

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES  
UNIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL COM  
PAREDES DE CONCRETO ARMADO NA ZONA  
BIOCLIMÁTICA 2 BRASILEIRA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Paula Pereira Carvalho**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2012**

**DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES  
UNIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL COM  
PAREDES DE CONCRETO ARMADO NA ZONA  
BIOCLIMÁTICA 2 BRASILEIRA**

**Paula Pereira Carvalho**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria/RS, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

**orientador: Prof. Dr. Joaquim Cesar Pizzutti Dos Santos**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2012**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Carvalho, Paula Pereira

Desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social com paredes de concreto armado na zona bioclimática 2 brasileira / Paula Pereira Carvalho.-2012.  
108 p.; 30cm

Orientador: Joaquim Cesar Pizzutti Dos Santos  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2012

1. Desempenho térmico 2. Paredes de concreto 3. Habitação unifamiliar de interesse social I. Santos , Joaquim Cesar Pizzutti Dos II. Título.

Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental

A comissão examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de  
Mestrado

**DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES UNIFAMILIARES  
DE INTERESSE SOCIAL COM PAREDES DE CONCRETO  
ARMADO NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2 BRASILEIRA**

elaborada por

**Paula Pereira Carvalho**

Como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Civil**

Comissão examinadora:



---

**Joaquim César Pizzutti dos Santos, Dr.**  
(Presidente/Orientador)



---

**Antônio César Silveira Baptista da Silva, Dr. (UFPEL, RS)**



---

**Giâne de Campos Grigoletti, Dra. (UFSM, RS)**

Santa Maria, 18 de setembro de 2012.

*À Antônia, minha pequena  
companheira ao longo deste  
trabalho, desde sua gestação até  
seus primeiros meses de vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador professor Dr. Joaquim César Pizzutti dos Santos por ter confiado em mim, pela motivação, pela paciência, e principalmente, pelos inúmeros conhecimentos compartilhados.

À Universidade Federal de Santa Maria, que proporcionou minha graduação em Arquitetura e Urbanismo e me oportunizou a realização de mais este trabalho.

Aos funcionários da Construtora BK, pela disponibilidade e contribuição durante o levantamento de dados.

Aos acadêmicos de Arquitetura e Urbanismo Ana Júlia Freitas, Cauê Rios, Liége Garlet e Marina Alcântara, pela contribuição em várias etapas deste trabalho.

À minha família, pelo carinho e dedicação, e em especial à minha mãe Celeste, que sempre esteve presente me proporcionando todo apoio, sem o qual não seria possível a conclusão deste trabalho.

Ao meu companheiro Luiz, meu maior incentivador, que soube suprir a minha ausência com alegria e tranquilidade.

À minha filha Antônia, que veio ao mundo há poucos meses e já se mostrou muito compreensiva e companheira.

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, transmitindo entusiasmo e otimismo.

A todos, meu muito obrigada!

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental  
Universidade Federal de Santa Maria

### **DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES UNIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL COM PAREDES DE CONCRETO ARMADO NA ZONA BIOCLIMÁTICA 2 BRASILEIRA**

AUTORA: PAULA PEREIRA CARVALHO  
ORIENTADOR: JOAQUIM CESAR PIZZUTTI DOS SANTOS  
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 18 de setembro de 2012.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho térmico e o conforto térmico de habitações construídas com a tecnologia de paredes de concreto armado executadas no local, para uso na Zona Bioclimática 2 brasileira. O estudo foi realizado através de medições *in loco* da temperatura do ar no interior de quatro unidades com orientações solares predominantes de habitações unifamiliares de interesse social do loteamento Zilda Arns, na cidade de Santa Maria-RS. Foram feitas medições no inverno e no verão, com a casa fechada e também com a casa fechada com vedação nos locais passíveis de infiltração de ar. As avaliações foram efetuadas a partir da relação entre as variações das temperaturas internas e das temperaturas externas, considerando ainda as influências da orientação solar e da infiltração de ar, e as condições de conforto térmico internas através de uma análise comparativa de temperaturas com valores limites da ASHRAE (2004). Foi observado que a orientação solar exerce influência nos períodos de inverno e verão, porém verificou-se que a infiltração de ar pouco influencia sobre o desempenho térmico das unidades. Observou-se ainda que o sistema construtivo apresenta bom desempenho térmico para o período de verão, porém não é adequado à Zona Bioclimática 2 no período de inverno. Quanto ao conforto térmico, as habitações apresentaram desconforto por frio em todo o período analisado de inverno e conforto na maior parte do período de verão.

**Palavras-chave:** Desempenho térmico. Paredes de concreto. Habitação unifamiliar de interesse social.

## **ABSTRACT**

Máster Dissertation  
Post-Graduate Program in Ambiental and Civil Engineering  
Universidade Federal de Santa Maria

### **THERMAL PERFORMANCE OF SINGLE-FAMILY HOUSING OF SOCIAL INTEREST MADE WITH CONCRETE WALLS IN BRASILIAN BIOCLIMATIC ZONE 2**

AUTHOR: PAULA PEREIRA CARVALHO  
ADVISOR: JOAQUIM CESAR PIZZUTTI DOS SANTOS  
Date and place of the defense: Santa Maria, September 18, 2012

This research aims to evaluate the thermal performance of housing built with the technology of reinforced concrete walls executed on site, for use in Brazilian Bioclimatic Zone 2. The study was conducted through in situ measurements of air temperature inside the four main types of single family housing of social interest of Zilda Arns allotment, in the town of Santa Maria-RS. Measurements were made in winter and summer, with the housing closed and also with the housing closed with sealing in places susceptible to air infiltration. The evaluations were made from the relationship between changes in internal temperatures and outdoor temperatures, and considering the influences of solar orientation and air infiltration, and internal thermal comfort through a comparative analysis of temperatures with ASHRAE (2004) limits. It was observed that the solar orientation has influence during winter and summer, however the air infiltration has little influence on thermal performance of housings. It was also observed that the building system provides good thermal performance for the summer period, but is not suitable to Bioclimatic Zone 2 during winter. As for thermal comfort, the housings presented cold discomfort for the whole period of winter and presented comfort in most of the analyzed summer period.

**Keywords:** Thermal performance. concrete walls. single-family housing of social interest.



## LISTA DE FIGURAS

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Figura 1 –  | Conjunto Habitacional Cipriano da Rocha (Santa Maria - RS) (a) e Unidades do Conjunto Habitacional Gervásio Maia (João Pessoa - PB) (b)..... | 22 |
| Figura 2 –  | Planta baixa de uma unidade do Conjunto Habitacional Gervásio Maia .....   | 23 |
| Figura 3 –  | Planta baixa de uma unidade residencial do Conjunto Habitacional Cipriano da Rocha.....  | 24 |
| Figura 4 –  | Zoneamento Bioclimático Brasileiro .....   | 26 |
| Figura 5 –  | Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades da Zona Bioclimática 2, destacando a cidade de Ponta Grossa, PR.....    | 26 |
| Figura 6 –  | Índice de conforto proposto pela ASHRAE 55 (2004): variação de temperatura operacional aceitável em ambientes ventilados naturalmente .....  | 34 |
| Figura 7 –  | Casas térreas construídas com sistemas de paredes de concreto .....  | 44 |
| Figura 8 –  | Montagem do radier com as instalações elétricas e sanitárias embutidas.....  | 45 |
| Figura 9 –  | Montagem das armaduras de paredes de concreto e colocação de eletrodutos .....   | 46 |
| Figura 10 – | a e b - Concretagem de paredes de concreto armado .....  | 47 |
| Figura 11 – | Mapa político do estado do Rio Grande do Sul.....  | 51 |
| Figura 12 – | a e b - Vistas do centro da cidade de Santa Maria com morros ao fundo .....  | 52 |
| Figura 13 – | Mapa de Santa Maria com localização do Loteamento Zilda Arns.....  | 53 |
| Figura 14 – | Vista aérea do loteamento Zilda Arns .....   | 53 |
| Figura 15 – | Implantação do loteamento Zilda Arns .....   | 55 |
| Figura 16 – | Planta baixa das unidades A, B, C e D .....  | 55 |
| Figura 17 – | Planta baixa de duas unidades geminadas.....   | 57 |
| Figura 18 – | Fachada frontal (a) e fachada de fundos (b) .....  | 59 |
| Figura 19 – | Aparelho de medição utilizado .....  | 59 |
| Figura 20 – | Posicionamento dos medidores no interior e no exterior das habitações.....   | 61 |
| Figura 21 – | Instalações de medidor interno (sala) (a) e de medidor externo (b).....  | 62 |
| Figura 22 – | Variação da temperatura externa e interna no período de inverno – unidade A .....  | 64 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 23 – Variação da temperatura externa e interna no período de inverno – unidade B .....                    | 64 |
| Figura 24 – Variação da temperatura externa e interna no período de inverno – unidade C .....                    | 65 |
| Figura 25 – Variação da temperatura externa e interna no período de inverno – unidade D .....                    | 65 |
| Figura 26 – Variação da temperatura externa e interna no período de verão – unidade A .....                      | 68 |
| Figura 27 – Variação da temperatura externa e interna no período de verão – unidade B .....                      | 68 |
| Figura 28 – Variação da temperatura externa e interna no período de verão – unidade C .....                      | 69 |
| Figura 29 – Variação da temperatura externa e interna no período de verão – unidade D .....                      | 69 |
| Figura 30 – Variação da temperatura dos dormitórios no período de inverno.....                                   | 73 |
| Figura 31 – Variação da temperatura das salas no período de inverno .....  | 74 |
| Figura 32 – Variação da temperatura dos dormitórios no período de verão .....                                    | 77 |
| Figura 33 – Variação da temperatura das salas no período de verão.....   | 78 |
| Figura 34 – Variação da temperatura das diferentes unidades no período de inverno .....                          | 80 |
| Figura 35 – Variação da temperatura interna das diferentes unidades no período de verão .....                    | 82 |
| Figura 36 – Variação da temperatura interna da unidade A com e sem infiltração de ar no período de inverno ..... | 85 |
| Figura 37 – Variação da temperatura interna da unidade B com e sem infiltração de ar no período de inverno ..... | 85 |
| Figura 38 – Variação da temperatura interna da unidade C com e sem infiltração de ar no período de inverno ..... | 85 |
| Figura 39 – Variação da temperatura interna da unidade D com e sem infiltração de ar no período de inverno ..... | 86 |
| Figura 40 – Variação da temperatura interna da unidade A com e sem infiltração de ar no período de verão.....    | 87 |
| Figura 41 – Variação da temperatura interna da unidade B com e sem infiltração de ar no período de verão.....    | 88 |
| Figura 42 – Variação da temperatura interna da unidade C com e sem infiltração de ar no período de verão.....    | 88 |
| Figura 43 – Variação da temperatura interna da unidade D com e sem infiltração de ar no período de verão.....    | 88 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 44 – Variação da temperatura interna da habitação média no período de inverno ..... | 90 |
| Figura 45 – Variação da temperatura interna da habitação média no período de verão .....   | 93 |
| Figura 46 – Limites de conforto para o período de inverno .....                            | 95 |
| Figura 47 – Graus-hora de desconforto interior x exterior - período de inverno .....       | 96 |
| Figura 48 – Limites de conforto para o período de verão .....                              | 97 |
| Figura 49 – Graus-hora de desconforto interior x exterior - período de verão.....          | 98 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Propriedades térmicas dos materiais construtivos (paredes e sistema de cobertura).....   | 58 |
| Tabela 2 – Valores de Resistência Térmica (RT), Transmitância Térmica (U), Capacidade Térmica (Ct), Atraso Térmico ( $\varphi$ ) e Fator Solar das vedações.....            | 58 |
| Tabela 3 – Valores de Resistência Térmica (RT), Transmitância Térmica (U), Capacidade Térmica (Ct), Atraso Térmico ( $\varphi$ ) e Fator Solar do sistema de cobertura..... | 58 |
| Tabela 4 – Temperaturas máximas e mínimas para o período de inverno .....   | 66 |
| Tabela 5 – Temperaturas máximas e mínimas para o período de verão .....   | 70 |
| Tabela 6 – Temperaturas máximas e mínimas dos dormitórios para o período de inverno .....   | 73 |
| Tabela 7 – Temperaturas máximas e mínimas das salas para o período de inverno .....   | 74 |
| Tabela 8 – Temperaturas máximas e mínimas dos dormitórios para o período de verão .....   | 77 |
| Tabela 9 – Temperaturas máximas e mínimas das salas para o período de verão .....   | 78 |
| Tabela 10 – Temperaturas máximas e mínimas das unidades A, B, C e D para o período de inverno .....   | 81 |
| Tabela 11 – Temperaturas máximas e mínimas das unidades A, B, C e D para o período de verão .....   | 83 |
| Tabela 12 – Temperaturas máximas e mínimas com e sem infiltração de ar para o período de inverno .....  | 86 |
| Tabela 13 – Temperaturas máximas e mínimas com e sem infiltração de ar para o período de verão .....  | 89 |
| Tabela 14 – Temperaturas máximas e mínimas da habitação média para o período de inverno .....   | 91 |
| Tabela 15 – Temperaturas máximas externas e tempo de defasagem para o período de inverno .....  | 92 |
| Tabela 16 – Temperaturas máximas e mínimas da habitação média para o período de verão .....   | 93 |
| Tabela 17 – Temperaturas máximas internas e externas e tempo de defasagem para o período de verão .....   | 94 |

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1 – Zonas Bioclimáticas e suas estratégias de condicionamento térmico ....          | 27 |
| Quadro 2 – Requisitos mínimos para a edificação na Zona Bioclimática 2 brasileira.....     | 35 |
| Quadro 3 – Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 2 ..... | 35 |
| Quadro 4 – Características construtivas das habitações .....                               | 56 |

# SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>1.1 Objetivos</b> .....   | <b>17</b> |
| 1.1.1 Objetivo Geral .....   | 17        |
| 1.1.2 Objetivos Específicos .....  | 17        |
| <b>1.2 Estrutura do trabalho</b> .....   | <b>18</b> |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....   | <b>19</b> |
| <b>2.1 Política Nacional de Habitação</b> .....                                    | <b>19</b> |
| 2.1.1 Habitações unifamiliares de interesse social no Brasil na atualidade .....   | 22        |
| <b>2.2 Zoneamento bioclimático brasileiro</b> .....                                | <b>25</b> |
| <b>2.3 Desempenho térmico de edificações</b> .....                                 | <b>27</b> |
| 2.3.1 Normatização de desempenho térmico em âmbito mundial .....                   | 31        |
| 2.3.1.1 ISO 7730 .....   | 31        |
| 2.3.1.2 ASHRAE 55 .....  | 32        |
| 2.3.2 Normatização de desempenho térmico brasileira .....                          | 34        |
| 2.3.2.1 NBR 15220 .....  | 34        |
| 2.3.2.2 NBR 15575 .....  | 36        |
| <b>2.4 Desempenho térmico de paredes de concreto armado</b> .....                  | <b>39</b> |
| <b>2.5 Sistema construtivo com paredes de concreto armado</b> .....                | <b>43</b> |
| 2.5.1 O sistema construtivo .....  | 44        |
| 2.5.1.1 Fundações .....  | 45        |
| 2.5.1.4 Concreto .....   | 47        |
| <b>3 METODOLOGIA</b> .....   | <b>49</b> |
| <b>3.1 Caracterização do município de Santa Maria e do sítio</b> .....             | <b>50</b> |
| <b>3.2 Detalhamento da edificação objeto de estudo</b> .....                       | <b>54</b> |
| <b>3.3 Monitoramento das residências – Medições de temperatura e umidade</b> ..... | <b>59</b> |
| <b>4 RESULTADOS</b> .....  | <b>63</b> |
| <b>4.1 Medições no período de inverno</b> .....                                    | <b>63</b> |
| <b>4.2 Medições no período de verão</b> .....                                      | <b>67</b> |
| <b>5 ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....  | <b>72</b> |
| <b>5.1 Avaliação da influência da orientação solar</b> .....                       | <b>72</b> |
| 5.1.1 Avaliação da orientação solar entre ambientes das diferentes unidades .....  | 72        |

|  |            |
|--|------------|
| 5.1.1.1 Período de inverno .....                                       | 72         |
| 5.1.1.2 Período de verão .....   | 76         |
| 5.1.2 Avaliação da orientação solar entre as diferentes unidades ..... | 80         |
| 5.1.2.1 Período de inverno .....                                       | 80         |
| 5.1.2.1 Período de verão .....   | 82         |
| 5.2.1 Período de inverno .....   | 84         |
| 5.2.2 Período de verão .....   | 87         |
| <b>5.3 Avaliação do desempenho térmico .....</b>                       | <b>90</b>  |
| 5.3.1 Período de inverno .....   | 90         |
| 5.3.2 Período de verão .....   | 92         |
| <b>5.4 Avaliação dos graus-hora de desconforto .....</b>               | <b>95</b>  |
| 5.4.1 Período de inverno .....   | 95         |
| <b>6 CONCLUSÃO .....</b>   | <b>100</b> |
| <b>6.1 Sugestões de trabalhos futuros .....</b>                        | <b>102</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                | <b>103</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

O bom desempenho térmico de uma edificação está diretamente relacionado às condições climáticas da região em que está inserida. Dessa forma, é fundamental que o projetista conheça o clima e a geografia local para desenvolver um projeto arquitetônico adequado.

A arquitetura vernacular tem apresentado desde a antiguidade exemplos de edificações adequadas às características climáticas nas diversas regiões do mundo. Segundo Veloso (1999, p.1) “as formas mais elementares de que se tem conhecimento em arquitetura tinham, antes de tudo, a função de abrigo/proteção contra os efeitos indesejáveis do clima”. Lamberts et al (2004, p.15) destaca em relação à arquitetura vernacular que “o primeiro princípio utilizado era geralmente aproveitar as características desejáveis do clima enquanto se evitavam as indesejáveis”.

Com a revolução industrial o fator climático das edificações foi aos poucos sendo deixado de lado, à medida em que eram oferecidas várias opções de novos materiais e tecnologias, tais como o aço, vidro e o concreto armado. Passaram a ser utilizados em larga escala os sistemas de climatização artificial e iluminação, dando ao projetista certa despreocupação em relação às questões climáticas.

Após a crise do petróleo na década de 70, vários países iniciaram pesquisas voltadas ao desenvolvimento de fontes alternativas de energia. Segundo Lamberts et al (2005) foi voltada grande atenção a eficiência energética de edificações, responsável por boa parte do consumo de energia elétrica na maioria dos países. O conceito de eficiência energética passou a vigorar tanto por projetistas quanto pelo poder público, que precisava promover novas tecnologias que proporcionassem redução do consumo de energia.

Neste contexto se percebe a importância da Arquitetura Bioclimática, que se baseia no aproveitamento das condições naturais do entorno a fim de se obter condições de conforto térmico no interior das edificações, com baixo consumo energético. (DORNELLES, 2004)

Izard e Guyot (1983 apud DORNELLES, 2004) definem que uma boa arquitetura bioclimática é a que permite que a edificação se beneficie de ambientes



internos com situação próxima ao conforto, sem utilizar de recursos de climatização artificial. Sob condições extremas, em que o condicionamento artificial se fizer necessário, a adequação da edificação ao clima proporciona um consumo inferior de energia. O autor salienta que em muitos casos o condicionamento artificial se faz necessário para corrigir erros de projeto.

Mascaró e Mascaró (1992) afirmam que o desconhecimento das condições climáticas por parte dos projetistas e o pouco uso das soluções de acondicionamento natural ficam evidenciados pelos vários erros de projeto encontrados. Segundo os autores, os erros são frequentes na forma e disposição dos espaços, na altura dos edifícios, na sua orientação, na composição de sua envolvente e, sobretudo, nas suas coberturas.

Segundo Akutsu et al (2005) “a avaliação do desempenho térmico de uma edificação engloba a resposta global do projeto arquitetônico proposto em relação às trocas térmicas entre o ambiente construído e o ambiente externo”. Lamberts et al (2005) afirmam que avaliar o desempenho energético de edificações é uma tarefa complexa que envolve grande quantidade de variáveis interdependentes e conceitos multidisciplinares. Dentro deste contexto, a existência de normas com diretrizes para o desenvolvimento de sistemas construtivos representa uma ferramenta importante para a tomada de decisões. (LAMBERTS ET AL, 2005)

Atualmente existem no Brasil normas de desempenho térmico e energético, dentre elas a NBR 15220 (ABNT, 2005) que estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro e propõe diretrizes construtivas para habitações voltadas à população de baixa renda. Outra norma existente é o conjunto de normas NBR 15575 (ABNT, 2012) que define requisitos que devem ser contemplados pelos sistemas de vedações verticais internas e externas, assim como pelos subsistemas de cobertura.

Com o crescimento do número de construções voltadas à população de baixa renda no Brasil, muito estimulado por programas habitacionais como o “*Minha Casa, Minha Vida*”, as construtoras têm buscado sistemas construtivos econômicos e racionais para produzir casas em série. Em função da velocidade de execução e otimização de mão-de-obra, o sistema construtivo de paredes de concreto tem sido uma escolha constante por parte dos projetistas em habitações de interesse social. Este é um método de construção que oferece padronização, produtividade e qualidade.

No sistema construtivo avaliado neste trabalho, as vedações internas e externas executadas em concreto armado funcionam também como estrutura da edificação. O método se baseia na montagem de formas dentro das quais são colocadas as armaduras e embutidas as instalações elétricas e hidráulicas, sendo então preenchidas com concreto.

Diante do exposto, pretende-se avaliar o desempenho térmico de edificações unifamiliares de interesse social executadas com paredes de concreto, fazendo-se medições *in loco* em edificações concluídas em Santa Maria-RS, evidenciando o comportamento de variação das temperaturas internas em relação às externas durante períodos de dias reais das estações climáticas de inverno e verão.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o desempenho térmico de edificações unifamiliares de interesse social executadas com paredes de concreto em Santa Maria, cidade inserida na zona bioclimática 2 brasileira.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Analisar o comportamento da temperatura interna no período de inverno;
- Analisar o comportamento da temperatura interna no período de verão;
- Analisar a influência da orientação solar na variação da temperatura interna;
- Analisar a influência da infiltração de ar na variação da temperatura interna;
- Analisar as condições de conforto térmico.

## 1.2 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em seis capítulos: Introdução, Revisão Bibliográfica, Metodologia, Resultados, Análise dos Resultados e Conclusão.

Primeiramente, a introdução apresenta o tema a ser estudado, aborda a sua importância, justifica a relevância para a realização desta pesquisa e apresenta os objetivos a serem alcançados.

Na revisão de literatura são abordados assuntos relacionados a habitações de interesse social, desempenho térmico, bioclimatologia e sistema construtivo de edificações com paredes de concreto.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia utilizada na pesquisa e os procedimentos técnicos de levantamento de dados. Neste capítulo é feita a caracterização do município de Santa Maria e do sítio em que se localiza o loteamento Zilda Arns, bem como a caracterização das unidades com as diferentes orientações solares a serem estudadas.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos no monitoramento das edificações nos períodos de inverno e verão.

No quinto capítulo os resultados obtidos são interpretados por meio de quatro avaliações distintas, considerando o comportamento térmico da edificação, a influência da orientação solar e da infiltração de ar, e as condições de conforto térmico internas.

O sexto capítulo trata das conclusões obtidas através da análise dos resultados e faz recomendações para futuros trabalhos.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Política Nacional de Habitação**

Segundo Bonduki (1998), a habitação das classes populares no Brasil se deu, até o ano de 1930, pela produção privada de vilas operárias ou de moradias de aluguel, que iam de edificações com alguma qualidade até moradias de baixo padrão, sendo difícil diferenciar moradias de aluguel e cortiços. Porém, as moradias de melhor qualidade, embora populares, só eram acessíveis para segmentos da baixa classe média, como operários qualificados, funcionários públicos e comerciantes, não sendo viáveis para a população mais pobre. Os cortiços, de qualidade ainda pior, eram a única forma de acesso à moradia pela maioria da população, além de se constituir num negócio muito lucrativo para seus proprietários. Estes foram fortemente combatidos em nome da saúde pública, mas se proliferaram muito, o que demonstra que a demanda por habitação para grande parte da população já era importante.

Na era Vargas, a partir de 1930, a Lei do Inquilinato limitou as possibilidades de lucro para os proprietários de vilas e casas de aluguel, uma vez que congelou os preços e diminuiu a segurança do negócio para os locadores. Acabou resultando num estímulo à propriedade privada do imóvel urbano, no lugar do aluguel, restringindo ainda mais o acesso à habitação (MARICATO, 1997).

No período militar, as péssimas condições de vida da população mais pobre levaram o governo a estruturar uma política habitacional baseada no Sistema Financeiro de Habitação (SFH). Porém, este sistema foi marcado pelo favorecimento das grandes empreiteiras, fazendo com que o período do Banco Nacional da Habitação (BNH) tenha sido caracterizado pela péssima qualidade das construções e por um padrão urbano altamente oneroso para o poder público, onde os conjuntos habitacionais eram construídos em áreas distantes e sem infra-estrutura. (FERREIRA, 2010)

Segundo Ferreira (2010), o modelo de política habitacional implementado a partir de 1964 pelo BNH deixou marcas importantes na estrutura institucional e na

política habitacional nos anos que se seguiram. Criou um sistema de financiamento que permitiu a captação de recursos específicos e subsidiados, com o Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS) e o Sistema Brasileiro de Poupança e Empréstimo (SBPE), que chegaram a atingir um montante bastante significativo para o investimento habitacional. Criou também e operacionalizou um conjunto de programas que estabeleceram, de forma centralizada, as diretrizes gerais a serem seguidas pelos órgãos executivos. Além disso, elaborou uma agenda de redistribuição dos recursos, que funcionou principalmente em nível regional, a partir de critérios definidos centralmente.

Ferreira (2010) comenta que, desde o início da atuação do BNH, verificou-se a existência de problemas no modelo proposto, como a incapacidade em atender à população de baixa renda, objetivo principal de sua criação. Outro ponto importante era o modelo institucional adotado, com forte grau de centralização e uniformização das soluções no território nacional. A desarticulação entre as ações dos órgãos responsáveis pela construção das casas populares e os encarregados dos serviços urbanos também era apontada como ponto crítico, bem como a construção de grandes conjuntos como forma de baratear o custo das moradias, geralmente feitos em locais distantes e sem infraestrutura.

Extinto em agosto de 1986, as atribuições do BNH foram transferidas para a Caixa Econômica Federal (CEF). No entanto, a área de habitação permaneceu vinculada ao Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente (MDU), cuja competência abrangia as políticas habitacional, de saneamento básico, de desenvolvimento urbano e do meio ambiente, enquanto que a CEF estava vinculada ao Ministério da Fazenda (BRASIL, 2004).

Em março de 1987, o MDU é transformado em Ministério da Habitação, Urbanismo e Meio Ambiente (MHU), que acumulou, além das competências do antigo MDU, a gestão das políticas de transportes urbanos e a incorporação da Caixa Econômica Federal. Em setembro de 1988, ocorreram novas alterações: foi criado o Ministério da Habitação e do Bem-Estar Social (MBES), no qual permaneceu a gestão da política habitacional. Em 1989 é extinto o MBES e criada a Secretaria Especial de Habitação e Ação Comunitária (SEAC), sob competência do Ministério do Interior. As atividades do SFH e a Caixa Econômica Federal passam a ser vinculadas ao Ministério da Fazenda. (BRASIL, 2004)

O modelo institucional adotado pela SEAC privilegiava a iniciativa de estados e municípios, deixando de estabelecer prioridades alocativas, o que permitiu maior autonomia dos governos estaduais e municipais, que deixaram de ser apenas executores da política. No entanto, a utilização dos recursos do FGTS em quantidade que superava suas reais disponibilidades financeiras afetou as possibilidades de expansão do financiamento habitacional, levando a sua suspensão temporária, sendo que os programas habitacionais ficaram na dependência de disponibilidades financeiras a fundo perdido de recursos do Governo Federal. (BRASIL, 2004)

Ferreira (2010) observa nesse período a desarticulação institucional ou até mesmo a extinção de várias Companhias de Habitação (COHABs) estaduais e a dependência quase completa dos recursos federais pelos governos para o enfrentamento dos problemas habitacionais, verificando-se pouca priorização por parte de muitos estados à questão habitacional.

O Ministério das Cidades, criado em 2003, tornou-se o órgão coordenador, gestor e formulador da Política Nacional de Desenvolvimento Urbano e que inclui a Política Nacional de Habitação (PNH). Visa promover as condições de acesso à moradia digna a todos os segmentos da população, especialmente a de baixa renda, contribuindo, assim, para a inclusão social. (BRASIL, 2005)

O Plano Nacional de Habitação (PlanHab) é um dos instrumentos previstos para a implantação da nova Política Nacional de Habitação. O principal objetivo do PlanHab é planejar as ações públicas e privadas a médio e longo prazo, com o propósito de formular uma estratégia do governo federal para enfrentar as necessidades habitacionais do país, considerando o perfil do déficit habitacional, a demanda futura por moradia e a diversidade do território nacional. (BONDUKI et al, 2010)

Vale destacar que o PlanHab se caracteriza simultaneamente como um plano estratégico de longo prazo e como um plano de ação, ou seja, uma ferramenta de planejamento com propostas que são operacionais e que devem ser implementadas a curto, médio e longo prazo. Por isso suas propostas e estratégias de ação e suas etapas de implementação se articulam à elaboração dos Planos Plurianuais (PPAs) e até o ano de 2023 (2011, 2015, 2019 e 2023), devendo ser revisto a cada quatro anos, a partir de uma avaliação do período anterior e da análise dos novos cenários e projeções, capazes de orientar o período seguinte. (BRASIL, 2005)

### 2.1.1 Habitações unifamiliares de interesse social no Brasil na atualidade

Segundo Carrasco (2005), a cultura da habitação de interesse social vem sendo caracterizada pela afirmação de grandes extensões de espaço urbano com projetos arquitetônicos e urbanísticos cada vez mais padronizados. Este cenário produz unidades muito parecidas entre si, de maneira que são identificadas semelhanças entre residências em várias regiões do Brasil, sendo desconsideradas as individualidades culturais e climáticas de cada região, como pode-se observar na Figura 1.



