas se o objetivo for gerar ventilação cruzada no interior capaz de reduzir o desconforto por calor, considerando que nas épocas frias o usuário pode controlar a passagem do ar (fechamento das janelas).

Por fim, recomenda-se que sejam projetadas formas mais criativas de implantação de forma a aliar custo e fatores climáticos e não apenas fatores de rapidez e economia. Um resumo dessas recomendações pode ser visto no Quadro 5.

Quadro 5 - Recomendações projetuais ZB4 - paredes de concreto moldadas no local

Casas a serem construídas	Casa construídas
Respeitar os limites da NBR 15575 (2013) porém com grande margem	Utilizar brises como forma paliativa para controle térmico
Evitar formas monolíticas para as habitações	Construir aparatos externos para melhorar a distribuição interna de ventos
Usar massa térmica como estratégia construtiva	
Analisar da orientação solar e direção dos ventos na fase projetual	
Projetar implantações mais criativas visando melhor ventilação	

Fonte: a autora, 2018

5.1 Conclusões

Conclui-se a partir do estudo de ventilação e insolação nos conjuntos habitacionais analisados do PMCMV construídos em parede de concreto moldada no local, que a análise prévia da direção do sol e do vento ao se fazer a implantação da habitação pode resultar em edifícios mais confortáveis termicamente para o morador. Assim como a localização das paredes, o tamanho das aberturas tem influência crucial para a ventilação cruzada acontecer em ambientes internos. Portanto, deve-se avaliar o projeto como um todo, combinando-se os efeitos conjugados de orientação solar, ventilação e construção.

Os limites traçados pela norma de desempenho térmico nacional NBR 15575 (ABNT, 2013a), não foram atendidos em sua grande maioria para as coberturas e paredes de vedação externa nas construções analisadas. No entanto, pesquisas já indicaram que não necessariamente o atendimento aos limites da norma de desempenho é garantia de um adequado desempenho térmico das edificações, porém valores que ficam fora do mínimo estipulado resultam em habitações ainda piores em relação ao desempenho térmico.

A partir do estudo de caso, constata-se que os moradores avaliaram suas casas de parede de concreto frias no inverno e quentes no verão. No inverno, os moradores fazem uso de roupas de frio dentro da residência, fecham janelas e portas. No verão, os moradores usam ventiladores e abrem portas e janelas para reestabelecer a sensação de conforto térmico.

Outro ponto a ser analisado é a falta de adaptabilidade do projeto comumente adotado pelo PMCMV usando o sistema construtivo de parede de concreto moldada no local à estrutura familiar individual. A tendência identificada é que a maioria dos moradores fazem modificações às casas originais, porém as fazem sem orientação de um arquiteto ou engenheiro civil. A modificação ao sistema gera a perda da garantia por parte da construtora, deixando o morador sem alternativas, pois precisam adequar suas casas às suas necessidades, porém com o risco de perda da garantia de funcionamento do sistema construtivo. As alterações mais recorrentes identificadas foram: remoção de paredes de concreto sem análise estrutural prévia, abertura de vãos nas paredes, justaposição de tijolos de 6 furos com as paredes de concreto e em poucos casos o sistema tradicional (tijolo) foi adicionado com um distanciamento da parede de concreto. Projetualmente foram adicionadas área de lazer nos fundos, garagem coberta na frente e ampliada a cozinha lateral, as persianas e portas

foram trocadas por outras de qualidade superior e muros e portões foram sempre adicionados por se tratar de um bairro considerado vulnerável em relação à segurança na cidade.

As medições de temperatura e umidade realizadas diagnosticaram que a residência feita em parede de concreto apresenta baixa inércia térmica, portanto a temperatura interna varia de acordo com a externa, sendo que no verão a temperatura interna é mais elevada que a externa e no inverno a interna fica praticamente igual a externa. Esse resultado permite concluir que a espessura da parede nesse sistema construtivo interfere diretamente no conforto térmico dos moradores, pois suas casas ficam com temperaturas internas flutuantes ao longo do dia e da noite.

Segundo os questionários de sensação térmica momentânea aplicada no inverno, os moradores consideram suas casas frias em algum nível, essa resposta vai de encontro com os dados coletados na medição in loco que apresentam temperaturas médias diárias abaixo da faixa de conforto térmico. Por outro lado, nos questionários de sensação térmica momentâneas aplicados no verão, os moradores consideraram suas casas quentes, resultado esse que está em desacordo com as análises da medição, que resultou em valores dentro da faixa de conforto térmico. De forma geral as residências modificadas pelos moradores são mais desconfortáveis termicamente que às sem modificação segundo os limites de conforto térmico humano.

Novamente essa pesquisa salienta que o problema não é a padronização, mas sim a falta de análises das condições climáticas na qual a construção é realizada. Um mesmo projeto pode sim ser construído diversas vezes em um terreno, porém a espessura da parede, da cobertura, a direção na qual o edifício é posicionado são essenciais para que o Programa Minha Casa Minha Vida tenha construções com longa vida útil e que a vida no interior delas não seja dispendiosa para os moradores através de gastos desnecessários com altas contas de energia para climatização artificial. Portanto, essa pesquisa sugere para futuros trabalhos que sejam elaborados projetos pré-concebidos de ampliações para casas construídas em parede de concreto, assim como a elaboração de uma cartilha contendo opções para melhorar o conforto térmico do morador de acordo com a orientação solar da residência. Por fim, recomenda-se um estudo da influência dos móveis padrão popular na dinâmica dos fluidos das residências do PMCMV feitas em parede de concreto moldada no local.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.220 – Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.

_____. NBR 15.220-2 – **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: ABNT, 2005b.

_____. NBR 15.220-3 – **Desempenho Térmico de Edificações: parte 3**: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005c.

_____. NBR 15575: **Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos: Desempenho**. Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR 15.575 – **Edificações Habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

_____. NBR 15575-1: **Edifícios Habitacionais: Desempenho: parte 1**: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. NBR 15575-2: **Edifícios Habitacionais: Desempenho: parte 2**: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013c.

_____. NBR 15575-3: **Edifícios Habitacionais: Desempenho: parte 3**: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013d.

_____. NBR 15575-4: **Edifícios Habitacionais: Desempenho: parte 4**: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013e.

_____. NBR 15575-5: **Edifícios Habitacionais: Desempenho: parte 5**: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013f.

_____. NBR 16055: **Paredes de concreto moldadas no local para a construção de edificações**. Rio de Janeiro, 2012.

ALMEIDA, L. S. S. **Influência de parâmetros físicos e geométricos no desempenho termoenergético de habitações unifamiliares**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). Standard 55: **thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta, 2013.

AMORE, C. S.; SHIMBO, L. Z.; RUFINO, M. B. C. **Minha casa. e a cidade? Avaliação do Programa Minha Casa Minha Vida em seis estados brasileiros**. 1. ed. Rio de Janeiro: Letra Capital, v. 1, 2015. Cap. 3, p. 51-70.

AMORIM, C. N. D.; BRAGA, D. K. **Conforto térmico em edifícios residenciais do plano piloto de Brasília**. In ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. São Paulo: ENTAC, v. Anais., 2004.

ANDRADE, L. S. É possível transformar em cidade a anticidade? Crítica ao urbanismo de empreendimentos do PMCMV. In: AMORE, C. S.; SHIMBO, L. Z.; RUFINO, M. B. C. **Minha Casa e a cidade? Avaliação do Programa Minha Casa Minha Vida em seis estados brasileiros**. 1. ed. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2015. Cap. 7, p. 165-193.

ANDRADE, S. F. D. **Estudo de Estratégias Bioclimáticas no clima de Florianópolis**. Dissertação (Mestrado). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.

ARANTES, B. **Conforto térmico em habitações de interesse social, um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. Bauru. 2013.

ARÊAS, D. M. **Descrição do Processo Construtivo de Parede de Concreto para obra de baixo padrão**. Rio de Janeiro: Monografia - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

BARBOSA, K. H. **Avaliação da Influência da Orientação Solar, Associada ao Comportamento do Usuário, no Desempenho térmico de uma tipologia de residência unifamiliar em Goiânia**. Florianópolis: Dissertação (Mestrado) Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

BATALHA, L.; GUARDA, M. D. **Avaliação da Influência da área das aberturas quadradas em paredes de concreto**. Universidade Federal da Bahia, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/16209/2/Artigo_%20Luara_Batalha.pdf>.

BITTENCOURT, L. S.; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. EDUFAL, Maceió, 2005.

BLANK-FREITAS, A. C.; AÑAÑA, E. S.; SCHRAMM, F. K. **Avaliação pós-ocupação de habitações de interesse social e a captura de requisitos do cliente final**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE. ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO. Campinas, 3, 2013.

BLUMENSCHIN, R.; PEIXOTO, E.; GUINANCIO, C. **Avaliação da qualidade da habitação de interesse social: Projetos urbanístico e arquitetônico e qualidade construtiva**. Brasília: [s.n.], 2015.

BONDUKI, Nabil. **Origens da Habitação Social do Brasil. Arquitetura Moderna, Lei de Inquilinato e difusão da casa própria**. São Paulo: Estação Liberdade: FAPESP, 1998.

BONDUKI, N. **Pioneiros da habitação social: Cem anos de política pública no Brasil**. Edições SESC. ed. São Paulo: UNESP, v. 1, 2014.

BONDUKI, N. **Habitar São Paulo: Reflexões sobre a gestão urbana**. Estação Liberdade, São Paulo, 2000.

BRASIL, I. -I. (2012). Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R. Rio de Janeiro.

