



UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
Área de Concentração: Infra-estrutura e Meio Ambiente

Milton Serpa Menezes

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE
HABITAÇÕES SOCIAIS DE PASSO FUNDO – RS

Passo Fundo

2006

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA

Milton Serpa Menezes

ORIENTADOR: Professora Rosa Maria Locatelli Kalil, Doutora.

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE
HABITAÇÕES SOCIAIS DE PASSO FUNDO – RS

**Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-graduação em Engenharia da
Universidade de Passo Fundo, para
obtenção do título de Mestre em
Engenharia.**

Passo Fundo

2006

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação:

“Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações Sociais de Passo Fundo – RS”

Elaborada por:

Milton Serpa Menezes

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia

Aprovado em: 06/06/2006
Pela Comissão Examinadora

Doutora Rosa Maria Locatelli Kalil
Presidente da Comissão Examinadora
Orientadora

Adriana Gelpi
UPF – faculdade de Engenharia e
Arquitetura

Doutora Miriam Jerônimo Barbosa
Universidade Estadual de Londrina

Doutor Eduardo Gralla da Cunha
UPF – Faculdade de Engenharia e
Arquitetura

Doutor Antônio Thomé
Coord. Prog. Pós-Graduação em
Engenharia

Doutor Juan Jose Mascaro
UPF – Faculdade de Engenharia e
Arquitetura

Passo Fundo
2006

À minha amada esposa Marinês Pereira Menezes e ao meu amado filho Kauê Pereira Menezes, pelo apoio constante e pela compreensão.

Em primeiro lugar, agradeço ao Grande Arquiteto do Universo por este privilégio que tive;

À minha querida orientadora, prof^a. Rosa Maria Locatelli Kalil, pelo acompanhamento e orientação;

Aos moradores das casas onde foram realizados os estudos: Sr. Altair, Dona Bruna, Sr. Jorge, Dona Maria, Sr. Marcos e seus familiares pela permissão e contribuição com esta pesquisa;

À prof^a. Miriam Jerônimo Barbosa (UEL), Prof. Paulo Otto Beyer (UFRGS), Prof. Fernando Simon Westphal (UFSC), Fábyo Luiz Pereira (UFRGS) e Prof. Eduardo Gralla da Cunha (UPF), Prof. Adams Marroquin (UPF), ao colega e Prof. Moacyr Fauth da Silva Júnior (UPF), pela disponibilidade e auxílio que prestaram;

Aos meus pais, sogros, irmãos e amigos, pelo apoio e compreensão durante este período;

A todos que, de uma forma ou outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho avalia o desempenho térmico de habitações de interesse social, tendo como estudo de caso os projetos habitacionais implantados em Passo Fundo, RS, no período de 2000 a 2004, visando verificar a aplicabilidade dos procedimentos das normas vigentes, especialmente NBR-15220 (ABNT, 2005). A metodologia adotada baseia-se em outros estudos já desenvolvidos, na norma citada e no projeto de norma 02:136.01 (ABNT, 2004), relativas ao desempenho térmico de edificações. Em uma amostra de cinco unidades habitacionais representativas do programa habitacional municipal do tipo PSH (Programa de Subsídios à Habitação de Interesse Social), foram realizadas medições de temperatura de bulbo seco de ar e de umidade relativa de ar, no inverno de 2005 e no verão de 2006. Ao mesmo tempo, realizaram-se cálculos de parâmetros de avaliação, tais como transmitância térmica das paredes e cobertura, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar. Utilizou-se o *software* de simulação *Energyplus*, desenvolvido para a avaliação de desempenho térmico e energético de edificações para análise do desempenho das edificações. Os resultados das inter-relações entre as características construtivas das unidades habitacionais, os parâmetros climáticos do município e a temperatura no interior dos ambientes demonstram que atendem, em parte, as exigências das normas quanto ao desempenho térmico, mas que alguns parâmetros estão aquém do estabelecido, exigindo recomendações em termos de tipologia, orientação solar, tecnologias construtivas e materiais das habitações de interesse social. Apresenta-se um diagnóstico da realidade, que poderá servir de subsídio para outros estudos visando a melhoria do desempenho térmico das habitações de interesse social dos futuros programas a serem implementados no município de Passo Fundo e na região, adequando-os às normas existentes.

Palavras-chaves: desempenho térmico, conforto térmico, habitações sociais, habitações de interesse social.

ABSTRACT

This work evaluates the thermal performance of social housing, having as case study the implanted housing projects in Passo Fundo, RS, in the period from 2000 to 2004, aiming at verifying the applicability of the procedures of the regulations which are in force, especially NBR-15220 (ABNT, 2005). The adopted methodology is based on other already developed studies, the cited regulation and the project of regulation 02:136.01 (ABNT, 2004), relative to the thermal performance of constructions. In a sample of five representative home units of the municipal housing program of the PSH (Program of Subsidies to the Housing of Social Interest) type, there have been measurements of temperature of dry bulb air and relative air humidity in the winter in the year 2005 and in the summer of 2006. At the same time, there were calculations of evaluation parameters such as thermal transmittance of the walls and covering, thermal capacity, thermal delay and solar factor. The used *software* was *EnergyPlus*, developed for the evaluation of thermal and energy performance of buildings for analysis of the behavior of the buildings. The results of the inter-relationships between the constructive characteristics of the homes, the climatic parameters of the city and the temperature inside environments show that they partly meet the requirements of the regulations concerning the thermal performance, but that some parameters are below the established ones, demanding recommendations regarding typology, solar orientation, constructive and material technologies of the homes of social interest. It offers a diagnosis of the reality that will serve as subsidy for other studies about alternatives to meet the regulations related to the thermal performance of the housing programs of social interest in the Passo Fundo town and in the region.

Keywords: thermal performance, thermal comfort, social homes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Zonas climáticas brasileiras	28
Figura 2 - Relação entre a sensação térmica previsível e a percentagem de insatisfação	45
Figura 3 - Tela do IDF Editor do <i>EnergyPlus</i>	54
Figura 4 - Etapas do processo de avaliação do desempenho térmico de edificações escolares	55
Figura 5 - Estrutura da metodologia proposta por Barbosa.....	59
Figura 6 - Foto da cidade de Passo Fundo.....	72
Figura 7 - Casa individual, casas geminadas (duas).....	73
Figura 8 - Casas geminadas – quatro unidades	74
Figura 9 - Mapa da cidade de Passo Fundo	74
Figura 10 - Abrigos interno e externo para proteção dos equipamentos	76
Figura 11 - Modelo representativo da metodologia aplicada	80
Figura 12 - UTReg – S1615, marca Squitter	81
Figura 13 – Forro com problemas	85
Figura 14 – Divisória defeituosas.....	85
Figura 15 – Piso e quadro da porta mal acabado.....	86
Figura 16 - Instalações elétricas irregulares	86
Figura 17 – Assoalho com irregularidades	86
Figura 18 – Maus acabamento.....	86
Figura 19 - Foto da habitação 1 (Vila Donária).....	87
Figura 20 - Situação e localização das habitações da Vila Donária	87
Figura 21 - Planta baixa da habitação 1, 2, 3 e 5.....	88
Figura 22 - Foto da habitação 2 (Vila Donária).....	89
Figura 23 - Vila Valinhos – localização habitação 3	90
Figura 24 – Foto Habitação 3 (Vila Valinhos)	90
Figura 25 - Núcleo Vila Santa Marta – localização habitação 4	91
Figura 26 - Foto da habitação 4 (Vila Santa Marta).....	92
Figura 28 - Núcleo habitacional da Vila Entre-Rios	93
Figura 29 - Foto da habitação 5 (Vila Entre-Rios).....	93
Figura 30 - Orientação das habitações em estudo	113

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Representação das temperaturas médias, máximas e mínimas de Passo Fundo	84
Gráfico 2 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 1 – no verão.....	96
Gráfico 3 - Umidade relativa do ar – medida na habitação 1 – no verão	96
Gráfico 4 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 2 – no verão.....	97
Gráfico 5 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 3 – no verão.....	98
Gráfico 6 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 4 – no verão.....	99
Gráfico 7 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 5 – no verão.....	99
Gráfico 8 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 1 – no inverno	100
Gráfico 9 - Umidade relativa do ar – medida na habitação 1 – no inverno.....	101
Gráfico 10 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 2 – no inverno	101
Gráfico 11 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 3 – no inverno	102
Gráfico 12 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 4 – no inverno	103
Gráfico 13 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 5 – no inverno	103
Gráfico 14 - Temperatura interna e externa – simulada na habitação 1 – 21/01	104
Gráfico 15 - Temperatura interna e externa – simulada na habitação 1 – 31/01	105
Gráfico 16 - Temperatura interna - simulada nas 5 habitações – 31/01	105
Gráfico 17 - Temperatura interna simulada nas 5 habitações – 12/07	106
Gráfico 18 - Temperatura interna e externa – simulada na habitação 2 – 20/07	106
Gráfico 19 - Comparativo das temperaturas internas e externas no inverno.....	107
Gráfico 20 - Comparativo entre as temperaturas simuladas e calculadas no verão	111
Gráfico 21 - Comparativo entre as temperaturas simuladas e calculadas no inverno	112
Gráfico 22 - PMV para um dia de verão - dia 21/01	114
Gráfico 23 - PMV para um dia de inverno – dia 21/07	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão	40
Tabela 2 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.....	41
Tabela 3 - Valores limites de temperatura e umidade das zonas de conforto	46
Tabela 4 - Habitações construídas no período de 2001 a 2004	73
Tabela 5 - Normais climatológicas de Passo Fundo, do período 1961-1990	83
Tabela 6 - Característica das habitações estudadas	85
Tabela 7 - Parâmetros calculados das 5 habitações analisadas	94
Tabela 8 - Comparativo das aberturas de ventilação existente e NBR 15220.....	95
Tabela 9 - Comparativo das aberturas de ventilação existente e PNBR 02:136.01	109
Tabela 10 - Percentual anual das temperaturas inferiores a 12 °C	109
Tabela 11 - Desempenho térmico no verão	110
Tabela 12 - Desempenho térmico no inverno.....	111

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMN - Associação Mercosul de Normalização
ANSI - *American National Standards Institute*
ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ARQUITROP - Programa computacional de análise de desempenho térmico de edifícios
ASCII - *American Standard Code for Information Interchange*
ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering*
ASTM - *American Society for Testing and Materials*
BLAST - *Building Loads Analysis and Thermodynamics*
BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Social
BNH - Banco Nacional de Habitação
BS - *British Standards*
CAD - *Computer Aided Design*
CEN - *Comité Européen de Normalisation*
CIENTEC - Fundação de Ciência e Tecnologia
COHAB - Companhia de Habitação
COMFIE - Cálculo de Multizonas Fixadas a uma Interface Inteligente
COMIS - *Conjunction of Multi-zone Infiltration Specialists*
CONMETRO - Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
CSTB – *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*
CSV - *Comma Separated Values*
CT - Capacidade Térmica
DOE - *Department of Energy*
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMPD - *Effective Moisture Penetration Depth*
ENCAC - Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído
ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
EPW - *EnergyPlus Weather files*
FGTS - Fundo de Garantia por Tempo de Serviço
FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos
FS - Fator Solar
HIS - Habitação de Interesse Social
HVAC - *Heating, ventilating and air-conditioning*
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBPSA - *International Building Performance Simulation Association*
IDF - *Input Data Files*
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO - *International Organization for Standardization*
ITS - Índice de Tensão Térmica
LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
NBR - Norma Brasileira
NBS - *National Bureau of Standad*
NBSLD - *National Bureau of Standards – Load Determination*
OGU - Orçamento Geral da União
ONGs - Organizações não-governamentais
PBQP - Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade
PMV - Porcentagem de valor médio

PNBR - Projeto de Norma Brasileira
PPD - Porcentagem de pessoas insatisfeitas
PSH - Programa de Subsídio à Habitação de Interesse Social
SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
TBS - Temperatura de Bulbo Seco
TE - Temperatura Efetiva
THEDES - *Thermal Design*
TMY2 - *Typical. Meteorological Year II*
TRNSYS - *A Transient System Simulation Program*
TRY - *Test Reference Year*
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina
UK - *United King* (Reino Unido)
UPF - Universidade de Passo Fundo
UR - Umidade Relativa do Ar
USA - *United States of America*
USP - Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO.....	15
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	15
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	16
1.3 JUSTIFICATIVAS.....	17
1.4 OBJETIVOS.....	19
1.4.1 <i>Objetivo geral</i>	19
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	19
1.5 ESCOPO E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO.....	19
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL.....	21
2.2 QUALIDADE DE VIDA E CONFORTO.....	23
2.3 DADOS CLIMÁTICOS.....	26
2.3.1 <i>Fatores climáticos</i>	29
2.3.2 <i>Dados dos dias típicos</i>	32
2.4 NORMAS E METODOLOGIAS PARA AVALIAR O DESEMPENHO TÉRMICO.....	33
2.4.1 <i>Norma NBR - 15220 da ABNT - metodologia de avaliação do desempenho térmico</i>	34
2.4.2 <i>Projeto de Norma 02:136.01: desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos</i>	39
2.4.3 <i>Outras normas ou recomendações</i>	42
2.5 PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO PARA A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO.....	46
2.5.1 <i>Programa COMFIE</i>	48
2.5.2 <i>Programa NBSLD</i>	48
2.5.3 <i>Programa THEDES</i>	49
2.5.4 <i>Programa ARQUITROP</i>	49
2.5.5 <i>Programa DOE</i>	50
2.5.6 <i>Programa TRNSYS.15</i>	50
2.5.7 <i>Programa BLAST</i>	50
2.5.8 <i>Programa EnergyPlus</i>	51
2.6 PESQUISAS REALIZADAS NO BRASIL SOBRE DESEMPENHO TÉRMICO.....	55
2.6.1 <i>Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares</i>	55
2.6.2 <i>Análise de desempenho térmico de uma habitação unifamiliar térrea</i>	56
2.6.3 <i>Critérios mínimos de desempenho de habitações térreas de interesse social</i>	57
2.6.4 <i>Metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares</i>	57
2.6.5 <i>Avaliação de desempenho térmico realizados na Vila Tecnológica de Curitiba</i>	60
2.7 OUTROS TRABALHOS SOBRE DESEMPENHO TÉRMICO.....	62
2.8 CONCLUSÃO.....	69
3 - MÉTODOS E MATERIAIS.....	71
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....	71
3.1.1 <i>Caracterização da amostra</i>	72
3.1.2 <i>Coleta de dados</i>	75
3.1.3 <i>Software de simulação</i>	77
3.1.4 <i>Dados climáticos utilizados</i>	78
3.1.5 <i>Desenvolvimento das atividades e tratamento dos dados:</i>	79