Figura 1 – Conjunto Habitacional Cipriano da Rocha (Santa Maria - RS) (a) e Unidades do Conjunto Habitacional Gervásio Maia (João Pessoa - PB) (b)

Fonte: LEMOS (2010) (a) e LIMA (2009) (b)

O projeto arquitetônico das unidades, na sua maioria, utiliza o conceito de moradia mínima nas propostas de racionalização das tipologias. De um modo geral, possuem sala e cozinha integrados, dois quartos e um banheiro, com área de serviço externa à residência.

No caso do Conjunto Habitacional Gervásio Maia, em João Pessoa - PB, cada lote residencial possui área de 112,5 m<sup>2</sup>, com residências cuja área total é de 37,22 m<sup>2</sup>. O sistema construtivo adotado segue as tecnologias tradicionais, com alvenaria em blocos cerâmicos vazados com 10 cm de espessura rebocadas e pintadas com cal. O telhado é composto por telhas cerâmicas, o piso é do tipo cimento queimado e

a área molhada tem revestimento cerâmico. As esquadrias externas são de madeira maciça e as internas de madeira prensada (OLIVEIRA, 2010).

A Figura 2 apresenta a planta baixa de uma unidade do Conjunto Habitacional Gervásio Maia, onde é possível identificar a área reduzida de seus compartimentos e os conflitos de uso interno, principalmente no que se refere ao dormitório com acesso direto pela área social. O referido loteamento trabalha com unidades isoladas nos lotes, de maneira que não há variações na planta baixa para todas as unidades, independente de sua orientação solar.

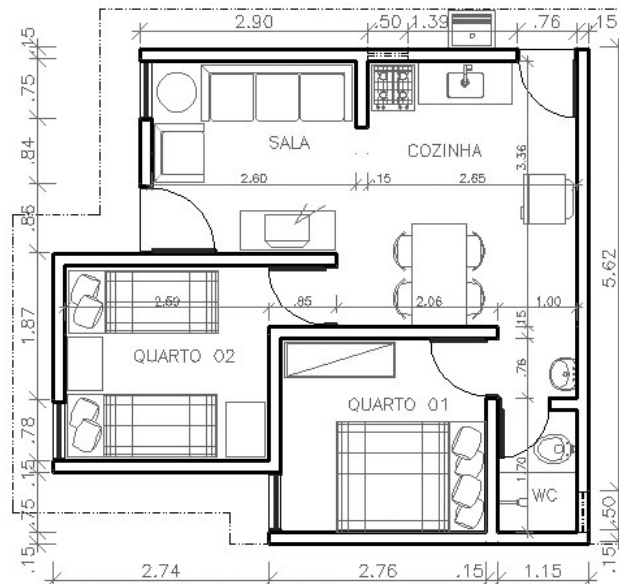


Figura 2 – Planta baixa de uma unidade do Conjunto Habitacional Gervásio Maia

Fonte: OLIVEIRA (2010)

No Conjunto Habitacional Cipriano da Rocha, em Santa Maria - RS, as unidades são geminadas, com área total de 71,50 m<sup>2</sup> (35,75 m<sup>2</sup> para cada unidade) e sistema construtivo semelhante ao Conjunto Habitacional Gervásio Maia: blocos cerâmicos vazados com 10 cm de espessura rebocadas e com cobertura em telha cerâmica, diferindo nas esquadrias externas metálicas.

A Figura 3 ilustra a planta baixa de uma das unidades do Cipriano da Rocha, onde se identifica que a parede que divide as duas unidades possui 14 cm de espessura.



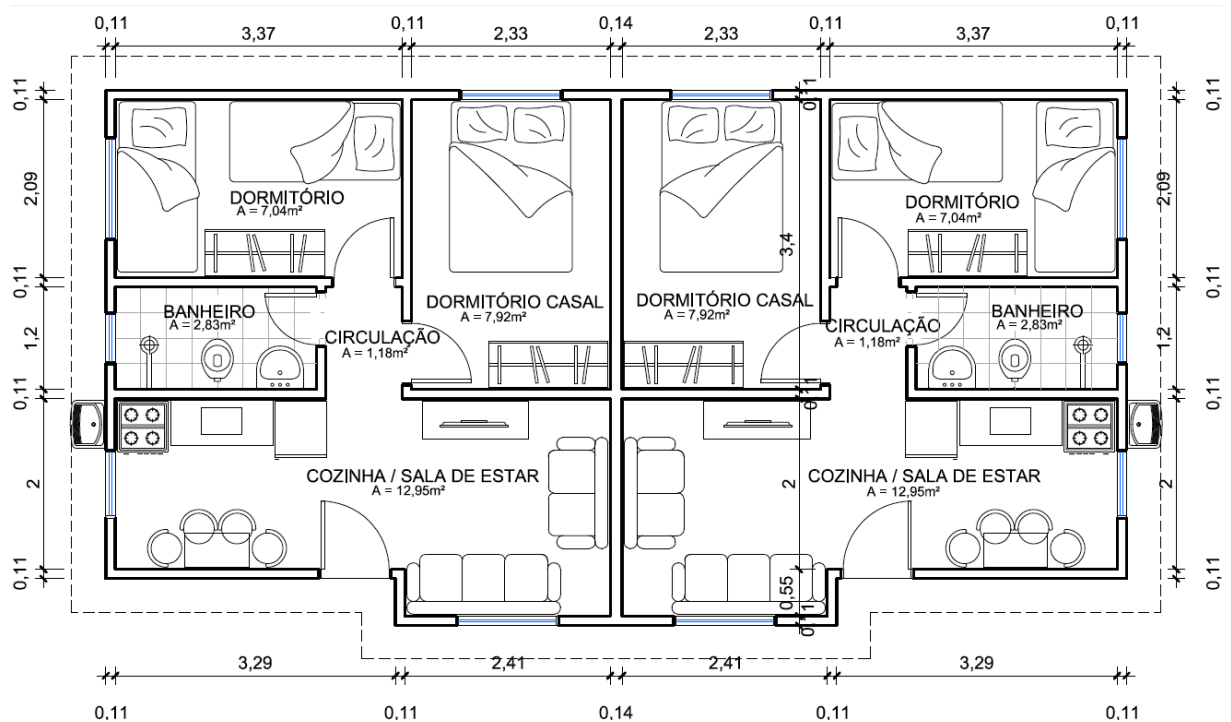


Figura 3 – Planta baixa de uma unidade residencial do Conjunto Habitacional Cipriano da Rocha

Fonte: Santa Maria (2011)

Tendo como exemplo os dois loteamentos citados, é possível fazer um breve panorama das soluções adotadas como padrão para as habitações unifamiliares de interesse social no país atualmente, cuja opção pela repetição das unidades apresenta-se como principal resposta para redução de custos e facilitador para a execução.

Destacamos que os projetos analisados não apresentam planta baixa de localização ou orientação solar, uma vez que a locação das unidades no terreno não é fator determinante para as soluções projetuais arquitetônicas.

Além da aplicação dos conceitos de unidades mínimas, a adoção de glebas praticamente planas e livres de vegetação arbórea significativa é outro ponto característico dos atuais conjuntos habitacionais para fins de habitação de interesse social no Brasil, aspectos esses que podem alterar os índices de incidência de radiação solar e velocidade do vento, influenciando diretamente nas condições climáticas do local.

## 2.2 Zoneamento bioclimático brasileiro

O Zoneamento Bioclimático brasileiro foi criado para padronizar o clima em relação à análise térmica dos ambientes (AKUTSU et al, 2005). A norma NBR 15220 (ABNT, 2005c) propõe a divisão do território brasileiro em oito zonas bioclimáticas relativamente homogêneas quanto ao clima.

Segundo Roriz et al (1999 apud DUMKE, 2002, p. 68), o zoneamento bioclimático tem por finalidade adequar às edificações ao clima, melhorando seu desempenho térmico.

A NBR 15220 (ABNT, 2005) define estratégias e recomendações técnico-construtivas para habitações de interesse social, sendo aplicáveis em edificações de até três pavimentos. São requisitos mínimos de projeto que proporcionam condições aceitáveis de conforto térmico. Estas diretrizes dizem respeito a aspectos como sombreamento das aberturas nas diferentes estações do ano, aberturas para ventilação em função da área do piso e estratégias de condicionamento térmico passivo.

A Figura 4 apresenta o mapa do Brasil dividido nas zonas bioclimáticas, e os números junto à legenda indicam os percentuais territoriais correspondentes a cada clima.

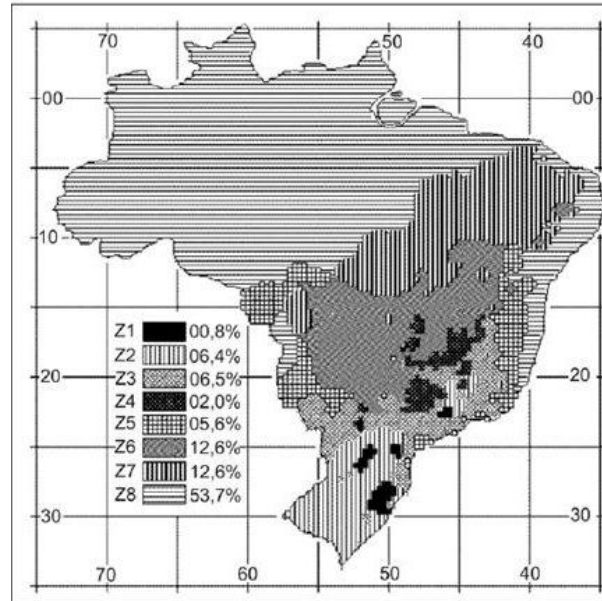


Figura 4 – Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Fonte: ABNT (2005c, p.3)

A Figura 5 apresenta a carta bioclimática da cidade de Ponta Grossa, inserida no Zona Bioclimática 2 brasileira.

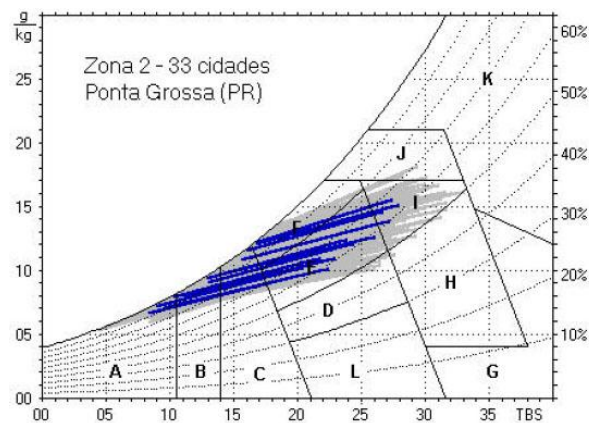


Figura 5 – Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades da Zona Bioclimática 2, destacando a cidade de Ponta Grossa, PR

Fonte: ABNT (2005c, p. 4)

O Quadro 1 apresenta as estratégias de condicionamento térmico indicadas para cada zona bioclimática da Figura 5.

| <b>Zona</b> | <b>Estratégia de condicionamento térmico</b> |
|-------------|--|
| A           | zona de aquecimento artificial (calefação)   |
| B           | zona de aquecimento solar passivo            |
| C           | zona de massa térmica para aquecimento       |
| D           | zona de conforto térmico (baixa umidade)     |
| E           | zona de conforto térmico                     |
| F           | zona de umidificação                         |
| G + H       | zona de resfriamento evaporativo             |
| H + I       | zona de massa térmica para resfriamento      |
| I + J       | zona de ventilação                           |
| K           | zona de ar-condicionado                      |
| L           | zona de umidificação do ar                   |

Quadro 1 – Zonas Bioclimáticas e suas estratégias de condicionamento térmico

Fonte: adaptado de ABNT (2005c)

A presente pesquisa se desenvolve na Zona Bioclimática 2 brasileira, correspondente a 6,4% do território nacional.

### **2.3 Desempenho térmico de edificações**

Menezes (2006) realizou pesquisa para avaliação do desempenho térmico de habitações de interesse social, tendo utilizado para as simulações unidades habitacionais implantadas entre os anos de 2000 e 2004 em Passo Fundo – RS. A metodologia aplicada baseou-se em outros estudos já realizados relativos ao desempenho térmico e as normativas vigentes, especialmente a NBR 15220 (2005).

O estudo adotou cinco unidades habitacionais que representavam projetos do Programa de Subsídios à Habitação de Interesse Social (programa habitacional do município) onde foram realizadas medições de temperatura de bulbo seco e de

umidade relativa de ar, no inverno do ano de 2005 e no verão de 2006. Simultaneamente, foram feitos cálculos de parâmetros de avaliação, como transmitância térmica das paredes e coberturas, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar.

Usando como ferramenta o *software* de simulação *Energypius*, o estudo de Menezes (2006) constatou que os resultados das inter-relações entre as características construtivas das unidades habitacionais, os parâmetros climáticos do município e a temperatura no interior dos ambientes atendiam, em parte, as exigências das normas quanto ao desempenho térmico, ainda que dados da transmitância da cobertura e atraso térmico não estejam de acordo com os estipulados nas normativas vigentes.

O autor destacou a baixa qualidade das habitações no que se refere aos materiais adotados, mão-de-obra empregada e projetos preliminares, e ainda faz referência à padronização das unidades independente da orientação solar ou condições topográficas do sítio, constatando um melhor desempenho das unidades no verão do que no inverno. (MENEZES, 2006)

Com base nos estudos, Menezes (2006) conclui que a principal causa do desconforto no inverno está relacionada principalmente à cobertura leve, ressaltando que a NBR 15220 está equivocada quando indica o uso de coberturas leves para regiões de climas frios com grande variação diária de temperatura, como é o caso de Passo Fundo – RS.

Morello (2005) avaliou *in loco* protótipo de edificação térrea unifamiliar de interesse social construído no campus da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre. A edificação de 48m<sup>2</sup> foi denominada “protótipo Alvorada” e foi construída dentro de princípios de sustentabilidade. O material utilizado nas paredes foi tijolo maciço aparente e na cobertura telhas cerâmicas com placas de alumínio internamente e forro de madeira.

Foram realizadas medições em um período de doze meses (de maio de 2003 a maio de 2004). Os dados obtidos nas medições internas foram comparados com os dados externos fornecidos por uma estação meteorológica localizada próximo ao protótipo.

A avaliação do comportamento térmico levou em consideração o diagrama de Givoni (1992) para países em desenvolvimento e de clima quente. O autor concluiu

que a edificação amenizou os valores externos de temperatura e reduziu consideravelmente o número de horas com umidade relativa superior a 80%.

Em outro estudo, Dumke (2002) adotou dezoito casas habitadas da Vila Tecnológica de Curitiba que foram avaliadas estatisticamente quanto às variáveis de transmitância, atraso térmico e fator de calor solar dos fechamentos, indicando sua influência no desempenho térmico das habitações e com isso analisando as tecnologias construtivas destinadas a moradias de interesse social no Brasil.

A proposta da Vila Tecnológica de Curitiba consistia na construção de casas de boa qualidade e baixo custo visando à população de baixa renda. Segundo a autora, o conjunto construído de 100 unidades habitadas e 20 casas em exposição desviou-se de seu objetivo inicial, de maneira que a aplicação de novas tecnologias não foi completamente atendida. Ainda assim, a Vila Tecnológica de Curitiba possui grande diversidade de materiais e técnicas construtivas que viabilizaram o estudo naquele sítio. (DUMKE, 2002)

As casas foram avaliadas quanto à temperatura do ar e umidade relativa interna, com medições para as condições de inverno e verão. Os dados obtidos foram comparados com as recomendações normativas por meio de avaliações paramétricas, de maneira que se pode traçar um perfil do desempenho térmico de cada unidade habitacional e respectivos sistema construtivo e tecnologia adotada.

Grigoletti (2007) elaborou a proposta de um método de avaliação de desempenho higrotérmico de casas térreas unifamiliares de interesse social para condições climáticas de Porto Alegre – RS, visando à avaliação das unidades de forma global por meio de critérios e requisitos que complementassem os propostos pelas normatizações vigentes e que fossem de fácil aplicação pelos envolvidos na produção de tais habitações.

Foram analisadas quatro habitações construídas em Porto Alegre, duas submetidas a medições *in loco* e duas consideradas como referência para habitação de interesse social segundo agentes ligados ao setor público em Porto Alegre. Considerou-se a possibilidade de condensação sobre superfícies internas da edificação, coeficientes volumétricos globais de perda e ganho de calor através de sua envolvente, inércia térmica, entre outros condicionantes obtidos também na literatura. (GRIGOLETTI, 2007)

O método desenvolvido indica três graus de qualidade que podem ser atingidos pelas habitações de acordo com a disponibilidade de recursos para a

construção das unidades. A autora propõe que a metodologia proposta possa servir como uma ferramenta auxiliar na tomada de decisões no processo de projeto, aprovação e avaliação principalmente para habitações de interesse social, ainda que destaque sua aplicabilidade em edificações de outros padrões.

Barbosa (1997) desenvolveu uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações térreas residenciais unifamiliares em trabalho de campo realizado em cinco sistemas construtivos na cidade de Londrina – PR, em unidades habitacionais padrão da Companhia Brasileira de Habitação.

Para cada sistema construtivo estudado foram efetuadas medições das temperaturas internas no verão e inverno e levantadas as sensações térmicas dos usuários. Tais dados serviram de base para referendar os limites de conforto a serem aplicados durante um ano climático de referência, quando foram feitas as simulações. (BARBOSA, 1997)

Considerando zonas desconfortáveis aquelas fora dos limites de conforto térmico e adotando um limite de horas anuais de desconforto aceitável frente à realidade local, o estudo formulou uma série de parâmetros de desempenho térmico em função da transmitância e absorvidade de paredes e coberturas, sistema de sombreamento e aberturas de ventilação.

Segundo Barbosa (1997), a metodologia desenvolvida pode ser aplicada em simulações para qualquer sistema construtivo e em outras zonas climáticas além do adotado para o estudo, devendo-se para isso quantificar as horas anuais de desconforto comparando-as com o limite aceitável estabelecido para tal zona, ajustar uma ferramenta de simulação horária anual com relação aos sistemas construtivos existentes na região e montar um arquivo climático do ano climático de referência.

Para a avaliação do desempenho térmico de edificações existe atualmente uma série de normas técnicas que fornecem diretrizes a serem seguidas. A ABNT (2012) cita como alguns dos benefícios da normatização a uniformização da produção, a facilitação do treinamento da mão-de-obra, o fornecimento de procedimentos para cálculos e projetos, o aumento da produtividade, a melhoria da qualidade e o controle de processos.

Rotta (2009) avaliou o desempenho térmico de edificações construídas por diferentes políticas habitacionais em conjuntos habitacionais multifamiliares de quatro a cinco pavimentos na cidade de Santa Maria, RS. As habitações foram

monitoradas nos períodos de inverno e verão, e em cada um dos conjuntos habitacionais foram realizadas medições em diferentes unidades, para posterior comparação entre diferentes pavimentos e orientações solares.

Através da análise dos resultados Rotta (2009) constata a baixa capacidade térmica dos sistemas construtivos adotados pelo PAR (Programa de Arrendamento Residencial). A autora afirma que o efeito exercido pela cobertura teve maior influência que a orientação solar das unidades.

O conjunto habitacional que teve o melhor desempenho térmico possuía capacidade térmica elevada. A autora conclui, portanto, que a capacidade térmica dos edifícios foi o fator determinante nos resultados obtidos no período de verão. Já no período de inverno outros fatores influenciaram mais, tais como a vedação da envoltória.

Conclui ainda que a NBR 15220 (ABNT, 2005) está equivocada ao indicar coberturas leves para climas frios.

### 2.3.1 Normatização de desempenho térmico em âmbito mundial

#### 2.3.1.1 ISO 7730

A norma ISO 7730 (International Organization for Standardization) *“Moderate thermal environments- Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort”*, publicada em 1984 e revista em 2005, se aplica a avaliação de ambientes térmicos moderados. Tem como base a formulação de uma equação que relaciona sensação térmica com a atividade metabólica do corpo humano, desenvolvida por Fanger. (ISO, 2005)

Segundo Lamberts e Xavier (2002), os propósitos dessa norma internacional são apresentar um método de cálculo da sensação térmica e do grau de desconforto das pessoas expostas a um ambiente térmico moderado e especificar as condições de aceitabilidade térmica de um ambiente para conforto.

O Voto Médio Estimado – PMV é a base para esta norma, foi proposto por Fanger em 1970 e permite avaliar o conforto térmico de um recinto fechado,



prevendo a sensação térmica para qualquer combinação entre o nível de atividade de uma pessoa (Met), a vestimenta (clo) e quatro variáveis climáticas: temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), temperatura de globo ( $^{\circ}\text{C}$ ), velocidade do ar (m/s) e umidade relativa do ar (%). Este índice consiste num valor numérico que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor, sendo que o valor zero se refere ao estado de conforto, os valores negativos se remetem ao estado de desconforto para frio, e os valores positivos se remetem ao estado de desconforto para calor.

A norma indica ainda como calcular o índice de percentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente (PPD), que é a percentagem de pessoas que gostariam que o ambiente estivesse mais quente ou mais frio. A versão de 2005 desta norma apresenta três categorias de conforto, A, B e C, que correspondem respectivamente a um PMV de  $\pm 0,2$ ,  $\pm 0,5$  e  $\pm 0,7$ .

#### 2.3.1.2 ASHRAE 55

A norma Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy de 2004, elaborada pela ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.), tem como finalidade determinar a combinação de fatores capaz de garantir condições aceitáveis de conforto à maioria dos ocupantes do espaço. (GUARESCHI, 2008)

A ASHRAE (2004) fixa as condições térmicas exigidas para conforto em nível de temperatura operativa, umidade do ar, velocidade do ar e desconfortos térmicos locais.

Em relação às exigências humanas de conforto em uma edificação, essa norma especifica as combinações do ambiente interno e dos fatores pessoais que produzirão o ambiente térmico com uma aceitação de no mínimo 80% dos ocupantes de um espaço. Tem a finalidade de integrar fatores ambientais e pessoais, como temperatura, radiação térmica, umidade, velocidade do ar, vestimenta e atividade metabólica, considerando para isso, pessoas saudáveis em espaços internos cuja permanência seja superior a 15 minutos.

Em seu anexo A traz uma tabela com estimativa para a taxa metabólica, considerando atividades físicas típicas. No anexo B, são apresentados métodos para

estimar o isolamento térmico das vestimentas, além de tabelas com alguns exemplos de vestuário e seu correspondente isolamento em clo. (ASHRAE, 2004)

A ASHRAE (2004) aponta condições para se obter o conforto térmico através de variáveis ambientais e pessoais, apresentando métodos para determinar as condições térmicas de um ambiente, baseados na porcentagem de ocupantes satisfeitos. O método gráfico simplificado usado na determinação da zona de conforto da ASHRAE é baseado em um diagrama psicrométrico e considera atividades leves (de 1 a 1,3 met), vestimentas entre 0,5 e 1,0 clo, relação máxima de umidade de 0,012 g/kg e velocidade máxima do ar de 0,20 m/s; sendo que a zona de conforto é válida para 80% de aceitação entre os usuários.

Esta norma apresenta ainda um método opcional para a determinação das condições térmicas aceitáveis em espaços condicionados naturalmente. O método volta-se a espaços ventilados naturalmente, nos quais os próprios usuários possam ajustar a abertura das esquadrias. Para aplicação do mesmo, considera-se que os usuários estejam usando vestimenta de acordo com a temperatura externa, dispensando, assim, a determinação do valor de isolamento da roupa como variável de influência no conforto do ambiente. Este método baseou-se na teoria adaptativa de conforto térmico. Ficou definido que os usuários toleram maiores flutuações nas condições ambientais se eles tiverem maior controle sobre elas.

Segundo Figueiredo (2007) os dados de entrada do índice proposto pela norma são a média mensal das temperaturas externas (média aritmética da média mensal das máximas e da média mensal das mínimas) e a temperatura operativa (média aritmética entre a temperatura interna do ar e a temperatura radiante).

Estando de posse dos dados pode-se dar entrada no gráfico da Figura 6 e estabelecer um intervalo de conforto, de maneira que todas as temperaturas fora deste intervalo representam graus-hora de desconforto. Este gráfico apresenta as zonas de conforto, onde 80% e 90% dos usuários estariam satisfeitos.

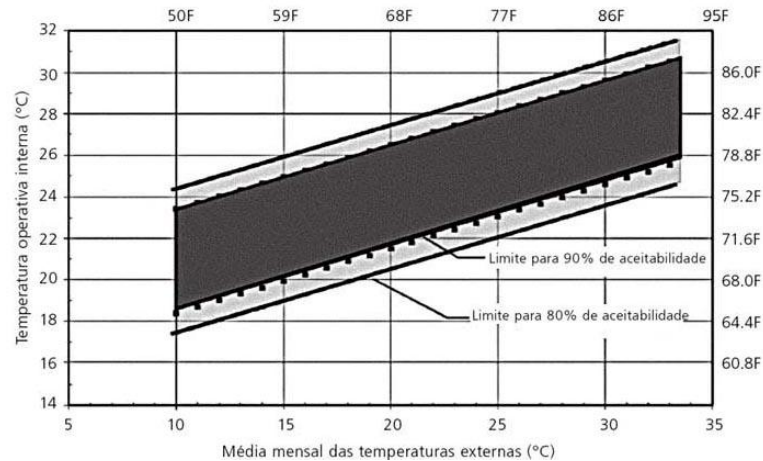


Figura 6 – Índice de conforto proposto pela ASHRAE 55 (2004): variação de temperatura operacional aceitável em ambientes ventilados naturalmente

Fonte: Figueiredo e Frota (2007)

Optou-se por utilizar o método adaptativo para avaliação das condições de conforto térmico no interior das edificações analisadas neste trabalho, por este levar em consideração a capacidade dos usuários de se adaptarem às variações sazonais e ao clima local, considerando diferentes temperaturas internas como confortáveis.

### 2.3.2 Normatização de desempenho térmico brasileira

#### 2.3.2.1 NBR 15220

A norma NBR 15220 foi elaborada pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil. Foi publicada no ano de 2005 sob o título “Desempenho térmico de edificações” e está dividida em cinco partes, sendo que a parte 2 trata dos métodos de cálculo das propriedades térmicas dos fechamentos de uma edificação, e a parte 3 desta norma estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro, apresentando requisitos mínimos de projeto para proporcionar conforto térmico em habitações unifamiliares de interesse social nas diferentes zonas bioclimáticas. (ABNT, 2005)

Segundo Batista et al (2010), embora esta norma se destine à habitação de interesse social, as recomendações e diretrizes que estabelece visam à otimização do desempenho térmico e são fundamentadas em estratégias de adaptação da edificação ao clima.

O Quadro 2 apresenta as diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 2, segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005c), e o Quadro 3 apresenta as estratégias de condicionamento térmico passivo propostas para essa zona.

| <b><i>Elemento de projeto</i></b> | <b><i>Requisitos mínimos</i></b>  |
|-----------------------------------|---|
| Aberturas para ventilação         | Médias ( $15\% < A < 25\%$ )  |
| Sombreamento das aberturas        | Permitir a incidência solar durante o inverno   |
| Vedações externas                 | Parede: leve ( $U \leq 3,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , $\phi \leq 4,3$ horas e $FS \leq 5,0\%$ )<br>Cobertura: leve isolada ( $U \leq 2,00 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , $\phi \leq 3,3$ horas e $FS \leq 6,5\%$ ) |

Quadro 2 – Requisitos mínimos para a edificação na Zona Bioclimática 2 brasileira

| <b><i>Estação</i></b> | <b><i>Estratégias de condicionamento térmico passivo</i></b>                   |
|-----------------------|--|
| Verão                 | Ventilação cruzada   |
| Inverno               | Aquecimento solar da edificação<br>Vedações internas pesadas (inércia térmica) |

Quadro 3 – Estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 2

Fonte: adaptado de ABNT (2005c, p. 5)

As estratégias de condicionamento recomendadas por esta norma são baseadas na carta bioclimática de Givoni (1992) e nas planilhas de Mahoney (KOENIGSBERGER et al apud BATISTA, 2010). As planilhas de Mahoney foram utilizadas para a definição dos limites das seguintes propriedades térmicas dos

fechamentos construtivos (paredes e coberturas): Fator Solar, Atraso Térmico e Transmitância Térmica.

A norma alerta que na Zona Bioclimática 2 brasileira o condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano.

#### 2.3.2.2 NBR 15575

A norma NBR 15575 foi elaborada pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil, sendo publicada no ano de 2008 e revista no ano de 2012 sob o título “Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho”.

A NBR 15575 (ABNT, 2012) define requisitos de desempenho mínimo obrigatório para sistemas das edificações, considerando-se as necessidades dos usuários e as condições de exposição da edificação, ao longo de uma vida útil mínima obrigatória. O desempenho térmico é um dos requisitos qualitativos de desempenho, sendo os critérios de avaliação os valores máximos de temperatura interna no verão e os valores mínimos de temperatura interna no inverno. Ainda apresenta requisitos que devem ser contemplados de maneira eficiente pelos sistemas de vedações verticais internas e externas, assim como pelos sistemas de cobertura.

A classificação dos níveis de desempenho é feita de acordo com a adequação do projeto aos critérios estabelecidos pela norma, em três categorias: nível M (mínimo), I (intermediário) ou S (superior). (ABNT, 2012)

Com relação às paredes externas, a NBR 15575 define os requisitos mínimos a serem atendidos, relativos à transmitância térmica e à capacidade térmica. Para a Zona Bioclimática 2, estabelece transmitância térmica máxima de  $2,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , sendo este o nível mínimo para aceitação. Quanto à capacidade térmica das paredes externas, a norma exige que esta seja maior ou igual a  $130 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$ . Caso as paredes tenham em sua composição materiais isolantes térmicos de condutividade menor ou igual a  $0,065 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  e resistência térmica maior que  $0,5 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ , o cálculo da capacidade térmica deve ser feito desprezando-se todos os materiais voltados para o ambiente externo, posicionados a partir do isolante ou espaço de ar. (ABNT, 2012)

Quanto às aberturas para ventilação, a NBR 15575 (2012) estabelece que estas devem ter dimensões adequadas para proporcionar a ventilação interna dos ambientes, sendo que este requisito só se aplica aos ambientes de longa permanência: salas, cozinhas e dormitórios. Para a Zona Bioclimática 2, a norma exige aberturas para ventilação com área igual ou maior do que 7% da área do piso do ambiente de longa duração, sendo que as mesmas devem ser passíveis de serem vedadas durante o período de frio. O nível mínimo para aceitação é o M (mínimo).