_____. **Cartilha Minha Casa Minha Vida**, 2011. Disponível em: <http://www.aracaju.se.gov.br/userfiles/emurb/2011/07/outros_minhacaminhaveda.pdf>. Acesso em: 1 Março 2017.

_____. **Programa Minha Casa Minha Vida PMCMV**, 2013. Disponível em:
<http://www.cidades.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1131&Itemid=200>.
Acesso em: 1 Março 2017.

_____. (2001). Decreto n 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei n 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Acesso em 1 de Março de 2017, disponível em
<http://www81.dataprev.gov.br/sislex/paginas/23/2001/4059.htm>

CAIXA. **Caderno técnico de composições para parede de concreto**, 2017. Disponível em:
<http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-aferidas-lote1-habitacao-fundacoes-estruturas/SINAPI_CT_LOTE1_PAREDES_DE_CONCRETO_V003.pdf>.

CAMPONHONI, A.; ROMERO, M. B. **Influência da orientação no desempenho dos edifícios em Águas Claras - DF**. Anais. ed. Canela: In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010.

CARDOSO, A. D.; MELLO, I.; JAENISCH, S. T. A implementação do Programa Minha Casa Minha Vida na Região Metropolitana do Rio de Janeiro: agentes, processos e contradições. In:

CARVALHOSA, M. **Corrupção nas obras públicas. Uma solução em curso é a efetivação do performance bond**. Estadão, 2016. Disponível em:
<<http://opiniao.estadao.com.br/noticias/geral,corrupcao-nas-obras-publicas,10000070762>>. Acesso em: 28 Setembro 2017.

CASTRO, S. in METRO Modular. **Metro Modular**. Disponível em:
<http://www.metromodular.com.br/sliders/img_slider_10.jpg>. Acesso em: 2 Fevereiro 2018.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Desempenho de Edificações Habitacionais. Brasília, 2013.

CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Ligadas à Agricultura da Unicamp: Clima no município de Ribeirão Preto-SP. Disponível em: < https://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_490.html>. Acesso : 01 janeiro 2017.

CLIMA TEMPO. (junho de 2017). Clima Tempo. Fonte: <https://www.climatempo.com.br>

CLIMATE DATA. (Junho de 2017). Fonte: Climate Data: <https://pt.climate-data.org>

CONSTRUTORA 1. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <contato@rpsengenharia.br> em 15 novembro. 2016.

CONSTRUTORA 2. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <kelen.usp@gmail.com> em 15 setembro. 2016.

CORBELLA, O.; CASTANHEIRA, R. G. **Sobre a necessidade de proteção da radiação solar incidente nas fachadas sul, para edifícios situados entre as latitudes 10o e 35o**. In Anais do VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. São Pedro: ANTAC, 2001.

CORDEIRO, A.; LEDER, S.; CASTRO, A. **A Precisão das Ferramentas Informatizadas de Modelagem 3D na representação da sombra projetada em modelos virtuais**. ENTAC, Canela, 2010.

CORRÊA, J. M. **Considerações sobre projeto e execução de edifícios em paredes de concreto moldados in loco**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade de São Paulo, São Carlos, p. 72, 2012.

CORSINI, R. (Dezembro de 2011). Paredes Normatizadas. *Techne Pini*(183). Acesso em 2 de fevereiro de 2017, disponível em <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/183/paredes-normatizadas-norma-inedita-para-paredes-de-concreto-moldadas-287955-1.aspx>

COSTA, L. J. D. **Paredes de Concreto Moldadas in loca em Condomínios Horizontais: Avaliação de desempenho pelos usuários**. (Monografia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2013.

DATE AND TIME. (fevereiro de 2017). Fonte: [DateandTime.info](http://dateandtime.info): <http://dateandtime.info/pt/citycoordinates.php?id=3449319>

DELL'SANTO, A.; ALVAREZ, C. E.; NICO-RODRIGUES, E. A. **Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575**. Rio de Janeiro: Cadernos do PROARQ (UFRJ), v. 1, 2014. 114-136 p.

DORNELLES, K. A. **Sistema Construtivo de Parede Moldada no Local**. São Carlos: Apostila Grupo de Estudos ArqTema - Universidade de São Paulo, 2012.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. **Efeitos da Inércia Térmica sobre as temperaturas internas de edificações na cidade de São Carlos-SP**. ENCAC-ENLACAC, Maceió, 2005.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco Energético Nacional**, 27 setembro 2017. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2017_Web.pdf. Acesso em: setembro 2017.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort - Analysis and Applications in Environmental Engineering**. McGraw-Hill Book Company, New York, 1972.

FERREIRA, J. S. W. **Produzir casas ou construir cidades? Desafios para um novo Brasil urbano: parâmetros de qualidade para a implementação de projetos habitacionais e urbanos**. São Paulo: LABHAB; FUPAM, 2012.

GIVONI, B. **Man Climate and Architecture**. 2. ed. London: Applied Science, 1976. 483 p.

_____. **Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines**. 1. ed. [S.l.]: Energy and Buildings, v. 18, 1992. 11-23 p.

GERMANO, M.; ROULET, C. A. **Multicriteria assessment of natural ventilation potential**. [S.l.]: Solar Energy, 2006.

GRZYBOWSKI, G. T. **Conforto Térmico nas Escolas Públicas em Cuiabá-MT: estudo de caso**. Pós Graduação em Física e Meio Ambiente. Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá, p. 100. 2004.

HUMPHREYS, M. A. **Outdoor Temperatures and Comfort Indoors**. Building Research and Practice, Garston. Watford., 1978.

HOUGH, M. **Cities and natural process**. Routledge, London, 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2012. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/primeiros_dados_divulgados/index.php>. Acesso em: setembro 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Temperatura média e umidade média de São Carlos – SP em 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTcxMQ==>. Acesso em: 10 fevereiro 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions of thermal comfort, ISO 7730. Genebra, 2005.

KOENINGSBERGEN, O. **Climate and house design**. United States: N. p., 1969. Web.

KOCH-NIELSEN, H. Stay Cool, **A Design Guide For The Built Environment In Hot Climates**. London. James & James Ltd, 2002.

KOURY, A. P.; BONDUKI, N.; MANOEL, S. K. **Análise Tipológica da Produção de Habitações Econômicas no Brasil (1930-1964)**. Docomomo, São Paulo, 2016.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. et al. **Instrumentos de cooperação e conscientização para o conforto no ambiente escolar**. IX Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, Foz do Iguaçu, p. 2070-2070, 2002.

_____. **As pesquisas sobre "Minha Casa Minha Vida" e o Conforto Ambiental**. XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC ENLACAC. Campinas: [s.n.]. 2015. p. 11-21.

KROEMER, K.H.E , & GRANDEJEAN, E. **Manual de Ergonomia**: Adaptando o Trabalho ao Homem. Porto Alegre: Bookman editora, 2005.

LABAKI, L. C.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Projetos padrão de conjuntos habitacionais de Campinas e seu conforto térmico: análise de possíveis melhorias**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., ANTAC, Rio de Janeiro, 1995. 593-598.

LABAKI, L. C.; KOWALTOWSKI, D. C. C.; ROLLA, S. **O projeto de edícula como casa popular e seus problemas de conforto**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Gramado, 1995. 251-256.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: ProLivros, 2014.

LAMBERTS, R. et al. **Conforto e Stress Térmico**. [S.l.]: Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Civil, 2016.

LOPES, J. M. D. A.; SHIMBO, L. Z. Projeto e produção da habitação na região central do estado de São Paulo: condições e contradições do PMCMV. In: AMORE, C. S.; SHIMBO, L. Z.; RUFINO, M. B. C. **Minha casa e a cidade Avaliação do Programa Minha Casa Minha Vida em seis estados brasileiros**. 1. ed. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2015. Cap. 9, p. 229-254.

LOUREIRO, M. R.; MACARIO, V.; GUERRA, P. **Democracia, arenas decisórias e políticas públicas: o programa minha casa minha vida**. [S.l.]: [s.n.], 2013.

LOUREIRO, K. C. G. **Análise de desempenho térmico e consumo de energia de residências na cidade de Manaus**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

LUKANTCHUKI, M. A.; CARAM, R. M. **Análise do conforto térmico na obra de João Figueiras Lima, Lelé: Hospitais Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro**. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - XII ENCAC VIII ELACAC, Brasília, Setembro 2013.

MARICATO, E. **Brasil 2000: Qual planejamento urbano?** Cadernos IPPUR - UFRJ, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 113-130, 1997. ISSN 1.

_____. **É preciso repensar o modelo**. São Paulo: PINI: Arquitetura e Urbanismo, 2009. 63 p.

_____. **Por um novo enfoque teórico na pesquisa sobre habitação**. São Paulo, 21, 2009. 33-52.

MARQUES, A. M. **Desempenho térmico de edificações unifamiliares de interesse social: estudo de casos em Imbituba - SC**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L. R. **Incidências das varipaveis projetivas e de construções no consumo energético dos edifícios**. 2ª. ed. Porto Alegre: Luzzatto, 1992.

MASSONE, L. M.; WALLACE, J. W. **Load - Deformation Responses of Slender Reinforced Walls**. In: ACI Structural Journal, v. 101, n. 1, 2004.

MATOS, M. **Simulação computacional do desempenho térmico de residências em Florianópolis utilizando a ventilação natural**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

MISURELLI, H.; MASSUDA, C. **Paredes de concreto**. Técnica, São Paulo, n. n. 147, Junho 2009.