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	81
4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	83
4.1 DADOS CLIMÁTICOS DE PASSO FUNDO	83
4.2 CARACTERÍSTICAS DAS HABITAÇÕES AVALIADAS	84
4.2.1 Habitação nº 1 - Vila Donária.....	86
4.2.2 Habitação nº 2 - Vila Donária.....	89
4.2.3 Habitação nº 3 – Vila Valinhos:.....	89
4.2.4 Habitação nº 4 - Vila Santa Marta.....	91
4.2.5 Habitação nº 5 - Vila Entre-Rios.....	93
4.3 PROPRIEDADES TÉRMICAS CALCULADAS	94
4.4 RESULTADOS OBTIDOS NAS MEDIÇÕES EFETUADAS DE TEMPERATURA E UMIDADE	95
4.4.1 Resultados das medições no verão:.....	95
4.4.2 Resultados das medições no inverno	100
4.5 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES REALIZADAS UTILIZANDO O ENERGYPLUS.....	104
4.5.1 Resultados das simulações para o verão:.....	104
4.5.2 Resultados das simulações para o inverno:	106
4.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	107
4.6.1 Relacionado à NBR 15220 da ABNT.....	107
4.6.2 Relacionado ao PNBR 02:136.01 da ABNT.....	108
4.6.3 Comparativo entre as temperaturas simuladas e medidas	111
4.6.4 Análise da orientação das habitações	112
4.6.5 Conforto térmico.....	113
5 - CONCLUSÕES	116
5.1 CONCLUSÕES DA PESQUISA.....	116
5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	119
REFERÊNCIAS	120
ANEXOS	127

1 - INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A Constituição Federal (BRASIL, 1988), assegura à todos os brasileiros e estrangeiros residentes no Brasil, o direito à vida, dizendo em seu Art. 5º, que “todos são iguais perante a lei, sem distinção de qualquer natureza, garantindo-se aos brasileiros e aos estrangeiros residentes no País a inviolabilidade do direito à vida, à liberdade, à igualdade, à segurança e à propriedade”.

A garantia destes direitos visa dar uma vida digna ao ser humano. Dentro desta garantia está o direito à habitação, que significa mais do que um abrigo do sol e da chuva. Na verdade o ser humano, sendo um ser social, constitui as suas famílias. Estas famílias necessitam de uma moradia, um lugar de repouso, onde se encontre calor e proteção. Assim a moradia ou habitação é mais do que um direito, é uma necessidade para que o ser humano possa desenvolver as suas potencialidades.

As políticas públicas de habitação devem ir além da simples construção de casas àquelas famílias de baixa renda. Isso porque o conceito de habitação abrange o acesso à cidade e àquilo que representa a vida no espaço urbano, como emprego, educação, cultura, transporte, saúde, esporte, lazer, etc. (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 1999). Diante disso, é importante que as habitações construídas possuam condições de habitabilidade, proporcionando condições de saúde e conforto aos seus ocupantes, sobretudo com relação às condições térmicas. No inverno, um ambiente muito frio pode provocar várias doenças, podendo levar até mesmo à morte, visto que a maioria dessa população não possui agasalhos adequados. No verão, igualmente, a permanência em um ambiente com sobrecarga térmica, ou seja, com temperaturas elevadas, provoca um desgaste muito grande do organismo, podendo levar à exaustão e à desidratação.

Por isso, uma habitação social deve observar definições tecnológicas, atendendo a parâmetros técnicos fixados por normas nacionais e/ou internacionais. As habitações construídas devem oferecer condições de habitabilidade, propiciando aos seus ocupantes condições ambientais interiores capazes de protegê-los das variações climáticas e criando um local digno e adequado a suprir as necessidades básicas.

1.2 Problema de pesquisa

No Brasil, há um grande número de famílias que vive em condições inadequadas quanto à alimentação, educação, saneamento e hábitat. Visando ao suprimento dessas carências, muitos programas públicos têm sido criados, com o objetivo de construir e oferecer habitações de interesse social, com as condições mínimas desejáveis às famílias de baixa renda.

A realidade mostra que, na grande maioria dos programas governamentais, os administradores públicos têm se preocupado mais com a quantidade de habitações sociais construídas do que com a qualidade, ou seja, não são observados os aspectos bioclimáticos e a sua adequação ao uso. Geralmente, procura-se reduzir ao máximo o custo da construção pela aplicação de padrões construtivos de baixo nível, sem a preocupação com as condições de conforto e habitabilidade destas habitações.

Levando-se em conta o aspecto humano e social, não basta construir uma habitação, tem-se que oferecer condições de conforto que possam garantir um nível razoável de qualidade de vida dos usuários. Assim, torna-se muito importante conhecer os níveis de conforto existentes nas habitações de interesse social construídas, sendo o conforto térmico um dos aspectos mais significativos, quando se avalia o nível de conforto de uma habitação. Dessa forma, esta pesquisa pretende avaliar o desempenho térmico das habitações que estão sendo construídas no município de Passo Fundo (RS), para conhecer a realidade existente.

Um fator que contribui para a situação existente está ligado ao fato do Brasil não possuir um quadro completo de normalização, estando apenas iniciando este processo que define parâmetros e desempenhos a serem obtidos neste tipo de edificação. Há diversos estudos realizados nas mais diversas partes do país, que se baseiam principalmente em dados de normas internacionais.

Visando preencher esta lacuna, o Comitê Brasileiro da Construção Civil elabora estudos de normas capazes de definirem parâmetros para o desempenho térmico de habitações. Nesse sentido podem ser citadas: Norma NBR-15.220 - Desempenho Térmico e o Projeto de Norma 02:136.01 - Desempenho de Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos. A primeira foi aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em abril de 2005, já estando em vigor desde então. O projeto de norma citado encontra-se em discussão pública.

Pela edição destas normas, esta pesquisa torna-se importante, visto que se pretende verificar qual é a situação das habitações de interesse social construídas em Passo Fundo, com

relação aos parâmetros definidos pelas normas (ABNT, 2005), concernente ao desempenho térmico.

Como ocorre em todo país, em Passo Fundo foi construído um grande número de habitações de interesse social (427 unidades), no período de 2001 a 2004, através de iniciativas do setor público, com o objetivo de sanar o déficit habitacional existente. No entanto, não há estudos técnicos sobre o nível de conforto apresentado por estas habitações aos seus usuários.

Nesta pesquisa, buscou-se conhecer a realidade com relação ao conforto térmico das habitações de interesse social, construídas em Passo Fundo, bem como avaliar os parâmetros utilizados para determinar o desempenho térmico desta habitação e confrontá-los com aqueles que são definidos pela NBR-15.220 da ABNT - Desempenho Térmico, sobretudo com relação à parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social (ABNT, 2005) e os parâmetros de avaliação térmica fixados no projeto de norma 02:136.01 - Desempenho de Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos (ABNT, 2004). Também, comparam-se os dados levantados com outras normas internacionais e outros estudos realizados.

Através deste trabalho, buscou-se à resposta a seguinte questão: qual a realidade das habitações de interesse social construídas em Passo Fundo, no período de 2001 à 2004, com relação ao desempenho térmico, tendo por base as normas e projetos de norma da ABNT, relativos ao tema.

1.3 Justificativas

O ser humano sempre buscou abrigo para se proteger das adversidades naturais existentes em nosso planeta. Inicialmente, conseguia o seu abrigo em cavernas que, além de protegerem contra o ataque de animais selvagens, geralmente apresentavam um bioclima estável, devido à sua inércia térmica e contato com o solo, o que lhe garantia certo conforto.

Com a evolução da civilização e com o aumento da população, foram buscadas alternativas de abrigo, surgindo muitos tipos de construções. Estas mudaram as suas características desde o seu surgimento. Hoje, há diversos tipos de padrões de edificações que utilizam as mais variadas tecnologias construtivas.

Como em nossa sociedade a riqueza e a tecnologia existentes não são disponíveis de forma igualitária a todos os seus habitantes, há pessoas que vivem com escassos recursos materiais e não dispõem de abrigos adequados para viver.

A sociedade, através de diversos mecanismos, busca democratizar os recursos existentes, de forma a possibilitar o acesso a condições que possibilitem um mínimo de qualidade de vida. Assim, a área de habitação, exige programas que ofereçam alternativas para viabilizar o acesso das famílias de baixa renda às chamadas construções de interesse social. Nesse sentido, observa-se um pluralismo, havendo sistemas de construções cooperativadas ou solidárias ou programas habitacionais realizados e financiados pelo poder público (WERNA, 2001).

No caso, os programas de construção de habitações de interesse social desenvolvidos visam suprir a necessidade vital de abrigo com as condições mínimas desejáveis às pessoas que vivem em situações precárias. Portanto, estas habitações sociais devem possuir características tais, que propiciem condições de habitabilidade e permitam aos seus habitantes um ambiente no qual usufruam de qualidade de vida. Já que não basta este abrigo protegê-los do sol e da chuva, tem de protegê-los das mudanças climáticas, por exemplo. As pessoas que forem submetidas a condições térmicas adversas terão um maior gasto energético e diminuídas as suas defesas imunológicas e estarão mais susceptíveis a doenças, ainda mais se considerarmos que estas pessoas, muitas vezes, não têm satisfeitas as suas necessidades nutricionais.

Estando o Brasil iniciando o processo de normatização, torna-se fundamental a realização de estudos e pesquisas para conhecer a realidade encontrada nas comunidades com relação aos parâmetros definidos pelas normas. Assim, visando conhecer a realidade das habitações sociais construídas em Passo Fundo, nos últimos quatro anos, sistematizaram-se as informações através de um estudo técnico-científico, relativo ao desempenho térmico destas habitações, para que assim se tenham subsídios para pesquisas futuras e para abastecer os gestores públicos com informações importantes que possam embasar as suas decisões. Com base nestas informações levantadas, tornar-se-ão possíveis iniciativas que visem melhorar o desempenho térmico destas habitações. Desse modo, os dirigentes públicos terão à disposição informações técnicas e científicas que podem ser utilizadas, visando melhorar o nível das habitações construídas e a qualidade de vida de seus ocupantes.

Este estudo utilizou uma sistemática, incluindo cálculos, medições e simulações, cujo modelo de procedimentos metodológicos poderá ser utilizado para verificação de unidades habitacionais de novos programas com relação à avaliação do desempenho térmico destas edificações residenciais, tanto em Passo Fundo como em outros municípios do país.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Avaliar as condições de desempenho térmico das habitações de interesse social construídas em Passo Fundo no período de 2001 a 2004, levando-se em consideração o que estabelecem as normas da ABNT e outras normas internacionais, o que possibilitará iniciativas futuras que permitam otimizar o conforto térmico das mesmas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar as práticas construtivas e tipologias de habitações sociais em Passo Fundo – RS, no período de 2001 a 2004.
- Definir uma sistemática com procedimentos metodológicos para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares em estudo.
- Avaliar e discutir resultados confrontando com os parâmetros estabelecidos pelos projetos de norma da ABNT e metodologias existentes.
- Aplicar procedimentos metodológicos definidos e análise dos resultados obtidos a partir de amostras selecionadas.
- Disponibilizar informações capazes de subsidiar a tomada de decisão referentes às práticas construtivas e ao projeto das habitações sociais, visando melhorar o desempenho térmico destas habitações.

1.5 Escopo e delimitação do trabalho

Neste trabalho, busca-se conhecer a realidade com relação ao desempenho térmico das habitações sociais construídas em Passo Fundo, no período de 2001 a 2004, levando-se em conta o que agora estão sendo regulamentados no Brasil, a definição de parâmetros técnicos a serem seguidos.

O trabalho foi desenvolvido em unidades habitacionais construídas em Passo Fundo, por meio do Programa de Subsídio à Habitação de Interesse Social (PSH), no período de 2001 a 2004.

Com base no diagnóstico da realidade das habitações construídas no município, será possível o estudo e implementação de medidas que visem a melhorar o desempenho térmico

das habitações que serão construídas futuramente, visando atender ao estabelecido nas normas e garantindo uma melhor qualidade de vida dos seus ocupantes.

1.6 Estrutura do trabalho

Além do presente capítulo, no qual se apresentam o problema de pesquisa, a justificativa, os objetivos e as delimitações do trabalho, esta dissertação está composta por mais quatro capítulos.

No capítulo 2, discute-se o estado da arte relativo ao tema da pesquisa, quando se apresenta uma revisão bibliográfica com as bases científicas que embasam este estudo, além de outros trabalhos realizados na área.

No capítulo 3, apresenta-se o método de pesquisa utilizado no presente trabalho. Ainda, nesse capítulo, a estratégia, o delineamento da pesquisa, assim como as atividades realizadas são discutidas detalhadamente.

No capítulo 4, são apresentados os resultados alcançados através dos estudos realizados, sendo também feita uma análise da realidade encontrada e aquilo que é definido pelas normas técnicas.