Segundo esta norma, o isolamento térmico da cobertura deve apresentar transmitância térmica e absorvância à radiação solar que proporcionem um desempenho térmico apropriado para a zona bioclimática em que a edificação está inserida. Para a Zona Bioclimática 2, é exigida uma transmitância térmica menor ou igual à  $2,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ . O nível mínimo para aceitação é o M (mínimo).

No período de verão, essa norma exige que a edificação apresente condições térmicas em seu interior melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, para o dia típico de verão. Para os ambientes de permanência prolongada, sem a presença de fontes internas de calor, como lâmpadas e equipamentos, o valor máximo diário da temperatura do ar interior deve ser menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior. O nível mínimo para aceitação é o M (mínimo).

No período de inverno, a edificação deve apresentar condições térmicas no seu interior melhores que as do ambiente externo, no dia típico. Neste período, os ambientes de permanência prolongada devem apresentar valores mínimos diários da temperatura do ar interior superiores ou iguais à temperatura externa acrescida de  $3^\circ\text{C}$ . Neste período também exige-se que o nível mínimo de aceitação seja o M (mínimo). (ABNT, 2012)

Em seu Anexo A, a NBR 15575 apresenta diretrizes para avaliação de desempenho térmico por meio de simulação computacional e por medição. (ABNT, 2012)

Em relação à medição *in loco*, a norma estabelece que a tomada de dados deve ser realizada no centro dos recintos, a 1,20 m do piso. O dia tomado para análise deve corresponder a um dia típico de projeto, de verão ou inverno, precedido por pelo menos um dia com características semelhantes. É recomendado trabalhar com uma seqüência de três dias e analisar os dados do terceiro dia. Para a realização das medições a norma estabelece que devem ser seguidas as

especificações de equipamentos e montagem dos sensores apresentados na ISO 7726 (1998).

Em conjuntos habitacionais de unidades térreas devem ser escolhidas uma ou mais unidades que possuam, para o período de verão, dormitório ou sala com janela voltada para oeste e outra parede exposta para norte. Para o período de inverno, deve possuir dormitório ou sala com janela voltada para sul e outra parede exposta voltada para leste. Caso as orientações não correspondam exatamente às especificações anteriores, devem ser priorizadas as unidades que tenham o maior número de paredes expostas e cujas orientações das janelas sejam mais próximas da orientação especificada.

### 2.3.3 Graus-dia e graus-hora de desconforto

A demanda de energia necessária para proporcionar níveis de conforto através de refrigeração ou resfriamento, pode ser calculada através do parâmetro de graus-dia ou graus-hora. (GOULART, 1993, p.18)

Segundo Szokolay (1987, apud DORNELLES, 2004), graus-dia trata-se de um indicativo do rigor climático local e pode ser usado para verão ou inverno. Ainda de acordo com Szokolay (1987 apud GOULART, 1993), graus-dia é um parâmetro climático que pode ser definido como o somatório das diferenças de temperatura, quando esta se apresenta abaixo de uma temperatura base ( $T_b$ ). Verifica-se a temperatura média diária ( $T_{méd}$ ) durante o ano inteiro, e quando esta for menor que  $T_b$ , calcula-se a diferença ( $T_b - T_{méd}$ ), somando-se essas diferenças, dia a dia, por todo o ano.

De maneira semelhante ao descrito pode ser verificado o conceito de graus-hora. Para isso, devem ser tomados os valores de temperatura de hora em hora, ao longo de todo o ano.

## 2.4 Desempenho térmico de paredes de concreto armado

O Departamento de Apoio e Controle Técnico de FURNAS Centrais Elétricas S.A. (2007) por solicitação da Caixa Econômica Federal e da Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem – ABESC, elaborou o estudo “Avaliações de Sistemas Construtivos e Estabelecimento de Requisitos para Edificações Térreas com Paredes de Concreto Armado”, onde descreve avaliações de desempenho dos sistemas construtivos que utilizam paredes em concreto armado.

Para a análise, foram construídos dois protótipos habitacionais em Goiânia – GO. Cada unidade com área construída aproximada de 18 m<sup>2</sup>, contendo sala e dormitório. As duas unidades foram construídas em concreto armado, diferenciando-se pelo sistema construtivo empregado: concreto moldado *in loco* ou *tilt-up*, no qual a parede é concretada na horizontal e, após atingir resistência suficiente para içamento e transporte, a unidade é montada sobre a fundação previamente executada. (FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS, 2007)

Quanto ao desempenho térmico, primeiramente foram calculados a transmitância e a capacidade térmica das paredes. Os resultados foram:  $U = 3,70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  e  $CT = 175,8 \text{ KJ/(m}^2\text{K)}$ .

Comparando os resultados obtidos com os valores indicados na NBR 15575 (ABNT, 2012) o autor concluiu que:

- o valor da transmitância térmica de paredes externas, para uma absorvância menor que 0,6, atende o que está prescrito para as zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8, ( $U \leq 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) mas não atende para as Zonas 1 e 2 ( $U \leq 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ );

- a capacidade térmica atende o que está prescrito para paredes externas para as zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 ( $CT \geq 130 \text{ KJ/m}^2\text{K}$ ) e sem exigência de CT para a zona 8.

Como a Transmitância Térmica não atendeu ao requisito para as zonas bioclimáticas 1 e 2, foram realizadas simulações computacionais para verificação do conforto térmico. Para estas simulações foi utilizado o *software Arquitrop 3.0*. A partir do projeto de uma residência foram realizadas simulações de conforto térmico para as oito zonas bioclimáticas brasileiras, a fim de verificar a adequação do sistema construtivo. (FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS, 2007)



Para essa simulação foi considerada uma edificação com 35,96 m<sup>2</sup>, com paredes de concreto de 10 cm de espessura externamente e 8 cm internamente, telhas cerâmicas, laje de concreto com 10 cm de espessura sob placa de poliestireno expandido de 4 cm de espessura, piso em concreto liso, paredes externas com pintura em amarelo claro e área de ventilação de 1,47 m<sup>2</sup>. Como dados de ocupação foi considerado o número de quatro usuários, a carga térmica dos equipamentos de 1.500 W e o período de ocupação de 12 horas, com início às 18:00 h.

Nas primeiras simulações verificou-se a inadequação do sistema apresentado, tanto em concreto moldado *in loco* quanto em *tilt-up*<sup>1</sup>, em virtude das altas e baixas temperaturas registradas no interior dos protótipos. Posteriormente foram pesquisadas cinco alternativas para melhoria do desempenho térmico, variando-se a laje e/ou incluindo-se algum elemento de sub-cobertura (*foil* aluminizado ou poliestireno expandido).

A alternativa que apresentou melhor desempenho térmico foi aquela onde se utilizou uma placa de poliestireno expandido (isopor) com espessura de 4 cm sobre toda a laje do protótipo. Através destas simulações foi concluído que o desempenho térmico do protótipo pode ser considerado satisfatório para todas as zonas bioclimáticas. (FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS, 2007)

Sacht (2008) apresentou trabalho cujo objetivo principal foi o desenvolvimento de concretos destinados ao sistema construtivo de painéis monolíticos moldados *in loco*, usando como referencial os requisitos técnicos de trabalhabilidade, resistência mecânica e durabilidade, além da influência dos painéis no desempenho térmico das habitações.

Na pesquisa foram avaliadas unidades térreas e multipavimentos, tendo com referência as tipologias habitacionais adotadas naquele período pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU) e pela Caixa Econômica Federal (CEF). (SACHT, 2008)

As simulações para o estudo do desempenho térmico das unidades utilizaram como ferramenta o *software Arquitrop 3* e foram realizadas no dormitório, uma vez

---

<sup>1</sup> O sistema baseia-se na fabricação de placas de concreto, que têm função estrutural e de fechamento. Essas paredes são moldadas em concreto armado e executadas no próprio canteiro de obras, utilizando a superfície do piso como fôrma na posição horizontal. (ABESC, 2012)

que esse é o compartimento de maior permanência dos usuários, sendo que para a tipologia térrea considerou-se três tipos de cobertura: telhado com telha cerâmica, telhado com telha cerâmica e laje mista plana, e telhado com telha cerâmica e laje mista inclinada. Para a tipologia multipavimentos, cuja cobertura era de telhado com telha cerâmica e laje mista plana, os estudos foram também realizados no segundo pavimento. (SACHT, 2008)

Foram consideradas 10 cidades representativas das oito zonas climáticas brasileiras, nas tipologias com vedações em alvenaria de bloco cerâmico e bloco de concreto, que são tradicionalmente empregados na execução de habitação de interesse social, e vedações executadas em concreto, essas últimas com concreto cuja massa específica variava entre 1600 e 2400 kg/m<sup>3</sup> e a espessura do painel com 8, 10 ou 12 cm. (SACHT, 2008)

Atendendo os níveis de desempenho adotados de acordo com a NBR 15575 (NBR, 2012) para habitações térreas localizadas nas zonas bioclimáticas 1, 3, 4, 5 e 6, os resultados indicaram que, durante o verão, não foram atendidos nenhum dos níveis de desempenho, constatando-se que a vedação de blocos cerâmicos mostrasse mais indicada para regiões frias, e o bloco de concreto para as regiões com temperaturas mais elevadas. No caso das tipologias com painéis de concreto, os resultados demonstraram que a espessura do painel apresenta maior influência sobre os resultados das simulações do que a alteração da massa específica. (SACHT, 2008)

Para a tipologia multipavimentos, observou-se que, durante o verão, pelo menos o nível mínimo de desempenho foi atendido de acordo com a norma para algumas localidades, e que para todas as zonas bioclimáticas que exigem verificação, exceto a zona 3, o nível de desempenho mínimo M foi atendido para o inverno. Comparado ao que se constatou na tipologia térrea, também na de multipavimentos a espessura do painel de concreto teve mais influência sobre o desempenho térmico do que a massa específica.

A partir dos resultados das simulações computacionais com o desempenho térmico de cada unidade, foi definida a espessura do painel adequado de acordo com a região bioclimática brasileira, sendo realizada na seqüência a análise da produção do concreto.

Os resultados das análises do concreto indicaram que o concreto leve (densidade entre 1300 kg/m<sup>3</sup> e 1900 kg/m<sup>3</sup>) para a execução das vedações das

habitações térreas não apresenta índices ideais em termos de desempenho térmico em grande parte dos casos. Para as tipologias analisadas no trabalho foi observado que os painéis em concreto tradicional apresentaram melhor desempenho térmico que os com concreto leve podendo ser aplicado com bons resultados nesse sistema construtivo. (SACHT, 2008)

Fricke (2007) realizou trabalho de pesquisa que teve como objetivo principal avaliar o desempenho térmico da unidade habitacional construída em diferentes sistemas construtivos. Foram construídos três protótipos, sendo que a primeira unidade habitacional foi executada em concreto polimérico com laje de forro e cobertura em telhas cerâmicas. Esta divide-se em dois dormitórios, sala, cozinha e um banheiro, totalizando 51m<sup>2</sup>. Foram utilizadas esquadrias metálicas e acabamento interno e externo em pintura clara.

A segunda unidade foi construída em estrutura metálica e vedação em blocos sílico-calcáreos sem laje e sem forro, apenas cobertura em telhas cerâmicas. Tem um dormitório, banheiro e sala/cozinha, compreendendo 38m<sup>2</sup>. Foram utilizadas esquadrias metálicas e o acabamento interno e externo em pintura clara.

A terceira unidade foi construída no sistema tradicional, com estrutura em concreto armado e vedação em tijolos cerâmicos furados. Como revestimento foi utilizado chapisco externamente e como cobertura apenas por uma laje de forro, sem utilização de telhado como as outras. Conta com um cômodo e um banheiro, totalizando 30,73 m<sup>2</sup>.

As medições foram realizadas durante o período compreendido entre 27/09/2007 e 22/11/2007. Foram realizadas coletas de dados durante dois horários do dia.

Segundo os dados obtidos por Fricke (2007), o protótipo tradicional apresentou resultados insatisfatórios, ficando as temperaturas internas mais elevadas que as externas. Sua cobertura somente em laje foi considerada a responsável pela variação térmica, seguido das fachadas, o que pode se justificar não apenas pelo fato da cobertura receber insolação durante todo o dia como também pela coloração escura da cobertura e das fachadas. O desempenho do protótipo tradicional foi considerado inferior em relação aos protótipos de concreto polimérico e de estrutura metálica. (FRICKE, 2007)

Pinho (2010) realizou estudo de caso apontando o sistema construtivo de paredes de concreto como mais uma alternativa de material para residências de

interesse social. Esse estudo comparou os sistemas construtivos de parede de concreto e de alvenaria convencional, obtendo o custo do item paredes e painéis, usando como estudo de caso uma habitação para cada sistema. As residências foram construídas na região metropolitana de São Luís – MA.

Nos orçamentos comparativos, o sistema construtivo parede de concreto apresentou um valor 3% superior ao de alvenaria convencional. Na parede de concreto o índice de mão-de-obra representa 16,46%, enquanto na alvenaria convencional representa 39,17%. O autor concluiu que, tendo em vista a agilidade do sistema paredes de concreto, este apresenta maior margem de lucro com a mesma quantidade de mão-de-obra.

## **2.5 Sistema construtivo com paredes de concreto armado**

Segundo Massuda e Misurelli (2009), o método construtivo de paredes de concreto teve inspiração em experiências consagradas de construções industrializadas em concreto celular (sistema *Gethal*) e concreto convencional (sistema *Outinord*), mundialmente conhecidas nas décadas de 1970 e 1980. No Brasil, segundo o autor citado, devido às limitações financeiras, essas tecnologias não se consolidaram nesta época.

Foi através das políticas públicas para ampliar o número de moradias que o sistema de paredes de concreto começou a ser implantado em maior escala. Para isso, houve um intenso trabalho de pesquisa para que o modelo de cálculo estrutural deste sistema se adequasse às normas técnicas brasileiras.

Este sistema construtivo utiliza fôrmas montadas no local da obra e depois preenchidas com concreto, já com as instalações hidráulicas e elétricas embutidas. A principal característica do sistema é que a vedação e a estrutura constituem um único elemento.

O uso de paredes de concreto moldadas no local é um método de construção racionalizado que proporciona maior produtividade, qualidade e economia. Baseado em conceitos de industrialização de materiais e equipamentos, mecanização, modulação e controle tecnológico, o sistema reduz o desperdício de material e de mão-de-obra com retrabalhos e atividades não produtivas. Justus (2009) afirma que

o tempo de construção de uma casa reduz de setenta dias, na alvenaria comum, para vinte dias, com este sistema.

Outra vantagem do uso de paredes de concreto na construção civil é que os operários executam todas as tarefas necessárias como armação, instalações, montagem, concretagem e desforma, não necessitando de mão-de-obra especializada. Por utilizar formas reaproveitáveis, este método proporciona uma redução do impacto ambiental da obra. (MASSUDA E MISURELLI, 2009)

A Figura 7 apresenta a foto de uma residência executada com tecnologia de paredes de concreto armado.



Figura 7 – Casas térreas construídas com sistemas de paredes de concreto

Fonte: Massuda e Misurelli (2009)

### 2.5.1 O sistema construtivo

A seguir são descritas as etapas do sistema construtivo de paredes de concreto armado moldadas *in loco*.

### 2.5.1.1 Fundações

O tipo de fundação mais utilizado em casas com este sistema construtivo é o radier, que deve ser construído com espaço excedente em relação à espessura dos painéis externos das fôrmas, permitindo o apoio e facilitando a sua montagem.

Para iniciar a concretagem, as tubulações já devem estar posicionadas e dispostas conforme gabarito específico do projeto de instalação.

Este tipo de fundação é mais utilizado pela rapidez de execução e pela possibilidade de uso em terrenos com baixa resistência a compressão, tendo, no entanto, custo mais elevado.

A Figura 8 apresenta a montagem da estrutura de um radier, observando-se as instalações sanitárias embutidas, as formas de madeira no entorno do radier e a malha de ferragem já posicionada para posterior concretagem.



Figura 8 – Montagem do radier com as instalações elétricas e sanitárias embutidas

Fonte: Furnas Centrais Elétricas S.A. (2007)

### 2.5.1.2 Montagem das formas

As formas que irão moldar o concreto fresco são instaladas logo após a execução das fundações para formarem assim as paredes estruturais. Para isso, as formas devem ser estanques e manter rigorosamente a geometria das peças que estão sendo moldadas.

As formas, que são estruturas provisórias, podem ser metálicas (quadros e chapas metálicas), plásticas (quadros e chapas em plástico reciclável), mistas (quadros metálicos e chapas de compensado) ou trepantes (para múltiplos pavimentos). (MASSUDA E MISURELLI, 2009)

### 2.5.1.3 Montagem da armadura

A armação utilizada em paredes de concreto é uma tela soldada posicionada no eixo vertical da parede. São utilizados reforços de telas ou barras de armadura convencional em bordas, vãos de portas e janelas.

Massuda et al (2009) observa que as armaduras devem atender a três requisitos básicos: resistir a esforços de flexotorção nas paredes, controlar a retração do concreto e estruturar e fixar as tubulações de elétrica, hidráulica e gás.

Na Figura 9 pode-se observar a montagem das armaduras das paredes e a colocação de eletrodutos para instalações elétricas, telefônicas e outras.



Figura 9 – Montagem das armaduras de paredes de concreto e colocação de eletrodutos

Fonte: Massuda e Misurelli (2009)

É muito importante nessa fase a colocação de espaçadores para não permitir o contato da armadura com as formas, evitar a exposição da ferragem, a corrosão da mesma e o aparecimento de manchas nas paredes posteriormente.

#### 2.5.1.4 Concreto

Para o sistema de paredes de concreto é indicado o uso de concretos dosados em centrais e fornecidos em caminhões-betoneira. Massuda et al (2009) afirma que esta prática resulta em melhores controles da qualidade de agregados, medidas em peso e precisão de volumes.

O uso do concreto celular tem ocorrido no Brasil em sistemas de vedações verticais em blocos de alvenaria e painéis monolíticos, segundo Sacht (2008), inicialmente em função de sua fluidez e alta trabalhabilidade, sendo que dispensa vibração, garantindo ganhos no processo construtivo quanto à velocidade e reutilização das formas. O uso desse tipo de concreto tem também a função de obter menores valores de transmitância térmica com a mesma espessura de parede, pois tem menor condutividade térmica que o concreto convencional, devido às bolhas de ar incorporadas.

A Figura 10 mostra as formas recebendo o concreto usinado.

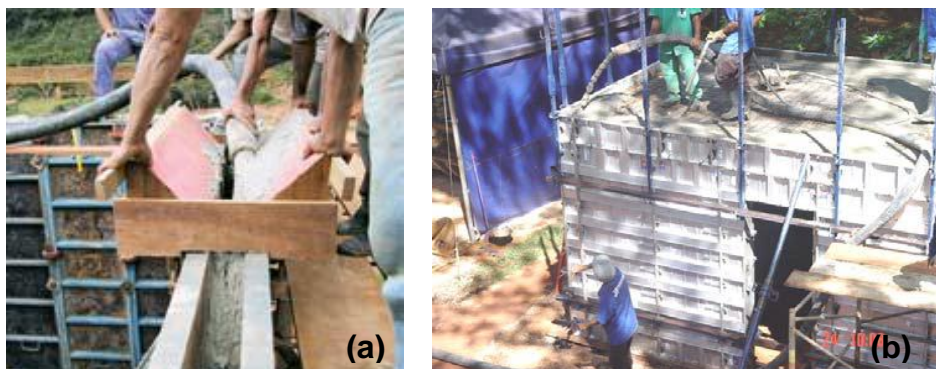


Figura 10 – a e b - Concretagem de paredes de concreto armado

Fonte: Grupo Paredes de Concreto (2009/2010) (a) e Furnas Centrais Elétricas S.A (2007) (b)



O cimento leve celular é constituído por cimento Portland como aglomerante, areia e brita como agregados, água e espuma ou outros agentes incorporadores de ar. Menezes (2006) destaca o uso de produtos de composição química que são capazes de produzir bolhas de ar estáveis no interior da pasta de cimento, além de estudos que utilizam fibra natural e resíduos sólidos de outros materiais que desempenham a mesma função.

#### 2.4.5 Desforma e acabamento das paredes

Quando o concreto atinge a resistência prevista, é realizada a retirada das estruturas provisórias. Após a desforma as paredes devem conter todos os elementos embutidos, tais como caixilhos de portas e janelas, tubulações elétricas, tubulações hidráulicas e fixação de espera para sistema de cobertura.

Após a desforma, as paredes niveladas e aprumadas exibem uma textura regular, apresentando apenas os sinais superficiais das junções entre painéis e furos das ancoragens. Também são visíveis pequenas bolhas de ar, geradas pela espuma ou incorporadas à massa durante o processo de lançamento. As eventuais falhas decorrentes de infiltração de ar ou da heterogeneidade da granulometria da areia e de impurezas podem ser corrigidas com a feltragem, que consiste na aplicação de uma camada de nata de cimento Portland, com traço rico em cimento, por meio de desempenadeiras de madeira revestidas com espuma.

### 3 METODOLOGIA

Para a obtenção dos dados necessários para a avaliação do desempenho térmico das habitações de interesse social localizadas no loteamento Zilda Arns, na cidade de Santa Maria – RS, foram realizadas as seguintes etapas:

- Revisão bibliográfica para levantamento dos conceitos relacionados ao tema e dos estudos já realizados a respeito deste;
- Caracterização do município de Santa Maria e do sítio em que se localiza o loteamento Zilda Arns;
- Caracterização das unidades com diferentes orientações solares a serem analisadas;
- Definição da metodologia utilizada na pesquisa e dos procedimentos técnicos para o levantamento dos dados;
- Realização do monitoramento das temperaturas internas e externas nas diferentes unidades;
- Avaliação dos resultados obtidos através dos seguintes parâmetros: análise da influência da orientação solar, análise da influência da infiltração de ar, análise do comportamento térmico das edificações e análise do conforto térmico;
- Comparação dos resultados obtidos a partir das diferentes avaliações.

Para análise dos resultados serão realizadas quatro avaliações distintas, com a finalidade de analisar o desempenho térmico das habitações. Na análise dos resultados serão consideradas apenas as medidas obtidas para os três dias mais frios no período de inverno e os três dias mais quentes no período de verão, sendo que para esses dias foram calculados os valores horários medidos a partir da média dos valores obtidos com intervalo de 6 minutos anteriormente.

Inicialmente será realizada a análise da influência da orientação solar, onde as diferentes unidades serão comparadas entre si, considerando as diferentes inserções das edificações nos lotes, que ocasionam variação na orientação solar

dos compartimentos. Nessa primeira análise serão consideradas apenas as edificações com infiltração de ar.

A seguir, será realizada a análise da influência da infiltração de ar no desempenho térmico das habitações. Nesta avaliação serão comparadas entre si as unidades com a mesma orientação solar, apenas diferindo na ocorrência ou não da infiltração de ar.

Ainda será realizada a análise do comportamento térmico das edificações, para a qual serão considerados apenas os dados das residências com infiltração de ar, sendo efetuada uma média dos dados das quatro edificações, resultando em uma única habitação média.

Por fim, será apresentada a análise do percentual de horas de desconforto para frio e para calor para cada habitação, sendo considerados valores limites de temperatura para cada período através do uso do método adaptativo proposto pela norma ASHRAE (2004). Será adotada a temperatura média mensal fornecida pelo INMET (2012), onde o valor para o mês de janeiro é de 24,75°C e o valor para o mês de agosto é de 15,35°C. Transferindo-se esses valores para o gráfico fornecido pela norma para intervalos de conforto com 80% de aceitabilidade, tem-se que o intervalo de inverno situa-se entre as temperaturas de 19 e 26°C e o intervalo de verão entre as temperaturas de 22 e 29°C.

### **3.1 Caracterização do município de Santa Maria e do sítio**

O município de Santa Maria está localizado na região central do Estado do Rio Grande do Sul, distante cerca de 300 km da capital estadual, em uma região de passagem entre a Mata Atlântica e o Pampa Gaúcho. De acordo com Saydelles (2005), essa é uma área de transição morfológica denominada de Depressão Periférica Sul-rio-grandense, com altitudes médias de 100 metros, situando-se entre as coordenadas geográficas 29°39'53" a 29°43'56" de latitude Sul e 53°50'22" a 53°45' de longitude Oeste.

Segundo Facco et al (2012) o clima de Santa Maria é classificado na faixa temperado mesotérmico brando super úmido, com temperatura média do mês mais frio de 14,5°C em julho, e a média das máximas para os meses mais quentes

oscilando entre 29,9°C em março e 31,4°C no mês de fevereiro. De acordo com o autor, a cidade não apresenta períodos de seca durante o ano, com precipitações regulares e médias pluviométricas entre 1.500mm e 1.600mm, cuja maior incidência ocorre nos meses de inverno.

A Figura 11 apresenta o mapa político do estado do Rio Grande do Sul com a indicação da localização da cidade de Santa Maria.



Figura 11 – Mapa político do estado do Rio Grande do Sul

Fonte: Kayser (2012)

Quanto aos ventos dominantes na cidade, de acordo com Sartori (1984, apud FIGUEIRÓ e ROCHA, 2010), os mais importantes são os de leste (predominantes em frequência), os de norte e noroeste (mais quentes e de maior velocidade), e os de sul e sudeste (mais frios e segundos em frequência). A topografia da área e a disposição da malha urbana são responsáveis pela canalização do vento em direção à cidade, favorecendo a predominância dos ventos de leste.

O perímetro urbano do município apresenta uma linearidade acentuada no sentido leste-oeste, com núcleo central e histórico ocupando a porção mais elevada desse território, com aproximadamente 150 metros de altitude (ROCHA, 2010) e

uma paisagem marcada por morros da Serra Geral que se destacam a leste, norte e nordeste da cidade como mostra a Figura 12.

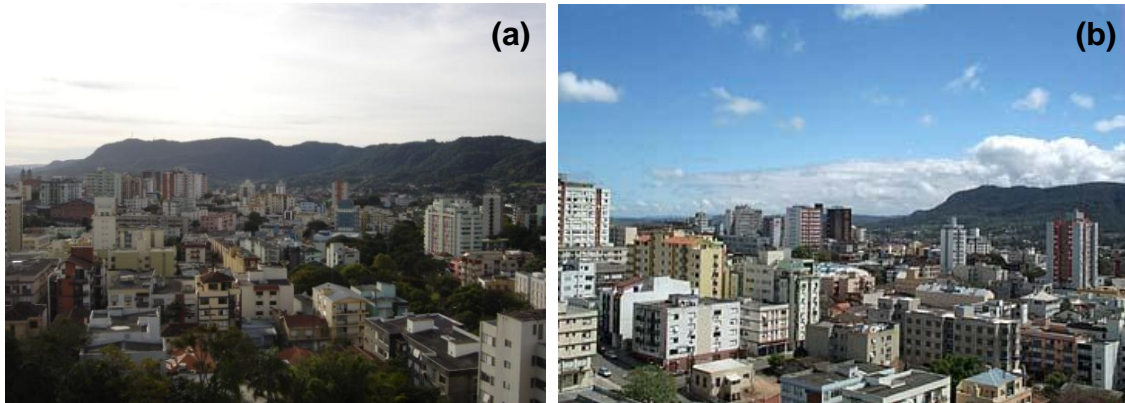


Figura 12 – a e b - Vistas do centro da cidade de Santa Maria com morros ao fundo

Fonte: Domingues (2012) (a) e Freire (2012) (b)

O objeto de estudo deste trabalho consiste em habitações unifamiliares situadas no loteamento Zilda Arns, na zona leste da cidade de Santa Maria. Segundo Salamoni (2008), a região possui ocupação recente na malha urbana, data da década de 1990 com a implantação de loteamentos como o Bairro São José e a Vila Maringá.

A área é caracterizada segundo a Lei de Uso e Ocupação do Solo do Município (SANTA MARIA, 2009) como “área de expansão urbana”, incentivando-se seu povoamento. O loteamento em questão possui como principal via de acesso a outras regiões a BR 287 – comumente chamada de Faixa Nova, construída na década de 1980 (SALAMONI, 2008) como via alternativa à RST 509, que até o momento caracterizava-se como única ligação entre o centro da cidade e o Campus da Universidade Federal de Santa Maria.

O empreendimento em questão faz parte do programa federal “Minha Casa, Minha Vida” com financiamento pela Caixa Econômica Federal. O loteamento Zilda Arns é voltado para atender pessoas com renda familiar de até três salários mínimos, e compreende a execução de 500 unidades residenciais e de serviços de infraestruturas complementares às habitações.

A Figura 13 apresenta o mapa de Santa Maria com a localização do loteamento Zilda Arns.