MORAIS, J. M. D. S. C. **Ventilação Natural em Edifícios Multifamiliares do Programa Minha Casa Minha Vida**. Campinas: Tese (Doutorado). Faculdade de Eng. Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, 2013.

MORAIS, J. M. D. S. C.; LABAKI, L. C. **CFD como ferramenta para simular ventilação natural interna por ação dos ventos: estudos de caso em tipologias verticais do "Programa Minha Casa, Minha Vida"**. Ambient. constr. [online], 17, n. 1, 2017. 223-244 ISSN 1415-8876. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100133>>. Acesso em: fevereiro 2018.

MORQUECHO, F. B. G. **Análise de Edifícios em Parede de Concreto Moldadas in loco**. Monografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Departamento de Engenharia Civil, Natal, 2016.

NEMER, P. C. D. C. **Avaliação do Sistema Construtivo Paredes de Concreto Moldado no local a luz das normas técnicas vigentes**. Belo Horizonte: Dissertação - Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. **Adaptative Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings**. Proceedings of Moving Thermal Comfort Standards Into 21 century, Windsor - UK, 5-8 April 2001. 45-59.

NUNES, V. Q. G. **Análise estrutural de edifícios de parede de concreto armado**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

OLIVEIRA, M. C. A. de. **Simulação computacional para avaliação dos efeitos das modificações em casas autoconstruídas sobre a ventilação**. Campinas, 2009. 166 f. Doutorado em Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo Universidade Estadual de Campinas.

OLGYAY, Victor. *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

OLGYAY, V.; OLGYAY, A. **Design with climate, bioclimatic approach to architectural regionalism**. Princeton University, New Jersey, 1963.

PANDOLFO, A. (2007). **Edificações com paredes de concreto**. *Techne Pini*(118). Acesso em julho de 2017, disponível em <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/118/artigo285675-1.aspx>

PROJETEEE. **PROJETEEE**. Disponível em: <<http://projeteer.mma.gov.br>>. Acesso em: 2017.

RIBEIRO, L. C.; AZEVEDO, S. A Produção da Moradia nas Grandes Cidades Brasileiras: dinâmica e impasses. (Org.). **A Questão da Moradia nas grandes Cidades: da Política Habitacional à Reforma Urbana**., Rio de Janeiro, 1996.

ROLNIK, Raquel et al. **O Programa Minha Casa Minha Vida nas regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas: aspectos sócio espaciais e segregação**. *Cad. Metrop.* [online]. 2015, vol.17, n.33, pp.127-154. ISSN 1517-2422. <http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2015-3306>

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. [S.l.]: [s.n.], 2012. Disponível em: <http://www.roriz.eng.br/zoneamento_10.htm>. Acesso em: Junho 2017.

RORIZ, M. ZBBR. **Zoneamento Bioclimático do Brasil** - UFSCar. Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós- Graduação em Construção Civil. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LABEEE. São Carlos, 2004. Disponível no site: <<http://www.labee.ufsc.br/downloads/softwares/zbbbr>>. Acesso em 01 abr. 2016

RUAS, A. C. **Conforto Térmico nos Ambientes de Trabalho**. 1. ed. [S.l.]: FUNDACENTRO, 1999.

RUFINO, M. B. C. Um olhar sobre a produção do PMCMV a partir de eixos analíticos. In: MORAIS, J. M. D. S. C. **Ventilação Natural em Edifícios Multifamiliares do Programa Minha Casa Minha Vida**. Campinas: Tese (Doutorada). Faculdade de Eng. Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, 2013.

SACHT, H. M. **Painés de vedação de concreto moldados in loco: avaliação de desempenho térmico e desenvolvimento de concretos**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. 286.

SACHT, H. M.; ROSSIGNOLO, J. A.; REZENDE NETO, J. I. D. **Habitações térreas de interesse social: o uso de vedações em concreto com diferentes massas específicas e as condições de conforto térmico no estado de São Paulo**. In: NUTAU - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. 1-11.

SAPORITO, J. T. **Análise do Programa Minha Casa Minha Vida para empreendimentos voltados para famílias classificadas na faixa 1 do programa**. MBA em Economia - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 117. 2015.

SHIMBO, L. Z.; MARTINS, M. E. A questão da manutenção de sistemas construtivos inovadores para habitação. In: FABRICIO, M. M.; ONO, R. **Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras**. Porto Alegre: ANTAC, 2015. Cap. 6, p. 55-65.

SINDUSCON-RS, 2015. Disponível em: <http://www.sinduscon-rs.com.br/wp-content/uploads/2015/09/Empresarios_MCMV3-10092015.pdf>. Acesso em: 7 Maio 2017.

SILVA, N. L. **Análise dos Parâmetros de Conforto Térmico em Habitações Populares em um conjunto em João Pessoa - PB**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2015.

SILVA, F. B. in TÉCHNE. **Parede de Concreto Armado moldado in loco**. Pini Téchné, 2011. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/167/paredes-de-concreto-armado-moldadas-in-loco-286799-1.aspx>>. Acesso em: Novembro 2017.

SILVEIRA, F. M. **Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente: NBR 15575 e ASHRAE 55**. Dissertação (Mestrado). Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2014.

SORGATO, M. J. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

SULAIMAN, S. **Water Permeability and Carbonation on Foamed Concrete**. Dissertação de Mestrado. University Tun Hussein Onn Malaysia. [S.l.]. 2011.

TAYLOR, C. P.; COTE, P. A.; WALLACE, J. W. **Design of Slender Reinforced Concrete Walls**. In: ACI Structural Journal, V.95, No.4, 1998.

TOLEDO, A. M. **Avaliação do desempenho da ventilação natural pela ação do vento em apartamentos: uma aplicação em Maceió**. Florianópolis: Tese (Doutorado). Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

TOLEDO, A. M.; PEREIRA, F. O. R. **O Potencial da Mesa D'água para a Visualização Analógica da Ventilação Natural em Edifícios**. Curitiba: ENCAC, 2003.

VALIN JR, M. O.; LIMA, S. M. **Influência do Clima Tropical na Cura do Concreto**. II CEFET - II Jornada da Produção Científica da Educação Profissional e Tecnológica da Região Centro-Oeste, Cuiabá-MT, 2008.

VILLA, S. B. **A ineficiência de um modelo de morar mínimo: análise pós-ocupacional em habitação de interesse social em Uberlândia-MG.** Observatorium. Revista Eletrônica de Geografia, Uberlândia, 5, 2013. 121-147.

ANEXO A – Densidade de massa aparente, condutividade térmica e calor específico de materiais

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	C (kJ/(kg.K))
Argamassas			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
Cerâmica			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
Fibrocimento			
placas de fibrocimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
Concreto (com agregados de pedra)			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00
Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (ρ dos inertes ~750 kg/m³)			
com finos	1400-1600	0,52	1,00
	1200-1400	0,44	1,00
sem finos	1000-1200	0,35	1,00

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT,2005). Tabela B.3, página 13

ANEXO B – Resistência térmica superficial interna e externa

R_{si} (m ² .K)/W			R_{se} (m ² .K)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente

0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220 – 2 (ABNT). Tabela A-1. Página 10 (2005)

ANEXO C – Absortância solar de tintas

Tipo	Número	Cor	Nome	α	Tipo	Número	Cor	Nome	α
Acrílica Fosca	01		Amarelo Antigo	51,4	Látex PVA Fosca	40		Branco Gelo	34,0
	02		Amarelo Terra	64,3		41		Erva doce	21,9
	03		Areia	44,9		42		Flamingo	46,8
	04		Azul	73,3		43		Laranja	39,9
	05		Azul Imperial	66,9		44		Marfim	29,7
	06		Branco	15,8		45		Palha	28,5
	07		Branco Gelo	37,2		46		Pérola	25,7
	08		Camurça	57,4		47		Pêssego	39,5
	09		Concreto	74,5	Acrílica Fosca	48		Alecrim	64,0
	10		Flamingo	49,5		49		Azul bali	48,9
	11		Jade	52,3		50		Branco Neve	10,2
	12		Marfim	33,6		51		Branco Gelo	29,7
	13		Palha	36,7		52		Camurça	55,8
	14		Pérola	33,0		53		Concreto	71,5
	15		Pêssego	42,8		54		Marfim	26,7
	16		Tabaco	78,1		55		Marrocos	54,7
	17		Terracota	64,6		56		Mel	41,8
Acrílica Semi-brilho	18		Amarelo Antigo	49,7		57		Palha	27,2
	19		Amarelo Terra	68,6		58		Pérola	22,1
	20		Azul	79,9		59		Pêssego	35,0
	21		Branco Gelo	36,2		60		Telha	70,8
	22		Cinza	86,4		61		Vanila	23,9
	23		Cinza BR	61,1	Látex PVA Fosca	62		Amarelo Canário	25,2
	24		Crepúsculo	66,0		63		Areia	35,7
	25		Flamingo	47,3		64		Azul Profundo	76,0
	26		Marfim	33,9		65		Branco Neve	16,2
	27		Palha	39,6		66		Branco Gelo	28,1
	28		Pérola	33,9		67		Camurça	53,2
	29		Preto	97,1		68		Cerâmica	65,3
	30		Telha	69,6		69		Concreto	71,6
	31		Terracota	68,4		70		Flamingo	44,4
	32		Verde Quadra	75,5		71		Marfim	24,5
	33		Vermelho	64,2		72		Palha	26,4
Látex PVA Fosca	34		Amarelo Canário	29,3		73		Pérola	22,9
	35		Amarelo Terra	61,4		74		Pêssego	29,8
	36		Areia	39,0		75		Preto	97,4
	37		Azul angra	32,3		76		Vanila	27,7
	38		Bianco Sereno	26,6		77		Verde Musgo	79,8
	39		Branco	11,1		78		Vermelho Cardinal	63,3

* As imagens das cores aqui apresentadas podem não representar com exatidão a cor da tinta quando aplicada sobre as superfícies construtivas.