No capítulo 5, apresentam-se as conclusões da pesquisa, discute-se a situação encontrada e o que pode ser feito para se melhorar a realidade, além de se sugerirem novos trabalhos relacionados ao tema estudado.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Habitações de interesse social

Esta pesquisa torna-se relevante em virtude da nova concepção de política habitacional, incorporados à Constituição Federal (BRASIL, 1988), relativos ao direito à cidade, à função social da propriedade e ao direito à moradia. Devem, portanto, estes princípios estarem incorporados aos instrumentos de política urbana, em qualquer gestão pública, visando garantir condições de vida digna a todos os cidadãos. Neste sentido, também foi criado o Estatuto da Cidade (BRASIL, 2006).

Inicialmente, deve-se buscar a definição para “habitação” e “habitação de interesse social”, pois estes são objetos desta pesquisa. Conforme o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 1999), habitação é definida como “moradia provida de infra-estrutura básica (água, luz, telefonia e esgotos), cujos moradores têm acesso aos serviços essenciais (educação, saúde, lazer, etc.)”.

Já, Habitação de Interesse Social (HIS), o plano Diretor de Porto Alegre (1999) define como “aquela destinada à população que vive em condições de habitabilidade precárias e/ou com renda igual ou inferior a cinco salários mínimos”. Da mesma forma, o Plano Diretor de Recife (2004) define Habitação de Interesse Social com sendo “toda moradia, com condições adequadas de habitabilidade, destinada à população de baixa renda que disponha de, pelo menos, uma unidade sanitária”.

A palavra habitação deriva de habitar e, de acordo com Almeida (2001), habitar é uma experiência existencial humana relacionada com o meio em que vive. Afirma ela que, para viabilizar esta existência espacial, o homem interfere no meio, com a finalidade de adaptá-lo aos seus propósitos, de acordo com suas necessidades de sobrevivência e de transcendência, propiciando o bem-estar psicofisiológico humano. A habitabilidade é a característica essencial de uma edificação, mas que dependerá de um conjunto de qualidades para ser efetiva.

Segundo Almeida (2001) as habitações providas pelo Estado, destinadas à população de baixa renda, têm apresentado problemas de habitabilidade aos seus moradores.

De acordo com Abiko e Ornstein (2002), as Habitações de Interesse Social devem contemplar a inserção urbana. Entendem que a inserção urbana é a forma com que as unidades habitacionais unifamiliares ou multifamiliares se articulam no espaço urbano, considerando a sua localização, a sua adequação à topografia, as suas conexões com as infra-estruturas e o atendimento por serviços públicos.

Além da má qualidade, no Brasil, há dificuldade de acesso a uma habitação. De acordo com Cardoso e Ribeiro (2002), desde a extinção do Banco Nacional de Habitação (BNH), em 1988, a habitação persiste como um bem inatingível para grande parcela dos brasileiros. Afirmam que, mesmo aqueles que conseguem ter acesso a uma habitação, o fazem, na maioria das vezes, em condições de enorme precariedade.

Os autores constataam o efetivo processo de descentralização e municipalização das políticas habitacionais a partir de meados dos anos 80, em virtude da redefinição institucional promovida pela nova Constituição, ou pela iniciativa dos novos governos locais eleitos na década de 80, ou ainda, como reflexo da fragilidade das políticas federais.

Vê-se este processo de uma forma positiva, pois ressalta a potencialidade da gestão local, podendo ampliar a eficácia, a eficiência e a democratização das políticas. Destacam ainda que a gestão local teria a virtude de ser o nível de governo que permitiria uma maior integração entre as políticas de provisão de moradias e as políticas fundiárias e de controle do uso e ocupação do solo, o que ampliaria mais suas possibilidades de eficácia e eficiência.

Na mesma linha de raciocínio, Werna et al. (2002), afirmam que, nas últimas décadas, o papel do Estado na oferta de serviços e bens em geral, e da habitação em particular, tem sofrido profundas alterações. Constatam uma tendência de se reduzir a intervenção direta dos agentes públicos no processo de provisão, de se estimular a participação de agentes não-públicos tais como o setor privado, as organizações não-governamentais (ONGs) que têm um caráter voluntarista, e as próprias comunidades que recebem os bens/serviços, no caso, a habitação. Além disso, afirmam que têm ocorrido um esforço por parte desses agentes neste mesmo sentido, já que se trata de uma tendência global, e o Brasil não constitui uma exceção.

A definição de um sistema é medida essencial para implantar programas de habitação de interesse social, oferecendo à população de baixa renda alternativas de assentamentos em locais adequados à urbanização e acessíveis no preço.

Visando disciplinar o setor, o governo federal, através da Lei Nº. 11.124, de 16 de junho de 2005, institui o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social, criando também o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social (BRASIL, 2005).

Com o objetivo de elevar os patamares da qualidade e produtividade da construção civil, em 1998 o governo federal instituiu o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Hábitat (PBQP-*Habitat*) através do Ministério das Cidades, visando à criação e implantação de mecanismos de modernização tecnológica e gerencial, contribuindo para ampliar o acesso à moradia para a população de menor renda.

Este é um Programa que não se vale de novas linhas de financiamento, mas sim, que procura estimular o uso eficiente de recursos existentes, de diferentes fontes – Orçamento geral da União (OGU), Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS), Poupança, etc. – e aplicados por diferentes entidades – Caixa Econômica Federal (CAIXA), Banco Nacional do Desenvolvimento Social (BNDES), Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas empresas (SEBRAE), Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), etc. – neste contexto focado em objetivos claramente definidos. Da mesma forma, o programa conta com grande contrapartida privada, sendo os recursos novos (Governo Federal) destinados basicamente para custeio, estruturação de novos projetos e divulgação (BRASIL, 1999).

A Caixa Econômica Federal possui o Programa de Subsídio à Habitação de Interesse Social - PSH que oferece linhas de crédito direcionadas à produção de empreendimentos habitacionais. Seu objetivo principal é o de subsidiar a produção de empreendimentos habitacionais para populações de baixa renda, nas formas de conjunto ou de unidades isoladas. Complementa a capacidade financeira do proponente para o pagamento do preço de imóvel residencial e assegura o equilíbrio econômico e financeiro das operações realizadas pelas instituições financeiras (CAIXA, 2006).

Há duas modalidades de financiamentos: através de carta de crédito individual (financiamento diretamente ao beneficiário final pessoa física) e financiamento de imóveis na planta e/ou em construção (linha de crédito para produção de empreendimentos habitacionais, com financiamento direto às pessoas físicas).

2.2 Qualidade de vida e conforto

A vida do ser humano depende de várias necessidades reais, as quais precisa satisfazer no seu dia-a-dia e que podem ser classificadas em físicas vitais, afetivas, sociais, culturais e éticas. A satisfação dessas necessidades está relacionada ao conceito de qualidade de vida (BONILLA,1992).

Qualidade de vida compreende um conceito abrangente, no qual se interligam diversas abordagens e problemáticas. Na análise da qualidade de vida, deve-se fazer a distinção entre

os aspectos materiais e imateriais. Os aspectos materiais dizem essencialmente respeito às necessidades humanas básicas, como por exemplo, as condições de habitação, saneamento básico, do sistema de saúde, ou seja, de aspectos de natureza física e de infra-estrutura (SANTOS e MARTINS, 2002).

Conforme destaca Westphal (2000), o conceito de qualidade de vida deve dar conta da complexidade que ele representa e refletir a organização social e sua dinâmica. Deve ser objetivo suficiente para que seja capaz de subsidiar sugestões para implementar políticas que garantam uma ordem social mais eqüitativa de distribuição de riqueza. Diz, ainda, que deve tentar resgatar o princípio ético da vida, e que é fundamental, como também será importante participar do jogo de construção de indicadores e mensuração a partir do conceito.

Assim, qualidade de vida integra muitas dimensões, tanto as decisões políticas que estiverem interferindo no nosso desenvolvimento econômico, social e humano e quanto as condições políticas, de vida e trabalho que forem necessárias para que possa vir a ser empregado como substrato de uma crítica em profundidade a um estilo de desenvolvimento vigente, que valoriza o indivíduo e o consumo que ele pode gerar, mas que muitas vezes esquece-se de condições básicas.

O processo de crescimento desordenado por que passa a maioria das cidades brasileiras, vem determinando perdas constantes nos elementos estruturais de seu funcionamento, notadamente naqueles mais relacionados com a qualidade de vida dos seus habitantes e usuários, sobretudo dos segmentos mais carentes. Isso se espelha não só nos itens que configuram essas funções estruturais urbanas: habitar, circular, trabalhar e recrear mas nos aspectos psicossociais da satisfação humana de utilização do contexto físico, social e cultural dessas cidades.

Conforme afirma Menezes (1999) “a cada dia que passa, cada vez mais, o homem procura melhorar a sua qualidade de vida, procurando desenvolver junto ao seu *habitat* e ao seu local de trabalho condições que garantam esta melhora, que pode estar ligada ao conforto, lazer, boa alimentação, etc.”

Conforto é uma das condições que garantem uma melhor qualidade de vida. De acordo com Dantas (1998), conforto é uma conceituação que visa ao bem estar físico (ação contínua de promoção do prazer e da produtividade) e determina a qualidade de vida dos ocupantes de um ambiente interior.

O conforto ambiental está relacionado à satisfação com relação às condições de habitabilidade disponíveis em um determinado ambiente, ou seja, as condições de bem-estar,

como conforto térmico, acústico, visual, de aromas, segurança e ainda a capacidade de orientação do indivíduo em tal espaço.

A satisfação manifestada com relação às condições térmicas do ambiente é conhecida como conforto térmico. Além da temperatura e outros fatores físicos, envolve variáveis pessoais que tornam sua definição subjetiva. Dessa forma, o conforto térmico pode ser visto e analisado sob dois pontos de vista: pessoal ou ambiental. Se for considerado apenas o ponto de vista pessoal, define-se conforto térmico como sendo uma condição mental que expresse satisfação com o ambiente térmico. Do ponto de vista físico, confortável é o ambiente cujas condições permitam a manutenção da temperatura interna sem a necessidade de serem acionados os mecanismos termo-reguladores, ou seja, é necessário que o organismo humano se encontre em balanço térmico com o meio ambiente (USP, 2006).

Para se alcançar um grau satisfatório de conforto térmico, é imperativa a observação da temperatura efetiva de um ambiente, como pré-requisito de um programa de controle de qualidade. Segundo Costa (1974), temperatura efetiva é uma conjunção dos fatores que transmitem aos ocupantes de um ambiente uma sensação térmica, sendo as variáveis de influência: temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar e velocidade do ar.

Conforme define a NBR 15220 (ABNT, 2005), conforto térmico está ligado à satisfação psicofisiológica do indivíduo, às condições térmicas do ambiente.

Pois as habitações, além de terem a função de abrigar o homem e proteger do sol, dos ventos, das chuvas e outros perigos, também lhe devem propiciar conforto. Conforme destaca Lamberts (1997), o ser humano foi tornando seu abrigo cada vez mais adequado às suas necessidades, sobretudo com relação ao conforto.

Existem muitos parâmetros ou condições que definem a habitabilidade, assim segundo a ABNT (2004), os usuários das habitações devem exigir:

- Estanqueidade;
- conforto higrotérmico;
- conforto acústico;
- conforto lumínico;
- saúde, higiene e qualidade do ar;
- funcionalidade e acessibilidade;
- conforto tátil e antropodinâmico.

Segundo Kalil (2004), os moradores estão satisfeitos com as casas autoconstruídas nos núcleos habitacionais de Passo Fundo. No entanto constatou, a existência de outras reivindicações quanto a melhorias nas condições de vida.

Restringindo-se ao foco deste trabalho, que está relacionado ao conforto térmico, pode-se afirmar que uma habitação só oferece habitabilidade e qualidade de vida aos seus ocupantes, se o conforto térmico for contemplado.

A sensação de conforto térmico é definida como o estado mental que expressa satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa (ASHRAE, 2003), ou seja, conforto térmico é a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente, conforme define a ABNT (2005).

O conforto térmico depende de variáveis físicas ou ambientais e também de variáveis subjetivas ou pessoais. As principais variáveis físicas que influenciam no conforto térmico são: temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade do ar e velocidade relativa do ar. As variáveis pessoais envolvidas são: atividade desempenhada pela pessoa e vestimenta utilizada pela pessoa. Ainda, há as variáveis características individuais, aspectos psicológicos, culturais e hábitos (FANGER, 1970).

Conforme Mascaró (1999), a avaliação de conforto térmico é estabelecida por índices térmicos que expressam as respostas do homem às condições climáticas. O Índice de Tensão Térmica (ITS) que faz parte do método elaborado por Givoni (GIVONI, 1992), é um destes modelos biofísicos, que abrange variáveis de temperatura do ar, pressão de vapor, velocidade do ar, radiação solar, taxa metabólica e vestuário.

Sendo o conforto térmico fundamental em uma habitação, várias instituições no mundo e pesquisadores iniciaram estudos nesta área, avaliando o desempenho térmico das habitações e definindo parâmetros de conforto.

Há pouco mais de vinte anos, no Brasil, se intensificaram os estudos com relação ao desempenho térmico de habitações, em especial das chamadas habitações de interesse social. Os grupos de pesquisadores que iniciaram estudos neste campo e podem ser destacados são: o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), de São Paulo, o grupo de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC) e o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE), da Universidade Federal de Santa Catarina (BARBOSA, 1997).

2.3 Dados climáticos

O clima, segundo Rivero (1986), é o “conjunto de fenômenos meteorológicos que definem a atmosfera de um lugar determinado”. O clima é guiado pela energia do sol, sendo que os fatores chaves são: temperatura, umidade, pressão atmosférica, nuvem, velocidade do vento e nível das marés.

As condições climáticas variam ao longo das 24 horas do dia e ao longo do ano, dependendo da latitude, altitude e outras características locais que definem o clima da região (COSTA, 1982).