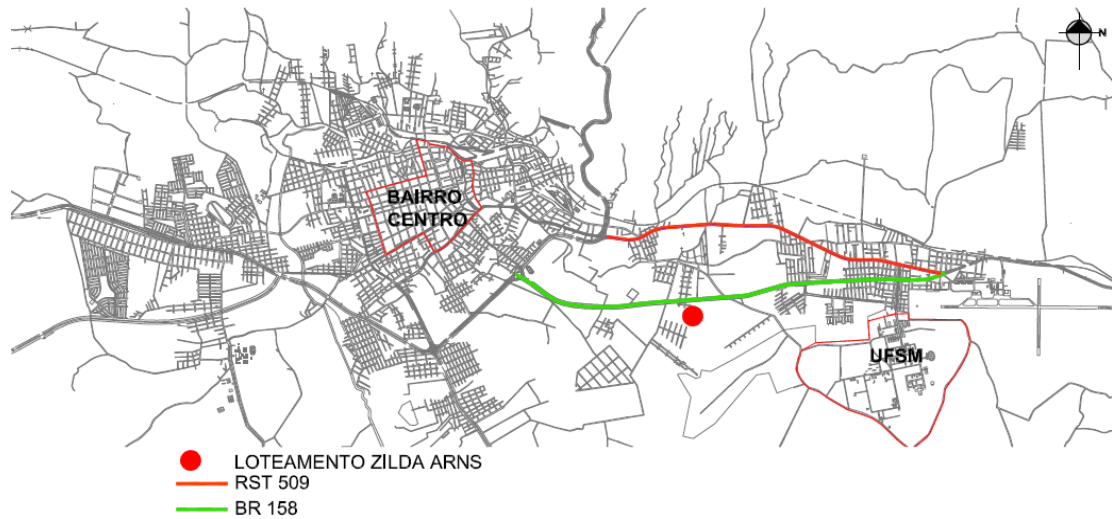


Figura 13 – Mapa de Santa Maria com localização do Loteamento Zilda Arns

Fonte: Santa Maria (2009)

A Figura 14 apresenta uma vista aérea de parte da cidade de Santa Maria com indicação da localização do loteamento Zilda Arns.



Figura 14 – Vista aérea do loteamento Zilda Arns

Fonte: Google Maps Brasil (2012)

Na imagem é possível identificar a ocupação do local, predominantemente, em quadras retangulares com duas faces, cujas ruas se ligam a sul com a Vila Maringá e a norte sofrem uma interrupção, mantendo apenas uma via que se prolonga até a BR 158. A área foi completamente limpa para a construção do empreendimento, de maneira que não se manteve nenhuma vegetação arbórea significativa no local. O terreno passou por ajustes que o mantiveram o mais plano possível, identificando-se uma pequena declividade no sentido oeste a leste.

### **3.2 Detalhamento da edificação objeto de estudo**

As habitações do loteamento Zilda Arns são térreas, geminadas, com metragem total de 35,50m<sup>2</sup> e área útil de 32,05m<sup>2</sup>. Todas as unidades possuem a mesma planta baixa, apresentando variações quanto à implantação das mesmas nos lotes, ou seja, possuem diferentes orientações solares. São organizadas internamente com sala, cozinha, dois dormitórios, circulação e sanitário.

Quanto aos materiais utilizados nas habitações, destacam-se as paredes de concreto armado, a cobertura em telhas cerâmicas com forro em PVC e as esquadrias externas em chapa de ferro.

A implantação do loteamento é apresentada na Figura 15. A área em destaque nesta figura indica a localização das habitações escolhidas para a instalação dos medidores.

Nesta pesquisa foram analisadas quatro habitações com orientações solares predominantes no loteamento. Estas edificações foram denominadas Unidade A, Unidade B, Unidade C e Unidade D, conforme a Figura 16.

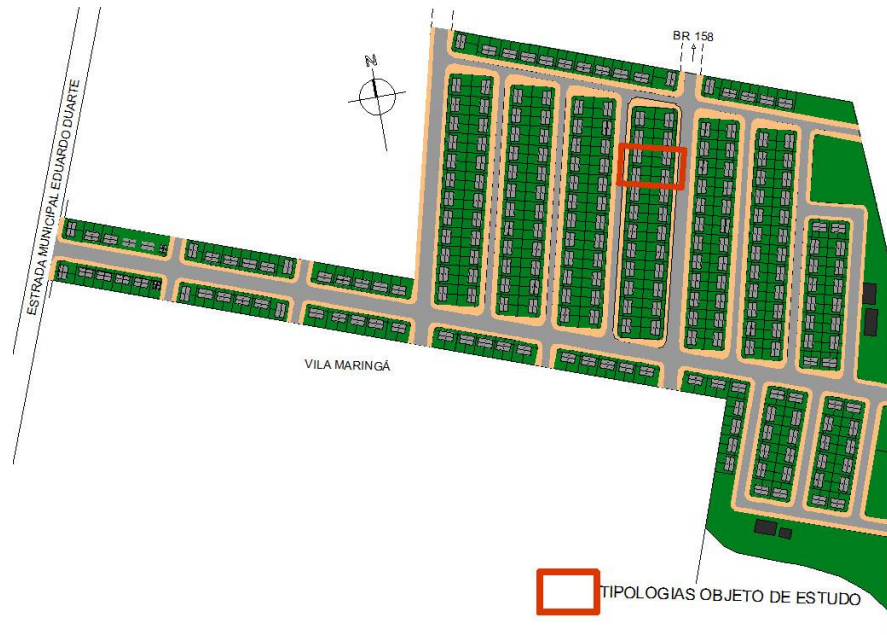


Figura 15 – Implantação do loteamento Zilda Arns

Fonte: adaptado de Kohlrausch et al (2010)

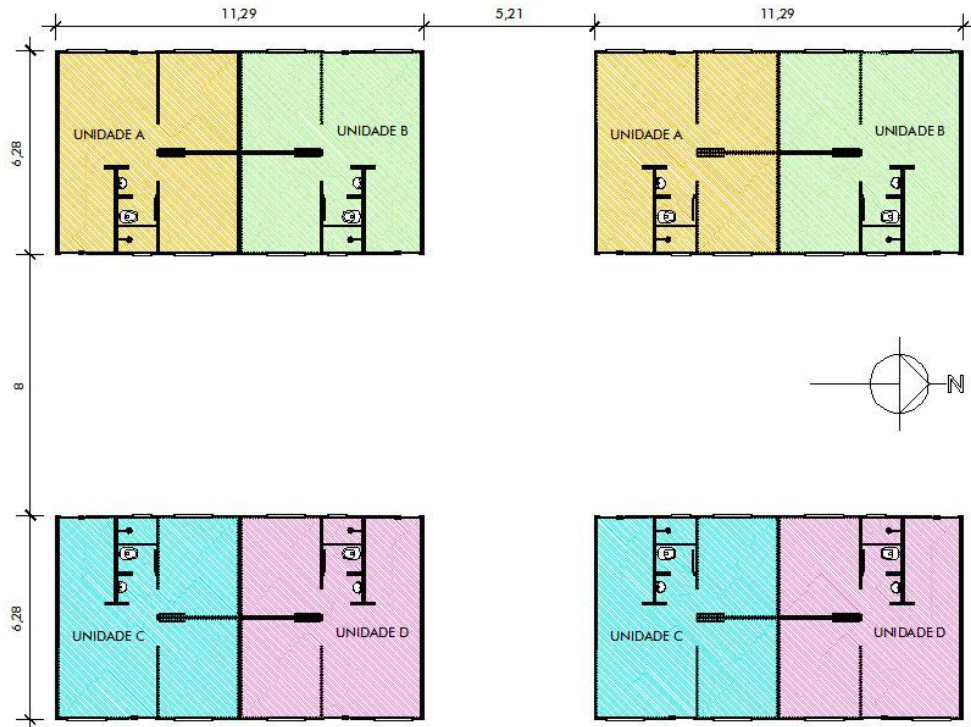


Figura 16 – Planta baixa das unidades A, B, C e D

Fonte: adaptado de Kohlrausch et al (2010)



As principais características construtivas das edificações em estudo estão resumidas no Quadro 4.

| <b>Elemento construtivo</b> | <b>Material/ técnica construtiva</b>  | <b>Observação</b>   |
|-----------------------------|---|---|
| <b>Fundação</b>             | Radier  | O radier ultrapassa 50 cm além das paredes externas.  |
| <b>Paredes</b>              | Concreto armado moldado in loco<br>Concreto leve com 25 a 30% de incorporação de ar, densidade 1.700 kg/m <sup>3</sup> , tipo M, fck = 4,5mpa (28 dias)                 | Paredes externas: 10 cm<br>Paredes hidráulicas: 10 cm<br>Paredes internas: 8 cm<br>Paredes de geminação: 13 cm                      |
| <b>Esquadrias</b>           | - Externas: chapa de aço<br>- Internas: madeira semi-oca  | Dormitórios: com venezianas, sendo a área de ventilação 10% da área do piso<br>Salas: área de ventilação de 10,62% da área de piso. |
| <b>Cobertura</b>            | Telha cerâmica com acabamento natural   | Estrutura da cobertura em madeira.  |
| <b>Forro</b>                | PVC   | Placa de isopor de 1,5 cm de espessura sobre o forro da sala e dos dormitórios.   |
| <b>Revestimento interno</b> | - Banheiro e cozinha: revestimento cerâmico até 1,65 cm de altura<br>- Área de serviço externa: faixa cerâmica de 0,35 m de altura por 1,30 m de largura sobre o tanque | As demais áreas não receberão nenhum tipo de revestimento.  |
| <b>Pintura</b>              | Paredes externas: 2 demãos de textura com hidro-repelente<br>Paredes internas: 1 demão de selador acrílico e 1 demão de textura   | As portas internas receberão fundo e pintura esmalte.   |
| <b>Pisos</b>                | Cozinha e banheiro: cerâmico<br>Demais áreas: concreto do radier  |   |

Quadro 4– Características construtivas das habitações

Fonte: Kohlrausch et al (2005)

A Figura 17 apresenta a planta baixa de duas habitações geminadas e suas dimensões internas.

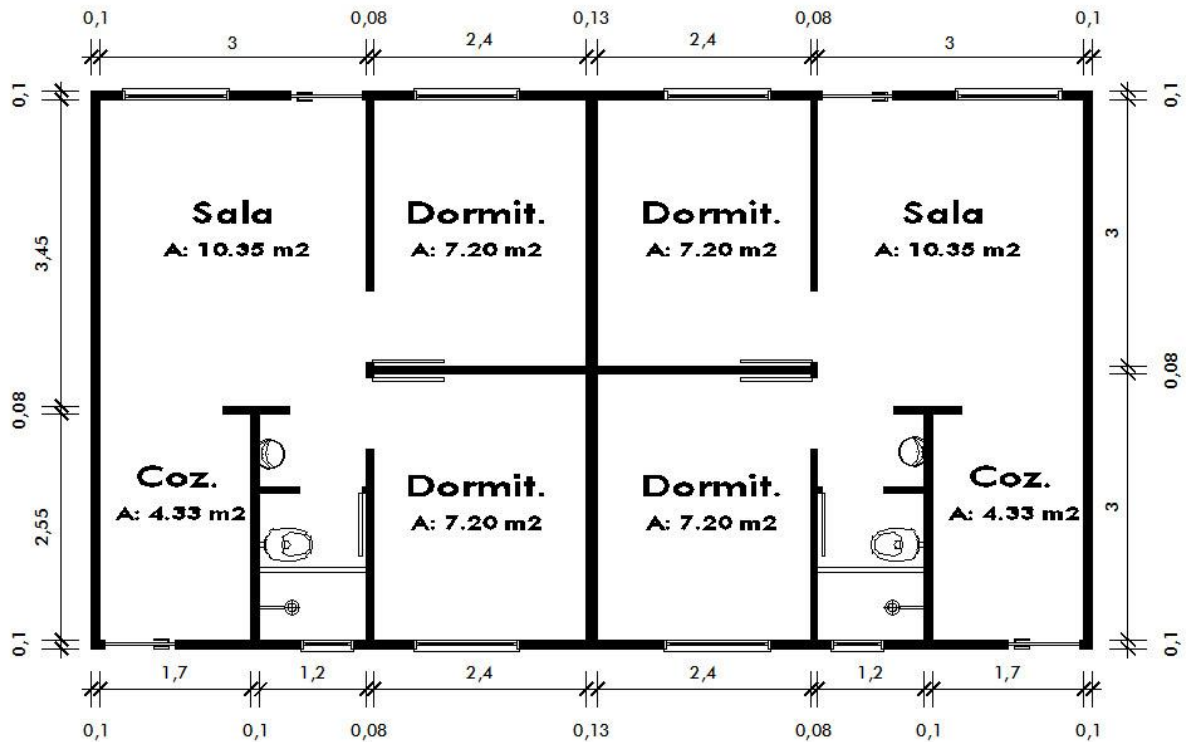


Figura 17 – Planta baixa de duas unidades geminadas

Fonte: adaptado de Kohlrausch et al (2010)

A Tabela 1 especifica as propriedades térmicas dos materiais construtivos utilizados para confecção das vedações e do sistema de cobertura, e as Tabelas 2 e 3 apresentam os valores calculados para as propriedades térmicas. Para a obtenção destes valores foram utilizadas as fórmulas fornecidas pela NBR 15220. (ABNT, 2005b)

Tabela 1 – Propriedades térmicas dos materiais construtivos (paredes e sistema de cobertura)

| Material        | $\rho$<br>kg/m <sup>3</sup> | $\lambda$<br>W/(m.K) | C<br>J/K |
|-----------------|-----------------------------|----------------------|----------|
| Concreto leve   | 1700                        | 0,76                 | 1,00     |
| Telha de barro  | 2000                        | 1,05                 | 0,92     |
| Forro de PVC    | 1300                        | 0,20                 | 0,96     |
| Placa de isopor | 25                          | 0,04                 | 1,42     |

Tabela 2 – Valores de Resistência Térmica (RT), Transmitância Térmica (U), Capacidade Térmica (Ct), Atraso Térmico ( $\varphi$ ) e Fator Solar das vedações

| Material              | RT face a<br>face<br>(m <sup>2</sup> .K)/W | RT amb. A<br>ambiente<br>(m <sup>2</sup> .K)/W | U<br>W/(m <sup>2</sup> .K) | Ct<br>J/(m <sup>2</sup> .K) | $\varphi$<br>horas | Fator Solar<br>% |
|-----------------------|--|--|----------------------------|-----------------------------|--------------------|------------------|
| Parede de<br>concreto | 0,13                                       | 0,30   | 3,33                       | 170                         | 2,08               | 3,97             |

Tabela 3 – Valores de Resistência Térmica (RT), Transmitância Térmica (U), Capacidade Térmica (Ct), Atraso Térmico ( $\varphi$ ) e Fator Solar do sistema de cobertura

| Material                | RT<br>(verão)<br>(m <sup>2</sup> .K)/W | U<br>(verão)<br>W/(m <sup>2</sup> .K) | U<br>(inverno)<br>W/(m <sup>2</sup> .K) | Ct<br>J/(m <sup>2</sup> .K) | $\varphi$<br>(verão)<br>horas | Fator Solar<br>(verão)<br>% |
|-------------------------|--|---------------------------------------|---|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Sistema de<br>cobertura | 0,84                                   | 1,19                                  | 1,62                                    | 25,23                       | 1,69                          | 3,57                        |

Segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005b), o Atraso Térmico e o Fator Solar são determinados apenas para o verão em virtude de ser a condição predominante no Brasil. Esta norma estabelece que a absorvância para radiação solar em paredes pintadas na cor amarelo é 0,30 e para telhas de barro entre 0,75 e 0,80.

A Figura 18 apresenta as fachadas frontal e de fundos das edificações.



Figura 18 – Fachada frontal (a) e fachada de fundos (b)

### 3.3 Monitoramento das residências – Medições de temperatura e umidade

Para o levantamento dos dados foram utilizados aparelhos de medição de temperatura e umidade do ar *Hobo Data Logger*, fabricados pela empresa *ONSET Computer Corporation*. Estes aparelhos registram dados para um período pré-programado, tendo capacidade para armazenar 7.944 leituras com intervalos de 0,5 segundos até 9 horas, com hora e data de início programáveis. Os aparelhos permitem o uso de um cabo de medição, o qual foi utilizado para obtenção de medidas de temperatura externa.

Foram utilizados no total dezesseis sensores, sendo que quatorze mediram temperatura interna e dois mediram temperaturas interna e externa.

A Figura 19 mostra o aparelho de medição utilizado.



Figura 19 – Aparelho de medição utilizado

Os dados obtidos nas medições foram extraídos através do programa computacional *Boxcar Pro 4.3*. Posteriormente estes dados foram inseridos no programa *Microsoft Excel para a* elaboração de gráficos. Tais gráficos relacionam temperatura do ar e as horas do dia, de forma a permitir uma melhor compreensão do comportamento térmico no período monitorado, principalmente perante mudanças climáticas, como entradas de frentes-frias e variações bruscas de temperatura.

O levantamento de dados *in loco* foi realizado em edificações posicionadas nas quatro unidades predominantes do loteamento. Foi efetuado o monitoramento de temperatura do ar nos períodos de inverno e de verão, sendo que cada unidade foi monitorada simultaneamente por dez dias no período de inverno e dez dias no período de verão, sendo os aparelhos programados para medições com intervalos de seis em seis minutos.

A primeira série de medições, com e sem infiltração de ar, ocorreu em agosto de 2011, a partir das 00:00 h do dia 12 às 00:00 h do dia 22, totalizando 240 horas de medição. A segunda série de medições ocorreu a partir das 00:0 h do dia 28 de dezembro de 2011 às 00:00 h do dia 07 de janeiro de 2012, totalizando também 240 horas. Foram monitorados dez dias para posteriormente serem selecionados os três dias mais frios no período de inverno e os três dias mais quentes no período de verão.

Foram monitoradas duas habitações de cada unidade, sendo uma medida com as portas e janelas fechadas sem lacrar frestas remanescentes e a outra com esses elementos fechados com suas frestas vedadas, evitando a infiltração de ar. No total foram monitoradas oito residências de quatro diferentes orientações solares, sendo quatro habitações monitoradas com infiltração de ar e quatro habitações sem infiltração de ar. Para isso foram vedados todos os possíveis locais de infiltração de ar com fita adesiva incolor.

Foram instalados dois medidores em cada unidade, sendo um na sala e outro no dormitório frontal, resultando um total de dezesseis medidores. Em um destes medidores foi instalado cabo para medição de temperatura externa. A Figura 20 apresenta a localização dos equipamentos de medição no interior e no exterior das edificações.

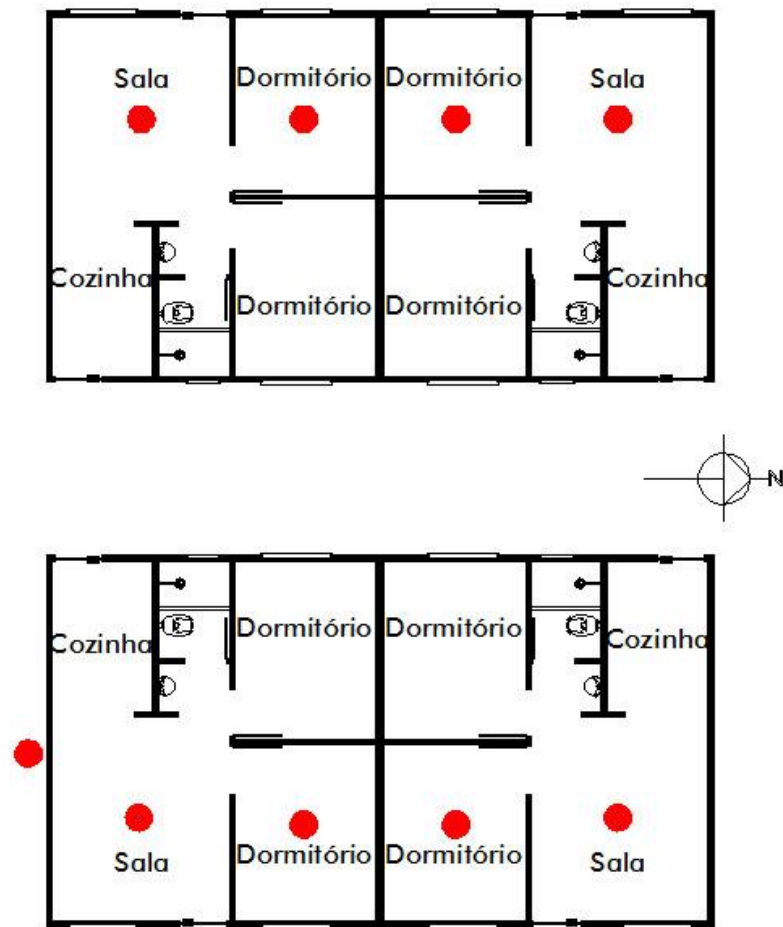


Figura 20 – Posicionamento dos medidores no interior e no exterior das habitações

Para instalação dos equipamentos foram consideradas as recomendações da NBR 15575 (ABNT, 2005). Nos ambientes internos os equipamentos foram instalados na posição vertical, pendurados a uma altura de 1,20 m em relação ao piso, afastados de paredes e divisórias. No ambiente externo o cabo foi instalado junto à parede, logo abaixo do beiral, voltado para a orientação solar sul. A fim de que se evitassem possíveis radiações solares no cabo de medição externo, este foi acondicionado no interior de uma caixa de isopor revestida com papel alumínio.

A Figura 21 mostra o posicionamento dos medidores nos ambientes internos e na face externa da edificação.

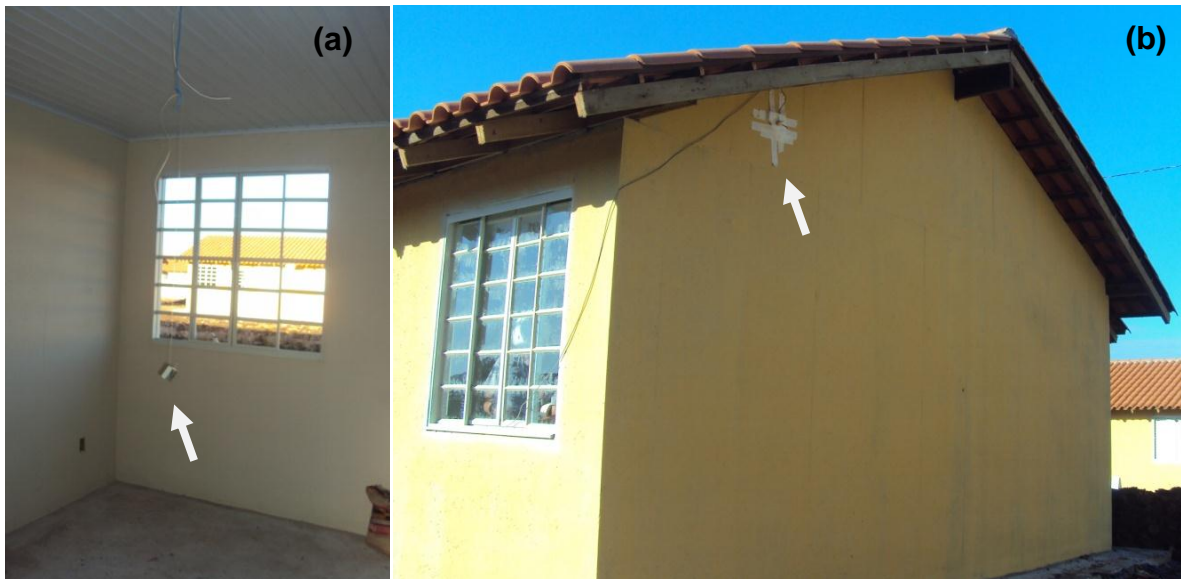


Figura 21 – Instalações de medidor interno (sala) (a) e de medidor externo (b)

Durante o monitoramento as portas entre os cômodos estavam abertas e as venezianas dos dormitórios fechadas. Neste período as habitações ainda estavam desabitadas e sem mobiliário, e o loteamento encontrava-se sem pavimentação e arborização.

## **4 RESULTADOS**

O presente capítulo apresenta os dados obtidos através das medições realizadas nas quatro unidades analisadas, sendo apresentados primeiramente os resultados de inverno e posteriormente os resultados de verão. Para cada unidade é apresentado um gráfico com os resultados do monitoramento com infiltração e sem infiltração de ar, para os dez dias de medição. Todos os gráficos indicam a curva de temperatura externa e quatro curvas de temperatura interna, sendo duas curvas para dormitório (com e sem infiltração de ar) e outras duas curvas para sala (com e sem infiltração de ar).

Após a apresentação dos gráficos é mostrada uma tabela onde estão expressos os valores das temperaturas máximas, temperaturas mínimas e a variação no período. O mesmo gráfico apresenta ainda a média das temperaturas mínimas e máximas e a amplitude média no período. Os dados são organizados separadamente para cada uma das quatro unidades, indicando resultados obtidos com ocorrência ou não de infiltração de ar, para dormitórios e salas.

No final de cada período será apresentado um resumo dos principais valores obtidos nos resultados. Através destes resultados serão escolhidos os três dias de maior relevância em cada período para serem analisados nesta pesquisa.

### **4.1 Medições no período de inverno**

As Figuras 22, 23, 24 e 25 apresentam os resultados da temperatura externa e das temperaturas internas com e sem infiltração de ar nas unidades A, B, C e D, respectivamente, no período de inverno. A Tabela 4 mostra o resumo de dados para cada unidade analisada.



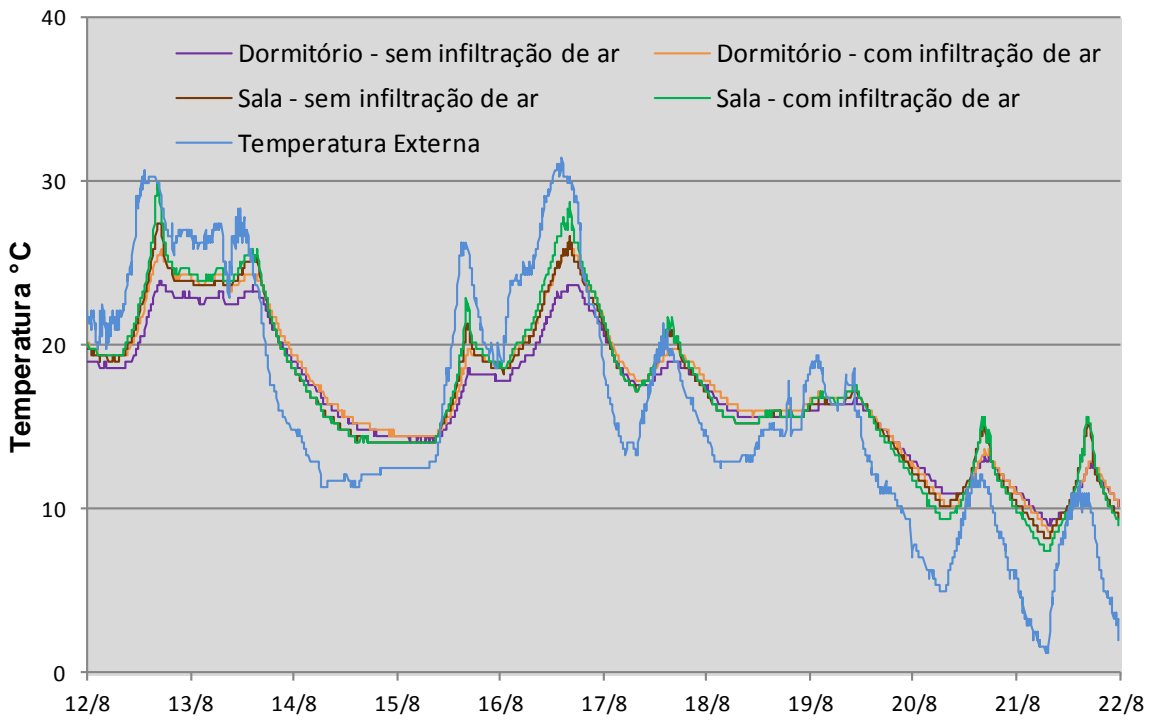


Figura 22 – Variação da temperatura externa e interna no período de inverno – unidade A

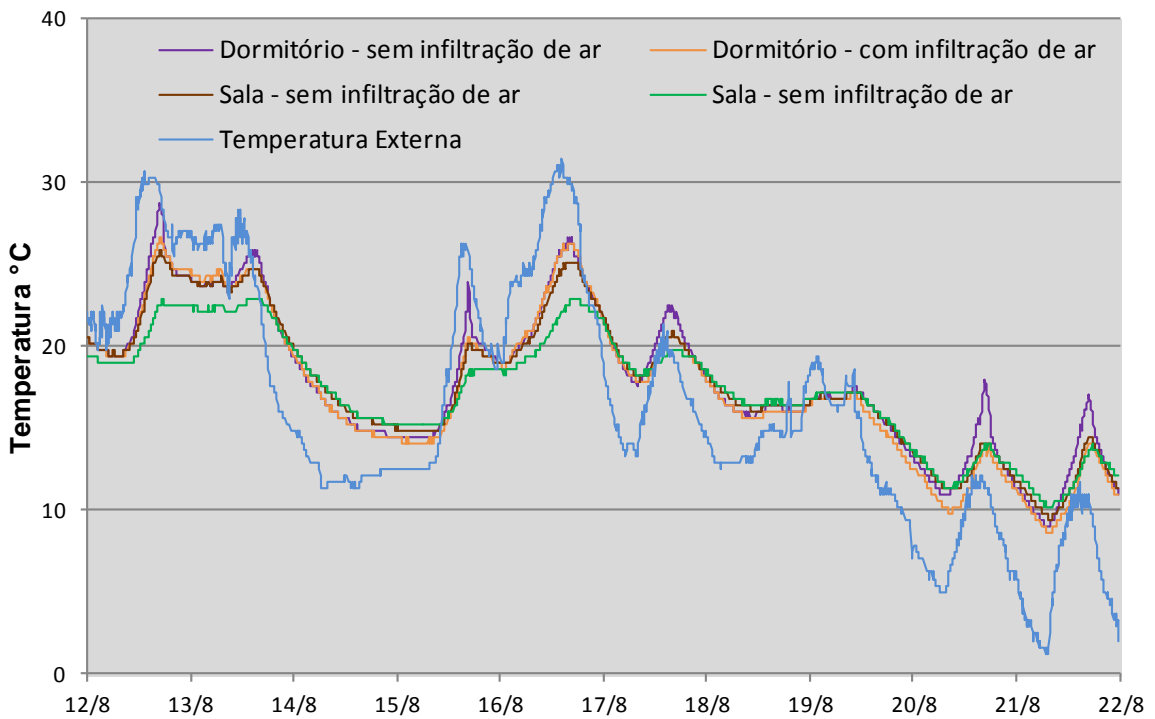


Figura 23 – Variação da temperatura externa e interna no período de inverno – unidade B