* α : 300 a 2500 nm (Espectro solar total).

Fonte: Dornelles, 2008

ANEXO D – Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica R_{ar} $m^2.K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
		$\Rightarrow$	$\begin{array}{c} \text{---} \\ \uparrow \\ \text{---} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{---} \\ \downarrow \\ \text{---} \end{array}$
Superfície de alta emissividade $\varepsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\varepsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61
<p>NOTAS</p> <p>1 ε é a emissividade hemisférica total.</p> <p>2 Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.</p> <p>3 Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas (exemplo C.6 do anexo C); desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira.</p> <p>4 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.</p>				

Fonte: NBR 15220 – 2 (ABNT, 2005). Tabela B-1. Página 11

APÊNDICE A – Questionário de sensação térmica momentânea (adaptado ASHRAE 55)

QUESTIONÁRIO SOBRE CONFORTO TÉRMICO MOMENTÂNEO

- 1- **Como você está se sentindo no momento?**
 - a. ☐ Muito frio
 - b. ☐ Frio
 - c. ☐ Pouco frio
 - d. ☐ Nem calor nem frio
 - e. ☐ Pouco calor
 - f. ☐ Calor
 - g. ☐ Muito calor
- 2- **Qual cômodo da casa você está? Qual a orientação solar?**
- 3- **Você está próximo a uma parede externa?**
- 4- **Você está próximo a uma janela?**
- 5- **Como você gostaria de se sentir no momento?**
 - a. ☐ Mais resfriado
 - b. ☐ Sem alteração
 - c. ☐ Mais aquecido
- 6- **Para você este ambiente termicamente é:**
 - a. ☐ Aceitável
 - b. ☐ Inaceitável
- 7- **Como você se sente com relação ao movimento do ar neste momento?**

INACEITÁVEL	ACEITÁVEL
a. ☐ Pouco movimento do ar	a. ☐ Pouco movimento do ar
b. ☐ Muito movimento do ar	b. ☐ Movimento do ar suficiente
	c. ☐ Muito movimento do ar
- 8- **Considerando sua resposta anterior, qual a sua preferência com relação ao movimento do ar neste momento?**
 - a. ☐ Maior movimento do ar
 - b. ☐ Não mudar
 - c. ☐ Menor movimento do ar
- 9- **Qual o seu nível de atividade neste momento?**

☐ Sentado, atividade leve (relaxado, lendo) ☐ Sentado, atividade moderada (digitando, arquivando) ☐ Em pé, relaxado	☐ Atividade leve em pé ☐ Atividade moderada em pé ☐ Atividade pesada
--	---
- 10- **Utilizando a relação abaixo, assinale cada item de roupa que você está usando agora:**

☐ Camisa manga curta	☐ Suéter manga longa	☐ Botas
☐ Vestido social	☐ Shorts/Bermuda	☐ Jaqueta/Paletó grosso
☐ Macacão	☐ Meias de nylon	☐ Calça moleton
☐ Camisa manga longa	☐ Suéter manga curta	☐ Tênis/Sapato
☐ Saia curta (joelho)	☐ Calça Jeans	☐ Colete
☐ Camiseta/Camisa	☐ Meias esportivas	☐ Blusa moleton
☐ Polo	☐ Jaqueta/paletó fino	☐ Sandálias
☐ Saia longa (canela)	☐ Calça Social	Outros. Especifique
- 11- **Você considera que a quantidade de janelas e portas são o suficiente para uma boa ventilação natural na sua casa?**

☐ Sim ☐ Não
- 12- **Você alterou algo na sua casa? Se sim, porquê?**

APÊNDICE B – Questionário de Memória Térmica (adaptado ASHRAE 55)

QUESTIONÁRIO DE MEMÓRIA TÉRMICA

- 1- Qual o cômodo de maior estadia?

a. ☐ Sala	c. ☐ Quarto dos fundos
b. ☐ Quarto da frente	d. ☐ Cozinha

- 2- Qual a orientação solar da sua casa?

a. ☐ Norte	d. ☐ Oeste
b. ☐ Sul	e. ☐ Não sei
c. ☐ Leste	

- 3- Quais itens você utiliza para melhorar a sensação térmica? (Pode mais de uma resposta)

(☐ Ventilador	(☐ Umidificador
(☐ Abre as janelas	(☐ Aquecedor
(☐ Abre as portas	(☐ Ar condicionado
(☐ Cortinas	(☐ Nenhum

- 4- Qual a maior causa da sensação de desconforto? (Pode mais de uma resposta)

(☐ Muita incidência solar – bate muito sol	(☐ Muito vento
(☐ Pouca ventilação	(☐ Pouca umidade do ar
(☐ Piso-Paredes muito quentes ou frios	(☐ Muita umidade do ar
(☐ Janelas-Portas muito pequenas	(☐ Outro
(☐ Pouca incidência solar – bate pouco sol	

- 5- Em qual período você percebe o desconforto?

a. ☐ Todos os períodos	d. ☐ Tarde (14h – 17h)
b. ☐ Noite (depois das 17h)	e. ☐ Manhã (antes das 11h)
c. ☐ Meio dia (11h – 14h)	f. ☐ Nenhum

- 6- Qual sua satisfação com a temperatura interna geral da sua casa?

a. ☐ Nem satisfeito nem insatisfeito	d. ☐ Insatisfeito
b. ☐ Satisfeito	e. ☐ Muito Insatisfeito
c. ☐ Muito Satisfeito	

- 7- Como você classifica a sensação térmica dentro da sua casa no Calor-Verão?

a. ☐ Sempre quente	d. ☐ Às vezes fria
b. ☐ Raramente quente	e. ☐ Raramente fria
c. ☐ Às vezes quente	f. ☐ Sempre fria

- 8- Como você classifica a sensação térmica dentro da sua casa no Frio-Inverno?

g. ☐ Sempre quente	j. ☐ Às vezes fria
h. ☐ Raramente quente	k. ☐ Raramente fria
i. ☐ Às vezes quente	l. ☐ Sempre fria

- 9- Descreva qualquer outro problema que você tenha relacionado a sua casa ser muito quente ou muito fria.

- 10- Você fez alguma modificação na sua casa? Se sim, o que foi modificado? Porque?

APÊNDICE C – Termo de Consentimento do Morador

instituto de
arquitetura e urbanismo
usp são carlos

TERMO DE CONSENTIMENTO

Jardim Araucária – São Carlos/SP

Prezado (a) morador (a),

Esta pesquisa é sobre Análise do Conforto Térmico em Habitações com a técnica de parede de concreto moldada no local na cidade de São Carlos/SP e está sendo desenvolvida pela pesquisadora Simone Mesquita, aluna regular da Pós-Graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, sob orientação da Profa. Dra. Kelen Dornelles. O objetivo do estudo é: coletar informações via questionário referentes ao seu conforto térmico na sua residência nos meses de Junho e Outubro de 2017.

A finalidade deste trabalho é contribuir para melhoria de futuros projetos habitacionais do programa Minha Casa Minha Vida. Os dados obtidos na coleta permitirão identificar falhas e acertos na construção no que se relaciona ao conforto térmico.

Solicitamos a sua colaboração para responder o questionário e para realização de registros fotográficos da sua residência. Asseguramos que seus dados pessoais serão mantidos em sigilo assim como não identificaremos sua imagem nas fotografias.

Informamos que essa pesquisa não oferece riscos de nenhum caráter. Esclarecemos que sua participação é voluntária. Caso decida não participar do estudo, não sofrerá nenhum dano.

Os pesquisadores estarão à sua disposição para qualquer esclarecimento que considere necessário.

Diante do exposto, declaro que fui devidamente esclarecido (a) e que estou de acordo em contribuir para a pesquisa.

Assinatura do morador

Endereço: _____

Data: ____/____/____ São Carlos / SP

APÊNDICE D – Memorial de Cálculo Vedações Verticais Externas

a) Vedações Verticais Externas Empreendimento A

Material: Concreto----- (informação Construtora 1)
 Espessura (e): 0,10m----- (informação Construtora 1)
 Densidade de Massa Aparente (ρ): 2500 kg/ m³----- (informação Construtora 1)
 Calor Específico (c): 1,00 kJ/(kg.K)----- (informação Anexo A)
 Condutividade térmica (λ): 1,75 W/(m.K) ----- (informação Anexo A)
 Resistência térmica externa: 0,04 (m².K)/K ----- (informação Anexo B)
 Resistência térmica interna: 0,13 (m².K)/K ----- (informação Anexo B)
 Absortância à radiação solar: 0,712 ----- (informação Anexo C)

- Resistência térmica (R_t)

$$R_t = \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} = \frac{0,10}{1,75} = \mathbf{0,057 \text{ (m}^2\text{.K)/W}}$$

- Resistência térmica total (R_T)

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

$$R_T = 0,04 + 0,057 + 0,13 = \mathbf{0,23 \text{ (m}^2\text{.K)/W}}$$

- Transmitância térmica (U)

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,23} = \mathbf{4,40 \text{ W/(m}^2\text{.K)}}$$

- Capacidade térmica (C_T)

$$C_T = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = 0,10 \cdot 1,00 \cdot 2300 = \mathbf{250 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}}$$