Para caracterizar o clima das diversas regiões do globo, este é dividido em zonas de climas similares, chamadas regiões climáticas. No Brasil, dada a sua grande extensão territorial e a sua localização entre dois trópicos, vários tipos diferentes de clima são identificados (LAMBERTS, 1997).

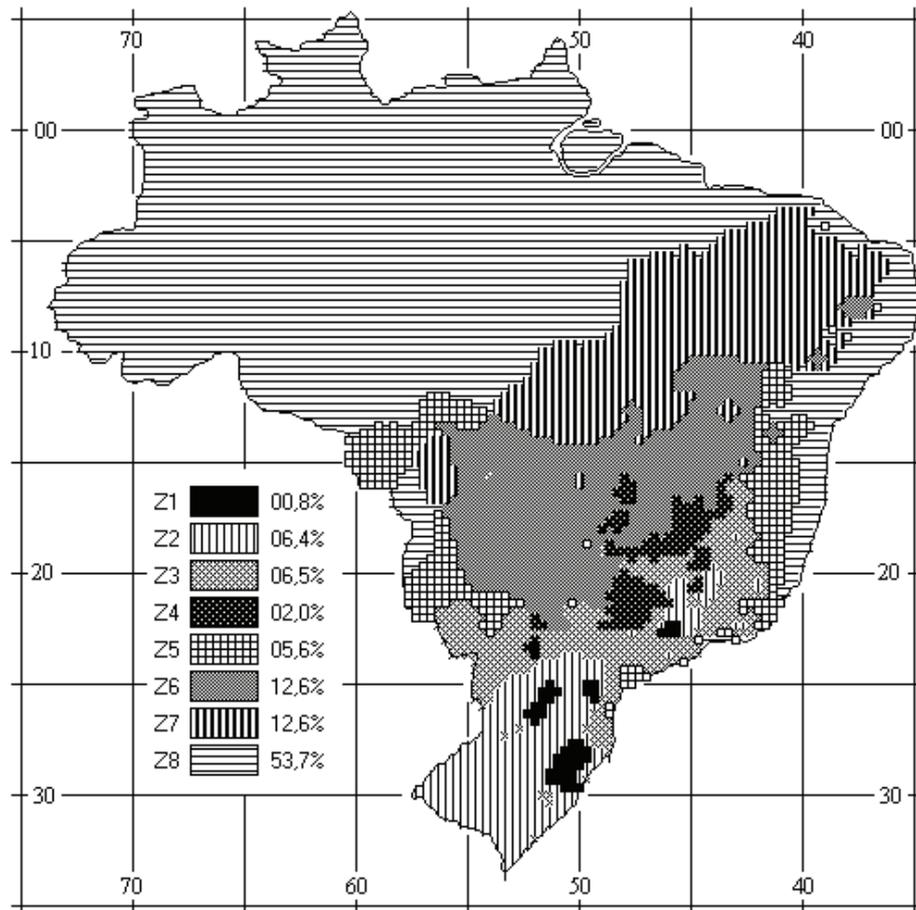
A norma NBR 15220 da ABNT (2005) estabelece um zoneamento bioclimático brasileiro, visando embasar as recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social. Este zoneamento compreende oito diferentes zonas, conforme representado na Figura 1.

O clima interfere na vida do homem, assim se torna necessário conhecer os dados climáticos da região em que se pretendem desenvolver pesquisas que possam ter relação com estas variáveis. Conforme Cachione (2005), o estudo do tempo e do clima ocupa uma posição central e importante no campo da ciência ambiental, relacionando-os com biosfera, hidrosfera e litosfera. Assim, o clima influencia as plantas, os animais, o homem e o solo.

Segundo Evans e Schiller (1994), através do estudo do clima se avalia o impacto do mesmo no ser humano, definindo-se o grau de conforto ou desconforto, e identificando as modificações desejáveis para melhorar as condições de habitabilidade e conforto em um ambiente.

Givoni (1992) afirma que o clima de uma certa região é determinado pelas variações dos diversos elementos e suas combinações, e que os principais elementos que devem ser considerados no projeto de uma edificação são: radiação solar, comprimento da onda da radiação solar, temperatura do ar, umidade, ventos e chuvas.

Como os estímulos que contribuem para a sensação de conforto térmico são em grande parte decorrentes da interação entre os componentes da edificação e os elementos climáticos, é indispensável uma avaliação acurada e sistemática dos mecanismos que comandam essa interação relacionadas ao conforto. Assim sendo, torna-se importante realizar a identificação correta dos elementos que caracterizam o clima da localidade em estudo (SHALDERS NETO, 2003).



Fonte: ABNT, 2005

Figura 1 - Zonas climáticas brasileiras

Segundo Cunha (2004), os fatores climáticos são importantes para se definir o clima do local, A interação dos fatores é que definem as variáveis e o conforto térmico da edificação. As variáveis climáticas mais significativas para se definir o microclima em estudo são:

- radiação solar,
- temperatura do ar,
- umidade relativa do ar,
- condições de vento,
- precipitação,
- iluminância natural.

2.3.1 Fatores climáticos

Os fatores climáticos são de fundamental importância, quando se deseja avaliar o desempenho térmico de uma edificação. Assim são apresentadas as definições dos principais fatores a seguir:

2.3.1.1 Radiação solar

O sol emite constantemente energia na forma de radiação eletromagnética, sendo parte desta interceptada e captada pela Terra e sua atmosfera, formando a principal fonte de interferência nas características climáticas das diversas regiões do planeta. No entanto, a energia solar não é distribuída igualmente sobre a Terra; a desigualdade desta distribuição é causada principalmente pelos movimentos da Terra em relação ao Sol e também por variações da superfície terrestre e da atmosfera (SELLERS, 1965).

A Terra realiza o movimento elíptico de translação em torno do sol, variando assim a distância com relação ao sol, ocorrendo desta forma variações na intensidade das radiações recebidas nos diferentes meses do ano.

Devido ao movimento de rotação, produzem-se as variações horárias. Essa rotação se realiza sobre um eixo cuja inclinação é de $23^{\circ}27'$ com relação à perpendicular no plano que forma a órbita da Terra em torno do sol. Devido a esta inclinação, percebem-se as variações das estações no clima (EVANS e SCHILLER, 1994).

A inclinação faz com que a orientação da Terra em relação ao Sol mude continuamente, enquanto realiza seu movimento de translação. Durante o verão, o hemisfério sul recebe mais horas de sol devido à sua inclinação que faz com que se aproxime mais do sol e receba uma maior incidência de radiação solar. No inverno, o hemisfério sul fica mais afastado da estrela solar, recebe menos horas de sol e a radiação incide com um ângulo menor. No outono e na primavera, a radiação solar é constante para ambos os hemisférios, dado que o sol gira em torno do equador.

O ângulo formado entre os raios solares e a tangente à superfície no ponto de observação altera a quantidade de radiação recebida, desta forma, a superfície da Terra recebe diferentes intensidades de radiação solar. No caso, quanto maior for a altitude solar maior será a intensidade de radiação recebida por unidade de área. Por sua vez, a altitude solar é decorrência da latitude do local, do período do dia e da estação do ano (AYOADE, 1998).

2.3.1.2 Temperatura do ar

A temperatura média do ar possui relação direta com a intensidade de radiação solar recebida e o estado do céu (nebulosidade). Se há nuvens, estas interceptam o fluxo de radiação infravermelha emitida, modificando o balanço térmico local. Se o céu estiver limpo, o solo ganha energia solar, mas perde energia por irradiação mais do que com céu encoberto. A temperatura do ar em uma determinada localidade depende também do ganho de calor, devido ao deslocamento de massas de ar que ocorre através dos ventos, correntes oceânicas e da existência de proximidade de grandes massas de água, as quais atenuam as amplitudes térmicas (BUTERA, 1995).

Normalmente, os dados relativos à temperatura do ar estão disponíveis em diversas formas, conforme destaca Butera (1995), podendo se ter: valores médios, máximos e mínimos anuais, mensais e diários, distribuição de frequência dos valores diários, das médias diárias, etc. Continua ele, afirmando que para efetuar a caracterização do clima térmico de uma localidade, recorre-se aos dados proveniente de observações efetuadas em um período de tempo suficientemente longo, para que estas tenham valor estatístico (utilizando no mínimo 3 anos).

2.3.1.3 Umidade relativa do ar

Conforme define Stoecker (1985), a umidade relativa do ar é a razão entre a fração molar do vapor de água no ar úmido e a fração do vapor de água no ar saturado à mesma temperatura e pressão total. De outro modo, a umidade relativa do ar pode ser definida como a quantidade de vapor d'água no ar, em relação à máxima quantidade de vapor que o ar pode conter (ar saturado), com as mesmas condições de temperatura e pressão (EVANS; SCHILLER, 1994). Os referidos autores afirmam que “a umidade do ar é uma das variáveis meteorológicas que influenciam na sensação de conforto térmico”.

Da mesma forma que a temperatura, a umidade relativa é caracterizada pela média mensal, média das máximas e média das mínimas diárias.

A flutuação diária da umidade relativa é maior no verão do que no inverno, de forma análoga à temperatura do ar. Os valores mais elevados registram-se durante a madrugada, quando a temperatura do ar atinge seu valor mínimo, e mais baixo no início da tarde, correspondentemente ao máximo da temperatura de bulbo seco (BUTERA 1995).

2.3.1.4 Ventos

Da mesma forma que os demais dados climáticos, o vento também apresenta variações diárias e apresenta características específicas conforme a estação. Segundo Butera (1995), os ventos denominados “regionais” dependem dos movimentos de grandes massas de ar através de grandes territórios. As brisas são movimentos diários, tipicamente locais. Afirmam Evans e Schiller (1994), que a variação da incidência da radiação solar na Terra, e a distribuição desequilibrada das massas continentais e oceânicas produz diferenças na pressão atmosférica que provoca o movimento do ar em escala mundial, das zonas de alta pressão às de baixa pressão.

A velocidade dos ventos não é constante, havendo uma tendência a aumentar perto do meio dia, quando os valores da radiação solar atingem os níveis máximos, e produzem turbulência devido à subida do ar quente e descida do ar frio. As velocidades mínimas do vento ocorrem nas últimas horas da tarde, quando as coberturas superficiais do ar são mais frias, e reduzem o intercâmbio com as coberturas superiores, que têm velocidades maiores.

A caracterização do vento é realizada a partir da velocidade, setores de proveniência (direção) e da frequência, que representa a rosa dos ventos. O regime dos ventos está ligado diretamente à nebulosidade: os ventos fracos acompanham muito frequentemente o céu coberto; os ventos fortes, o céu claro. (CSTB, 1984)

Segundo Evans e Schiller (1994), o vento é um componente climático que se relaciona com o desenho dos edifícios, conjuntos de edifícios e assentamentos urbanos. A distribuição da orientação dos ventos é um dado importante seja para incorporar proteção nos períodos frios, seja para aproveitá-los nos meses quentes com umidade relativa alta.

2.3.1.5 Precipitação

A precipitação pluvial é o fenômeno pelo qual a nebulosidade atmosférica se transforma em água, formando a chuva (EMBRAPA, 2006). Esta precipitação ou pluviosidade é medida em milímetros. Para se ter uma idéia desta grandeza, pode-se dizer que uma pluviosidade anual, menor que 500 mm, é considerada insuficiente para o crescimento da vegetação. Sem dúvida, a possibilidade de manter a vegetação depende também da temperatura do ar e da distribuição das chuvas durante o ano, e sua variação no arco de vários anos. Normalmente, as chuvas estão relacionadas com os ventos provenientes de certas direções, dado importante para um projeto habitacional.

2.3.2 Dados dos dias típicos

No processo de avaliação de desempenho térmico de uma edificação, de acordo com Goulart e Lamberts (1993), os dados climáticos devem apresentar um significado estatístico quanto à frequência de ocorrência em um determinado período de tempo, caracterizando assim os níveis de exigência na avaliação desejada, evitando-se o uso de extensas séries de dados meteorológicos para a concepção bioclimática na arquitetura, o que, na maioria das vezes, é impraticável devido à disponibilidade de tempo requerida, assim como do sistema computacional necessário.

Assim se recomenda o uso dos chamados “dias típicos de projeto”. Podendo, na maioria dos casos, serem caracterizadas duas condições típicas para representar um determinado local, denominadas respectivamente “dia típico de verão” e “dia típico de inverno”, que são os dias mais quentes e mais frios, numa média estatística representativa, em um período de anos significativo.

Baseado nos dias típicos de projeto, que caracterizam as exigências térmicas de verão e inverno, um projeto, ou estudo, pode ser realizado de forma a melhor responder ao conforto térmico do indivíduo, adaptando a edificação ao clima local.

Existem várias metodologias para a determinação destes dias típicos, entre elas podem ser citadas: a do IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (AKUTSU, 1991) e de Miguel Sattler, da Fundação de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (CIENTEC) (SATTLE, 1989).

Na primeira, são analisadas as temperaturas máximas diárias para o período de verão e mínimas diárias para o período de inverno, a partir de dias reais. Na metodologia desenvolvida por Sattler, os dias típicos não são dias reais, e sim, valores médios de uma faixa de dias (a data é definida posteriormente pela declinação solar).

Estas duas metodologias foram aplicadas em dados meteorológicos de Florianópolis por Goulart e Lamberts (1993), que compararam e analisaram os resultados para a escolha de uma das metodologias. Eles concluíram que a amplitude é um parâmetro de grande influência no projeto da edificação, por isso acreditam que o dia típico deve ter amplitude térmica média.

Dessa forma, antes de se escolher a metodologia para a definição de dias típicos, deve-se analisar a amplitude diária de temperatura. Em locais onde os valores de amplitude diária são próximos ao valor da amplitude média do período em questão (diferença entre média das temperaturas máxima e média das temperaturas mínimas), recomenda-se aplicar a metodologia desenvolvida por Sattler. Caso contrário, se os valores de amplitude diária estão,

na maioria das vezes, acima do valor de amplitude média, recomenda-se, então, a metodologia desenvolvida pelo IPT.