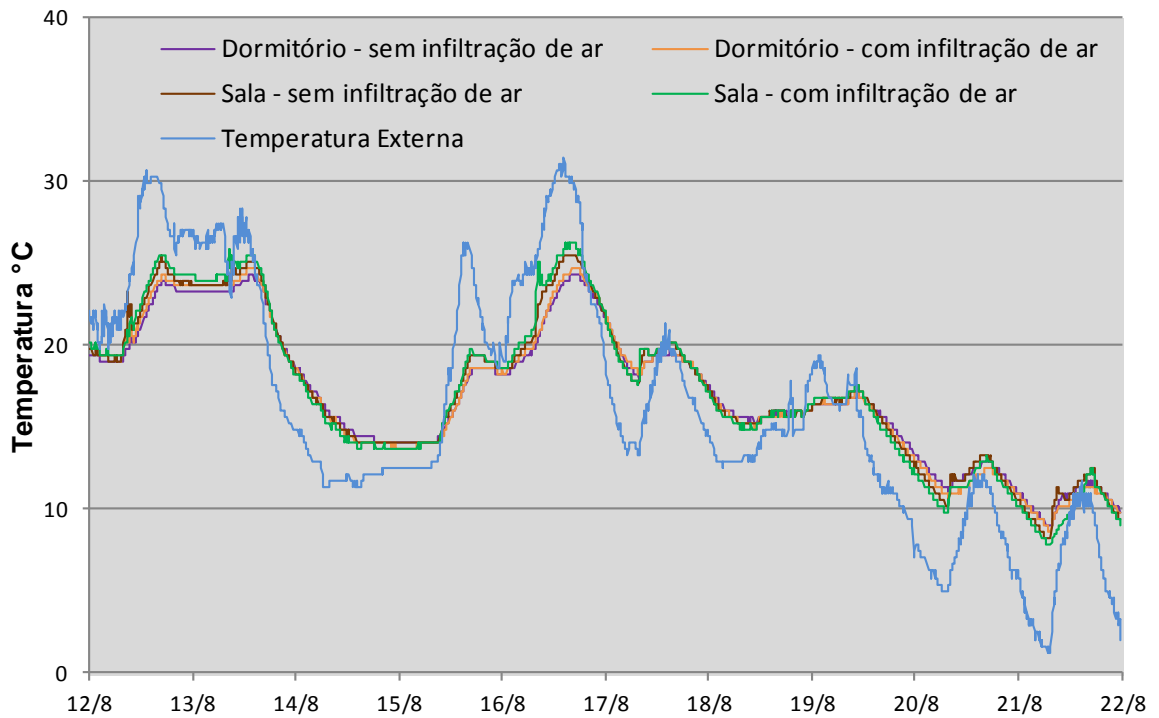


Figura 24 – Variação da temperatura externa e interna no período de inverno – unidade C

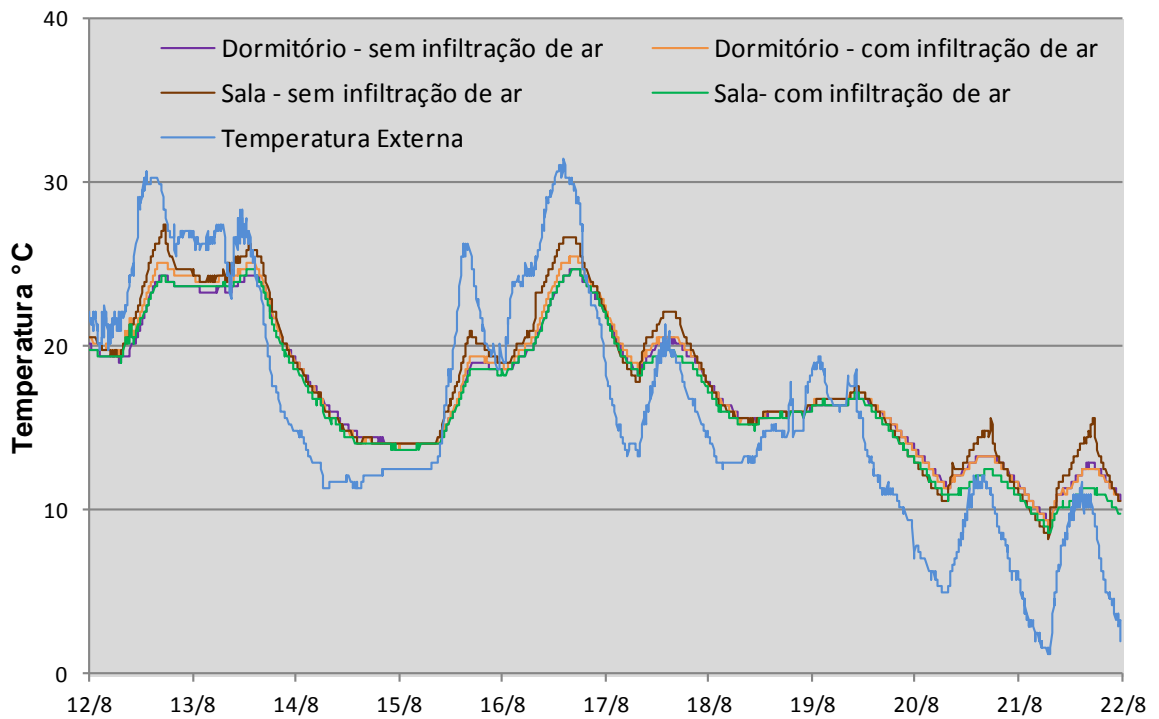


Figura 25 – Variação da temperatura externa e interna no período de inverno – unidade D

Tabela 4 – Temperaturas máximas e mínimas para o período de inverno

| <i>Unidade</i>                             |             | <i>Ambiente</i>   | <i>Temp. Mínima</i><br>(°C) | <i>Média Mínimas</i><br>(°C) | <i>Temp. Máxima</i><br>(°C) | <i>Média Máximas</i><br>(°C) | <i>Amplitude Média</i><br>(°C) | <i>Amplitude Período</i><br>(°C) |
|--|-------------|-------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| <b>A</b><br>frente oeste/<br>lateral sul   | <b>Com</b>  | Dormitório        | 8,63                        | 15,13                        | 25,95                       | 19,93                        | 4,78                           | 17,32                            |
|  | <b>inf.</b> | Sala              | 7,43                        | 14,67                        | 28,31                       | 20,25                        | 5,58                           | 20,88                            |
|  |             | <b>Sem</b>        | Dormitório                  | 9,03                         | 15,06                       | 24,01                        | 18,93                          | 3,87                             |
|  | <b>inf.</b> | Sala              | 8,23                        | 14,87                        | 27,52                       | 19,70                        | 4,83                           | 19,29                            |
| <b>Com</b>                                 |             | Dormitório        | 9,03                        | 15,33                        | 26,73                       | 20,16                        | 4,83                           | 17,70                            |
| <b>B</b><br>Frente oeste/<br>lateral norte | <b>inf.</b> | Sala              | 10,60                       | 15,95                        | 22,86                       | 18,89                        | 2,94                           | 12,26                            |
|  |             | <b>Sem</b>        | Dormitório                  | 9,03                         | 15,33                       | 28,80                        | 21,78                          | 6,45                             |
|  | <b>inf.</b> | Sala              | 9,82                        | 15,91                        | 25,95                       | 20,08                        | 4,17                           | 16,13                            |
|  |             | <b>Com</b>        | Dormitório                  | 9,03                         | 15,02                       | 24,79                        | 19,12                          | 4,10                             |
| <b>C</b><br>Frente leste/<br>lateral sul   | <b>inf.</b> | Sala              | 8,23                        | 14,75                        | 25,56                       | 19,23                        | 4,48                           | 17,33                            |
|  |             | <b>Sem</b>        | Dormitório                  | 9,03                         | 15,02                       | 24,40                        | 19,16                          | 4,14                             |
|  | <b>inf.</b> | Sala              | 8,23                        | 14,94                        | 25,17                       | 19,32                        | 4,38                           | 16,94                            |
|  |             | <b>Com</b>        | Dormitório                  | 9,42                         | 15,33                       | 25,17                        | 19,62                          | 4,68                             |
| <b>D</b><br>frente leste/<br>lateral norte | <b>inf.</b> | Sala              | 9,03                        | 14,95                        | 24,79                       | 19,00                        | 4,59                           | 15,76                            |
|  |             | <b>Sem</b>        | Dormitório                  | 9,42                         | 15,25                       | 24,79                        | 19,54                          | 4,29                             |
|  | <b>inf.</b> | Sala              | 8,63                        | 15,09                        | 25,95                       | 20,16                        | 5,07                           | 17,32                            |
|  |             | <b>Temp. Ext.</b> |                             | 1,17                         | 11,63                       | 31,12                        | 21,47                          | 9,84                             |

O período de monitoramento de medições no inverno apresentou uma entrada de frente fria nos últimos dias de medição, motivo pelo qual ocorreu uma amplitude térmica externa elevada. Este período apresentou temperatura externa mínima de 1,17 °C e máxima de 31,12 °C, resultando em uma amplitude no período de 29,95 °C e uma amplitude média diária de 9,84°C.

Apesar da alta amplitude externa, as temperaturas internas não sofreram muitas variações, devido ao acúmulo de calor nas paredes proveniente dos dias anteriores. Ao se analisar os gráficos percebe-se que as temperaturas internas são superiores às externas na maior parte do tempo.

Pode-se verificar um amortecimento mais expressivo das curvas de temperatura durante o dia, quando as temperaturas externas são mais elevadas. Durante este período, o ambiente que apresentou a maior amplitude foi a sala da

unidade A com infiltração de ar, que registrou 20,88°C. A menor amplitude interna registrada foi na sala da unidade B com infiltração de ar, que foi de 12,26°C. Ambas as unidades possuem as aberturas das salas voltadas para o oeste, porém a sala da unidade A possui sua maior face externa voltada para sul, enquanto a sala da unidade B possui sua maior face externa voltada para norte.

A menor temperatura interna registrada foi de 7,43°C na sala da unidade A com infiltração de ar, enquanto a maior temperatura interna foi de 28,80°C no dormitório da unidade B sem infiltração de ar.

Os dormitórios apresentaram temperaturas superiores às salas nas baixas temperaturas, com exceção da unidade B com infiltração de ar, em que a sala registrou uma temperatura 0,97°C superior ao dormitório.

Quanto à infiltração de ar nas unidades, as edificações com a maior face externa voltada para sul (tipologias A e C), no período de baixas temperaturas externas, as temperaturas internas caem quando ocorre infiltração de ar. Durante as altas temperaturas a situação se inverte, aumentando a temperatura com a infiltração de ar. Nas unidades com a maior face externa voltada para norte (unidades B e D), ocorre o contrário: a infiltração de ar proporciona um aumento da temperatura interna nas baixas temperaturas e uma redução da mesma durante as altas temperaturas.

## **4.2 Medições no período de verão**

As Figuras 26, 27, 28 e 29 apresentam os resultados de temperatura externas e das temperaturas internas com e sem infiltração de ar nas unidades A, B, C e D, respectivamente, no período de verão. A Tabela 5, apresentada logo após, mostra o resumo de dados para cada unidade analisada.

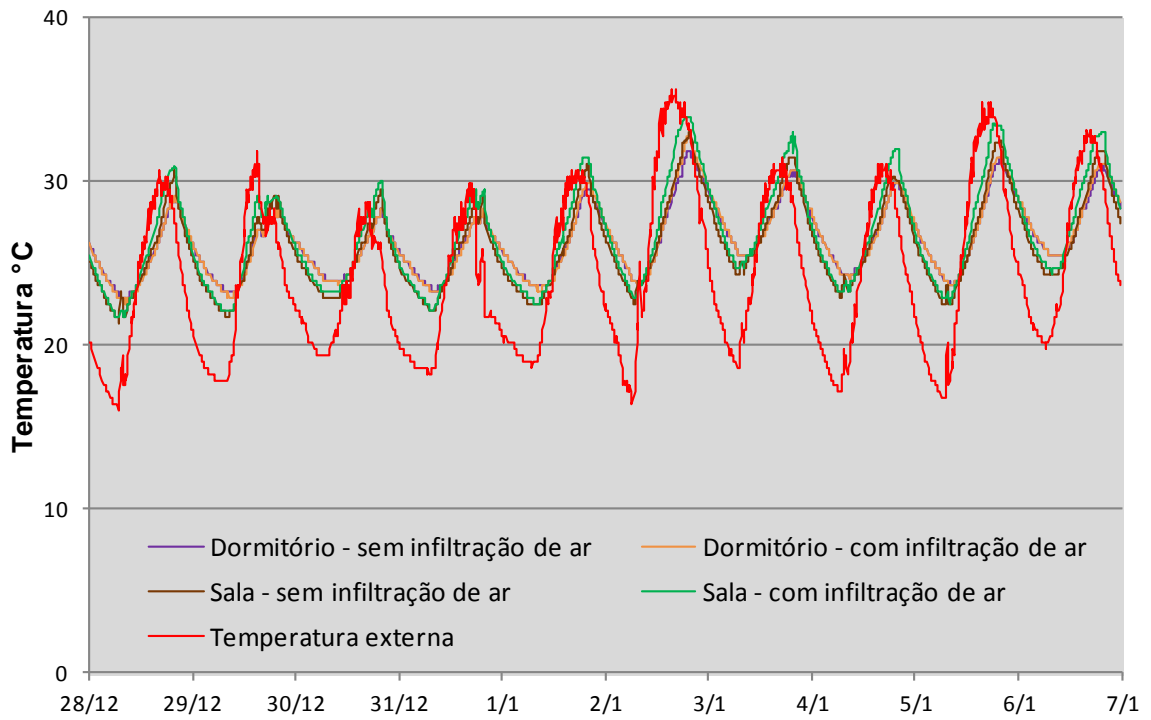


Figura 26 – Variação da temperatura externa e interna no período de verão – unidade A

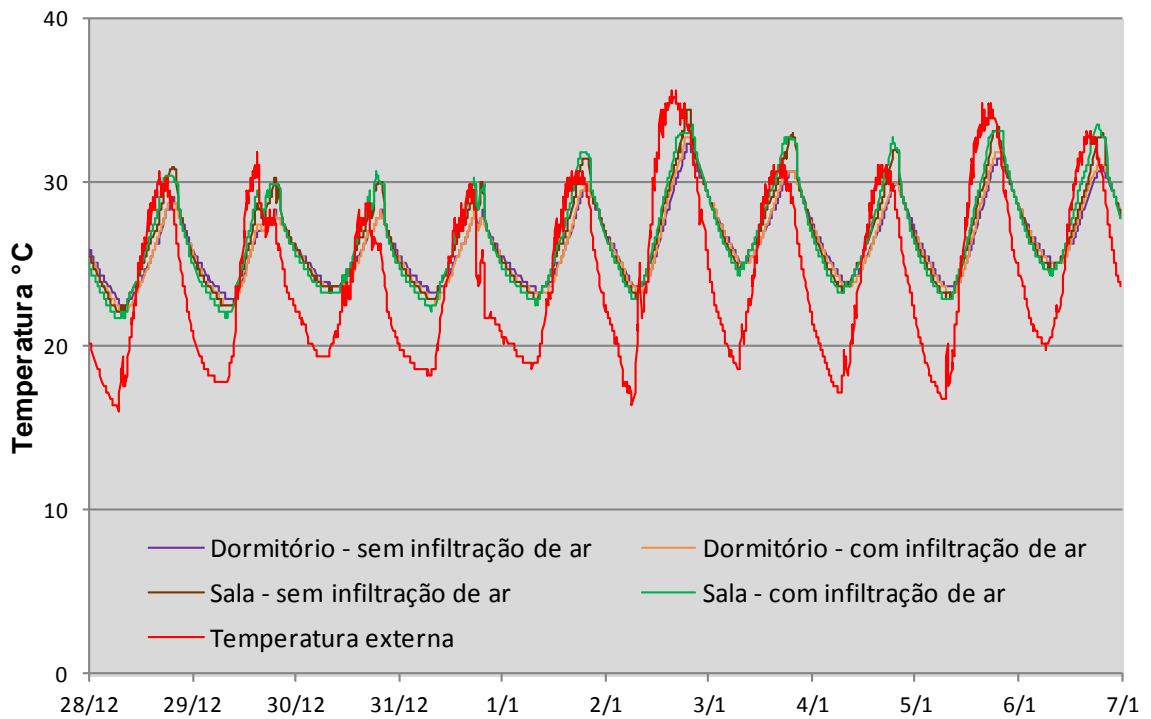


Figura 27 – Variação da temperatura externa e interna no período de verão – unidade B

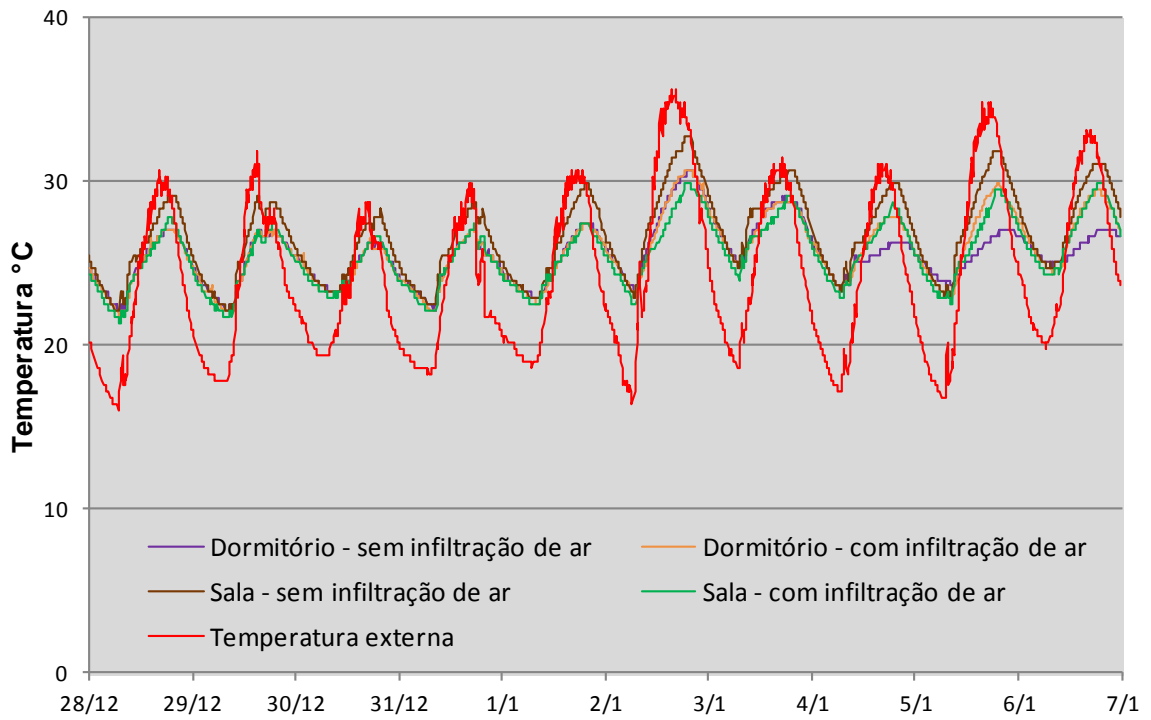


Figura 28 – Variação da temperatura externa e interna no período de verão – unidade C

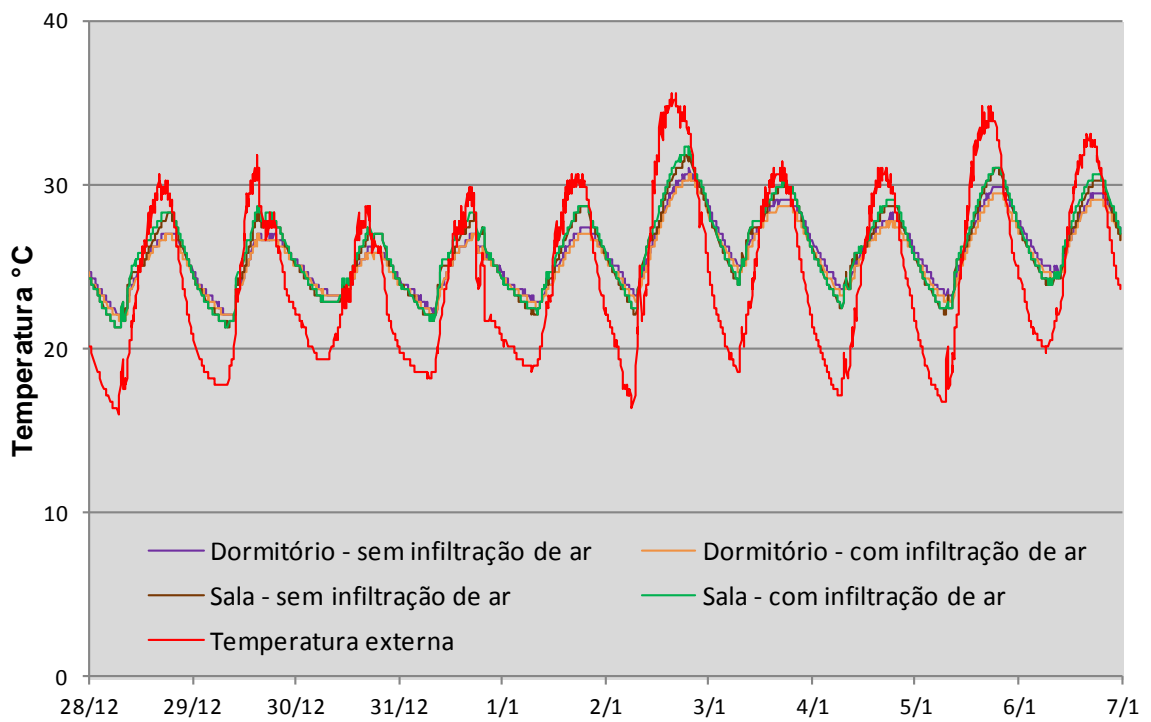


Figura 29 – Variação da temperatura externa e interna no período de verão – unidade D

Tabela 5 – Temperaturas máximas e mínimas para o período de verão

| <i>Unidade</i>                             | <i>Ambiente</i> | <i>Temp. Mínima</i><br>(°C) | <i>Média Mínimas</i><br>(°C) | <i>Temp. Máxima</i><br>(°C) | <i>Média Máximas</i><br>(°C) | <i>Amplitude Média</i><br>(°C) | <i>Amplitude Período</i><br>(°C) |
|--|-----------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| <b>A</b><br>Frente oeste/<br>lateral sul   | <b>Com</b>      | Dormitório                  | 22,86                        | 23,98                       | 32,76                        | 29,91                          | 9,90                             |
|  | <b>inf.</b>     | Sala                        | 21,71                        | 23,09                       | 33,70                        | 31,18                          | 11,99                            |
|  |                 | <b>Sem</b>                  | Dormitório                   | 22,86                       | 23,94                        | 31,93                          | 29,79                            |
|  | <b>inf.</b>     | Sala                        | 21,33                        | 22,94                       | 32,90                        | 30,24                          | 11,57                            |
| <b>Com</b>                                 |                 | Dormitório                  | 22,09                        | 23,63                       | 32,76                        | 29,79                          | 10,67                            |
| <b>B</b><br>Frente oeste/<br>lateral norte | <b>inf.</b>     | Sala                        | 21,71                        | 23,05                       | 33,30                        | 31,53                          | 11,59                            |
|  |                 | <b>Sem</b>                  | Dormitório                   | 23,24                       | 23,71                        | 32,34                          | 29,95                            |
|  | <b>inf.</b>     | Sala                        | 22,09                        | 23,32                       | 34,01                        | 31,57                          | 11,92                            |
|  |                 | <b>Com</b>                  | Dormitório                   | 22,09                       | 23,15                        | 30,70                          | 27,55                            |
| <b>C</b><br>frente leste/<br>lateral sul   | <b>inf.</b>     | Sala                        | 21,71                        | 22,78                       | 29,50                        | 27,56                          | 7,79                             |
|  |                 | <b>Sem</b>                  | Dormitório                   | 22,09                       | 23,51                        | 30,71                          | 27,56                            |
|  | <b>inf.</b>     | Sala                        | 22,09                        | 23,24                       | 32,34                        | 29,19                          | 10,25                            |
|  |                 | <b>Com</b>                  | Dormitório                   | 22,09                       | 23,20                        | 30,71                          | 27,88                            |
| <b>D</b><br>frente leste/<br>lateral norte | <b>inf.</b>     | Sala                        | 21,33                        | 22,63                       | 32,34                        | 26,65                          | 11,01                            |
|  |                 | <b>Sem</b>                  | Dormitório                   | 22,09                       | 23,24                        | 31,12                          | 28,31                            |
|  | <b>inf.</b>     | Sala                        | 21,33                        | 22,63                       | 31,93                        | 28,87                          | 10,60                            |
|  |                 | <b>Temp. Ext.</b>           |                              | 16,00                       | 18,66                        | 32,76                          | 28,19                            |

O período de monitoramento de verão apresentou temperatura externa mínima de 16°C e máxima de 32,76°C, resultando em uma amplitude de 16,76°C e em uma amplitude média de 9,53°C.

Durante o período monitorado as temperaturas internas se mantiveram mais altas do que as temperaturas externas durante as baixas temperaturas, e durante as altas temperaturas externas as unidades C e D apresentaram temperaturas internas mais baixas do que o exterior, enquanto as unidades A e B apresentaram temperaturas internas superiores às apresentadas no lado externo.

Analisando-se o deslocamento lateral entre as curvas de temperatura, percebe-se um atraso térmico, ou seja, os valores de temperatura externa levam um determinado tempo para se manifestar no interior da edificação. No gráfico, este atraso pode ser visualizado com clareza, pois as curvas de temperatura mostram-se

deslocadas lateralmente, expondo o intervalo de tempo transcorrido para que a temperatura interna atinja os picos ocorridos no exterior.

A maior temperatura interna registrada foi de 34,01°C na sala da unidade B sem infiltração de ar, enquanto a menor temperatura interna neste período foi de 21,33°C e foi registrada em três salas: na unidade A sem infiltração de ar e na unidade D, com e sem infiltração de ar.

As salas apresentaram as maiores e menores amplitudes internas no período. A sala da unidade A com infiltração de ar registrou uma amplitude de 11,99°C, maior amplitude neste período. A unidade C com infiltração de ar apresentou a menor amplitude, que foi de 7,79°C.

Com relação à infiltração de ar, em geral as unidades apresentaram temperaturas mais baixas com a ocorrência de infiltração, tanto nas baixas quanto nas altas temperaturas. Somente a sala da unidade A apresentou resultado diferente, registrando um aumento de 0,38°C na temperatura interna com a ocorrência de infiltração de ar.



## **5 ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Este capítulo trata da análise dos resultados das medições realizadas nas quatro unidades nos períodos de inverno e verão.

### **5.1 Avaliação da influência da orientação solar**

Primeiramente foi realizada uma avaliação da orientação solar entre ambientes de diferentes unidades, onde se comparou os resultados de todos os dormitórios e de todas as salas.

A seguir, foram comparadas as diferentes unidades entre si. Para isso foram calculadas as médias entre dormitório e sala para cada tipologia, resultando em uma temperatura interna média. Provavelmente os dormitórios irão atenuar os picos ocorridos nas salas, porém o objetivo é verificar o desempenho geral da unidade.

Foram considerados os resultados das habitações com infiltração de ar pelas aberturas, pois esta é a situação real das unidades.

#### **5.1.1 Avaliação da orientação solar entre ambientes das diferentes unidades**

Esta avaliação comparou dormitórios e salas das diferentes unidades no intuito de se observar a influência da orientação solar em ambientes iguais com diferentes implantações.

##### **5.1.1.1 Período de inverno**

As Figuras 30 e 31 a seguir apresentam as curvas de temperaturas externas e internas de dormitórios e salas, respectivamente, para o período de inverno. As Tabelas 6 e 7 apresentam os principais valores observados nos gráficos.