- Atraso térmico (φ)

$$\varphi = 0,7284 \cdot \sqrt{R_t \cdot C_T} = 0,7284 \cdot \sqrt{0,057 \cdot 250} = \mathbf{2,75 \text{ h}}$$

- Fator de ganho de calor solar (FS_o)

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha = 4 \cdot 4,40 \cdot 0,712 = \mathbf{12,54 \%}$$

b) Vedações Verticais Externas Empreendimento B

Material: Concreto ----- (informação Construtora 1)
 Espessura (e): 0,10m ----- (informação Construtora 1)
 Densidade de Massa Aparente (ρ): 2500 kg/ m³ ----- (informação Construtora 1)
 Calor Específico (c): 1,00 kJ/(kg.K) ----- (informação Anexo A)
 Condutividade térmica (λ): 1,75 W/(m.K) ----- (informação Anexo A)
 Resistência térmica externa: 0,04 (m².K)/K ----- (informação Anexo B)
 Resistência térmica interna: 0,13 (m².K)/K ----- (informação Anexo B)
 Absortância à radiação solar: 0,30 ----- (informação Anexo C)

- Resistência térmica (R_t)

$$R_t = \frac{e_{concreto}}{\lambda_{concreto}} = \frac{0,10}{1,75} = \mathbf{0,057 (m^2.K)/W}$$

- Resistência térmica total (R_T)

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

$$R_T = 0,04 + 0,057 + 0,13 = \mathbf{0,23 (m^2.K)/W}$$

- Transmitância térmica (U)

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,23} = \mathbf{4,40 W/(m^2.K)}$$

Apêndice D – Memorial de Cálculo Vedações Verticais Externas (continuação)

- Capacidade térmica (C_T)

$$C_T = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = 0,10 \cdot 1,00 \cdot 2300 = \mathbf{250 kJ/(m^2.K)}$$

- Atraso térmico (φ)

$$\varphi = 0,7284 \cdot \sqrt{R_t \cdot C_T} = 0,7284 \cdot \sqrt{0,057 \cdot 250} = \mathbf{2,75 h}$$

- Fator de ganho de calor solar (FS_o)

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha = 4 \cdot 4,40 \cdot 0,30 = \mathbf{5,28 \%}$$

c) Vedações Verticais Externas Empreendimento C e D

Material: Concreto -----(informação Construtora 2)

Espessura (e): 0,10m -----(informação Construtora 2)

Densidade de Massa Aparente (ρ): 2300 kg/ m³ -----(informação Construtora 2)

Calor Específico (c): 1,00 kJ/(kg.K) -----(informação Anexo A)

Condutividade térmica (λ): 1,75 W/(m.K) -----(informação Anexo A)

Resistência térmica externa: 0,04 (m².K)/K -----(informação Anexo B)

Resistência térmica interna: 0,13 (m².K)/K -----(informação Anexo B)

Absortância à radiação solar: 0,20 -----(informação Anexo C)

- Resistência térmica (R_t)

$$R_t = \frac{e_{concreto}}{\lambda_{concreto}} = \frac{0,10}{1,75} = \mathbf{0,057 (m^2.K)/W}$$

- Resistência térmica total (R_T)

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

$$R_T = 0,04 + 0,057 + 0,13 = \mathbf{0,23 (m^2.K)/W}$$

- Transmitância térmica (U)

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,23} = \mathbf{4,40 W/(m^2.K)}$$

- Capacidade térmica (C_T)

$$CT = \sum_{i=1}^n ei \cdot ci \cdot \rho i = 0,10 \cdot 1,00 \cdot 2300 = \mathbf{230 \text{ kJ/(m}^2 \cdot K)}$$

- Atraso térmico (φ)

$$\varphi = 0,7284 \cdot \sqrt{Rt \cdot CT} = 0,7284 \cdot \sqrt{0,057 \cdot 230} = \mathbf{2,64 \text{ h}}$$

- Fator de ganho de calor solar (FS_o)

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha = 4 \cdot 4,40 \cdot 0,20 = \mathbf{3,52 \%}$$

d) Vedações Verticais Externas Empreendimento E

Material: Concreto -----(informação Construtora 1)
 Espessura (e): 0,10m -----(informação Construtora 1)
 Densidade de Massa Aparente (ρ): 2500 kg/ m³ -----(informação Construtora 1)
 Calor Específico (c): 1,00 kJ/(kg.K) -----(informação Anexo A)
 Condutividade térmica (λ): 1,75 W/(m.K) -----(informação Anexo A)
 Resistência térmica externa: 0,04 (m².K)/K -----(informação Anexo B)
 Resistência térmica interna: 0,13 (m².K)/K -----(informação Anexo B)
 Absortância à radiação solar: 0,30 -----(informação Anexo C)

- Resistência térmica (R_t)

$$R_t = \frac{e_{concreto}}{\lambda_{concreto}} = \frac{0,10}{1,75} = \mathbf{0,057 \text{ (m}^2 \cdot K)/W}$$

- Resistência térmica total (R_T)

$$RT = Rse + Rt + Rsi$$

$$RT = 0,04 + 0,057 + 0,13 = \mathbf{0,23 \text{ (m}^2 \cdot K)/W}$$

- Transmitância térmica (U)

$$U = \frac{1}{RT} = \frac{1}{0,23} = \mathbf{4,40 \text{ W/(m}^2 \cdot K)}$$

- Capacidade térmica (C_T)

$$CT = \sum_{i=1}^n ei \cdot ci \cdot \rho i = 0,10 \cdot 1,00 \cdot 2300 = \mathbf{250 \text{ kJ/(m}^2 \cdot K)}$$

- Atraso térmico (φ)

$$\varphi = 0,7284 \cdot \sqrt{Rt \cdot CT} = 0,7284 \cdot \sqrt{0,057 \cdot 250} = \mathbf{2,75 \text{ h}}$$

- Fator de ganho de calor solar (FS_o)

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha = 4 \cdot 4,40 \cdot 0,30 = \mathbf{5,28 \%}$$

APÊNDICE E – Memorial de Cálculo Coberturas

a) Cobertura Empreendimento A

Propriedades térmicas das telhas:

Material: Cerâmica----- (informação Construtora 1)
 Espessura (e): 0,01m----- (informação Construtora 1)
 Densidade de Massa Aparente (ρ): 2000 kg/ m³----- (informação Construtora 1)
 Calor Específico (c): 0,92 kJ/(kg.K)----- (informação Anexo A)
 Condutividade térmica (λ): 1,05 W/(m.K) ----- (informação Anexo A)
 Resistência térmica externa: 0,04 (m².K)/K ----- (informação Anexo B)
 Resistência térmica interna: 0,17 (m².K)/K ----- (informação Anexo B)
 Absortância à radiação solar: 0,30 ----- (informação Anexo C)

Propriedades térmicas do forro:

Material: Placa de gesso ----- (informação Construtora 1)
 Espessura (e): 0,015m----- (informação Construtora 1)
 Densidade de Massa Aparente (ρ): 875 kg/ m³----- (informação Construtora 1)
 Calor Específico (c): 0,84 kJ/(kg.K)----- (informação Anexo A)
 Condutividade térmica (λ): 0,35 W/(m.K) ----- (informação Anexo A)

Propriedades térmicas da laje:

Material: Concreto----- (informação Construtora 1)
 Espessura (e): 0,10m----- (informação Construtora 1)
 Densidade de Massa Aparente (ρ): 2500 kg/ m³----- (informação Construtora 1)
 Calor Específico (c): 1,00 kJ/(kg.K)----- (informação Anexo A)
 Condutividade térmica (λ): 1,75 W/(m.K) ----- (informação Anexo A)

No verão, há um fluxo de calor na direção descendente e como há uma câmara de ar não ventilada existe uma resistência térmica (Anexo D). Logo, a R_{ar} terá um valor de 0,21 (m².K)/W.

- Resistência térmica verão (R_t)

$$R_t = \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + \frac{e_{laje}}{\lambda_{laje}} + R_{ar} = \frac{0,01}{1,05} + \frac{0,1}{1,75} + 0,21 = \mathbf{0,277 (m^2.K)/W}$$

- Resistência térmica total verão (R_T)

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

Sendo:

R_{se} igual 0,04 (m².K)/K ----- (informação vinda do Anexo B)

Rsi igual a 0,17 (m².K)/K ----- (informação vinda do Anexo B)

$$RT = 0,04 + 0,277 + 0,17 = \mathbf{0,49 (m^2.K)/W}$$

- Transmitância térmica verão (U)

$$U = \frac{1}{RT} = \frac{1}{0,49} = \mathbf{2,05 W/(m^2.K)}$$

Já no inverno, há um fluxo de calor na direção ascendente: Rar = 0,14 (m².K)/W.