Na apresentação dos dias típicos, são listados os valores horários de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa, conteúdo de umidade, nebulosidade, direção e velocidade dos ventos para cada dia típico.

2.4 Normas e metodologias para avaliar o desempenho térmico

Visando garantir a um padrão da qualidade aceito pela sociedade, proteger o consumidor e garantir a segurança, entidades organizadas elaboram normas técnicas a serem obedecidas no processo produtivo com relação a procedimentos, padronização, métodos de ensaios, terminologia, simbologia e classificação.

No Brasil, a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas procura desenvolver estas normas através dos seus diversos comitês, nas diversas áreas. Em nível internacional, podem ser citadas: ASTM – *American Society for Testing and Materials*, ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, BS – *British Standards*, ISO – *International Organization for Standardization*, AMN – Associação Mercosul de Normalização e CEN – *Comité Européen de Normalisation*.

Neste país, o acesso às normas não é facilitado e muitas vezes os profissionais têm dificuldades de adquiri-las, podendo desconhecê-las. Mas, elas são de fundamental importância para que se consiga garantir qualidade de serviços e produtos.

Assim, não basta a existência de uma norma para que seja exigido o seu cumprimento, pois geralmente ela precisa ser regulamentada por uma Lei, Projeto de Lei ou Decreto. No Brasil, o Código do Consumidor, Lei 8078, de 11 de setembro de 1990, regulamenta praticamente todas as normas que envolvam o mercado de consumo, pois no seu capítulo V, Art. 39 diz:

É vedado ao fornecedor de produtos e serviços colocar, no mercado de consumo, qualquer produto ou serviço, em desacordo com as normas expedidas pelos órgãos oficiais competentes ou, se normas específicas não existirem, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas ou outra entidade credenciada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – CONMETRO (BRASIL, 1990).

Havendo hoje no Brasil normas que definem os padrões de desempenho de edificações habitacionais, que encontram regulamentação legal, cometem crime os profissionais

envolvidos e a autoridade pública que construir e fornecer habitações de interesse social em desacordo com estas normas técnicas.

Visando fundamentar a investigação proposta, realizou-se um estudo das normas e a revisão de literatura sobre os estudos mais relevantes referentes às metodologias de avaliação do desempenho térmico de habitações.

2.4.1 Norma NBR - 15220 da ABNT - metodologia de avaliação do desempenho térmico

A norma de Conforto Ambiental - Desempenho térmico de edificações: procedimentos para avaliação de habitações de interesse social, desenvolvido pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil, liderado pela Universidade Federal de Santa Catarina, foi aprovada pela Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações em 2003, tendo sido publicada pela ABNT em abril de 2005, quando entrou em vigor.

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

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

Esta norma apresenta recomendações para avaliar o desempenho térmico de habitações de interesse social, recomendando limites mínimos de conforto térmico. A metodologia adota um zoneamento bioclimático do Brasil, que propõe a divisão do território brasileiro em oito zonas quanto ao clima, adaptando a Carta Bioclimática sugerida por Givoni (1992). Para cada uma destas zonas, são apresentadas recomendações tecnoconstrutivas de adequação climática, visando à otimização do desempenho térmico das edificações, tais como:

- tamanho das aberturas para ventilação;
- proteção das aberturas;

- vedações externas (tipo de parede externa e cobertura, considerando-se transmitância térmica, atraso térmico e absorvência à radiação solar); e
- estratégias de condicionamento térmico passivo.

Identificado o local da construção no Zoneamento Bioclimático Brasileiro, estabelecido pela Norma de Desempenho Térmico de Edificações, são fornecidas as diretrizes construtivas para cada uma das oito Zonas Bioclimáticas. No Anexo A da referida Norma, encontra-se uma tabela com 330 cidades, cujos climas foram classificados, indicando-se a Zona Bioclimática na qual a cidade está inserida e as estratégias recomendadas. No caso, Passo Fundo encontra-se classificada na Zona Bioclimática 2 (ver Fonte: ABNT, 2005

Figura 1).

A Norma também estabelece valores admissíveis para as características termofísicas de elementos construtivos para cada Zona Bioclimática: transmitância (U), atraso térmico (ϕ) e fator solar (FS) .

2.4.1.1 Cálculos das propriedades térmicas

A Norma da ABNT 15.220 estabelece procedimentos para o cálculo das propriedades térmicas - resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar - de elementos e componentes de edificações quando sujeitos a um regime estacionário de transmissão de calor (ABNT, 2005).

a) Resistência térmica

Recomenda-se que os valores da resistência térmica, R, sejam obtidos para as camadas homogêneas dos materiais sólidos utilizados nos elementos construtivos do ambiente em estudo (ABNT, 2003). Podendo ser determinado pela expressão a seguir:

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

Nela e é a espessura da camada do material e λ é a condutividade térmica do material. A tabela 1 da norma, que é apresentado no Anexo A desta dissertação, apresenta os valores recomendados para condutividade térmica de alguns materiais.

Como as camadas que limitam o ambiente podem conter diversos materiais em sua composição, a resistência térmica deve ser calculada, fazendo-se o somatório das diversas camadas homogêneas, o que é dado pela equação a baixo:

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{ar n} \quad (2)$$

Nesta equação,

R_{t1} , R_{t2} , ..., R_{tn} são as resistências térmicas das n camadas homogêneas.

$R_{ar1}, R_{ar2}, \dots, R_{arn}$ são as resistências térmicas das n câmaras de ar, obtidas da Tabela 2, Anexo A. Da mesma forma no caso da resistência térmica de câmaras de ar (R_{ar}) não ventiladas, pode ser obtida na mesma tabela.

A resistência superficial externa (R_{se}) e a superficial interna (R_{si}) são obtidas na Tabela 4 do mesmo Anexo.

A resistência térmica total de ambiente a ambiente é dada pela expressão:

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (3)$$

Na qual:

R_t é a resistência térmica de superfície a superfície, determinada pela expressão; R_{se} e R_{si} são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas da Tabela 4, Anexo A.

b) Transmitância térmica

A transmitância térmica de componentes que limitam o ambiente é o inverso da resistência térmica total (ABNT, 2005), conforme expressão a seguir.

$$U = 1/R_T \quad (4)$$

c) Capacidade térmica

A capacidade térmica de componentes pode ser determinada pela expressão a seguir:

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot c_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad (\text{ABNT, 2005}) \quad (5)$$

Nela entende-se que:

λ é a condutividade térmica do material da camada i^a . ;

R é a resistência térmica da camada i^a .;

e é a espessura da camada i^a .

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

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

No caso de um componente plano constituído de camadas homogêneas e não homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor, a capacidade térmica é determinada pela expressão:

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}} \quad (\text{ABNT, 2005}) \quad (6)$$

Nesta expressão, C_{Ta} , C_{Tb} , ... , C_{Tn} são as capacidades térmicas do componente para cada seção (a, b, ..., n), determinadas pela expressão anterior e A_a , A_b , ..., A_n são as áreas de cada seção.

d) Atraso térmico

Em uma placa homogênea (constituída por um único material), com espessura “e” e submetida a um regime térmico variável e senoidal, com período de 24 horas, o atraso térmico pode ser estimado pelas expressões definidas pela norma da ABNT, 2005:

$$\varphi = 1,382.e.\sqrt{\frac{n.c}{3,6.e}} \quad (7)$$

$$\varphi = 0,7284.\sqrt{R_t.C_T} \quad (8)$$

Nelas entende-se que:

φ é o atraso térmico;

e é a espessura da placa;

λ é a condutividade térmica do material;

ρ é a densidade de massa aparente do material;

c é o calor específico do material;

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

C_T é a capacidade térmica do componente.

Esta norma também define que para o caso de um componente formado por diferentes materiais superpostos em “n” camadas paralelas às faces (perpendiculares ao fluxo de calor), o atraso térmico varia conforme a ordem das camadas. Para calor específico quando em (kJ/(Kg.K)), o atraso térmico é determinado através da expressão.

$$\varphi = 1,382.R\sqrt{B_1 + B_2} \quad (9)$$

Na qual:

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

B_1 e B_2 são dados pelas expressões abaixo.

$$B_1 = 0,226 \frac{B_0}{R_t} \quad (10)$$

Onde:

$$B_0 = C_T - C_{Text} \quad (11)$$

Onde:

CT é a capacidade térmica total do componente;

C_{Text} é a capacidade térmica da camada externa do componente.

$$B_2 = 0,205 \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \left(R_{ext} - \frac{T_t - R_{ext}}{10} \right) \quad (12)$$

e) Fator de ganho de calor solar

O fator de ganho de calor solar de elementos opacos (ou apenas fator solar de elementos opacos) é dado pela expressão:

$$FS_o = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se} \quad (13)$$

Considerando R_{se} (resistência superficial externa) constante e igual a 0,04 (ver Tabela 4, Anexo A)

$$FS_o = 4 \cdot U \cdot \alpha \quad (14)$$

Nesta expressão:

FS_o é o fator solar de elementos opacos em percentagem;

U é a transmitância térmica do componente;

α é a absorptância à radiação solar – função da cor.

A Norma da ABNT 15.220 estabelece um limite de fator solar. O que permite que se determine o máximo valor de α em função do fator solar e da transmitância térmica, conforme mostra a expressão:

$$\alpha \leq FS_o / (4 \cdot U) \quad (15)$$

No caso de elementos transparentes ou translúcidos, o fator de ganho de calor solar é dado pela expressão:

$$FS_t = U \cdot \alpha \cdot R_{se} + \tau \quad (16)$$

Na qual:

FS_t é o fator solar de elementos transparentes ou translúcidos;

U é a transmitância térmica do componente;

α é a absorptância à radiação solar – função da cor;

R_{se} é a resistência superficial externa;

τ é a transmitância à radiação solar.

A norma da ABNT 15220, parte 3, traz recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local, relativas à transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar para paredes externas e coberturas, e que são apresentados na tabela 5 da norma, incluída no Anexo A.

2.4.2 Projeto de Norma 02:136.01: desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos

A proposta de norma de desempenho fixa parâmetros para se checar o comportamento da edificação pós-ocupação, definindo informações a serem contidas num projeto e permitir avaliar se uma tecnologia nova está de acordo com as necessidades de uso das edificações brasileiras (ABNT, 2004). Esta norma vem estabelecer parâmetros mais claros para aplicação do Código de Defesa do Consumidor.

O texto inova, deixando de focar processos, materiais e componentes, estabelecendo um desempenho global mínimo, independentemente dos sistemas construtivos que forem utilizados. Essa nova norma não é prescritiva.

Com esse conceito, a norma considera as exigências dos usuários em tópicos como segurança, estanqueidade, higiene, conforto e durabilidade. Procurou-se traduzir na forma de critérios, que procuram quantificar as necessidades dos usuários. Somando esses fatores com condições de exposição da edificação e critérios para avaliação de desempenho de sistemas construtivos, chega-se a respostas técnicas possíveis e desejáveis.

Esta norma prevê três níveis de desempenho: mínimo, intermediário e superior. Esses níveis serão estabelecidos pelas necessidades ou exigências dos consumidores. Para cada um desses níveis, a edificação terá um prazo de garantia e vida útil diferente. O nível de desempenho dos edifícios deverá ser apresentado ao consumidor no ato da compra do imóvel. Isso permite antever que as vendas de imóveis passarão a exigir dos corretores um melhor preparo técnico.

Uma habitação é dividida em 14 elementos construtivos para análise: fundação, estrutura, paredes internas em contato direto com o solo, fachada, cobertura, divisórias internas, pisos internos, sistemas hidráulicos-sanitários, elétricos, de gás, de telecomunicações, de condicionamento ambiental, de transporte, segurança e proteção. Vários requisitos de desempenho tratam desses itens de forma global (ABNT, 2004).

O PNBR 02:136.01 não tem o objetivo de orientar o sistema construtivo, mas estabelecer que, independentemente do método adotado, terá que atender às condições pré-determinadas. As normas já existentes, que definem como deve ser produzida uma edificação, continuam em vigor. A mudança, entretanto, favorece o ingresso de novas tecnologias no sistema construtivo.

No caso do desempenho térmico, consideram-se as respectivas características bioclimáticas definidas na norma NBR-15220. Esta Norma estabelece três procedimentos

alternativos para avaliação da adequação de habitações, nas oito diferentes Zonas Bioclimáticas:

a) Procedimento 1 – Simplificado: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos para fachadas e coberturas, nos documentos :

- Desempenho de Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos – Parte 4: Fachadas e paredes internas;
- Desempenho de Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos – Parte 5: Coberturas.

b) Procedimento 2 – Simulação: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos neste documento, por meio da simulação computacional do desempenho térmico do edifício.

c) Procedimento 3 – Medição: verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos neste documento, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos.

Esta norma permite avaliar o desempenho térmico do edifício por um dos três procedimentos. Considerando-se que o desempenho térmico do edifício depende do comportamento interativo da fachada, cobertura e piso, uma edificação que não atender aos requisitos desta norma, quando avaliada pelo primeiro procedimento, pode ser avaliada por um dos outros.

Em função das necessidades básicas de segurança, saúde, higiene e economia, são estabelecidos três níveis de classificação de desempenho:

- nível “M” - nível mínimo;
- nível “I” - intermediário e
- nível “S” - nível superior

Com relação às condições de conforto no verão, ela estabelece que as condições térmicas no interior da edificação devem ser melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, de acordo com o critério apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de desempenho	Limites de temperatura do ar no verão
M	- Valor máximo diário da temperatura do ar interior \leq valor máximo diário da temperatura do ar exterior (zonas 1 a 8)
I	- Valor máximo diário da temperatura do ar interior $\leq 29^{\circ}\text{C}$ (zonas 1 a 7) - Valor máximo diário da temperatura do ar interior $\leq 28^{\circ}\text{C}$ (zona 8)
S	- Valor máximo diário da temperatura do ar interior $\leq 27^{\circ}\text{C}$ (zonas 1 a 7) - Valor máximo diário da temperatura do ar interior $\leq 26^{\circ}\text{C}$ (zona 8)

Zonas bioclimáticas de acordo com a norma 15220 – Parte 3

No inverno, as condições de conforto no ambiente interno da edificação devem atender aos critérios apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	Valor mínimo diário da temperatura do ar interior $\geq 12^{\circ}\text{C}$.	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	Valor mínimo diário da temperatura do ar interior $\geq 15^{\circ}\text{C}$.	
S	Valor mínimo diário da temperatura do ar interior $\geq 17^{\circ}\text{C}$.	