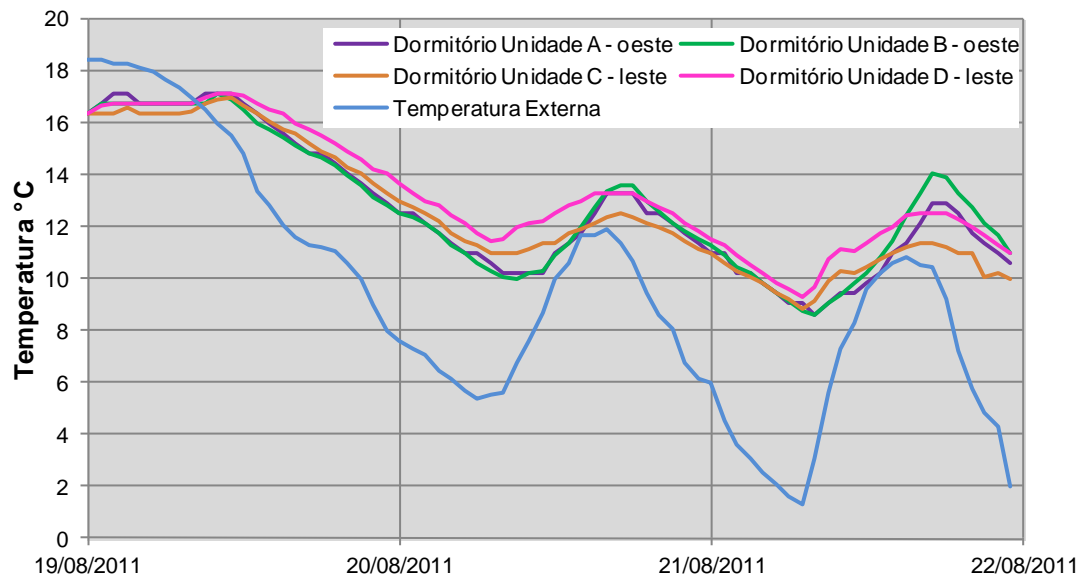


Figura 30 – Variação da temperatura dos dormitórios no período de inverno

Tabela 6 – Temperaturas máximas e mínimas dos dormitórios para o período de inverno

| <i>Unidade</i>                         | <i>Dias</i> | <i>Temp. Mínima</i><br>(°C) | <i>Temp. Mínima Média</i><br>(°C) | <i>Temp. Máxima</i><br>(°C) | <i>Temp. Máxima Média</i><br>(°C) | <i>Amplitude Diária</i><br>(°C) | <i>Amplitude Média</i><br>(°C) | <i>Amort. Médio</i><br>(%) |
|--|-------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| <b>A</b>                               | 19/08       | 12,93                       |                                   | 17,14                       |                                   | 4,21                            |                                |                            |
| <b>Frente oeste/<br/>lateral sul</b>   | 20/08       | 10,21                       | 10,59                             | 13,32                       | 14,46                             | 3,11                            | 3,87                           | 56,17                      |
|  | 21/08       | 8,63                        |                                   | 12,93                       |                                   | 4,30                            |                                |                            |
| <b>B</b>                               | 19/08       | 12,84                       |                                   | 17,10                       |                                   | 4,26                            |                                |                            |
| <b>Frente oeste/<br/>lateral norte</b> | 20/08       | 9,98                        | 10,48                             | 13,63                       | 14,93                             | 3,65                            | 4,45                           | 49,60                      |
|  | 21/08       | 8,63                        |                                   | 14,05                       |                                   | 7,30                            |                                |                            |
| <b>C</b>                               | 19/08       | 13,32                       |                                   | 16,95                       |                                   | 3,63                            |                                |                            |
| <b>Frente leste/<br/>lateral sul</b>   | 20/08       | 10,95                       | 11,05                             | 12,55                       | 13,63                             | 1,60                            | 2,58                           | 70,78                      |
|  | 21/08       | 8,87                        |                                   | 11,38                       |                                   | 2,51                            |                                |                            |
| <b>D</b>                               | 19/08       | 14,05                       |                                   | 17,14                       |                                   | 3,09                            |                                |                            |
| <b>Frente leste/<br/>lateral norte</b> | 20/08       | 11,46                       | 11,59                             | 13,66                       | 14,45                             | 2,20                            | 2,86                           | 67,61                      |
|  | 21/08       | 9,26                        |                                   | 12,55                       |                                   | 5,96                            |                                |                            |
| <b>Externa</b>                         | 19/08       | 8,00                        |                                   | 18,47                       |                                   | 10,47                           |                                |                            |
|  | 20/08       | 5,36                        | 4,90                              | 11,93                       | 13,73                             | 6,57                            | 8,83                           | -                          |
|  | 21/08       | 1,34                        |                                   | 10,79                       |                                   | 9,45                            |                                |                            |

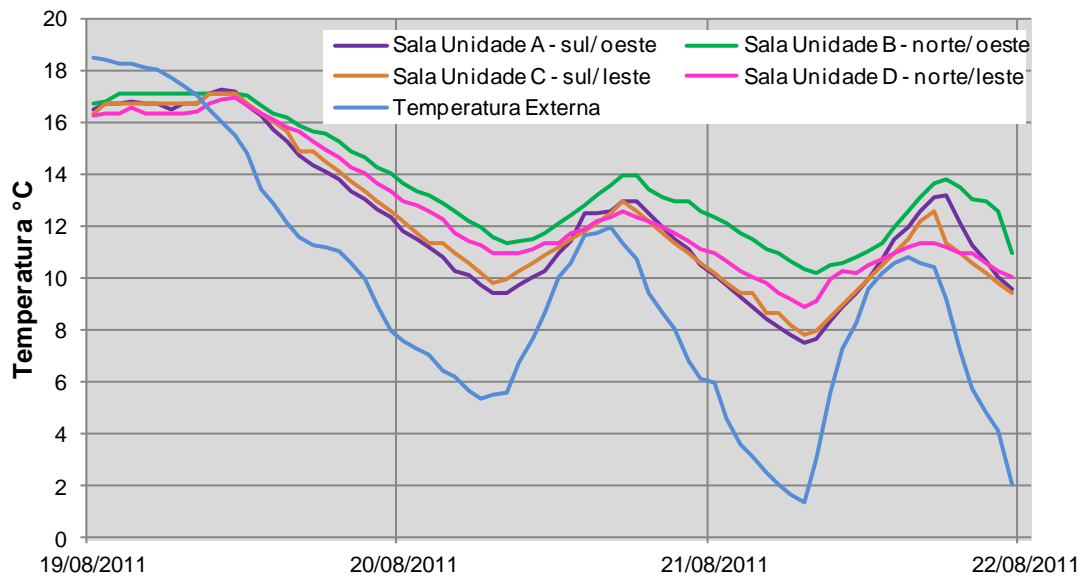


Figura 31 – Variação da temperatura das salas no período de inverno

Tabela 7 – Temperaturas máximas e mínimas das salas para o período de inverno

| <i>Unidade</i>                             | <i>Dias</i> | <i>Temp. Mínima</i><br>(°C) | <i>Temp. Mínima Média</i><br>(°C) | <i>Temp. Máxima</i><br>(°C) | <i>Temp. Máxima Média</i><br>(°C) | <i>Amplitude Diária</i><br>(°C) | <i>Amplitude Média</i><br>(°C) | <i>Amort. Médio</i><br>(%) |
|--|-------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| <b>A</b><br>Frente oeste/<br>lateral sul   | 19/08       | 12,35                       |                                   | 17,29                       |                                   | 4,94                            |                                |                            |
|  | 20/08       | 9,42                        | 9,75                              | 13,00                       | 14,50                             | 3,58                            | 4,26                           | 51,72                      |
|  | 21/08       | 7,47                        |                                   | 13,20                       |                                   | 4,27                            |                                |                            |
| <b>B</b><br>Frente oeste/<br>lateral norte | 19/08       | 14,05                       |                                   | 17,14                       |                                   | 3,09                            |                                |                            |
|  | 20/08       | 11,38                       | 11,88                             | 13,97                       | 14,98                             | 2,59                            | 3,09                           | 64,93                      |
|  | 21/08       | 10,21                       |                                   | 13,82                       |                                   | 3,61                            |                                |                            |
| <b>C</b><br>Frente leste/<br>lateral sul   | 19/08       | 12,55                       |                                   | 17,14                       |                                   | 4,59                            |                                |                            |
|  | 20/08       | 9,82                        | 10,07                             | 12,93                       | 14,21                             | 3,11                            | 4,14                           | 53,11                      |
|  | 21/08       | 7,83                        |                                   | 12,55                       |                                   | 4,72                            |                                |                            |
| <b>D</b><br>Frente leste/<br>lateral norte | 19/08       | 12,97                       |                                   | 16,95                       |                                   | 3,98                            |                                |                            |
|  | 20/08       | 10,95                       | 10,93                             | 12,97                       | 13,77                             | 2,02                            | 2,84                           | 67,87                      |
|  | 21/08       | 8,87                        |                                   | 11,38                       |                                   | 2,51                            |                                |                            |
| <b>Externa</b>                             | 19/08       | 8,00                        |                                   | 18,47                       |                                   | 10,47                           |                                |                            |
|  | 20/08       | 5,36                        | 4,90                              | 11,93                       | 13,73                             | 6,57                            | 8,83                           | -                          |
|  | 21/08       | 1,34                        |                                   | 10,79                       |                                   | 9,45                            |                                |                            |

Analisando-se os dormitórios no período de inverno, é possível perceber que os dormitórios das unidades A e B são os mais frios, pois as temperaturas mínimas médias tem um valor mínimo de 10,48°C na unidade B, seguido de 10,59°C na unidade A, e um valor máximo de 11,59°C na unidade D, seguido de 11,05°C na unidade C. As médias das temperaturas máximas tem valor superior 14,93°C e valor mínimo de 13,63°C, respectivamente para os dormitórios das tipologias B e C, resultando em uma diferença de 1,30°C.

O dormitório da residência B apresentou uma amplitude média de 4,45°C, a maior entre os dormitórios, e um amortecimento de 49,60%, o menor apresentado entre todas as unidades. O dormitório da unidade C demonstrou a temperatura interna mais constante, com uma amplitude média de 2,58°C e amortecimento médio de 70,78%.

Constata-se que no período de inverno o dormitório e a sala da unidade D recebem grande radiação solar na fachada leste durante a manhã e a sala segue recebendo radiação na fachada norte no período da tarde. As paredes da sala aquecidas mantêm os dormitórios aquecidos ao longo do dia, tanto da unidade D quanto da unidade C, que fica ao lado. Já na unidade B, a fachada norte recebe radiação desde o período da manhã, porém a radiação mais direta ocorre somente no período da tarde, tanto no dormitório como na sala. Tendo em vista que a temperatura cai à noite, a temperatura das paredes externas também cai, diminuindo a temperatura interna. Conseqüentemente as unidades A e B, que foram aquecidas à tarde, não mantêm a temperatura interna por um longo período, o que justifica o fato dos dormitórios voltados para leste serem mais quentes e apresentarem menor amplitude térmica em relação aos voltados para oeste.

Mesmo sendo monitorados com as venezianas fechadas, todos os dormitórios atenderam a exigência da NBR 15575 (ABNT, 2012) para inverno, que estabelece que a temperatura interna deve ser no mínimo igual à temperatura externa acrescida de 3°C.

Analisando-se as salas, percebe-se a variação entre as diferentes unidades devido à orientação solar, sendo que nas médias das temperaturas mínimas a sala da unidade A é a mais fria, apresentando temperatura mínima média de 9,75°C, seguida pela unidade C, com temperatura média mínima de 10,07°C. Estas salas possuem suas maiores faces externas voltadas para sul, não recebendo radiação solar no período de inverno.

A unidade B apresenta o maior valor de temperatura média mínima de 11,88°C, sendo seguida pela unidade D, com temperatura média mínima de 10,93°C. Ambas as unidades possuem sua maior face externa voltada para norte, porém a sala da unidade B possui aberturas para oeste e na sala da unidade D as mesmas estão voltadas para o leste.

Assim como os dormitórios, no período de inverno as salas também atenderam ao exigido pela NBR 15575 (ABNT, 2012), ou seja, a temperatura interna deve ser no mínimo igual à temperatura externa mínima acrescida de 3°C.

A amplitude média máxima registrada nas salas no período de inverno foi de 4,26°C na unidade A, cujo amortecimento foi de 51,72%, e a amplitude média mínima registrada foi de 2,84°C na unidade D, com amortecimento médio de 67,87%. A unidade A possui sua maior face externa voltada para sul e as aberturas voltadas para oeste, recebendo forte radiação solar apenas no período da tarde e sendo resfriada a noite, quando a temperatura externa cai. Já a unidade D possui sua face externa voltada para norte e as aberturas orientadas para leste, ou seja, recebe radiação solar direta no período da manhã e segue recebendo radiação à tarde, o que proporciona um acúmulo de calor nas paredes durante o dia, que é liberado para o interior à noite, mantendo a temperatura interna mais constante.

Pode-se concluir que no período frio a orientação solar das paredes externas influenciam mais no desempenho térmico do que a orientação solar das aberturas.

#### 5.1.1.2 Período de verão

As Figuras 32 e 33 a seguir apresentam as curvas de temperaturas internas em relação às temperaturas externas de dormitórios e salas, respectivamente, para o período de verão. As Tabelas 8 e 9 listam os valores mais significativos de temperaturas retirados dessas figuras.

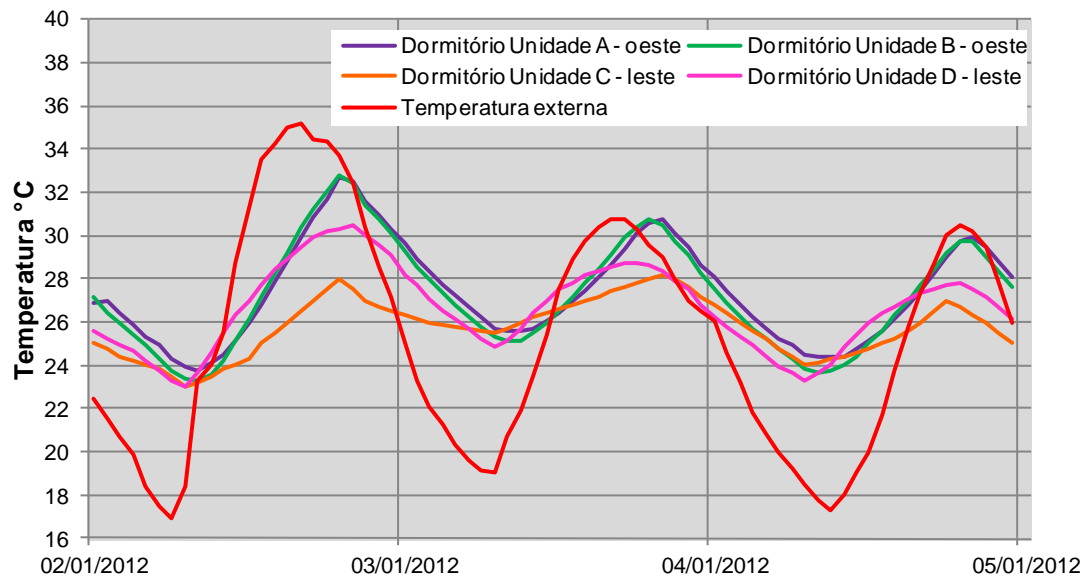


Figura 32 – Variação da temperatura dos dormitórios no período de verão

Tabela 8 – Temperaturas máximas e mínimas dos dormitórios para o período de verão

| <i>Unidade</i>                         | <i>Dias</i> | <i>Temp. Mínima</i><br>(°C) | <i>Temp. Mínima Média</i><br>(°C) | <i>Temp. Máxima</i><br>(°C) | <i>Temp. Máxima Média</i><br>(°C) | <i>Amplitude Diária</i><br>(°C) | <i>Amplitude Média</i><br>(°C) | <i>Amortec. Médio</i><br>% |
|--|-------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| <b>A</b>                               | 02/01       | 23,74                       |                                   | 32,68                       |                                   | 8,94                            |                                |                            |
| <b>Frente oeste/<br/>lateral sul</b>   | 03/01       | 25,17                       | 24,42                             | 30,71                       | 31,09                             | 5,54                            | 6,67                           | 53,65                      |
|  | 04/01       | 24,36                       |                                   | 29,90                       |                                   | 5,54                            |                                |                            |
|  |             |                             |                                   |                             |                                   |                                 |                                |                            |
| <b>B</b>                               | 02/01       | 23,24                       |                                   | 32,76                       |                                   | 9,52                            |                                |                            |
| <b>Frente oeste/<br/>lateral norte</b> | 03/01       | 25,17                       | 24,01                             | 30,71                       | 31,08                             | 5,54                            | 7,07                           | 50,87                      |
|  | 04/01       | 23,63                       |                                   | 29,78                       |                                   | 6,15                            |                                |                            |
|  |             |                             |                                   |                             |                                   |                                 |                                |                            |
| <b>C</b>                               | 02/01       | 23,00                       |                                   | 30,00                       |                                   | 5,00                            |                                |                            |
| <b>Frente leste/<br/>lateral sul</b>   | 03/01       | 25,50                       | 24,17                             | 28,15                       | 28,38                             | 2,65                            | 4,21                           | 70,82                      |
|  | 04/01       | 24,00                       |                                   | 27,00                       |                                   | 3,00                            |                                |                            |
|  |             |                             |                                   |                             |                                   |                                 |                                |                            |
| <b>D</b>                               | 02/01       | 23,01                       |                                   | 30,43                       |                                   | 7,42                            |                                |                            |
| <b>Frente leste/<br/>lateral norte</b> | 03/01       | 24,83                       | 23,71                             | 28,70                       | 28,97                             | 3,87                            | 5,27                           | 63,37                      |
|  | 04/01       | 23,28                       |                                   | 27,79                       |                                   | 4,51                            |                                |                            |
|  |             |                             |                                   |                             |                                   |                                 |                                |                            |
| <b>Externa</b>                         | 02/01       | 16,95                       |                                   | 35,19                       |                                   | 18,24                           |                                |                            |
|  | 03/01       | 19,04                       | 17,79                             | 30,75                       | 32,22                             | 11,71                           | 14,43                          | -                          |
|  | 04/01       | 17,29                       |                                   | 30,71                       |                                   | 13,22                           |                                |                            |

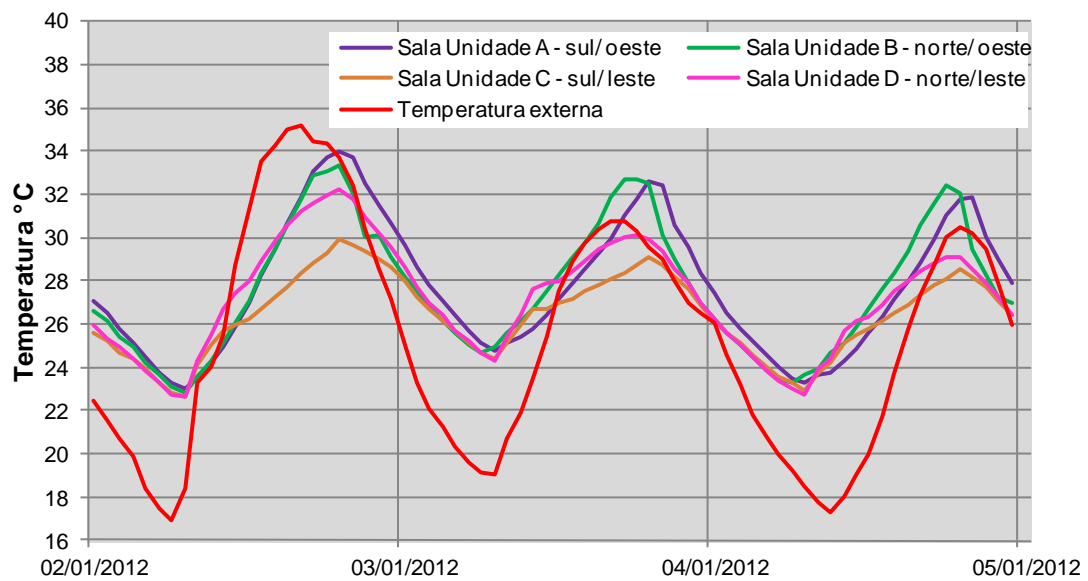


Figura 33 – Variação da temperatura das salas no período de verão

Tabela 9 – Temperaturas máximas e mínimas das salas para o período de verão

| <i>Unidade</i> | <i>Dias</i>                    | <i>Temp. Mínima</i><br>(°C) | <i>Temp. Mínima Média</i><br>(°C) | <i>Temp. Máxima</i><br>(°C) | <i>Temp. Máxima Média</i><br>(°C) | <i>Amplitude Diária</i><br>(°C) | <i>Amplitude Média</i><br>(°C) | <i>Amort. Médio</i><br>% |       |
|----------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-------|
| <b>A</b>       | 02/01                          | 22,97                       |                                   | 33,95                       |                                   | 10,98                           |                                |                          |       |
|                | Frente oeste/<br>lateral sul   | 03/01                       | 24,79                             | 23,69                       | 32,55                             | 32,79                           | 7,76                           | 9,09                     | 36,83 |
|                |                                | 04/01                       | 23,32                             |                             | 31,86                             |                                 | 8,54                           |                          |       |
| <b>B</b>       | 02/01                          | 22,86                       |                                   | 33,33                       |                                   | 10,47                           |                                |                          |       |
|                | Frente oeste/<br>lateral norte | 03/01                       | 24,67                             | 23,59                       | 32,73                             | 32,84                           | 8,06                           | 9,25                     | 35,72 |
|                |                                | 04/01                       | 23,24                             |                             | 32,45                             |                                 | 9,21                           |                          |       |
| <b>C</b>       | 02/01                          | 22,63                       |                                   | 29,90                       |                                   | 7,27                            |                                |                          |       |
|                | Frente leste/<br>lateral sul   | 03/01                       | 24,36                             | 23,31                       | 29,1                              | 29,17                           | 6,47                           | 6,43                     | 55,32 |
|                |                                | 04/01                       | 22,94                             |                             | 28,5                              |                                 | 5,56                           |                          |       |
| <b>D</b>       | 02/01                          | 22,59                       |                                   | 31,26                       |                                   | 9,67                            |                                |                          |       |
|                | Frente leste/<br>lateral norte | 03/01                       | 24,32                             | 23,22                       | 30,15                             | 30,17                           | 5,83                           | 6,95                     | 51,84 |
|                |                                | 04/01                       | 22,75                             |                             | 29,1                              |                                 | 6,35                           |                          |       |
| <b>Externa</b> | 02/01                          | 16,95                       |                                   | 35,19                       |                                   | 18,24                           |                                |                          |       |
|                |                                | 03/01                       | 19,04                             | 17,79                       | 30,75                             | 32,22                           | 11,71                          | 14,43                    | -     |
|                |                                | 04/01                       | 17,29                             |                             | 30,71                             |                                 | 13,22                          |                          |       |

Os dormitórios das unidades A e B se apresentaram como os mais quentes nas altas temperaturas no período de verão, com temperaturas máximas médias de 31,09°C e 31,08°C, respectivamente. Esta semelhança se deve ao fato de ambos os dormitórios possuírem a mesma orientação solar para oeste. A amplitude média registrada do dormitório da unidade A foi de 6,67°C, resultando num amortecimento médio de 53,65%. Já o dormitório da unidade B apresentou amplitude média de 7,07°C e amortecimento médio de 50,87%.

Os dormitórios das unidades C e D registraram as temperaturas internas inferiores, sendo a temperatura máxima média da unidade C de 28,38°C e da unidade D de 28,97°C. Os dois dormitórios possuem a mesma orientação solar e esta variação ocorre por influência da orientação solar das salas de cada unidade.

Percebe-se que as salas das unidades A e B são as mais quentes no verão, com temperatura média máxima da unidade A de 32,79°C e da unidade B de 32,84°C. A amplitude média da sala A é de 9,09°C com amortecimento de 36,83%. Já a sala da unidade B registrou amplitude média de 9,25°C, resultando em um amortecimento de 35,72%.

Em dois dos dias monitorados a temperatura interna de duas unidades não atendeu ao exigido na NBR 15575 (ABNT, 2012), que estabelece que no período de verão os ambientes de permanência prolongada apresentem temperatura menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior. No dia 03/01 a sala da unidade A apresentou temperatura interna máxima de 32,55°C e a sala da unidade B temperatura interna máxima de 32,7°C, enquanto a temperatura máxima externa foi de 30,75°C. No dia 04/01 a sala da unidade A registrou temperatura máxima de 31,86°C e a da unidade B temperatura máxima de 32,45°C, enquanto a temperatura máxima externa foi de 30,71°C.

Observa-se que no período de verão ocorrem maiores diferenças entre as temperaturas máximas médias tanto nos dormitórios como nas salas. Ocorre uma diferença de 3,37°C entre o dormitório mais quente da unidade A, com 31,09°C, e o menos quente da tipologia C, com 27,72°C. No caso das salas a diferença é de 3,67°C, entre a sala B, com 32,84°C, e a sala C, com 29,17°C. Esse fato evidencia a influência da orientação solar das esquadrias sobre as condições térmicas no período de verão.



### 5.1.2 Avaliação da orientação solar entre as diferentes unidades

Esta avaliação compara a média entre dormitórios e salas de cada unidade, com o intuito de analisar o comportamento médio das habitações. Cada unidade resultou em uma única curva média, que foi comparada em relação às outras unidades e em relação à curva da temperatura externa.

#### 5.1.2.1 Período de inverno

A Figura 34 apresenta as curvas de variação da temperatura interna das diferentes unidades para o período de inverno. Na Tabela 10 são listados os valores mais significativos de temperaturas observados nos gráficos.

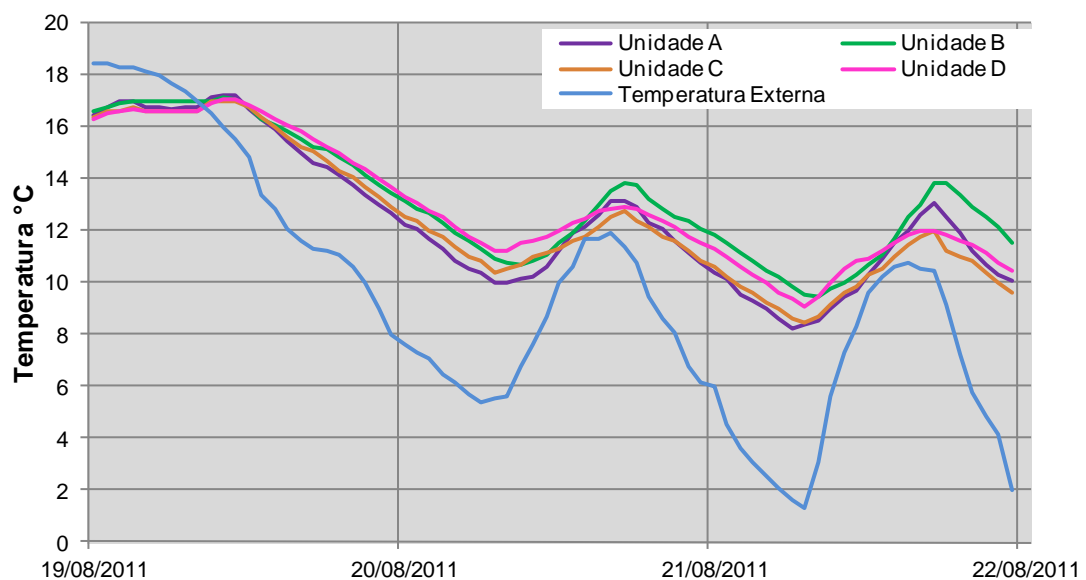


Figura 34 – Variação da temperatura das diferentes unidades no período de inverno

Tabela 10 – Temperaturas máximas e mínimas das unidades A, B, C e D para o período de inverno

| <i>Unidade</i>                         | <i>Dias</i> | <i>Temp.<br/>Mínima<br/>(°C)</i> | <i>Temp.<br/>Mínima<br/>Média<br/>(°C)</i> | <i>Temp.<br/>Máxima<br/>(°C)</i> | <i>Temp.<br/>Máxima<br/>Média<br/>(°C)</i> | <i>Amplitude<br/>Diária<br/>(°C)</i> | <i>Amplitude<br/>Média<br/>(°C)</i> | <i>Amort.<br/>Médio<br/>%</i> |
|--|-------------|----------------------------------|--|----------------------------------|--|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| <b>A</b>                               | 19/08       | 12,64                            |  | 17,21                            |  | 4,57                                 |                                     |                               |
| <b>Frente oeste/<br/>lateral sul</b>   | 20/08       | 9,95                             | 10,28                                      | 13,16                            | 14,48                                      | 3,21                                 | 4,20                                | 47,53                         |
|  | 21/08       | 8,25                             |  | 13,06                            |  | 4,81                                 |                                     |                               |
| <b>B</b>                               | 19/08       | 13,11                            |  | 17,12                            |  | 4,01                                 |                                     |                               |
| <b>Frente oeste/<br/>lateral norte</b> | 20/08       | 10,70                            | 11,08                                      | 13,78                            | 14,92                                      | 3,08                                 | 4,02                                | 54,47                         |
|  | 21/08       | 9,42                             |  | 13,86                            |  | 4,44                                 |                                     |                               |
| <b>C</b>                               | 19/08       | 12,93                            |  | 16,95                            |  | 4,02                                 |                                     |                               |
| <b>Frente leste/<br/>lateral sul</b>   | 20/08       | 10,40                            | 10,59                                      | 12,54                            | 13,82                                      | 2,14                                 | 3,23                                | 63,42                         |
|  | 21/08       | 8,43                             |  | 11,96                            |  | 3,53                                 |                                     |                               |
| <b>D</b>                               | 19/08       | 13,68                            |  | 17,04                            |  | 3,36                                 |                                     |                               |
| <b>Frente leste/<br/>lateral norte</b> | 20/08       | 11,22                            | 11,32                                      | 13,31                            | 13,87                                      | 2,09                                 | 2,55                                | 71,16                         |
|  | 21/08       | 9,07                             |  | 11,26                            |  | 2,19                                 |                                     |                               |
| <b>Externa</b>                         | 19/08       | 8,00                             |  | 18,47                            |  | 10,47                                |                                     |                               |
|  | 20/08       | 5,36                             | 4,90                                       | 11,93                            | 13,73                                      | 6,57                                 | 8,83                                | -                             |
|  | 21/08       | 1,34                             |  | 10,79                            |  | 9,45                                 |                                     |                               |

Na análise do período de inverno é possível observar novamente a semelhança nas temperaturas internas entre as diversas unidades com uma diferença de apenas 1,04°C entre a temperatura média mínima de unidade A de 10,28°C e a unidade D com 11,32°C, e uma diferença de 1,1°C entre as temperaturas médias máximas, sendo a maior a da unidade B de 14,92°C e a menor da unidade C com 13,82°C.

A unidade A apresentou as menores temperaturas mínimas e amortecimento de 47,53%, seguida pela unidade C, com amortecimento de 63,42%. A unidade D teve a maior temperatura média mínima de 11,32°C e amortecimento de 71,16%, seguida pela unidade B, com temperatura mínima de 11,08°C e amortecimento de 54,47%. As unidades A e C possuem suas maiores faces voltadas para sul, sendo as aberturas da unidade A voltadas para oeste e as aberturas da unidade C para leste; e as unidades B e D possuem suas maiores faces voltadas para norte, sendo as aberturas da unidade B orientadas para oeste e as aberturas da unidade D para leste.

Observa-se que no período de inverno as unidades que apresentaram as melhores condições foram aquelas que possuem a maior face externa voltada para norte. Conclui-se que neste período tem maior influência para o bom desempenho térmico a orientação solar das paredes cegas do que a orientação solar das aberturas.

É possível perceber o bom isolamento térmico do conjunto construtivo, à medida que houve uma queda na temperatura mínima externa, e a temperatura interna apresentou uma queda menos elevada.

#### 5.1.2.1 Período de verão

A Figura 35 apresenta as curvas de temperaturas internas das unidades A, B, C e D para o período de verão. A tabela 11 lista os valores de temperaturas máximas e mínimas e de amortecimento observadas nos gráficos.