- Resistência térmica inverno (Rt)

$$Rt = \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + \frac{e_{laje}}{\lambda_{laje}} + Rar = \frac{0,01}{1,05} + \frac{0,10}{1,75} + 0,14 = \mathbf{0,207 (m^2.K)/W}$$

- Resistência térmica total inverno (RT)

$$RT = Rt + 2 \cdot Rsi$$

Sendo:

Rsi igual a 0,10 (m².K)/K (informação vinda do Anexo B)

$$RT = 0,207 + 0,20 = \mathbf{0,41 (m^2.K)/W}$$

- Transmitância térmica inverno (U)

$$U = \frac{1}{RT} = \frac{1}{0,41} = \mathbf{2,46 W/(m^2.K)}$$

- Capacidade térmica (CT)

$$CT = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = 0,01 \cdot 0,92 \cdot 2000 + 0 + 0,10 \cdot 1,00 \cdot 2500 = \mathbf{268,40 kJ/(m^2.K)}$$

- Atraso térmico verão (φ)

$$B0 = CT - CText = 268,40 - 0,01 \cdot 2000 \cdot 0,92 = 250,00$$

$$B1 = 0,226 \cdot \frac{B0}{Rt} = 0,226 \cdot \frac{250,00}{0,277} = 204,22$$

$$B2 = 0,205 \cdot \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{Rt} \cdot \left(R_{ext} - \frac{Rt - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B2 = 0,205 \cdot \frac{1,05 \cdot 2000 \cdot 0,92}{0,277} \cdot \left(\frac{0,01}{1,05} - \frac{0,277 - \frac{0,01}{1,05}}{10} \right) = -24,61$$

Como o valor de B2 foi negativo, então é necessário considerar B2 nulo.

$$\varphi = 1,382 \cdot Rt \cdot \sqrt{B1 + B2} = 1,382 \cdot 0,277 \cdot \sqrt{204,22 + 0} = \mathbf{5,46 h}$$

- Atraso térmico inverno (φ)

$$B0 = CT - CText = 268,40 - 0,01 \cdot 2000 \cdot 0,92 = 250,00$$

$$B1 = 0,226 \cdot \frac{B0}{Rt} = 0,226 \cdot \frac{250,00}{0,207} = 273,39$$

$$B2 = 0,205 \cdot \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{Rt} \cdot \left(R_{ext} - \frac{Rt - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B2 = 0,205 \cdot \frac{1,05 \cdot 2000 \cdot 0,92}{0,207} \cdot \left(\frac{0,01}{1,05} - \frac{0,207 - \frac{0,01}{1,05}}{10} \right) = -19,53$$

Como o valor de B2 foi negativo, então é necessário considerar B2 nulo.

$$\varphi = 1,382 \cdot Rt \cdot \sqrt{B1 + B2} = 1,382 \cdot 0,207 \cdot \sqrt{273,39 + 0} = \mathbf{4,72 \text{ h}}$$

- Fator de ganho de calor solar verão (FS_o)

$$FS_o = 100 \cdot U_{verão} \cdot \alpha \cdot Rse = 100 \cdot 2,05 \cdot 0,70 \cdot 0,04 = \mathbf{5,75 \%}$$

- Fator de ganho de calor solar inverno (FS_o)

$$FS_o = 100 \cdot U_{inverno} \cdot \alpha \cdot Rse = 100 \cdot 2,46 \cdot 0,70 \cdot 0,04 = \mathbf{6,89 \%}$$

Não há um valor específico para absorptância à radiação solar para uma superfície tipo telha cerâmica, logo adotou-se a mais próxima possível $\alpha = 0,70$.

Cálculos para o forro de gesso:

No verão, a resistência do ar (R_{ar}) terá um valor de $0,21 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$.

- Resistência térmica verão (R_t)

$$R_t = \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + \frac{e_{laje}}{\lambda_{laje}} + \frac{e_{gesso}}{\lambda_{gesso}} + R_{ar} = \frac{0,01}{1,05} + \frac{0,1}{1,75} + \frac{0,02}{0,35} + 0,21 = \mathbf{0,320 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}}$$

- Resistência térmica total verão (R_T)

$$R_T = Rse + R_t + Rsi$$

Sendo:

Rse igual $0,04 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/K}$ (informação vinda do Anexo B)

Rsi igual a $0,17 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/K}$ (informação vinda do Anexo B)

$$R_T = 0,04 + 0,32 + 0,17 = \mathbf{0,53 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}}$$

- Transmitância térmica verão (U)

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,53} = \mathbf{1,89 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}}$$

Já no inverno, há um fluxo de calor na direção ascendente $R_{ar} = 0,14 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$

- Resistência térmica inverno (R_t)

$$R_t = \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + \frac{e_{laje}}{\lambda_{laje}} + \frac{e_{gesso}}{\lambda_{gesso}} + R_{ar} = \frac{0,01}{1,05} + \frac{0,10}{1,75} + \frac{0,02}{0,35} + 0,14 = \mathbf{0,25 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}}$$

- Resistência térmica total inverno (R_T)

$$R_T = R_t + 2 \cdot R_{si}$$

Sendo:

R_{si} igual a $0,10 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/K}$

$$R_T = 0,25 + 0,20 = \mathbf{0,45 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}}$$

- Transmitância térmica inverno (U)

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,45} = \mathbf{2,22 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}}$$

- Capacidade térmica (C_T)

$$C_T = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = 0,01 \cdot 0,92 \cdot 2000 + 0 + 0,10 \cdot 1,00 \cdot 2500 + 0,02 \cdot 875 \cdot 0,84 = \mathbf{279,43 \text{ kJ/(m}^2\cdot\text{K)}}$$

- Atraso térmico verão (φ)

$$B_0 = C_T - C_{Text} = 279,43 - 0,01 \cdot 2000 \cdot 0,92 = 261,03$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{261,03}{0,32} = 184,62$$

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

$$B_2 = 0,205 \cdot \frac{1,05 \cdot 2000 \cdot 0,92}{0,32} \cdot \left(\frac{0,01}{1,05} - \frac{0,32 - \frac{0,01}{1,05}}{10} \right) = -26,62$$

Como o valor de B_2 foi negativo, então é necessário considerar B_2 nulo.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} = 1,382 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{184,62 + 0} = \mathbf{6,00h}$$

- Atraso térmico inverno (φ)

$$B0 = CT - CText = 279,43 - 0,01 \cdot 2000 \cdot 0,92 = 261,03$$

$$B1 = 0,226 \cdot \frac{B0}{Rt} = 0,226 \cdot \frac{261,03}{0,25} = 236,42$$

$$B2 = 0,205 \cdot \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{Rt} \cdot \left(R_{ext} - \frac{Rt - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B2 = 0,205 \cdot \frac{1,05 \cdot 2000 \cdot 0,92}{0,25} \cdot \left(\frac{0,01}{1,05} - \frac{0,25 - \frac{0,01}{1,05}}{10} \right) = -22,98$$

Como o valor de B2 foi negativo, então é necessário considerar B2 nulo.

$$\varphi = 1,382 \cdot Rt \cdot \sqrt{B1 + B2} = 1,382 \cdot 0,250 \cdot \sqrt{236,42 + 0} = \mathbf{5,30 \text{ h}}$$

- Fator de ganho de calor solar verão (FS_o)

$$FS_o = 100 \cdot U_{ver\tilde{a}o} \cdot \alpha \cdot R_{se} = 100 \cdot 1,89 \cdot 0,70 \cdot 0,04 = \mathbf{5,29 \%}$$

- Fator de ganho de calor solar inverno (FS_o)

$$FS_o = 100 \cdot U_{inverno} \cdot \alpha \cdot R_{se} = 100 \cdot 2,22 \cdot 0,70 \cdot 0,04 = \mathbf{6,23 \%}$$

b) Cobertura Empreendimento B

Propriedades térmicas das telhas:

Material: Cerâmica------(informação Construtora 1)
 Espessura (e): 0,01m------(informação Construtora 1)
 Densidade de Massa Aparente (ρ): 2000 kg/ m³------(informação Construtora 1)
 Calor Específico (c): 0,92 kJ/(kg.K)------(informação Anexo A)
 Condutividade térmica (λ): 1,05 W/(m.K) ------(informação Anexo A)

Propriedades térmicas da laje:

Material: Concreto------(informação Construtora 1)
 Espessura (e): 0,10m------(informação Construtora 1)
 Densidade de Massa Aparente (ρ): 2500 kg/ m³------(informação Construtora 1)
 Calor Específico (c): 1,00 kJ/(kg.K)------(informação Anexo A)
 Condutividade térmica (λ): 1,75 W/(m.K) ------(informação Anexo A)

No verão, há um fluxo de calor na direção descendente e como há uma câmara de ar não ventilada existe uma resistência térmica. Logo, a $R_{ar} = 0,21 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$.

- Resistência térmica verão (R_t)

$$R_t = \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + \frac{e_{laje}}{\lambda_{laje}} + R_{ar} = \frac{0,01}{1,05} + \frac{0,1}{1,75} + 0,21 = \mathbf{0,277 (m^2.K)/W}$$

- Resistência térmica total verão (R_T)

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

Sendo:

R_{se} igual 0,04 (m².K)/K;

R_{si} igual a 0,17 (m².K)/K.

$$R_T = 0,04 + 0,277 + 0,17 = \mathbf{0,49 (m^2.K)/W}$$

- Transmitância térmica verão (U)

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,49} = \mathbf{2,05 W/(m^2.K)}$$

Já no inverno, há um fluxo de calor na direção ascendente $R_{ar} = 0,14 (m^2.K)/W$

- Resistência térmica inverno (R_t)

$$R_t = \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + \frac{e_{laje}}{\lambda_{laje}} + R_{ar} = \frac{0,01}{1,05} + \frac{0,10}{1,75} + 0,14 = \mathbf{0,207 (m^2.K)/W}$$

- Resistência térmica total inverno (R_T)

$$R_T = R_t + 2 \cdot R_{si}$$

Sendo:

R_{si} igual a 0,10 (m².K)/K.

$$R_T = 0,207 + 0,20 = \mathbf{0,41 (m^2.K)/W}$$

- Transmitância térmica inverno (U)

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,41} = \mathbf{2,46 W/(m^2.K)}$$

- Capacidade térmica (C_T)

$$C_T = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = 0,01 \cdot 0,92 \cdot 2000 + 0 + 0,10 \cdot 1,00 \cdot 2500 = \mathbf{268,40 kJ/(m^2.K)}$$