- Nas zonas 1 e 2 o critério deve ser verificado, considerando-se fonte interna de calor de 1000W.
- Zonas bioclimáticas de acordo com a norma 15220 – Parte 3

O método de avaliação do desempenho térmico de edificações em projeto, por simulação computacional, deve ser feito utilizando dias típicos de projeto, de verão e de inverno, obtidos através de dados climáticos da cidade onde se localiza a edificação.

A norma estabelece que, para avaliação por simulação de conjuntos habitacionais de edificações térreas, deve ser selecionada uma unidade habitacional com o maior número de paredes expostas e se simular todos os recintos da unidade habitacional, considerando as trocas térmicas entre os seus ambientes e avaliar os resultados dos recintos dormitórios e salas, considerando as condições de modelagem de recintos e orientação solar das unidades habitacionais. Pelo menos um dormitório ou sala deve ter duas paredes expostas. As paredes expostas deste recinto devem ter orientação tal que, no verão, tenha a janela do dormitório ou sala voltada para oeste e outra parede exposta voltada para norte; no inverno, a janela do dormitório ou sala deve estar voltada para sul e outra parede exposta voltada para leste. Estabelece, ainda, que a parede exposta e janelas devem estar desobstruídas. Manda adotar uma taxa de ventilação do ambiente de 1 renovação por hora. Para a absorvância devem ser utilizados os valores de acordo com o definido no projeto. Recomenda utilizar as Propriedades Térmicas dos materiais obtidas por meio dos métodos especificados por normas técnicas.

A avaliação através de simulação de edificações existentes deve também ser realizada para dias típicos de projeto, utilizando os dados climáticos da cidade onde está localizada a edificação. Para conjunto habitacional de edificações térreas, deve ser selecionada uma unidade com o maior número de paredes expostas e considerar todas as variáveis de projeto

da unidade habitacional na condição que se encontram no momento da avaliação, como orientação solar e cor das vedações externas. Devem-se simular todos os recintos da unidade habitacional, considerando as trocas térmicas entre os seus ambientes e avaliar os resultados dos recintos dormitórios e salas. A modelagem de recintos situados, além de vedações que separam duas unidades habitacionais adjacentes (paredes de geminação, entrepisos), deve ser tal que estes recintos sejam considerados como na condição térmica mais próxima possível do ambiente que está sendo simulado. As propriedades térmicas dos materiais devem ser obtidas por meio dos métodos especificados por normas técnicas especificadas.

A avaliação do desempenho térmico de edificações por meio de medição deve ser feito medindo a temperatura de bulbo seco do ar no centro dos recintos dormitórios e salas, a 1,20 m do piso. Para as medições de temperatura, seguindo as especificações apresentadas na norma ISO 7726.

Na avaliação de edificações existentes, de conjunto habitacional de unidades térreas e edifícios multipiso, deve se escolher uma ou mais unidades, que possibilitem a avaliação nas seguintes condições:

- Verão: janela do dormitório ou sala voltada para oeste e outra parede exposta voltada para norte, nas regiões climáticas 1, 2, 3 e 4.
- Inverno: janela do dormitório ou sala de estar voltada para sul e outra parede exposta voltada para leste 1 e 2.

No caso das orientações das janelas dos recintos não corresponderem exatamente às especificações acima, priorizar as unidades que tenham o maior número de paredes expostas e cujas orientações das janelas sejam mais próximas da orientação especificada .

Com relação ao período de medição, deve ser tomado um dia típico de projeto, de verão ou de inverno. Recomenda-se trabalhar com uma seqüência de três dias e analisar os dados do terceiro dia. Para efeito da avaliação por medição, o dia típico é caracterizado unicamente pelos valores da temperatura do ar exterior medidos no local.

2.4.3 Outras normas ou recomendações

2.4.3.1 Norma ASHRAE 55-2004

Esta norma norte-americana, ASHRAE 55-2004, é muito utilizada para estudos de conforto térmico, por ser bastante abrangente, incluindo informações sobre isolamento das vestimentas, medições dos períodos e localizações, desconforto com correntes de ar.

Considera a temperatura efetiva (TE) como índice para definir limites, mas distingue as zonas de conforto para o verão e para o inverno.

Essa norma americana é uma revisão de uma norma anterior, a ASHRAE Standard 55-1981. Apresenta, como principais alterações, na atual versão a inclusão de definições mais completas e mais detalhamento sobre isolamento térmico das vestimentas, períodos e locais apropriados de medições, desconforto devido às correntes de ar e bibliografia bem mais atualizada.

A norma ASHRAE 55-2004 (ASHRAE, 2004) especifica uma zona de conforto com limites constantes para temperatura do ar e umidade, na carta psicrométrica, mantidos por sistema mecânico, considerando pessoas em atividade sedentária.

Este sistema foi desenvolvido para edifícios de escritórios com ar condicionado, mas também pode ser usada na avaliação de edifícios residenciais.

Sendo a ASHRAE uma entidade de grande prestígio entre o meio tecnológico e científico, as suas normas têm sido muito empregadas na definição de zonas de conforto e na estruturação de cartas bioclimáticas.

Nessa norma da ASHRAE para as condições de ar parado (0,15 m/s no inverno e 0,25 m/s no verão), o limite máximo para temperatura aceitável no verão vai de 26°C (conteúdo de umidade = 12 g/kg) a 27°C (conteúdo de umidade = 4,5 g/kg). O limite máximo da umidade relativa do ar é de 60%.

Elevando-se a velocidade do ar, aumenta-se o limite máximo de temperatura do ar, sendo que para cada acréscimo de 0,275 m/s é elevado de 1°C. Acima de 28°C, a velocidade de 0,8 m/s é o valor máximo permitido para o ar no interior.

A zona de conforto ASHRAE é definida com as seguintes faixas de Temperatura Efetiva:

- para o verão: 23°C a 26°C, nas seguintes condições: vestimenta igual a 0,5 Clo; metabolismo menor ou igual a 1,2 Met; velocidade do ar menor ou igual a 0,15 m/s; PPD (porcentagem de pessoas insatisfeitas) igual a 10%.
- para o inverno: 20°C a 23,5°C, nas seguintes condições: vestimenta igual a 0,9 Clo; metabolismo menor ou igual a 1,2 Met; velocidade do ar menor ou igual a 0,15 m/s.

Segundo essa norma, a temperatura efetiva seria a mesma temperatura operativa (média ponderada entre a temperatura do ar e temperatura média radiante) de um ambiente fechado com 50% de umidade, que causaria a mesma troca de calor sensível e latente entre uma pessoa e o ambiente real.

Sendo a escala de temperatura efetiva da ASHRAE mais indicada para ambientes internos com ar condicionado, o seu uso se aplica melhor em habitações de países com climas temperados. Sua aplicação em países de clima tropical não é considerável, devido aos costumes de vestimentas e à aclimação (BARBOSA, 1997).

A ASHRAE estabelece uma metodologia de avaliação de desempenho térmico de edificações com uso de programas de simulação de base horária para anos climáticos de referência.

A montagem de arquivos climáticos (.TRY) deve ser elaborada por meio dos dados do ano climático de referência (TRY) da cidade em estudo. De acordo com a ASHRAE 55 (2004), o padrão adotado em cálculos de eficiência energética com relação ao ano climático nos Estados Unidos é o *test reference year* (TRY), elaborado pelo *National Climatic Center* da cidade de Albuquerque.

Em relação às exigências humanas de conforto em uma edificação, a norma ASHRAE 55:2004 considera a necessidade de que 80% dos ocupantes expressem satisfação com as condições ambientais internas de conforto.

2.4.3.2 Norma ISO 7730

A Norma ISO 7730 (1994) aplica-se à avaliação de ambientes térmicos moderados. Assim, através de parâmetros físicos de um ambiente, tais como: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade do ar, bem como os parâmetros pessoais como atividade desempenhada e vestimenta utilizada pelas pessoas, conhecidos ou medidos, a sensação térmica para o todo pode ser estimada pelo cálculo do índice do voto médio estimado, o PMV.

Esta norma estabelece critérios para levantar a sensação de conforto térmico em ambientes, através do PMV (índice que estima o valor médio dos votos de um grupo de pessoas na escala de sensação térmica) e o PPD (porcentagem de pessoas insatisfeitas com o conforto térmico do ambiente).

As condições de conforto térmico são estimadas por meio dos índices PMV e PPD (FANGER, 1970), e o índice PMV representa a sensação térmica esperada dos usuários, conforme a seguinte escala:

- 3 – muito quente;
- 2 – quente;
- 1 – levemente quente;
- 0 – normal / confortável;
- 1 – levemente frio;

-2 – frio;

-3 – muito frio.

Esse índice, função do balanço térmico, é dado pela equação:

$$PMV = (0,303 e^{-0,036M} + 0,028) L \quad (17)$$

$$PMV = (0,303 e^{-0,036M} + 0,028) \{ (M - T) - 3,05 \times 10^{-3} \times [5,733 - 6,99 (M - T) - P_v] - 0,42[(M - T) - 58,15] - 1,7 \times 10^{-5} M (5,867 - P_v) - 0,0014 M (34 - t) - 3,396 \times 10^{-8} (A_{ext}/A_{Du}) \times [(t_v + 273)^4 - (t_{m} + 273)^4] - (A_{ext}/A_{Du}) h_c (t_v - t) \} \quad (18)$$

Onde:

L é a quantidade de calor liberada pelos mecanismos de termorregulação para assegurar o saldo nulo;

M , o metabolismo, função da atividade física;

T , trabalho externo;

P_v , pressão parcial de vapor d'água; t , temperatura de bulbo seco.

O índice PPD representa a percentagem de pessoas insatisfeitas com a sensação térmica definida pelo PMV, conforme a equação:

$$PPD = 100 - 95 e^{- (0,03353 PMV \exp(4) + 0,2179 PMV \exp(2)) (3)} \quad (19)$$

Devendo ser de no máximo 10% o percentual médio de insatisfeitos para o ambiente ser considerado confortável (ver Figura 2).

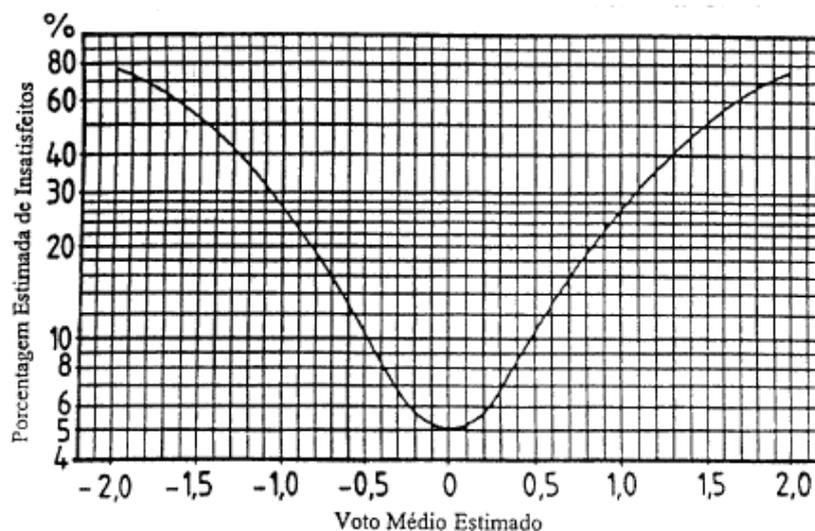


Figura 2 - Relação entre a sensação térmica previsível e a percentagem de insatisfação térmica

2.4.3.3 Outras metodologias e recomendações

Além das recomendações das normas ASHRAE e ISO, muitos pesquisadores têm estudado o assunto e proposto metodologias para avaliação do desempenho térmico de edificações. Dentre estes, podem ser destacados Givoni, Fanger e Szokolay.

Givoni, por exemplo, sugere para as condições aceitáveis de pessoas que habitam países desenvolvidos a temperatura entre 18°C e 25°C no inverno, e entre 20°C e 27°C no verão. Sendo o limite superior do conteúdo de vapor de 10 g/kg no verão, para o limite superior de temperatura e de 15 g/kg para os limites inferiores de temperatura. Para os países em desenvolvimento e de clima quente, Givoni sugere elevar em 2°C a temperatura limite máxima, e em 2g /kg o conteúdo de vapor.

A seguir, na Tabela 3, é apresentado um resumo dos limites de conforto térmico proposto por diversas metodologias.