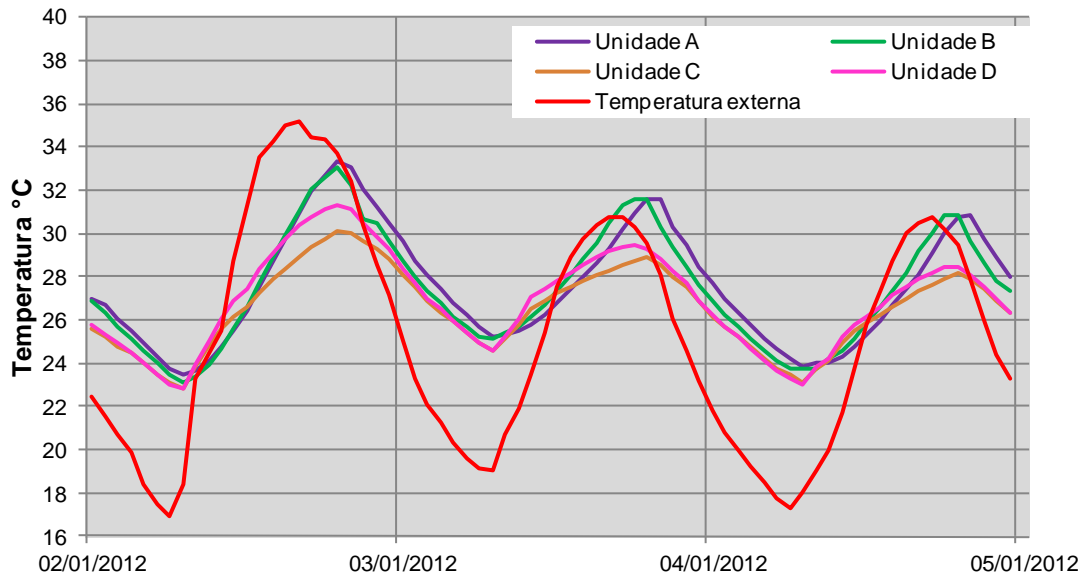


Figura 35 – Variação da temperatura interna das diferentes unidades no período de verão

Tabela 11 – Temperaturas máximas e mínimas das unidades A, B, C e D para o período de verão

| <i>Unidade</i>                         | <i>Dias</i> | <i>Temp.<br/>Mínima<br/>(°C)</i> | <i>Temp.<br/>Mínima<br/>Média<br/>(°C)</i> | <i>Temp.<br/>Máxima<br/>(°C)</i> | <i>Temp.<br/>Máxima<br/>Média<br/>(°C)</i> | <i>Amplitude<br/>Diária<br/>(°C)</i> | <i>Amplitude<br/>Média<br/>(°C)</i> | <i>Amort.<br/>Médio<br/>%</i> |
|--|-------------|----------------------------------|--|----------------------------------|--|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| <b>A</b>                               | 02/01       | 23,43                            |  | 33,31                            |  | 9,88                                 |                                     |                               |
| <b>Frente oeste/<br/>lateral sul</b>   | 03/01       | 25,25                            | 24,19                                      | 31,61                            | 31,93                                      | 6,36                                 | 7,75                                | 46,14                         |
|  | 04/01       | 23,88                            |  | 30,88                            |  | 7,00                                 |                                     |                               |
| <b>B</b>                               | 02/01       | 23,13                            |  | 33,04                            |  | 9,91                                 |                                     |                               |
| <b>Frente oeste/<br/>lateral norte</b> | 03/01       | 25,13                            | 24,00                                      | 31,61                            | 31,84                                      | 6,48                                 | 7,84                                | 45,52                         |
|  | 04/01       | 23,74                            |  | 30,88                            |  | 7,14                                 |                                     |                               |
| <b>C</b>                               | 02/01       | 22,82                            |  | 30,10                            |  | 7,28                                 |                                     |                               |
| <b>Frente leste/<br/>lateral sul</b>   | 03/01       | 24,59                            | 23,51                                      | 28,88                            | 29,16                                      | 4,29                                 | 5,53                                | 61,57                         |
|  | 04/01       | 23,11                            |  | 28,15                            |  | 5,04                                 |                                     |                               |
| <b>D</b>                               | 02/01       | 22,80                            |  | 31,28                            |  | 8,48                                 |                                     |                               |
| <b>Frente leste/<br/>lateral norte</b> | 03/01       | 24,57                            | 23,46                                      | 29,42                            | 29,71                                      | 4,85                                 | 6,25                                | 56,57                         |
|  | 04/01       | 23,01                            |  | 28,44                            |  | 5,43                                 |                                     |                               |
| <b>Externa</b>                         | 02/01       | 16,95                            |  | 35,19                            |  | 18,24                                |                                     |                               |
|  | 03/01       | 19,04                            | 17,79                                      | 30,75                            | 32,22                                      | 11,71                                | 14,57                               | -                             |
|  | 04/01       | 17,29                            |  | 30,71                            |  | 13,22                                |                                     |                               |

Ao se analisar as quatro unidades no período de verão, pode-se perceber que a unidade A apresentou temperatura máxima média de 31,93°C, apenas 0,22°C abaixo da temperatura máxima média externa de 32,15°C. A unidade B apresenta comportamento semelhante, com temperatura máxima de 31,84°C. Isso se deve ao fato de ambas as unidades possuírem as aberturas voltadas para a orientação solar oeste. As unidades C e D também apresentaram temperaturas máximas inferiores, sendo que as duas unidades possuem aberturas para o leste.

A unidade que registrou as menores temperaturas e maior amortecimento foi a C, que possui sua maior face externa voltada para sul e as aberturas voltadas para leste. Esta habitação apresentou temperatura mínima média de 23,51°C e temperatura máxima média de 29,16°C, com amplitude média de 5,53°C e amortecimento médio de 61,57%. Em função da orientação solar das aberturas, a unidade D, que também possui aberturas na fachada leste, apresenta comportamento semelhante, com temperatura mínima média de 23,46°C,

temperatura máxima média de 29,71°C, amplitude média de 6,25°C e amortecimento médio de 56,57%.

Pode-se concluir que no período de verão o fator que mais influenciou no desempenho térmico das quatro unidades foi a orientação solar das aberturas, tendo em vista que as tipologias A e C possuem ambas sua maior face externa cega voltada para o sul, diferenciando na orientação das aberturas, leste e oeste, respectivamente.

Acredita-se que os resultados para o período de verão teriam sido mais satisfatórios caso a habitação não estivesse fechada e apresentasse ventilação cruzada, conforme sugere a NBR 15520 (ABNT, 2005c) como estratégia para a zona 2 brasileira.

## **5.2 Avaliação da influência da infiltração de ar**

O objetivo principal desta análise é observar a influência da infiltração de ar no desempenho térmico das edificações. Para este estudo foram calculadas as médias entre dormitório e sala para cada unidade, sendo comparadas todas as unidades entre si e com a curva de temperatura externa.

A avaliação está dividida em resultados de inverno e resultados de verão. Serão apresentados primeiramente os gráficos com as curvas de temperaturas e na seqüência os quadros com os resultados.

### **5.2.1 Período de inverno**

As Figuras 36, 37, 38 e 39 apresentam as curvas de temperatura das unidades A, B, C e D, respectivamente, no período de inverno, considerando a ocorrência ou não da infiltração de ar. A Tabela 12 lista os valores mais significativos de temperaturas obtidos através dos gráficos.

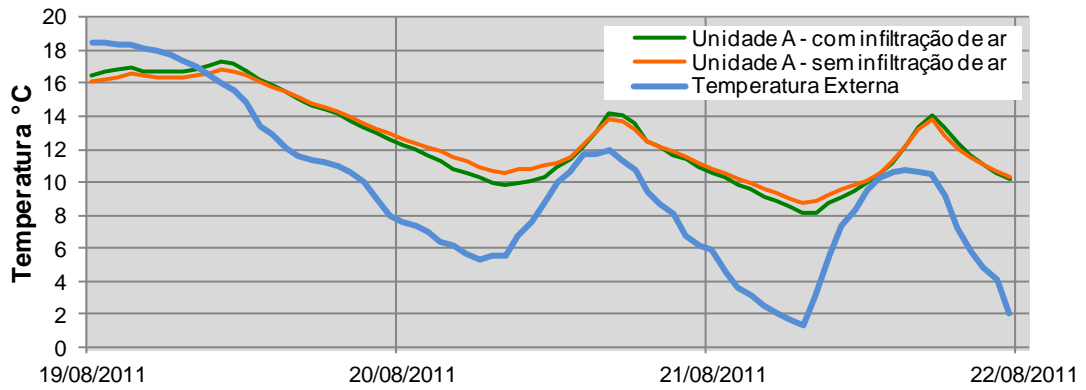


Figura 36 – Variação da temperatura interna da unidade A com e sem infiltração de ar no período de inverno

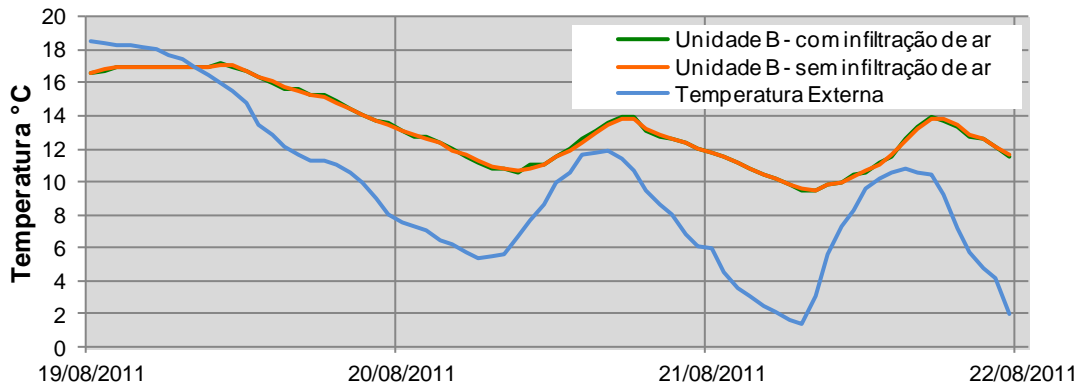


Figura 37 – Variação da temperatura interna da unidade B com e sem infiltração de ar no período de inverno

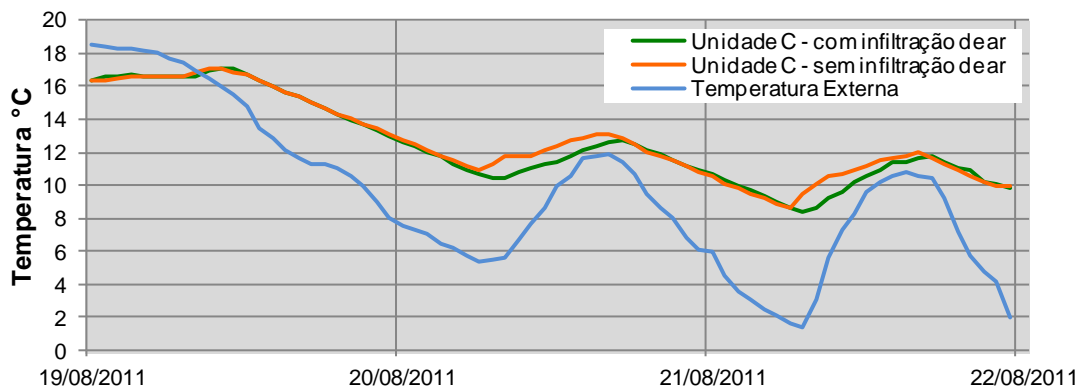


Figura 38 – Variação da temperatura interna da unidade C com e sem infiltração de ar no período de inverno

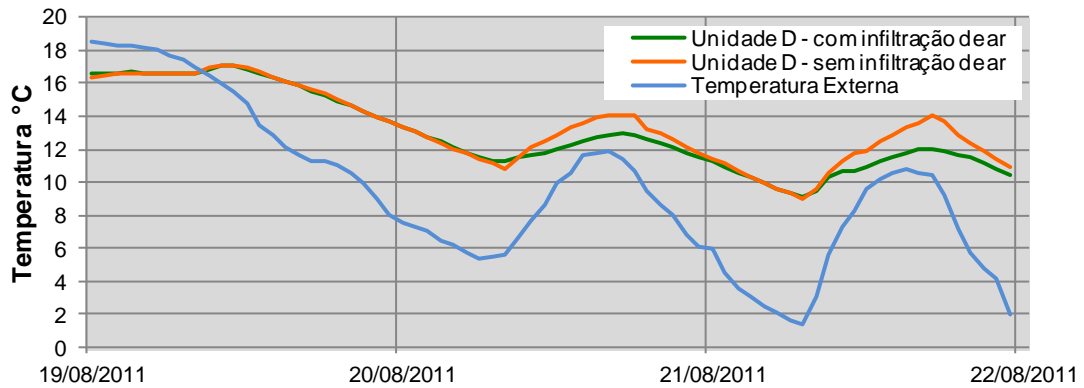


Figura 39 – Variação da temperatura interna da unidade D com e sem infiltração de ar no período de inverno

Tabela 12 – Temperaturas máximas e mínimas com e sem infiltração de ar para o período de inverno

|                      |                   | <i>Temp.<br/>Mínima<br/>(°C)</i> | <i>Média<br/>Mínimas<br/>(°C)</i> | <i>Temp.<br/>Máxima<br/>(°C)</i> | <i>Média<br/>Máximas<br/>(°C)</i> | <i>Amplitude<br/>Média<br/>(°C)</i> | <i>Amplitude<br/>Período<br/>(°C)</i> |
|----------------------|-------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>A</b>             | <b>Com infil.</b> | 8,17                             | 10,20                             | 17,25                            | 15,15                             | 4,95                                | 9,08                                  |
|                      | <b>Sem infil.</b> | 8,76                             | 10,78                             | 16,78                            | 14,80                             | 4,02                                | 8,02                                  |
| <b>B</b>             | <b>Com infil.</b> | 10,60                            | 11,18                             | 17,14                            | 14,97                             | 3,79                                | 6,54                                  |
|                      | <b>Sem infil.</b> | 9,42                             | 11,19                             | 17,12                            | 14,92                             | 3,73                                | 7,70                                  |
| <b>C</b>             | <b>Com infil.</b> | 8,35                             | 10,57                             | 17,10                            | 13,89                             | 3,32                                | 8,75                                  |
|                      | <b>Sem infil.</b> | 8,63                             | 10,82                             | 17,08                            | 14,08                             | 3,26                                | 8,45                                  |
| <b>D</b>             | <b>Com infil.</b> | 9,06                             | 11,32                             | 17,04                            | 14,10                             | 2,78                                | 7,98                                  |
|                      | <b>Sem infil.</b> | 9,00                             | 11,17                             | 17,10                            | 14,94                             | 3,77                                | 8,10                                  |
| <b>Temp. Externa</b> |                   | 1,17                             | 11,63                             | 18,47                            | 21,47                             | 9,84                                | 17,30                                 |

Analisando os resultados do período de inverno percebe-se a pouca influência da infiltração de ar no desempenho térmico das habitações.

Nas unidades A e C a infiltração de ar proporcionou uma queda na temperatura mínima. Na unidade A a temperatura mínima baixou 0,59°C e a média das mínimas reduziu em 0,58°C, e na tipologia C a temperatura mínima baixou

0,28°C e a média das mínimas reduziu em 0,25°C. Nas tipologias B e D a infiltração de ar pouco influenciou no desempenho térmico, sendo que na tipologia B a média das mínimas baixou em 0,01°C, e na tipologia D a média das mínimas foi elevada em 0,15°C.

As maiores alterações das amplitudes foram na tipologia A, onde a infiltração de ar gerou um aumento de 0,93°C na amplitude média e de 1,06°C na amplitude do período. As menores diferenças de amplitude foram na tipologia C, que apresentou um aumento de 0,06°C na amplitude média e um aumento de 0,30°C na amplitude do período.

Através desta análise pode-se perceber que nos dias de monitoramento a infiltração de ar por frestas teve pouca influência no desempenho térmico das casas.

### 5.2.2 Período de verão

As Figuras 40, 41, 42 e 43 apresentam as curvas de temperatura das unidades A, B, C e D com e sem infiltração de ar no período de verão. A Tabela 13 lista os principais valores de temperaturas obtidos através dos gráficos.

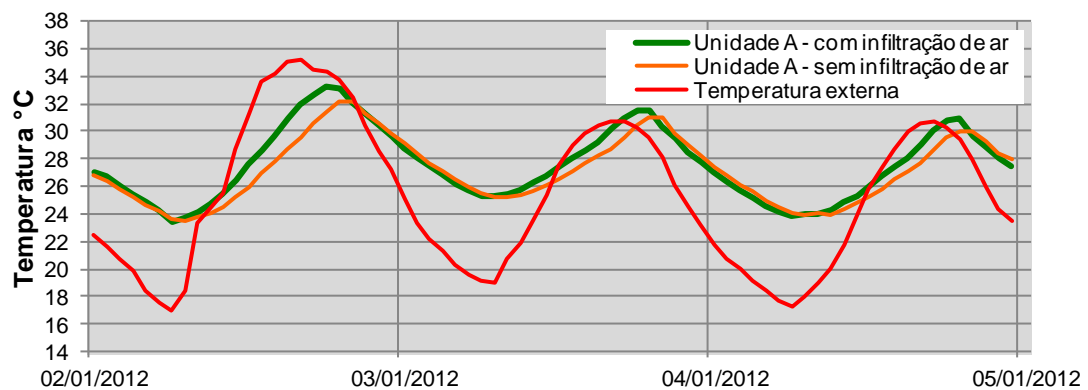


Figura 40 – Variação da temperatura interna da unidade A com e sem infiltração de ar no período de verão



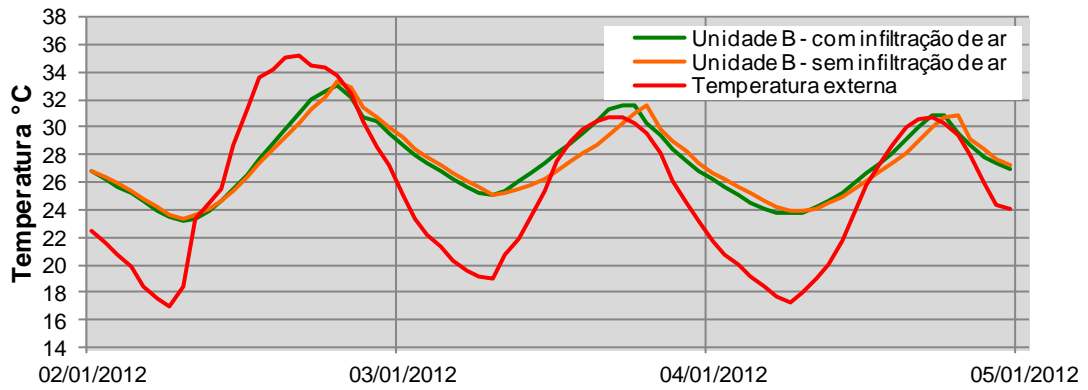


Figura 41 – Variação da temperatura interna da unidade B com e sem infiltração de ar no período de verão

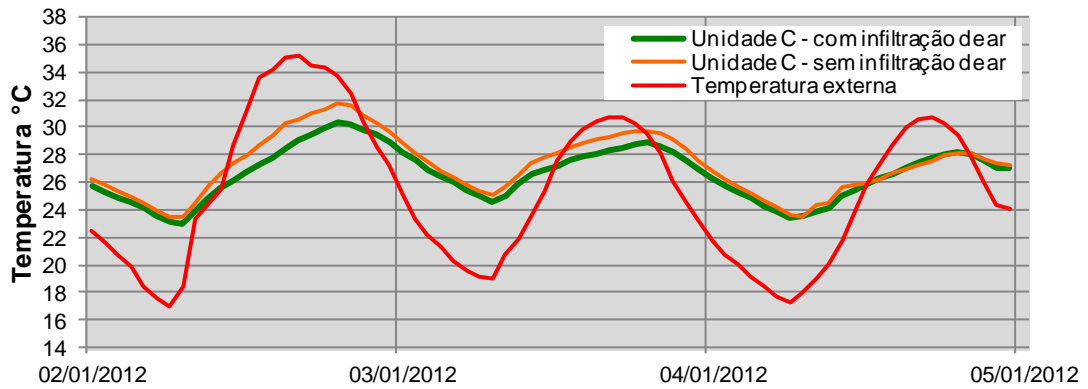


Figura 42 – Variação da temperatura interna da unidade C com e sem infiltração de ar no período de verão

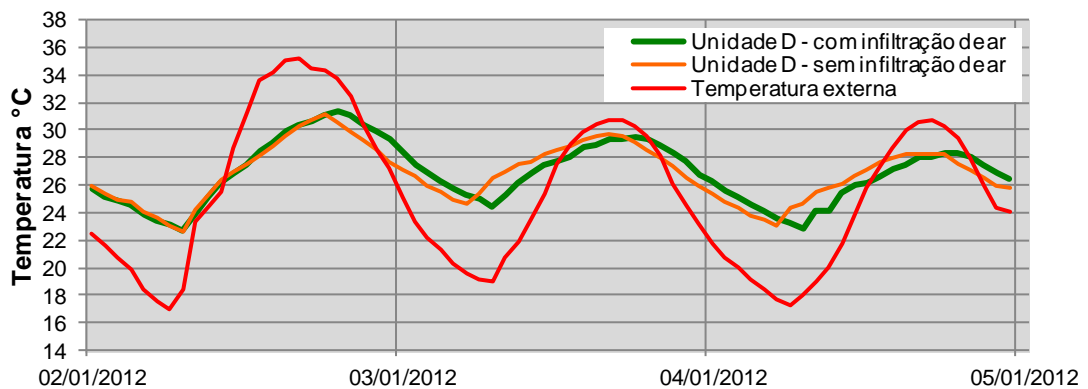


Figura 43 – Variação da temperatura interna da unidade D com e sem infiltração de ar no período de verão

Tabela 13 – Temperaturas máximas e mínimas com e sem infiltração de ar para o período de verão

|  |                   | <i>Temp.</i><br><i>Mínima</i><br>(°C) | <i>Média</i><br><i>Mínimas</i><br>(°C) | <i>Temp.</i><br><i>Máxima</i><br>(°C) | <i>Média</i><br><i>Máximas</i><br>(°C) | <i>Amplitude</i><br><i>Média</i><br>(°C) | <i>Amplitude</i><br><i>Período</i><br>(°C) |
|--|-------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|--|--|--|
| <b>A</b><br>Frente oeste/<br>lateral sul   | <b>Com infil.</b> | 23,43                                 | 24,19                                  | 33,31                                 | 31,92                                  | 7,73                                     | 9,91                                       |
|  | <b>Sem infil.</b> | 23,47                                 | 24,17                                  | 32,22                                 | 31,04                                  | 6,87                                     | 8,75                                       |
| <b>B</b><br>Frente oeste/<br>lateral norte | <b>Com infil.</b> | 23,13                                 | 24,03                                  | 33,04                                 | 31,84                                  | 7,81                                     | 9,91                                       |
|  | <b>Sem infil.</b> | 23,36                                 | 24,11                                  | 33,28                                 | 31,87                                  | 7,76                                     | 9,92                                       |
| <b>C</b><br>Frente leste/<br>lateral sul   | <b>Com infil.</b> | 22,93                                 | 23,66                                  | 30,30                                 | 29,13                                  | 5,47                                     | 7,37                                       |
|  | <b>Sem infil.</b> | 23,47                                 | 24,03                                  | 31,69                                 | 29,85                                  | 5,82                                     | 8,22                                       |
| <b>D</b><br>Frente leste/<br>lateral norte | <b>Com infil.</b> | 22,67                                 | 23,31                                  | 31,32                                 | 29,71                                  | 6,40                                     | 8,65                                       |
|  | <b>Sem infil.</b> | 22,66                                 | 23,43                                  | 31,11                                 | 29,70                                  | 6,27                                     | 8,45                                       |
|  | <b>Temp.</b>      | 16,95                                 | 18,66                                  | 35,19                                 | 28,19                                  | 9,53                                     | 18,24                                      |
|  | <b>Externa</b>    |                                       |  |                                       |  |  |  |

Assim como no período de inverno, no período de verão também é possível perceber que a infiltração de ar pouco influencia no desempenho térmico das habitações.

A tipologia que apresentou maior alteração da temperatura interna do ar foi a A, onde a infiltração proporcionou um aumento de 1,09°C na temperatura máxima e de 0,88°C na média das máximas, gerando uma diferença de 0,86°C na amplitude média e de 1,16°C na amplitude do período. A tipologia D foi a que apresentou a menor alteração da temperatura interna, sendo que a infiltração de ar proporcionou um aumento de 0,21°C na temperatura máxima, de 0,01°C na média das máximas, de 0,05°C na amplitude média e de 0,20°C na amplitude do período.

Observa-se que as trocas térmicas por infiltração também não são significativas no período de verão. Nesse período, no entanto, a ventilação natural será intensificada pelos moradores pela abertura das esquadrias, acarretando melhoras nas condições de conforto térmico internas.

### 5.3 Avaliação do desempenho térmico

Esta avaliação analisa uma única habitação, resultado da média entre as quatro unidades com infiltração de ar. O objetivo deste estudo é observar o comportamento médio das habitações para os períodos de inverno e de verão, independente da orientação solar de implantação, pois em geral, nesse tipo de empreendimento o projeto das edificações é padrão e a sua implantação é de acordo com o traçado dos logradouros.

#### 5.3.1 Período de inverno

A Figura 44 mostra a curva com a temperatura interna da habitação média no período de inverno, e a Tabela 14 lista os principais valores de temperatura obtidos através do gráfico.

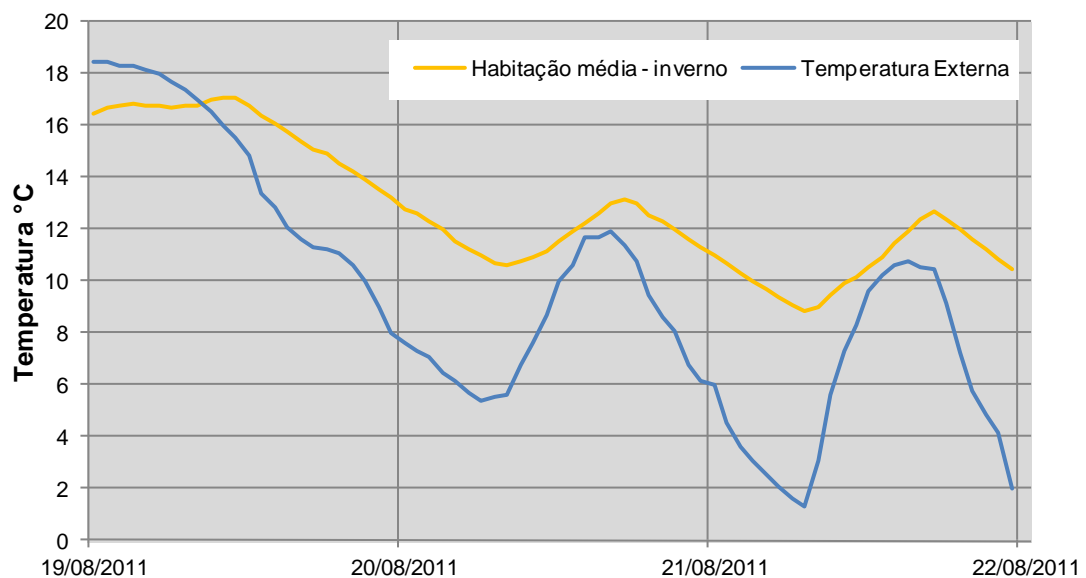


Figura 44 – Variação da temperatura interna da habitação média no período de inverno

Tabela 14 – Temperaturas máximas e mínimas da habitação média para o período de inverno

|                        | <i>Dias</i> | <i>Temp. Mínima</i><br>(°C) | <i>Temp. Mínima Média</i><br>(°C) | <i>Temp. Máxima</i><br>(°C) | <i>Temp. Máxima Média</i><br>(°C) | <i>Amplitude Diária</i><br>(°C) | <i>Amplitude Média</i><br>(°C) | <i>Amortecimento Médio</i><br>% |
|------------------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| <b>Habitação média</b> | 19/08       | 13,17                       |                                   | 17,07                       |                                   | 3,90                            |                                |                                 |
|                        | 20/08       | 10,60                       | 10,87                             | 13,16                       | 14,31                             | 2,56                            | 3,44                           | 61,04                           |
|                        | 21/08       | 8,85                        |                                   | 12,71                       |                                   | 3,86                            |                                |                                 |
| <b>Externa</b>         | 19/08       | 8,00                        |                                   | 18,47                       |                                   | 10,47                           |                                |                                 |
|                        | 20/08       | 5,36                        | 4,90                              | 11,93                       | 13,73                             | 6,57                            | 8,83                           | -                               |
|                        | 21/08       | 1,34                        |                                   | 10,79                       |                                   | 9,45                            |                                |                                 |

Para o período de inverno a edificação analisada apresentou temperatura mínima média de 10,87°C e temperatura máxima média de 14,31°C, resultando em uma amplitude média de 3,44°C e amortecimento médio de 61,04%. Neste mesmo período a temperatura mínima média externa foi de 4,90°C, sendo 5,97°C inferior à temperatura média interna, e a temperatura máxima externa foi de 13,73°C, sendo 0,58°C inferior à interna.

No dia 19/08 ocorreu uma queda na temperatura externa, porém ocorreu uma resistência da temperatura em acompanhar a temperatura externa, evidenciando a inércia térmica deste sistema construtivo.

Percebe-se que nos dias 20 e 21/08, em que as temperaturas externas ficaram mais estáveis, a temperatura interna se mantém sempre acima da temperatura externa mínima, com maior diferença à noite, quando a temperatura cai. Das setenta e duas horas consideradas, em quarenta e três horas o desempenho térmico das habitações atende a norma NBR 15575 (ABNT, 2012), que estabelece como nível mínimo de aceitação que a temperatura do ar interno seja superior em 3°C à temperatura do ar externo.