- Atraso térmico verão (φ)

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}} = 268,40 - 0,01 \cdot 2000 \cdot 0,92 = 250,00$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{250,00}{0,277} = 204,22$$

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

$$B2 = 0,205 \cdot \frac{1,05 \cdot 2000 \cdot 0,92}{0,277} \cdot \left(\frac{0,01}{1,05} - \frac{0,277 - \frac{0,01}{1,05}}{10} \right) = -24,61$$

Como o valor de B2 foi negativo, então é necessário considerar B2 nulo.

$$\varphi = 1,382 \cdot Rt \cdot \sqrt{B1 + B2} = 1,382 \cdot 0,277 \cdot \sqrt{204,22 + 0} = \mathbf{5,46 \text{ h}}$$

- Atraso térmico inverno (φ)

$$B0 = CT - CText = 268,40 - 0,01 \cdot 2000 \cdot 0,92 = 250,00$$

$$B1 = 0,226 \cdot \frac{B0}{Rt} = 0,226 \cdot \frac{250,00}{0,207} = 273,39$$

$$B2 = 0,205 \cdot \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{Rt} \cdot \left(R_{ext} - \frac{Rt - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B2 = 0,205 \cdot \frac{1,05 \cdot 2000 \cdot 0,92}{0,207} \cdot \left(\frac{0,01}{1,05} - \frac{0,207 - \frac{0,01}{1,05}}{10} \right) = -19,53$$

Como o valor de B2 foi negativo, então é necessário considerar B2 nulo.

$$\varphi = 1,382 \cdot Rt \cdot \sqrt{B1 + B2} = 1,382 \cdot 0,207 \cdot \sqrt{273,39 + 0} = \mathbf{4,72 \text{ h}}$$

- Fator de ganho de calor solar verão (FS_o)

$$FS_o = 100 \cdot U_{verão} \cdot \alpha \cdot Rse = 100 \cdot 2,05 \cdot 0,70 \cdot 0,04 = \mathbf{5,75 \%}$$

- Fator de ganho de calor solar inverno (FS_o)

$$FS_o = 100 \cdot U_{inverno} \cdot \alpha \cdot Rse = 100 \cdot 2,46 \cdot 0,70 \cdot 0,04 = \mathbf{6,89 \%}$$

Não há um valor específico para absorptância à radiação solar para uma superfície tipo telha cerâmica, logo adotou-se a mais próxima possível $\alpha = 0,70$.

c) Cobertura Empreendimento C e D

Propriedades térmicas das telhas:

Material: Cerâmica----- (informação Construtora 2)
 Espessura (e): 0,01m----- (informação Construtora 2)
 Densidade de Massa Aparente (ρ): 2000 kg/ m³----- (informação Construtora 2)
 Calor Específico (c): 0,92 kJ/(kg.K)----- (informação Anexo A)
 Condutividade térmica (λ): 1,05 W/(m.K) ----- (informação Anexo A)

Propriedades térmicas da laje:

Material: Concreto----- (informação Construtora 2)
 Espessura (e): 0,15m----- (informação Construtora 2)
 Densidade de Massa Aparente (ρ): 875 kg/ m³----- (informação Construtora 2)
 Calor Específico (c): 0,84 kJ/(kg.K)----- (informação Anexo A)
 Condutividade térmica (λ): 0,35 W/(m.K) ----- (informação Anexo A)

No verão, há um fluxo de calor na direção descendente e como há uma câmara de ar não ventilada existe resistência térmica. Logo, $R_{ar} = 0,21 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$

- Resistência térmica verão (R_t)

$$R_t = \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + \frac{e_{gesso}}{\lambda_{gesso}} + R_{ar} = \frac{0,01}{1,05} + \frac{0,015}{0,35} + 0,21 = \mathbf{0,262 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}}$$

- Resistência térmica total verão (R_T)

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

Sendo:

R_{se} igual 0,04 (m².K)/K;

R_{si} igual a 0,17 (m².K)/K.

$$R_T = 0,04 + 0,262 + 0,17 = \mathbf{0,47 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}}$$

- Transmitância térmica verão (U)

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,47} = \mathbf{2,12 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}}$$

Já no inverno, há um fluxo de calor na direção ascendente $R_{ar} = 0,14 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$.

- Resistência térmica inverno (R_t)

$$R_t = \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + \frac{e_{gesso}}{\lambda_{gesso}} + R_{ar} = \frac{0,01}{1,05} + \frac{0,015}{0,35} + 0,14 = \mathbf{0,192 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}}$$

- Resistência térmica total inverno (R_T)

$$R_T = R_t + 2 \cdot R_{si}$$

Sendo:

R_{si} igual a 0,10 (m².K)/K

$$R_T = 0,192 + 0,20 = \mathbf{0,39 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}}$$

- Transmitância térmica inverno (U)

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,39} = \mathbf{2,55 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}}$$

- Capacidade térmica (C_T)

$$CT = \sum_{i=1}^n ei \cdot ci \cdot \rho i = 0,01 \cdot 0,92 \cdot 2000 + 0 + 0,015 \cdot 0,84 \cdot 875 = \mathbf{29,43 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}}$$

- Atraso térmico verão (φ)

$$B0 = CT - CT_{ext} = 29,43 - 0,01 \cdot 2000 \cdot 0,92 = 11,03$$

$$B1 = 0,226 \cdot \frac{B0}{Rt} = 0,226 \cdot \frac{11,03}{0,262} = 9,50$$

$$B2 = 0,205 \cdot \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{Rt} \cdot \left(R_{ext} - \frac{Rt - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B2 = 0,205 \cdot \frac{1,05 \cdot 2000 \cdot 0,92}{0,262} \cdot \left(\frac{0,01}{1,05} - \frac{0,262 - \frac{0,01}{1,05}}{10} \right) = -23,79$$

Como o valor de B2 foi negativo, então é necessário considerar B2 nulo.

$$\varphi = 1,382 \cdot Rt \cdot \sqrt{B1 + B2} = 1,382 \cdot 0,262 \cdot \sqrt{9,5 + 0} = \mathbf{1,12 \text{ h}}$$

- Atraso térmico inverno (φ)

$$B0 = CT - CT_{ext} = 29,43 - 0,01 \cdot 2000 \cdot 0,92 = 11,03$$

$$B1 = 0,226 \cdot \frac{B0}{Rt} = 0,226 \cdot \frac{11,03}{0,192} = 12,95$$

$$B2 = 0,205 \cdot \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{Rt} \cdot \left(R_{ext} - \frac{Rt - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B2 = 0,205 \cdot \frac{1,05 \cdot 2000 \cdot 0,92}{0,192} \cdot \left(\frac{0,01}{1,05} - \frac{0,192 - \frac{0,01}{1,05}}{10} \right) = -18,04$$

Como o valor de B2 foi negativo, então é necessário considerar B2 nulo.

$$\varphi = 1,382 \cdot Rt \cdot \sqrt{B1 + B2} = 1,382 \cdot 0,192 \cdot \sqrt{12,95 + 0} = \mathbf{0,96 \text{ h}}$$

- Fator de ganho de calor solar verão (FS_o)

$$FS_o = 100 \cdot U_{verão} \cdot \alpha \cdot R_{se} = 100 \cdot 2,12 \cdot 0,70 \cdot 0,04 = \mathbf{5,93 \%}$$

- Fator de ganho de calor solar inverno (FS_o)

$$FS_o = 100 \cdot U_{inverno} \cdot \alpha \cdot R_{se} = 100 \cdot 2,55 \cdot 0,70 \cdot 0,04 = \mathbf{7,14 \%}$$

d) Cobertura Empreendimento E

Propriedades térmicas das telhas:

Material: Cerâmica----- (informação Construtora 2)
 Espessura (e): 0,01m----- (informação Construtora 2)
 Densidade de Massa Aparente (ρ): 2000 kg/ m³----- (informação Construtora 2)
 Calor Específico (c): 0,92 kJ/(kg.K)----- (informação Anexo A)
 Condutividade térmica (λ): 1,05 W/(m.K) ----- (informação Anexo A)

Propriedades térmicas da laje:

Material: Concreto----- (informação Construtora 2)
 Espessura (e): 0,10m----- (informação Construtora 2)
 Densidade de Massa Aparente (ρ): 2500 kg/ m³----- (informação Construtora 2)
 Calor Específico (c): 1,00 kJ/(kg.K)----- (informação Anexo A)
 Condutividade térmica (λ): 1,75 W/(m.K) ----- (informação Anexo A)

No verão, há um fluxo de calor na direção descendente e como há uma câmara de ar não ventilada existe resistência térmica dela. Logo, $R_{ar} = 0,21 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$.