Tabela 3 - Valores limites de temperatura e umidade das zonas de conforto proposto por algumas metodologias

METODOLOGIA	TEMPERATURA		UMIDADE		OBSERVAÇÃO
	limite mínimo	limite máximo	limite mínimo	limite máximo	
ASHRAE 55-74	> 20,0 °C TE*	< 26,1°C TE*	> 5 mm Hg	< 14 mm Hg	
ASHRAE 55-81	> 23 °C TE* > 20 °C TE*	< 27 °C TE* < 24 °C TE*	> 4 g/kg	< 12 g/kg	verão inverno
ASHRAE 55-2004	> 23 °C TE* > 20 °C TE*	< 26 °C TE* < 23,5 °C TE*	> 4,5 g/kg e 30%	< 60%	verão inverno
GIVONI original	> 21°C	< 26 °C < 25 °C	> 5 mm Hg	< 17 mm Hg e 80%	baixa umidade altas umidades
GIVONI E MILNE	> 22,7 °C > 20 °C	< 27 °C < 24 °C	> 20%	< 80%	verão inverno
GONZALEZ	> 22 °C	< 29 °C < 26,5 °C	> 4 g/kg	< 14 g/kg ou 75%	baixa umidade altas umidades
GIVONI 92 Países Desenvolvidos	> 20 °C > 18 °C	< 27 °C < 25 °C	> 4,0 g/kg	< 80% e 15 g/kg	verão inverno
GIVONI 92 Países em Desenvolvimento	18 °C	< 29 °C < 26 °C	> 4 g/kg	< 80% e 17 g/kg baixa umidade altas umidades	verão baixa umidade
SZOKOLAY	> 18 °C TMA± 2 K SET 18,5 °C TMM± 1,75K SET	< 25 °C 28,5 °C	> 4 g/kg	< 12 g/kg	inverno limites variáveis com o clima local
WATSON & LABS	> 20 °C TE*	< 25,6 °C TE*	> 5 mm Hg	< 80%	
ABNT - NBR 6401/80	23 °C 20 °C	26,5 °C 22 °C	40 % 35 %	65 % 65 %	verão inverno
PNBR 02:136.01	≥ 17 °C	≤ 27 °C			Nível Superior

Fonte: Barbosa, 1997, p. 50 (modificada)

TE* - Temperatura Efetiva

2.5 Programas de simulação para a avaliação do desempenho térmico

A simulação termo-energética caracteriza-se por reproduzir um caso real através de um modelo que permite avaliar o comportamento térmico quando submetido a diferentes

condições, tais como alterações dos fatores ambientais, características dos materiais do envoltório do prédio bem como os fatores internos como pessoas, lâmpadas e equipamentos (HAGEL, 2005).

Na avaliação de Romero (1995), os programas computacionais têm sido cada vez mais aplicados pelo fato de poderem ser utilizados tanto para projetos que ainda estejam em processo de concepção, como para aqueles que já se encontram construídos, e necessitam de algum tipo de modificação, para fins de análises de viabilidade. Segundo ele, a grande vantagem consiste em poder efetuar cálculos que permitem análises de ganhos de calor por meio da envoltória e ganhos de calor gerados internamente para diversos espaços de uma edificação.

Assim, a utilização de programas de simulação tem sido cada vez maior, pois permitem diagnosticar um caso real modelado e avaliar o seu desempenho quando submetido a alterações de suas características (tipologia construtiva, uso, iluminação, equipamentos, etc.). Muitas vezes, as medições *in loco* se tornam difíceis e até inviáveis, principalmente quando deve ser realizado em construções já habitadas ou em uso. Da mesma forma, a facilidade na manipulação de variáveis, baixo custo e o tempo de processamento também contribuem para uma maior utilização de simulações computacionais.

De acordo com Neumann e Schneider (1999), é desejável que uma ferramenta de simulação seja eficiente, reduzindo a complexidade dos problemas sem sacrificar a precisão dos resultados. Devendo proporcionar uma interface amigável, na qual o usuário seja capaz de dominá-la em pouco tempo e os valores de entrada sejam reduzidos aos dados mais significativos e o tempo de simulação seja pequeno. Mas nem sempre se consegue reunir estas características num software, assim o mais importante são a eficiência e a precisão dos resultados.

A partir do objeto em estudo, gera-se um modelo, no qual se realiza a simulação do comportamento térmico de uma edificação. O modelo é uma abstração da realidade compilada, segundo a linguagem de seu código de programação, e formado por centenas ou milhares de variáveis. Cada variável quantifica ou representa uma característica de edificação, desde propriedades do material empregado na sua construção, à forma de operação do condicionamento de ar (PEDRINI, 1997).

Frente à necessidade de se utilizar cada vez mais *softwares* para simulação de ambientes, muitos programas computacionais nacionais e internacionais têm sido desenvolvidos. Visando conhecer-se o estado da arte com relação aos *softwares* de simulação

de desempenho térmico de edificações, realizou-se uma pesquisa dos *softwares* disponíveis e utilizados nesta área, cuja descrição e análise são apresentadas a seguir.

2.5.1 Programa COMFIE

O COMFIE (*Calcul d'Ouvrages Multizones Fixé à une Interface Expert* - Cálculo de Multizonas Fixadas a uma Interface Inteligente) é uma ferramenta de simulação simplificada, que permite a análise térmica de um projeto e foi desenvolvido no centro de energia da Escola de Minas de Paris (BARBOSA, 1997).

Grings (2003) afirma que o programa foi concebido utilizando uma estrutura de dados orientada ao objeto e um suporte teórico sobre análise modal. No caso, o módulo de cálculo aplicado ao estudo da transferência de calor permite simular vários ambientes de um edifício ao mesmo tempo. O programa admite as sombras acopladas ao edifício e as sombras distantes, além de acessórios para sombreamentos, sombras vegetais, equipamentos fontes de calor no interior, pontes térmicas e termostatos.

De acordo com Barbosa (1997), há duas opções de simulação simplificada no módulo de cálculo térmico: uma é a que fornece, como resultado, o valor da carga de aquecimento para o período de aquecimento do ano de referência, e a outra é a avaliação do conforto térmico no verão.

Segundo Michaloski (2002), com o COMFIE pode-se calcular perdas de calor, ganho solar, curva de temperaturas e carga térmica anual, temperaturas mínimas, máximas e médias para cada zona, com a carga de aquecimento ou resfriamento. Pode ser obtido também o consumo de energia após a simulação com o valor anual. Da mesma forma, pode se obter uma estimativa de custo para aquecimento e resfriamento para vários tipos de energia.

Isto permite visualizar o nível de conforto através de histogramas, construídos para cada faixa de temperatura, e de porcentagem de tempo na qual a temperatura da zona se encontra dentro da faixa de conforto.

2.5.2 Programa NBSLD

O NBSLD (*National Bureau of Standards – Load Determination*) foi desenvolvido pelo *National Bureau of Standard* (NBS) – USA, sendo utilizado nos procedimentos de rotina do IPT. Segundo Akutsu (1987), é um *software* que utiliza um modelo unicompartmental, no qual os cálculos são feitos, resolvendo-se simultaneamente as equações de balanço térmico do ambiente.

A principal característica do programa se encontra no método dos fatores de resposta térmica para o cálculo das quantidades de calor, transmitido por condução através dos elementos do prédio (GRINGS, 2003).

As limitações deste *software*, citadas por Grings (2003), dizem respeito às vazões de ar, que não são calculadas pelo programa, devendo ser fornecidas como dados de entrada, e a cobertura é considerada plana e horizontal. Como resultado de simulação, apresenta temperatura do ar e radiante média no interior, como também as temperaturas e fluxos de calor nas superfícies externas e internas de todos os elementos e componentes.

2.5.3 Programa THEDES

De acordo com Sattler (1991), o THEDES é um *software* que simula o desempenho térmico de edificações, gerando resultados numéricos e gráficos dos valores horários de temperatura no interior da edificação, demonstrando, também, como essas temperaturas se apresentam com relação às temperaturas de conforto, segundo Fanger, além de apresentar uma descrição detalhada dos ganhos de calor por meio do envelope da edificação.

O programa THEDES simula o desempenho de edificações não condicionadas artificialmente. (BARBOSA, 1997). Os algoritmos do programa são baseados no método da admitância, desenvolvido pelo *Building Research Establishment*, UK. Tal método pressupõe um regime cíclico de variação de temperatura no tempo.

2.5.4 Programa ARQUITROP

O ARQUITROP, foi desenvolvido por Roriz e Basso (1990), da Universidade Federal de São Carlos, baseado no método da admitância, no qual simula o desempenho térmico e verifica a adequação climática de edificações, visando otimizar o conforto ambiental, bem como analisa o consumo de energia elétrica. Possui um banco de dados climáticos para as cidades brasileiras e um banco de dados de materiais e componentes usualmente empregados na construção civil, onde esses dados podem ser ampliados ou atualizados.

Segundo Michaloski (2002), dentro do procedimento de avaliação, o programa faz diagnóstico do clima local, das condições higrótérmicas mensais e sugere recomendações visando otimizar o desempenho térmico da edificação.

A simulação de desempenho pode ser realizada para qualquer dia do ano, apresentando os resultados sob a forma de tabelas ou gráficos de variação horária de temperatura e cargas térmicas. Também pode ser verificado o risco de condensação nas superfícies internas (SILVA, 2000).

2.5.5 Programa DOE

O DOE é um *software* elaborado para analisar o desempenho termo-energético de edificações e foi desenvolvido pelo "*Lawrence Berkeley Laboratory*" da Universidade da Califórnia em conjunto com o "*Department of Energy*" (DOE), nos Estados Unidos. Ele simula o consumo horário e os custos de energia de uma edificação, considerando as características arquitetônicas, regime de utilização, sistema de condicionador de ar, sistema de iluminação e equipamentos, dados climáticos e estruturas tarifárias. Realizando o cálculo de cargas térmicas horárias e a simulação dos equipamentos de aquecimento e refrigeração. (DOE2.COM, 2005)

O método dos fatores de resposta térmica é utilizado para a determinação da transferência de calor por condução e o método dos fatores de ponderação para a determinação de cargas térmicas de condicionamento.

Atualmente, existe o programa *VisualDOE*, que é a versão mais recente do programa DOE, com a vantagem de apresentar uma interface gráfica mais amigável.

2.5.6 Programa TRNSYS.15

De acordo com as informações de Ferreira (2001), o programa TRNSYS.15 está disponível comercialmente desde 1975, tendo sido desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade de Wisconsin nos Estados Unidos com o objetivo de simular o desempenho transiente de sistemas térmicos.

O TRNSYS.15 apresenta uma estrutura modular, possibilitando assim a adição de novos modelos não incluídos na biblioteca padrão. Estando baseado em um programa principal que organiza a ligação e a concatenação das sub-rotinas que representam os modelos de componentes do sistema. O programa apresenta o módulo TYPE, um componente que corresponde a um sistema térmico completo, e é uma sub-rotina escrita na linguagem FORTRAN, nele chegam as entradas e partem as saídas. Paralelamente, podem ser associados parâmetros relacionados ao sistema, fenômeno ou utilitário representado. Estes parâmetros são valores que permanecem constantes ao longo de toda a simulação (GRINGS, 2003).

2.5.7 Programa BLAST

O programa BLAST foi desenvolvido pela Universidade de Illinois atendendo pedido do *Department of Defence* dos Estados Unidos, tendo como base o fator de resposta para condução, juntamente com o método das diferenças finitas. Segundo Grings (2003), a

principal diferença entre o DOE e o BLAST é que o último processa a parte da carga térmica e condicionador de ar de forma integrada, e o módulo dos materiais encontra-se incorporado ao programa.

2.5.8 Programa EnergyPlus

O *EnergyPlus* é um programa de simulação utilizado para avaliação de desempenho térmico e energético de edificações (UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, 2005). Ele combina as potencialidades de outros dois programas, Blast e DOE-2. Baseia-se no método de cálculo do programa Blast para efetuar o balanço térmico. Incorpora novas possibilidades de simulação para se adequar às necessidades do projetista, tais como: forma, economia, meio ambiente, conforto e segurança. É mais flexível e ao mesmo tempo mais completo, permitindo calcular cargas térmicas através do método do balanço térmico em intervalos de tempo pré-estabelecidos, analisando várias alternativas de climatização, fazendo-se ajustes e admitindo a transferência e manipulação de um módulo para outro. Permite avaliar o fluxo de ar entre as zonas térmicas, possui sistemas de controle que descrevem melhor os reais sistemas de transmissão de calor, como o calor de radiação e ganho e perda de umidade nos materiais.

Conforme aborda Grings (2003), o balanço de energia utilizada pelo programa *EnergyPlus* é uma tentativa de descrever o invólucro da edificação como o Primeiro Princípio da Termodinâmica. Dessa forma a modelagem dos ambientes é definida por dois tipos de superfícies: as superfícies que armazenam energia e as superfícies que a transferem. As primeiras são superfícies internas que dividem espaços com a mesma temperatura e as outras são superfícies externas ou internas que separam espaços com temperaturas diferentes. Neste caso, uma zona não é um conceito geométrico e sim, um conceito térmico. Uma zona é um volume de ar com temperatura uniforme mais as superfícies externas (superfícies que transferem energia) e as superfícies interiores ao volume de ar (superfícies que armazenam energia). O que define uma zona térmica é o sistema de condicionamento de ar. Dois ambientes, não adjacentes, podem formar uma zona térmica, desde que tenham a mesma temperatura e sejam servidos pelo mesmo sistema de condicionamento de ar.

O *EnergyPlus* Manual (2005) distingue as seguintes principais características do *software EnergyPlus*:

- Solução simultânea e integrada, onde a resposta da edificação e os sistemas primário e secundário estão fortemente acoplados.