Analisando-se o deslocamento lateral que ocorre entre as curvas de temperatura, percebe-se um atraso térmico, ou seja, a variação de temperatura externa leva um determinado tempo para atingir o interior da edificação. A Tabela 15 apresenta as temperaturas mínimas e máximas internas e externas e o atraso térmico.

Tabela 15 – Temperaturas máximas externas e tempo de defasagem para o período de inverno

| <i>Dia</i> | <i>Temp. externa<br/>máxima<br/>°C</i> | <i>Temp. interna<br/>máxima<br/>°C</i> | <i>Tempo de<br/>defasagem</i> |
|------------|--|--|-------------------------------|
| 20/08      | 11,93<br>16:00 h                       | 13,16<br>17:00 h                       | 01 hora                       |
| 21/08      | 10,79<br>15:00 h                       | 12,71<br>17:00 h                       | 02 horas                      |

O dia 19/08 se caracteriza por uma queda brusca da temperatura, sendo atípico, mas destacando o comportamento de amortecimento da onda térmica pela inércia da edificação.

Nos dias típicos de inverno o horário em que a temperatura interna atinge o seu máximo é às 17:00 h, e o tempo de defasagem variou entre uma e duas horas. No dia 20/08 a diferença entre a temperatura externa máxima e a temperatura interna máxima foi de 1,23°C e levou uma hora para ocorrer. Já no dia 21/08 a diferença entre as duas temperaturas foi de 1,92°C e o tempo transcorrido entre elas foi de duas horas.

Percebe-se que os tempos de defasagem ficaram próximos aos calculados na Metodologia, que foram de 2,08 horas para as paredes de concreto armado e 1,69 horas para o sistema de cobertura.

### 5.3.2 Período de verão

A Figura 45 mostra a curva com a temperatura interna da habitação média no período de verão, e a Tabela 16 lista os principais valores obtidos através do gráfico.

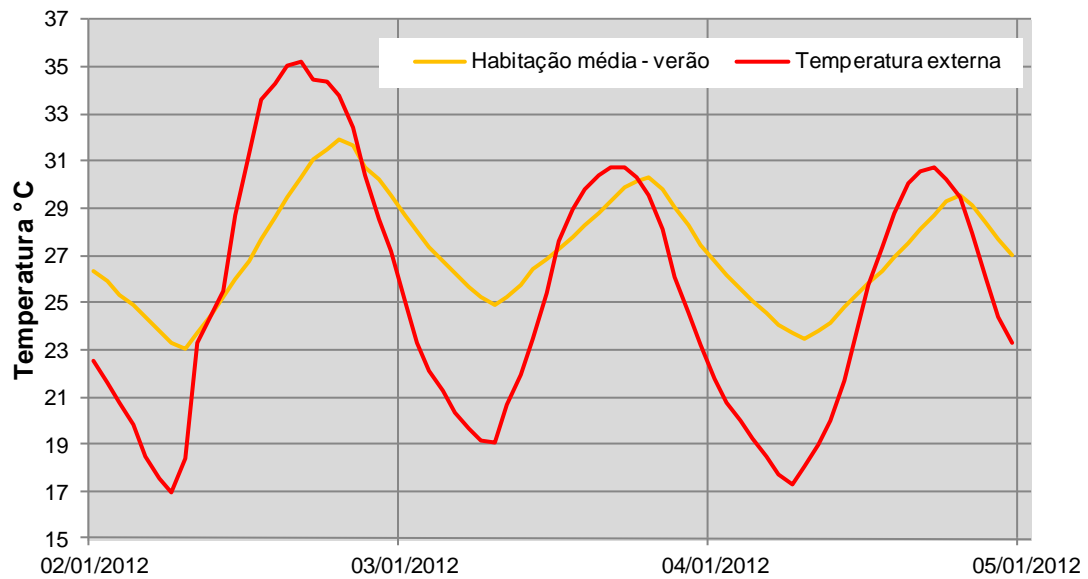


Figura 45 – Variação da temperatura interna da habitação média no período de verão

Tabela 16 – Temperaturas máximas e mínimas da habitação média para o período de verão

|                            | <i>Dias</i> | <i>Temp. Mínima (°C)</i> | <i>Temp. Mínima Média (°C)</i> | <i>Temp. Máxima (°C)</i> | <i>Temp. Máxima Média (°C)</i> | <i>Amplitude Diária (°C)</i> | <i>Amplitude Média (°C)</i> | <i>Amortecimento Médio %</i> |
|----------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| <b>Tipologia média</b>     | 02/01       | 23,04                    |                                | 31,93                    |                                | 8,89                         |                             |                              |
|                            | 03/01       | 24,88                    | 23,78                          | 30,33                    | 30,60                          | 5,45                         | 6,82                        | 52,60                        |
|                            | 04/01       | 23,43                    |                                | 29,55                    |                                | 6,12                         |                             |                              |
| <b>Temperatura Externa</b> | 02/01       | 16,95                    |                                | 35,19                    |                                | 18,24                        |                             |                              |
|                            | 03/01       | 19,04                    | 17,79                          | 30,75                    | 32,22                          | 11,71                        | 14,43                       | -                            |
|                            | 04/01       | 17,29                    |                                | 30,71                    |                                | 13,22                        |                             |                              |

Para o período de verão esta habitação apresentou temperatura mínima média de 23,78°C e temperatura máxima média de 30,60°C, resultando em uma amplitude média de 6,82°C e amortecimento médio de 52,60%. Neste mesmo período a temperatura média mínima externa foi de 17,79°C, sendo 5,99°C inferior à temperatura média interna, e a temperatura máxima externa foi de 32,22°C, sendo 1,62°C superior à interna.

Durante as altas temperaturas a habitação média mantém sua temperatura interna menos elevada do que a temperatura do ar exterior, e durante as baixas temperaturas sua temperatura interna se mantém mais elevada, evidenciando o bom amortecimento térmico da edificação. Esta habitação atende a norma NBR 15575 (ABNT, 2012), que estabelece que a temperatura interna deve ser igual ou inferior à temperatura máxima externa. Pode-se concluir que a habitação média demonstrou um bom desempenho térmico para o período de verão.

Observando-se as curvas de temperatura percebe-se o atraso para as altas temperaturas. A Tabela 17 apresenta as temperaturas mínimas e máximas internas e externas e o tempo transcorrido entre elas.

Tabela 17 – Temperaturas máximas internas e externas e tempo de defasagem para o período de verão

| <i>Dia</i> | <i>Temp. externa<br/>máxima<br/>°C</i> | <i>Temp. interna<br/>máxima<br/>°C</i> | <i>Tempo de<br/>defasagem</i> |
|------------|--|--|-------------------------------|
| 02/01      | 35,19<br>16:00 h                       | 31,93<br>19:00 h                       | 03 horas                      |
| 03/01      | 30,75<br>17:00 h                       | 30,33<br>19:00 h                       | 02 horas                      |
| 04/01      | 30,71<br>17:00 h                       | 29,55<br>19:00 h                       | 02 horas                      |

O horário em que a temperatura interna atinge seu máximo no período de verão é às 19:00 h, sendo que o tempo de defasagem para as altas temperaturas variou entre duas e três horas. No dia 02/01 a diferença entre a temperatura externa e a temperatura interna máxima foi de 3,26°C e o tempo de defasagem foi de três horas. Nos dias 03 e 04/01 as diferenças entre as temperaturas interna e externa máximas foi de 0,42 e 1,16°C, respectivamente, e o tempo de defasagem foi de duas horas.

## 5.4 Avaliação dos graus-hora de desconforto

Para esta avaliação foi empregado o método adaptativo proposto pela ASHRAE (2004), onde o intervalo de conforto é definido a partir da média mensal das temperaturas externas.

### 5.4.1 Período de inverno

Os limites de conforto determinados a partir da ASHRAE (2004) foram superpostos às curvas de variação de temperatura, dando origem aos gráficos das figuras 46 e 48. A Figura 46 mostra a curva da temperatura interna da habitação média, a curva da temperatura externa e os limites de conforto para o período de inverno.

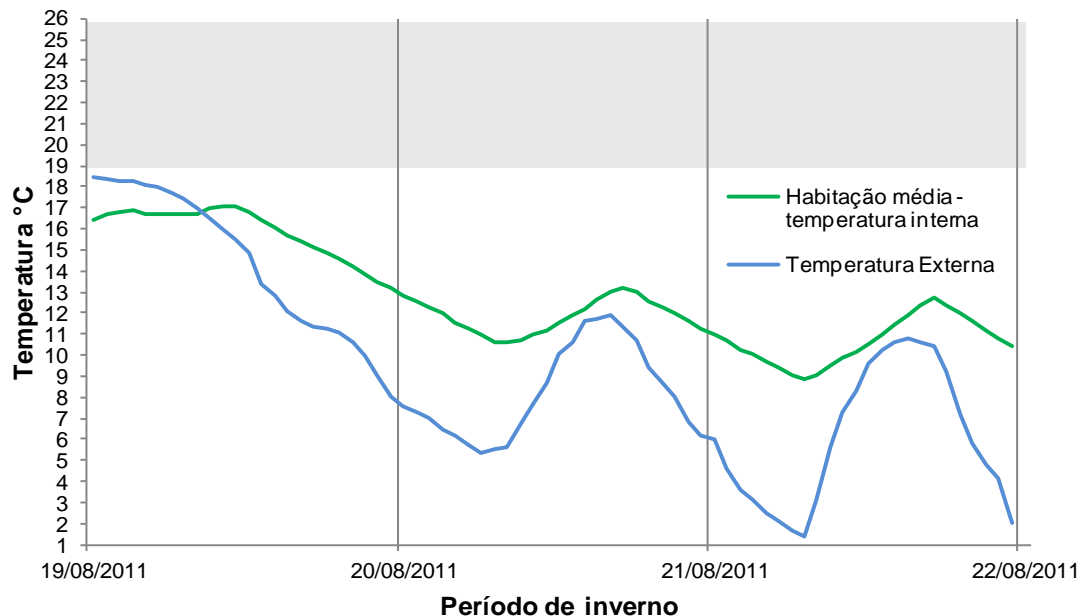


Figura 46 – Limites de conforto para o período de inverno



Observando-se o gráfico é possível perceber que ao longo dos três dias analisados a tipologia média não apresentou condições de conforto segundo a norma ASHRAE 55/ 2004. Em todo o período a habitação apresentou desconforto por frio, sendo a pior situação no dia 21/08, às 07:00 h, quando a temperatura interna foi de 8,85°C, sendo 10,15°C abaixo do limite de conforto estabelecido de 19°C.

Percebe-se também que a temperatura externa se manteve fora dos limites de conforto durante todo o período de monitoramento, apresentando desconforto por frio.

Se comprova que nessa zona bioclimática, nos períodos mais frios, é necessário o uso de aquecimento artificial.

A geração de calor interno pela ocupação, iluminação e equipamentos, que ocorrerá com o uso das edificações, poderá trazer melhoras às condições de conforto das mesmas, tendo em vista que as mesmas foram monitoradas sem a presença de fontes de calor.

A Figura 47 apresenta os graus-hora de desconforto no interior da habitação média e na temperatura externa no período de inverno.

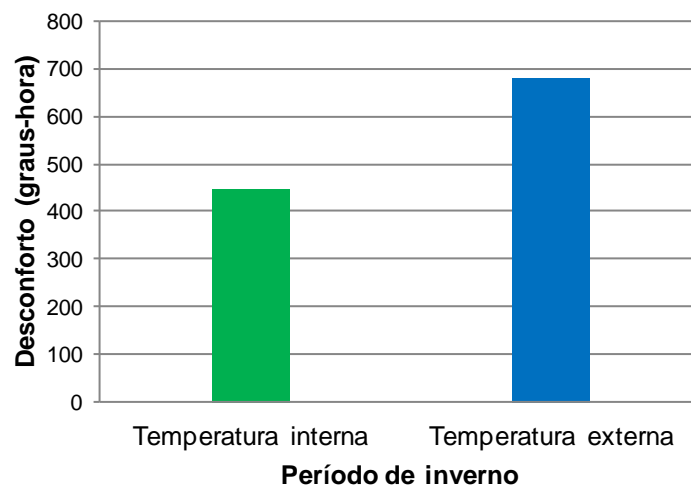


Figura 47 – Graus-hora de desconforto interior x exterior - período de inverno

A temperatura externa apresentou um valor de graus-hora de desconforto por frio de 681,34°C, enquanto a temperatura interna apresentou um valor de 446,88°C, também por frio.

Estabelecendo uma relação entre os graus-hora de desconforto decorrentes das temperaturas externa e interna foi possível observar que a edificação ameniza o desconforto existente no lado externo, porém ainda assim apresenta graus-hora de desconforto.

Através desta análise é possível concluir o sistema construtivo de paredes de concreto não proporciona condições de conforto para a Zona Bioclimática 2 brasileira no período de inverno.

#### 5.4.2 Período de verão

A Figura 48 mostra a curva da temperatura externa e da temperatura interna da tipologia média relacionada a limites de conforto para o período de verão.

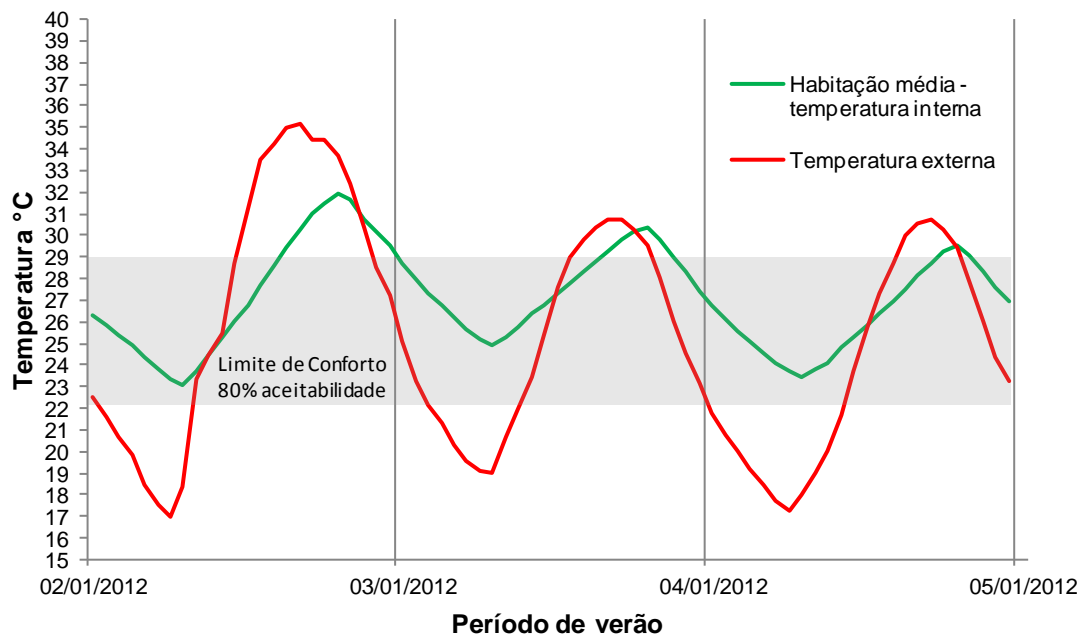


Figura 48 – Limites de conforto para o período de verão

O gráfico do período de verão evidencia que em 76,39% do tempo a tipologia média apresenta condições internas de conforto. Das setenta e duas horas de monitoramento, durante dezessete horas a habitação apresentou condições de desconforto por calor, resultando em uma média de 5,67 horas por dia de desconforto. A pior situação ocorreu no dia 02/01, em que a temperatura interna máxima foi de 31,93°C, estando 2,93°C acima do limite de conforto de 29°C.

Levando-se em consideração que todas as habitações estavam fechadas durante o monitoramento, provavelmente em condições normais de uso, com o controle do usuário em relação à ocorrência ou não de ventilação natural, o nível de conforto seja superior.

Observa-se que no período de verão a temperatura externa também apresentou desconforto. Durante vinte e duas horas do tempo de monitoramento, o equivalente a 30,55%, a temperatura externa apresentou desconforto por calor, e durante vinte e seis horas, o equivalente a 36,11% do tempo de monitoramento, a temperatura externa apresentou desconforto por frio.

A Figura 49 apresenta os graus-hora de desconforto da tipologia média e da temperatura externa no período de verão.

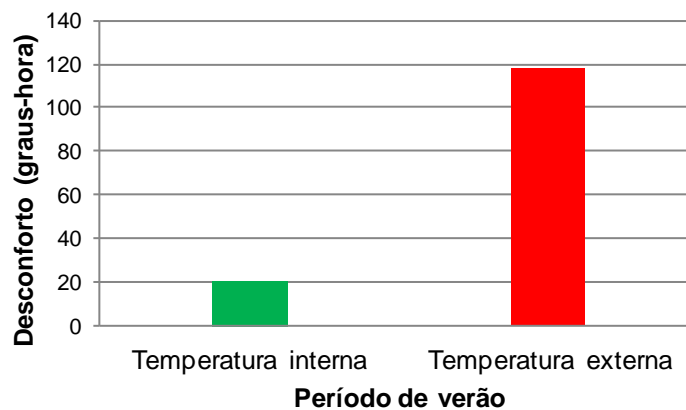


Figura 49 – Graus-hora de desconforto interior x exterior - período de verão

O interior da habitação apresentou 20,65°C de desconforto por calor, e a temperatura externa registrou 118,76°C de desconforto, sendo 58,11°C por calor e 60,65°C por frio.

Observa-se que, apesar da edificação apresentar desconforto no seu interior, a mesma reduz o desconforto registrado no exterior. Comparando-se este resultado com o período de inverno, percebe-se que no período de verão o sistema construtivo de paredes de concreto proporciona resultados superiores em relação ao conforto térmico.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar o desempenho térmico de edificações unifamiliares de interesse social executadas com paredes de concreto em Santa Maria, cidade pertencente à zona bioclimática 2 brasileira. Esta pesquisa é de grande importância, tendo em vista que este é um sistema construtivo usado em larga escala atualmente em habitações destinadas à população de baixa renda, porém a existência de dados a respeito do seu desempenho térmico é reduzida.

Através da revisão bibliográfica realizada foi possível pesquisar as mais recentes obras científicas relativas ao tema e dar embasamento teórico e metodológico para o desenvolvimento do estudo.

A metodologia utilizada se mostrou adequada e eficaz para a coleta dos dados, porém o período de dez dias utilizado no monitoramento foi insuficiente para a obtenção de uma seqüência de três dias com características semelhantes no período de inverno.

Através dos resultados obtidos foi possível concluir que este sistema construtivo é adequado ao uso em habitações de interesse social na Zona Bioclimática 2 brasileira para o período de verão, porém sugere-se o uso de artifícios que melhorem o seu desempenho térmico, tais como a possibilidade de ventilação cruzada e de ventilação da cobertura.

Para o período de inverno este sistema construtivo se apresentou inadequado, sendo necessário mudanças na concepção projetual das habitações, com melhor aproveitamento da radiação solar e uso da massa térmica. Nesse período a geração de calor internamente com a ocupação e uso da residência provavelmente trarão melhora nas condições de conforto térmico internas.

Avaliando o desempenho térmico, pode-se observar que no período de verão a temperatura interna se mantém abaixo da temperatura externa máxima, atendendo à NBR 15575 (ABNT, 2012). No período de inverno constatou-se que o desempenho térmico não atende totalmente à norma, pois em 42% do tempo de monitoramento a temperatura interna não atingiu o mínimo exigido de 3°C acima da temperatura externa.

Foi possível observar que no período de inverno a orientação solar das paredes cegas influencia mais nos ganhos térmicos do que a orientação solar das aberturas. As melhores situações para inverno são aquelas habitações que possuem a fachada principal voltada para leste.

Já no período de verão os resultados indicaram que o fator que mais influencia os ganhos térmicos é a orientação solar das aberturas e ocorre uma diferença significativa entre as tipologias em função da orientação solar, sendo as edificações que possuem aberturas para leste também as melhores situações para este período.

Observou-se, tanto para o período de inverno quanto para o período de verão, que a ocorrência de infiltração de ar pouco influenciou no desempenho térmico das habitações.

Quanto ao conforto térmico, através do método adaptativo proposto pela ASHRAE (2004) observou-se, que para o período de inverno, a habitação média não ficou em nenhum momento dentro dos limites de conforto para 80% de aceitabilidade.

Já para o período de verão esta habitação se apresentou dentro dos limites de conforto em 76,39% do tempo monitorado. Caso houvesse o controle da ventilação natural por parte dos usuários este resultado teria sido superior.

Diante do exposto, entendemos que para a obtenção de um bom desempenho térmico é de grande importância o conhecimento das características dos materiais construtivos por parte dos projetistas e a adequação da edificação às condições climáticas do local em que está inserida. Porém, a questão da moradia popular é bastante complexa e abrange vários aspectos, principalmente os econômicos, ficando o conforto térmico em segundo plano.

A presente pesquisa traz uma contribuição importante no sentido de esclarecer a questão do desempenho térmico em paredes de concreto armado em habitações de interesse social, possibilitando o uso adequado deste tipo de fechamento e a melhora das condições de conforto das habitações de interesse social, diminuindo a demanda de energia elétrica com condicionamento térmico.

## 6.1 Sugestões de trabalhos futuros

A partir desse trabalho sugere-se o desenvolvimento dos seguintes temas:

- Aplicar a metodologia proposta para avaliar o desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social com paredes de concreto armado nas outras zonas bioclimáticas brasileiras;
- Realizar simulação computacional das mesmas habitações analisadas nesta pesquisa para uma posterior comparação entre os dados alcançados com o monitoramento real e o simulado;
- Realizar simulação computacional das mesmas habitações analisadas nesta pesquisa variando as espessuras do material de fechamento e testando outras opções de materiais;
- Aplicar a metodologia proposta nesta pesquisa para avaliar o desempenho térmico de paredes de concreto para outros tipos de edificações;
- Aplicar metodologia que inclua entrevista com os usuários a fim de medir o nível de conforto térmico deste tipo de edificação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-1 – Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-2 – Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-3 – Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005c.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-4 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho - Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009d.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-5 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho - Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas.** Rio de Janeiro: ABNT, 2008e.

AKUTSU, M.; LOPES, J. I. E.; PESSOTO, T.C.; SOUZA, H.A. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **Revista Escola de Minas: Ouro Preto**, n. 2, vol. 58, 2005. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672005000200007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672005000200007). Acesso em: 17 jun. 2012

ASHRAE. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** ASHRAE Standard: 90.1-2004. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2004.

BARBOSA, M. J. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares.** Florianópolis: UFSC, 1997. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM – ABESC. **O potencial do Tilt-up**. São Paulo, 2012. Disponível em: < <http://www.abesc.org.br/novosite/tec-tilt-up.html> >. Acesso em: 01 jun. 2012.

BATISTA, J. O.; GHISI, E.; LAMBERTS, R.; PEREIRA, C. D. **Casa Eficiente: Simulação Computacional do Desempenho Termo-Energético**. Florianópolis: UFSC, 2010. Disponível em: < [http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente\\_vol\\_IV\\_WEB.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente_vol_IV_WEB.pdf) >. Acesso em: 03 mar. 2012.

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

BONDUKI, N., ROSSETTO, R., GHILARDI, F.H. **Ações integradas de Urbanização de Assentamentos Precários**. São Paulo: Ministério das Cidades, 2010.

BRASIL. Ministério das Cidades. Política Nacional de Habitação. Cadernos MCidades nº 4, Brasília, 2005.

CARRASCO, A. O. **O processo de projeto da habitação popular**. 2005. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

DOMINGUES, A. F. Disponível em:< <http://www.baixaki.com.br/papel-de-parede/30770-santa-maria-rs-por-alexandre-frasson-domingues.htm>>. Acesso em: 17 jun. 2012

DORNELLES, K. A. **Estudo de Casos sobre Inércia Térmica de Edificações na Cidade de São Carlos, SP**. 2004. 148f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2004.

DUMKE, Eliane M. S. **Avaliação do Desempenho Térmico em Sistemas Construtivos da Vila Tecnológica de Curitiba como Subsídio para a Escolha de Tecnologias Apropriadas em Habitação de Interesse Social**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2002.

FACCO, R.; NASCIMENTO, V. B.; WELANG, M. K. Variabilidade de temperaturas médias mensais em Santa Maria/ RS no período de 2004/2011. **Revista Geonorte**, Universidade Federal do Amazonas. Disponível em: <<http://www.revistageonorte.ufam.edu.br>>. Acesso em: 19 jun. 2012.

FERREIRA, J. S. W. **O processo de urbanização brasileiro e a função social da propriedade urbana**. Ações integradas de Urbanização de Assentamentos Precários. São Paulo: Ministério das Cidades, 2010.

FIGUEIREDO, C. M. Ventilação natural em edifícios. **Finestra**, São Paulo, n. 51, 2007. Disponível em: <http://www.arcoweb.com.br/artigos/cintia-mara-de-figueiredo-18-03-2008.html>>. Acesso em: 11 jun. 2012.

FIGUEIRÓ, A. S.; ROCHA, J. R. Poluição do ar no Bairro Centro de Santa Maria: variáveis geourbanas e geológicas. **Revista Mercator**. Fortaleza, n. 18, 2010. Disponível em: <<http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article>>. Acesso em: 21 jun. 2012.

FRICKE, G. T.; TOLEDO, M. A. **Avaliação do Desempenho Térmico de Unidade Habitacional de Interesse Social**. Itatiba: USF, 2007.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. **Avaliações de Sistemas Construtivos e Estabelecimento de Requisitos para Edificações Térreas com Paredes de Concreto**. Goiânia, 2007.

GIVONI, B. Confort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Building**, Lansanne, v.18, p. 11-23, 1992.

GOOGLE MAPS BRASIL. Acesso em: 02 abr. 2012.

GOULART, S. V. G. **Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações em Florianópolis**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1993.

GRIGOLETTI, G. C. **Método de Avaliação de Desempenho Higrotérmico de Habitações Térreas Unifamiliares de Interesse Social para Porto Alegre – RS**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

GRUPO PAREDES DE CONCRETO. **Parede de Concreto - Coletânea de Ativos**. 2009- 2010.

GUARESCHI, M. **Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações Desportivas na cidade de Santa Maria – RS**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2008.

ISO 7730. **Moderate thermal environments – determination of the OMV e PPD índices and specification of the conditions for thermal comfort**. International Standard, 19p, (1984).

ISO 7730. **Moderate thermal environments – determination of the OMV e PPD índices and specification of the conditions for thermal comfort**. International Standard, 19p, (2005).

JUSTUS, P. Construção de casa entra na fôrma. **Estado de São Paulo**, São Paulo, 17 de agosto de 2009. Disponível em: < <http://www.abadi.com.br> >. Acesso em: 18 out. 2011.

KAISER, J. C. Disponível em: <[http:// www.josecarloskayser.blogspot.com.br](http://www.josecarloskayser.blogspot.com.br)>. Acesso em: 17 jun. 2012

KOHLRAUSCH, P. P.; MAFFINI, C. D.; SANTIN, C. T. **Projeto Arquitetônico do Residencial Zilda Arns**. Santa Maria, 2010.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: ProLivros, 2004.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. **Conforto Térmico e Stress Térmico**. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética de Edificações da UFSC, 2002.

LAMBERTS, R.; MENDES, N.; NETO, J. A. B. C.; WESTPHAL, F. S. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 47-68, out./dez. 2005.

LEMOS, J. Vista da Rua D. 2010. Disponível em: < <http://www.panoramio.com/photo/35287165>>. Acesso em: 22 jun. 2012.

LIMA, M. A. S. **Estudo comparativo em habitação de interesse social**: O caso do Conjunto Habitacional Gervásio Maia. Vitruvius, 2009. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/10.112/23>>. Acesso em: 22 jun. 2012.

MARICATO, E. **Habitação e Cidade**. São Paulo: Atual Editora, 1997.

MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L. **Incidência das Variáveis Projetivas e de Construção no Consumo Energético dos Edifícios**. Porto Alegre: Sagra - DC Luzzatto, 1992.

MASSUDA, C.; MISURELLI, H. **Como construir parede de concreto**. Revista *Téchne*, e. 147, p. 74-80, jun. 2009.

MENEZES, M. S. **Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo –RS**. Passo Fundo: UPF, 2006. 127p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade de Passo Fundo.

OLIVEIRA, T. S. Desempenho das habitações do Conjunto Habitacional Gervásio Maia, em João Pessoa – PB. In: **SUSTENTABILIDADE E HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL**, 2010, Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.joaobn.com/chis/Artigos%20CHIS%202010/046-A.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2012.

PINHO, D. T. P. **Sistema construtivo parede de concreto – um estudo de caso**. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2010.

SACHT, H. M. **Painéis de vedação de concreto moldados in loco: avaliação de desempenho térmico e desenvolvimento de concretos**. 229p. + anexos. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

SALAMONI, G. F. **Evolução Urbana de Santa Maria. O Crescimento Urbano por extensão e suas repercussões em estruturas urbanas**. Estudo de caso: Santa Maria. Dissertação (mestrado em Planejamento Urbano e Regional). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SANTA MARIA. Lei Complementar Nº 072, de 04 de novembro de 2009. Institui a Lei de Uso e Ocupação do Solo, Parcelamento, Perímetro Urbano e Sistema Viário do Município de Santa Maria.

SANTA MARIA. Secretaria de Município de Habitação e Regularização Fundiária. Arquivos cedidos aos acadêmicos da Disciplina Ateliê de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo VIII do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFSM. Santa Maria, 2011.

SAYDELLES, A.P. **Estudo do campo térmico e das ilhas de calor urbano em Santa Maria-RS**. Santa Maria: UFSM, 2005. 221p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, Universidade Federal de Santa Maria.

VELOSO, M. Adequação da arquitetura a climas quente e seco: o caso da arquitetura vernacular no sertão nordestino. In: ENCONTRO NACIONAL DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 1999, Fortaleza. **Anais eletrônicos**. Fortaleza: UFRN, 1999. Disponível em <<http://www.labeee.ufsc.br>>. Acesso em 06 dez. 2010.

VILLAÇA, F. **Espaço intraurbano no Brasil**. São Paulo: Studio Nobel/Fapesp/LILP, 2001.