- Resistência térmica verão (R_t)

$$R_t = \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + \frac{e_{laje}}{\lambda_{laje}} + R_{ar} = \frac{0,01}{1,05} + \frac{0,1}{1,75} + 0,21 = \mathbf{0,277 \text{ (m}^2\text{.K)/W}}$$

- Resistência térmica total verão (R_T)

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si}$$

Sendo:

R_{se} igual 0,04 (m².K)/K

R_{si} igual a 0,17 (m².K)/K

$$R_T = 0,04 + 0,277 + 0,17 = \mathbf{0,49 \text{ (m}^2\text{.K)/W}}$$

- Transmitância térmica verão (U)

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,49} = \mathbf{2,05 \text{ W/(m}^2\text{.K)}}$$

Já no inverno, há um fluxo de calor na direção ascendente $R_{ar} = 0,14 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$

- Resistência térmica inverno (R_t)

$$R_t = \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + \frac{e_{laje}}{\lambda_{laje}} + R_{ar} = \frac{0,01}{1,05} + \frac{0,10}{1,75} + 0,14 = \mathbf{0,207 \text{ (m}^2\text{.K)/W}}$$

- Resistência térmica total inverno (R_T)

$$R_T = R_t + 2. R_{si}$$

Sendo:

Rsi igual a 0,10 (m².K)/K.

$$RT = 0,207 + 0,20 = \mathbf{0,41 \text{ (m}^2\text{.K)/W}}$$

- Transmitância térmica inverno (U)

$$U = \frac{1}{RT} = \frac{1}{0,41} = \mathbf{2,46 \text{ W/(m}^2\text{.K)}}$$

- Capacidade térmica (C_T)

$$CT = \sum_{i=1}^n ei \cdot ci \cdot \rho i = 0,01 \cdot 0,92 \cdot 2000 + 0 + 0,10 \cdot 1,00 \cdot 2500 = \mathbf{268,40 \text{ kJ/(m}^2\text{.K)}}$$

- Atraso térmico verão (φ)

$$B0 = CT - CText = 268,40 - 0,01 \cdot 2000 \cdot 0,92 = 250,00$$

$$B1 = 0,226 \cdot \frac{B0}{Rt} = 0,226 \cdot \frac{250,00}{0,277} = 204,22$$

$$B2 = 0,205 \cdot \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{Rt} \cdot \left(R_{ext} - \frac{Rt - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B2 = 0,205 \cdot \frac{1,05 \cdot 2000 \cdot 0,92}{0,277} \cdot \left(\frac{0,01}{1,05} - \frac{0,277 - \frac{0,01}{1,05}}{10} \right) = -24,61$$

Como o valor de B2 foi negativo, então é necessário considerar B2 nulo.

$$\varphi = 1,382 \cdot Rt \cdot \sqrt{B1 + B2} = 1,382 \cdot 0,277 \cdot \sqrt{204,22 + 0} = \mathbf{5,46 \text{ h}}$$

- Atraso térmico inverno (φ)

$$B0 = CT - CText = 268,40 - 0,01 \cdot 2000 \cdot 0,92 = 250,00$$

$$B1 = 0,226 \cdot \frac{B0}{Rt} = 0,226 \cdot \frac{250,00}{0,207} = 273,39$$

$$B2 = 0,205 \cdot \frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{Rt} \cdot \left(R_{ext} - \frac{Rt - R_{ext}}{10} \right)$$

$$B2 = 0,205 \cdot \frac{1,05 \cdot 2000 \cdot 0,92}{0,207} \cdot \left(\frac{0,01}{1,05} - \frac{0,207 - \frac{0,01}{1,05}}{10} \right) = -19,53$$

Como o valor de B2 foi negativo, então é necessário considerar B2 nulo.

$$\varphi = 1,382 \cdot Rt \cdot \sqrt{B1 + B2} = 1,382 \cdot 0,207 \cdot \sqrt{273,39 + 0} = \mathbf{4,72 \text{ h}}$$

- Fator de ganho de calor solar verão (FS_o)

$$FS_o = 100 \cdot U_{\text{verão}} \cdot \alpha \cdot R_{se} = 100 \cdot 2,05 \cdot 0,70 \cdot 0,04 = \mathbf{5,75 \%}$$

- Fator de ganho de calor solar inverno (FS_o)

$$FS_o = 100 \cdot U_{\text{inverno}} \cdot \alpha \cdot R_{se} = 100 \cdot 2,46 \cdot 0,70 \cdot 0,04 = \mathbf{6,89 \%}$$

APÊNDICE F – Memorial de cálculo das Aberturas para Ventilação

a) Empreendimento A

Características para cálculo da abertura de ventilação de cada ambiente de longa permanência
Empreendimento A

Ambientes	Área de Piso (m ²)	Dimensão da Esquadria		Área de ventilação (m ²)	Relação (%)
		Largura (m)	Altura (m)		
Dormitório 01	8,58	1,20	1,20	0,72	8,39
Dormitório 02	8,32	1,20	1,20	0,72	8,65
Sala Estar	14,34	1,55	2,20	1,71	11,89

b) Empreendimento B

Características para cálculo da abertura de ventilação de cada ambiente de longa permanência
Empreendimento B

Ambientes	Área de Piso (m ²)	Dimensão da Esquadria		Área de ventilação (m ²)	Relação (%)
		Largura (m)	Altura (m)		
Dormitório 01	8,28	1,20	1,20	0,72	8,70
Dormitório 02	8,09	1,20	1,20	0,72	8,90
Sala	16,60	1,60	1,20	0,96	5,78

c) Empreendimento C e D

Características para cálculo da abertura de ventilação de cada ambiente de longa permanência
Empreendimento C e D – 3 dormitórios

Casa de 3 dormitórios					
Ambientes	Área de Piso (m ²)	Dimensão da Esquadria		Área de ventilação (m ²)	Relação (%)
		Largura (m)	Altura (m)		
Dormitório 01	9,81	1,20	1,20	0,72	7,34
Dormitório 02	7,32	1,20	1,20	0,72	9,84
Dormitório 03	6,35	1,20	1,20	0,72	11,34
Sala + Cozinha	19,86	1,60	2,20	1,76	8,86

Características para cálculo da abertura de ventilação de cada ambiente de longa permanência
Empreendimento C e D – 2 dormitórios

Casa de 2 dormitórios (1 suíte)					
Ambientes	Área de Piso (m ²)	Dimensão da Esquadria		Área de ventilação (m ²)	Relação (%)
		Largura (m)	Altura (m)		
Dormitório 01	9,81	1,20	1,20	0,72	7,34
Suíte 01	7,32	1,20	1,20	0,72	9,84
Sala + Cozinha	19,86	1,60	2,20	1,76	8,86

d) Empreendimento E

Características para cálculo da abertura de ventilação de cada ambiente de longa permanência
Empreendimento E

Ambientes	Área de Piso (m ²)	Dimensão da Esquadria		Área de ventilação (m ²)	Relação (%)
		Largura (m)	Altura (m)		
Dormitório 01	8,38	1,20	1,20	0,72	8,59
Dormitório 02	8,25	1,20	1,20	0,72	8,73
Sala Estar	7,11	1,50	1,20	0,90	12,67

APÊNDICE G – Registro fotográfico de algumas residências do Empreendimento E

APÊNDICE H – Respostas dos moradores

Comentários dos moradores nos questionários de memória térmica disponibilizados online em abril 2017. Essa questão não era de resposta obrigatória.

Questão 9: Descreva qualquer outro problema que você tenha relacionado a sua casa ser muito quente ou muito fria.

Respostas:

"Pé direito baixo. "

"No frio acho bem pior que no calor. "

"Acho normal usar ventilador e abrir janela se está calor, não tem problema nisso. "

"Achei umidade na base da casa e nas paredes quando trocamos os pisos. "

"Meu vizinho fez um sobrado do lado e acho que isso piorou o vento e a iluminação da minha casa. "

"Retirei a porta da cozinha para casa ficar mais segura, mas percebi que a casa ficou mais quente. "

"Aumentei as janelas e as portas para melhorar a ventilação. "

"Se eu deixasse as portas abertas a ventilação seria boa, mas não posso porque tem muitos bichos. "

"Não gosto de abrir as portas e as janelas porque entra inseto por causa das canas. "

"Quase nada pega sol a casa fica sempre úmida. "

"Mudei a casa para acomodar minha família e alguns cômodos ficaram sem luz e sem vento porque o lote é pequeno. "

"Nada, morava numa bem pior antes. "

"Como alterei a casa inteira, ela ficou muito boa e bonita. "

"A casa é uma geladeira no frio. "

"Muito escura minha sala e o quarto da frente. "

"Tive que comprar cortina para colocar nas janelas dos quartos mesmo elas não sendo de vidro por causa que o aço das janelas esquentavam muito. Coloquei grade em todas as janelas e a entrada de vento ficou menor. Gostaria de ter ar condicionado. "

"Aumentei a cozinha para ventilar mais e realmente ventila, porque agora tenho duas portas. "

"Gosto de morar aqui na minha casa, acho ela boa. "

"Ela é fria no frio e quente no calor, normal. "

"Nada. "

"Acho essa casa muito ruim, muito pequena e muito longe da cidade e o bairro é muito perigoso. "

"Não gosto do barulho do ventilador, mas ele fica ligado 24 horas na minha casa. "

"As paredes ficam sempre muito quentes e entra muito calor pelo teto. "

"A casa está sempre úmida e eu tenho alergia. "

"Fiz minha loja na frente da casa então como eu tirei as janelas o quarto e a sala são bem escuros, mas eu ligo a luz. "

"Mudei a casa inteira com um pedreiro que já é acostumado a fazer as casas aqui do bairro, achei que ficou bem melhor do que a casinha que eles entregam. "

"Tem muito bicho no bairro e muito ladrão por isso não deixo porta e janela aberta quando está calor. "

"Para mim é normal. Minha casa é ventilada tem claridade, enfim normal. "

"Gosto como está. Igual a qualquer outra casa. "

"Quero colocar ar condicionado para melhorar."

"É uma casa para região de terremoto e aqui não tem terremoto então foi muito difícil demolir as paredes, mas eu e meu marido conseguimos mudar ela e ela ficou com a cozinha e a sala grandes. Mas não sei para que o governo está construindo essas casas desse jeito. "