- Intervalos de tempos definíveis pelo usuário, para interação entre as zonas térmicas e o ambiente, e intervalos de tempo variáveis para interações entre as zonas térmicas e os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (*HVAC*) – automaticamente variados para assegurar a estabilidade da solução.
- Arquivo climático e arquivos de entrada e saída baseados no formato ASCII, que inclui condições ambientais horárias ou subhorárias e relatórios definíveis pelo usuário.
- Técnica de solução baseada no balanço de energia para cargas térmicas prediais, que permite o cálculo simultâneo dos efeitos radiante e convectivo nas superfícies interior e exterior, durante cada intervalo de tempo.
- Condução de calor transiente através dos elementos da edificação (paredes, tetos, piso, etc.) usando as funções de transferência por condução.
- Modelagem aperfeiçoada da transferência de calor do solo, através de modelos de diferenças finitas tridimensionais e técnicas analíticas simplificadas.
- Modelo combinado de transferência de calor e massa que considera, para a absorção e eliminação de umidade: uma integração camada por camada dentro das funções de transferência por condução, ou um modelo *EMPD* (*Effective Moisture Penetration Depth*).
- Modelos de conforto térmico (Fanger) baseados na atividade das pessoas, na temperatura de bulbo seco interna, na umidade, etc..
- Cálculos avançados de interfaces transparentes ou translúcidas, como janelas, incluindo controle de cortinas, balanços de calor camada por camada nos vidros das janelas, e uma biblioteca de performance para muitos tipos de vidros disponíveis comercialmente.
- Controle da luz do dia, incluindo cálculos da iluminância interior, simulação e controle do brilho, das lâmpadas e do efeito da redução da iluminação artificial nas cargas térmicas de aquecimento e resfriamento.
- Sistemas de *HVAC* configuráveis, que permitem aos usuários modelar sistemas típicos e sistemas pouco modificados, sem necessidade de recompilar o código fonte do programa.
- Cálculo da poluição atmosférica que predizem os níveis de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de enxofre (SO_x) e óxidos nítricos (NO_x).

- Possibilidade de comunicação com outros ambientes de simulação que permitem análises mais detalhadas de alguns componentes da edificação, tais como *WINDOW 5*, *COMIS* (modelo de fluxo de ar) e *TRNSYS*.

Resumidamente, pode-se dizer que o programa permite, a partir da caracterização geométrica da edificação, seus componentes construtivos, cargas elétricas instaladas, sistemas de condicionamento de ar e padrões de uso, estimar o consumo de energia considerando as trocas térmicas da edificação com o exterior.

O *EnergyPlus* utiliza um arquivo climático da região da edificação, com dados horários de temperatura, umidade relativa, ventos e radiação solar. O programa permite que os cálculos do balanço de calor sejam realizados em intervalos menores que 1 hora (até 1 minuto). A simulação utilizando sistemas modulares permite a integração do cálculo do balanço de calor na zona térmica, entrada e saída de dados, possibilitando a sincronização com outras interfaces. Ainda, permite a inclusão do fluxo de ar entre múltiplos ambientes, ou simulação de energia elétrica incluindo células combustíveis, e outros sistemas de distribuição de energia.

Conforme consta no *EnergyPlus* Manual, este programa lê arquivos no formato .idf, que podem ser criados com um editor disponível junto com *software* e que fornece características de materiais, dados climáticos e exemplos. Também, é possível criar arquivos de entrada no formato de texto que devem ser gravados como .idf. Nestes arquivos, são utilizadas as seguintes convenções: vírgula, no final de uma declaração; ponto e vírgula, no final de um conjunto de declarações e o ponto de exclamação significam comentário.

O editor IDF *EnergyPlus* oferece uma interface conforme a apresentada na Fonte: ENERGYPLUS Manual, 2005

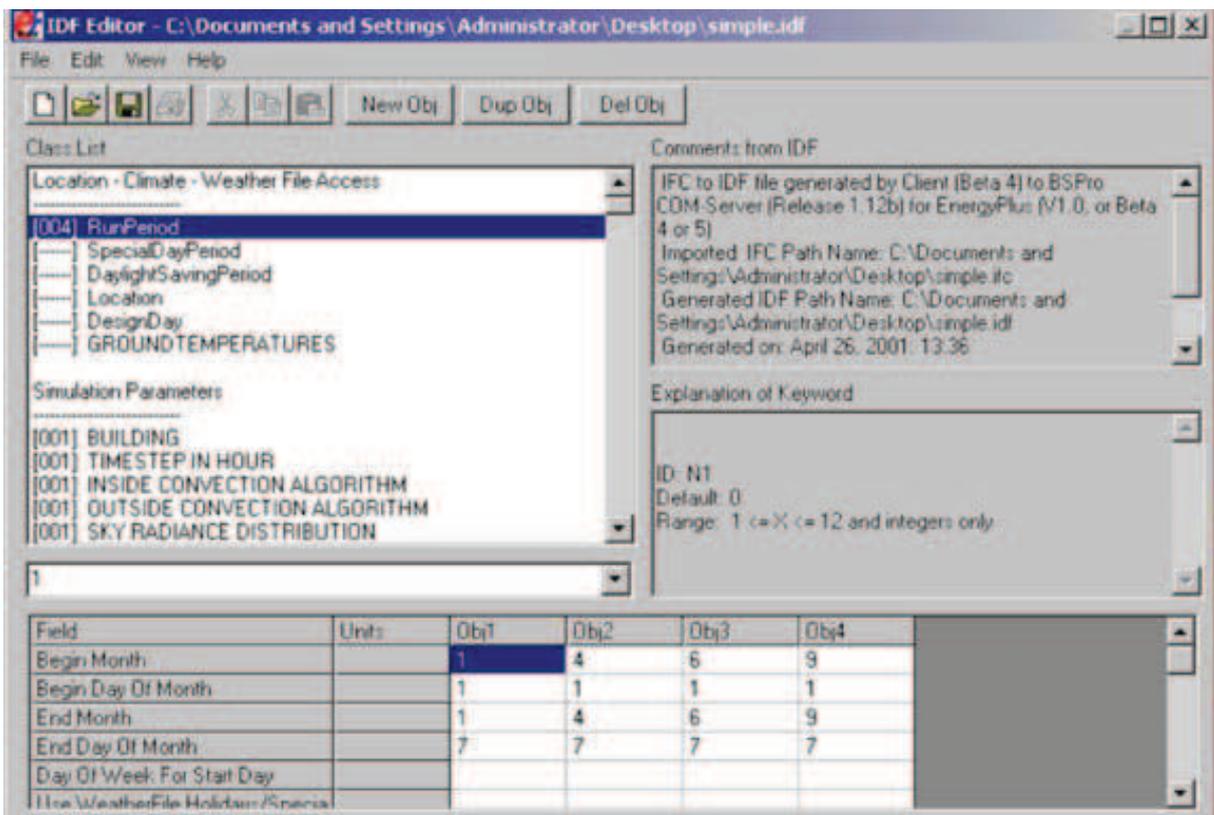
Figura 3, onde são informados os diversos dados para o modelo que se deseja estudar. Os arquivos gerados nesta interface são automaticamente criados como .idf e são lidos pelo *EnergyPlus*.

Quanto à saída de dados do *EnergyPlus*, o usuário pode solicitar diversos tipos de relatórios do programa, com dados estimados durante o processo de simulação, incluindo temperatura interna de cada zona térmica, consumo de energia por uso final e carga térmica retirada ou adicionada pelo sistema de condicionamento de ar. Os principais arquivos fornecidos são:

- Arquivo de desenho (.dxf);
- arquivo de erros (.err), que lista os tipos de erros ocorridos no programa facilitando sua correção;

- arquivo de variáveis de saída (.rdd), que lista todas as variáveis de saída para a simulação;
- arquivo de parâmetros (.eio), que especifica os parâmetros da simulação e lista os resultados dos cálculos das funções de transferência por condução;
- arquivo de resultados da simulação (.eso).

Os arquivos de parâmetros para a simulação e o arquivo de resultados são criados no formato .csv e podem ser lidos como texto ou na planilha eletrônica *Microsoft Excel*. O fato do arquivo .eso ser compatível com o *Excel*, possibilita a plotagem de gráficos dos resultados.



Fonte: ENERGYPLUS Manual, 2005

Figura 3 - Tela do IDF Editor do *EnergyPlus*

Hoje, não resta dúvida, que o *EnergyPlus* é o *software* mais utilizado pelos pesquisadores do Brasil para a realização de simulação térmica e energética de edificações. Diante desta realidade, nesta pesquisa, a escolha recaiu sobre ele, pois isto permitirá que a avaliação do caso em estudo, possa ser comparada com outros resultados e outras metodologias utilizadas.

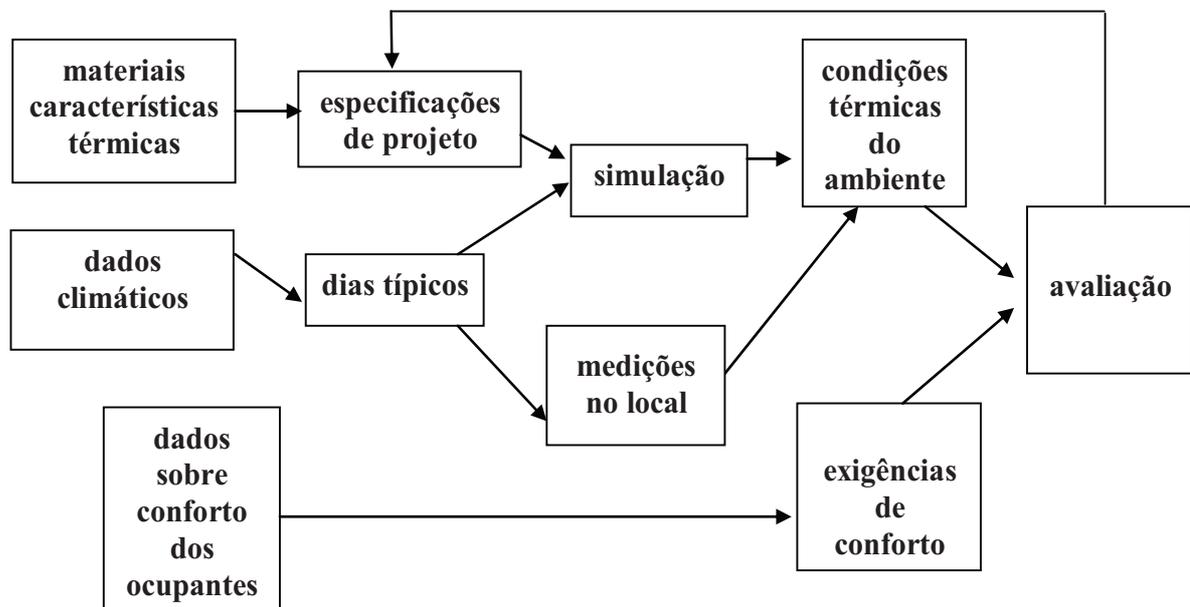
2.6 Pesquisas realizadas no Brasil sobre desempenho térmico

Desde 1981, diversas pesquisas e trabalhos têm sido realizadas sobre o tema relacionado a avaliação do desempenho térmico de edificações. Os primeiros trabalhos foram realizados pela Divisão de Edificações do IPT de São Paulo. Depois, podem ser destacados os trabalhos realizados no CIENTEC do Rio Grande do Sul e na Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente, estudos na área têm sido realizados em diversas universidades brasileiras.

2.6.1 Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares

Este trabalho desenvolvido por Akutsu (1987) apresenta um manual de procedimentos para avaliação do desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares. Os procedimentos são voltados a três aspectos básicos: o tratamento de dados climáticos da região onde será construída a edificação; a determinação do comportamento térmico do edifício nesta região de acordo com as suas características construtivas definidas; a avaliação das condições de conforto propiciadas pelas edificações.

Na Figura 4 é apresentada a seqüência das etapas principais envolvidas no processo de avaliação do desempenho térmico de edificações, segundo a metodologia proposta.



Fonte: AKUTSU, 1987.

Figura 4 - Etapas do processo de avaliação do desempenho térmico de edificações escolares

A metodologia proposta utiliza as exigências humanas de conforto definidas pela norma americana ANSI/ASHRAE 55-81, que estabelece que um ambiente deve apresentar

condições térmicas tais que, pelo menos, 80% dos ocupantes expressem satisfação. Dessa forma, define que a umidade relativa deve ser superior a 30%; a velocidade do ar nos ambientes, no inverno, não deve exceder a 0,15 m/s e no verão, 0,25 m/s; a variação vertical da temperatura não deve exceder a 3°C; a assimetria de temperatura radiante na direção vertical deve ser inferior a 5 °C e na direção horizontal 10 °C. O método de avaliação proposto é o desenvolvido por Fanger (1970), que visa determinar o grau de conforto térmico de um ambiente, considerando os seguintes parâmetros: temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar, temperatura radiante, vestimenta e metabolismo do indivíduo.

Com relação à caracterização das condições climáticas, a metodologia adotada compreende as seguintes etapas: escolha do posto meteorológico que melhor represente o local da habitação; definição dos períodos de análise a partir dos quais são determinados os dias típicos; tratamento dos dados meteorológicos disponíveis.

A determinação das condições térmicas do ambiente pode ser através das medições “*in loco*” ou realização de cálculos. A fórmula de cálculo recomendada seria através de *softwares* de computadores selecionados criteriosamente. Faz referência ao *software* NBSLD. Em relação às medições, refere-se aos seguintes parâmetros: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade do ar.

2.6.2 Análise de desempenho térmico de uma habitação unifamiliar térrea

Neste trabalho desenvolvido por Becker (1992), a pesquisadora verifica, *in loco*, o comportamento térmico de um protótipo habitacional de um pavimento, localizado na cidade de Cachoeirinha, RS.

Na verificação da resposta térmica de uma edificação, frente às condições climáticas de exposição, seguiu a metodologia proposta pelo IPT (AKUTSU, 1987), na seguinte ordem:

- caracterização das condições meteorológicas ocorrentes no período de medição;
- caracterização da edificação e da sua ocupação;
- caracterização do comportamento térmico da edificação;
- caracterização das exigências humanas de conforto térmico;
- avaliação do desempenho térmico da edificação.

Na parte experimental, foram realizadas medições das variáveis de temperatura (externa, interna, globo e superficiais) ao longo do dia, a intervalos de tempo regulares (de dez em dez minutos).

A avaliação do desempenho térmico da edificação foi realizada, comparando-se os resultados obtidos, com os critérios de conforto da norma ASHRAE 55-81 (ASHRAE, 2004).

Os resultados obtidos indicam, com relação à temperatura do ar da sala que, em cerca de 70% do tempo, a casa oferece condições de conforto, ou seja, apresenta temperatura entre 18 e 28°C.

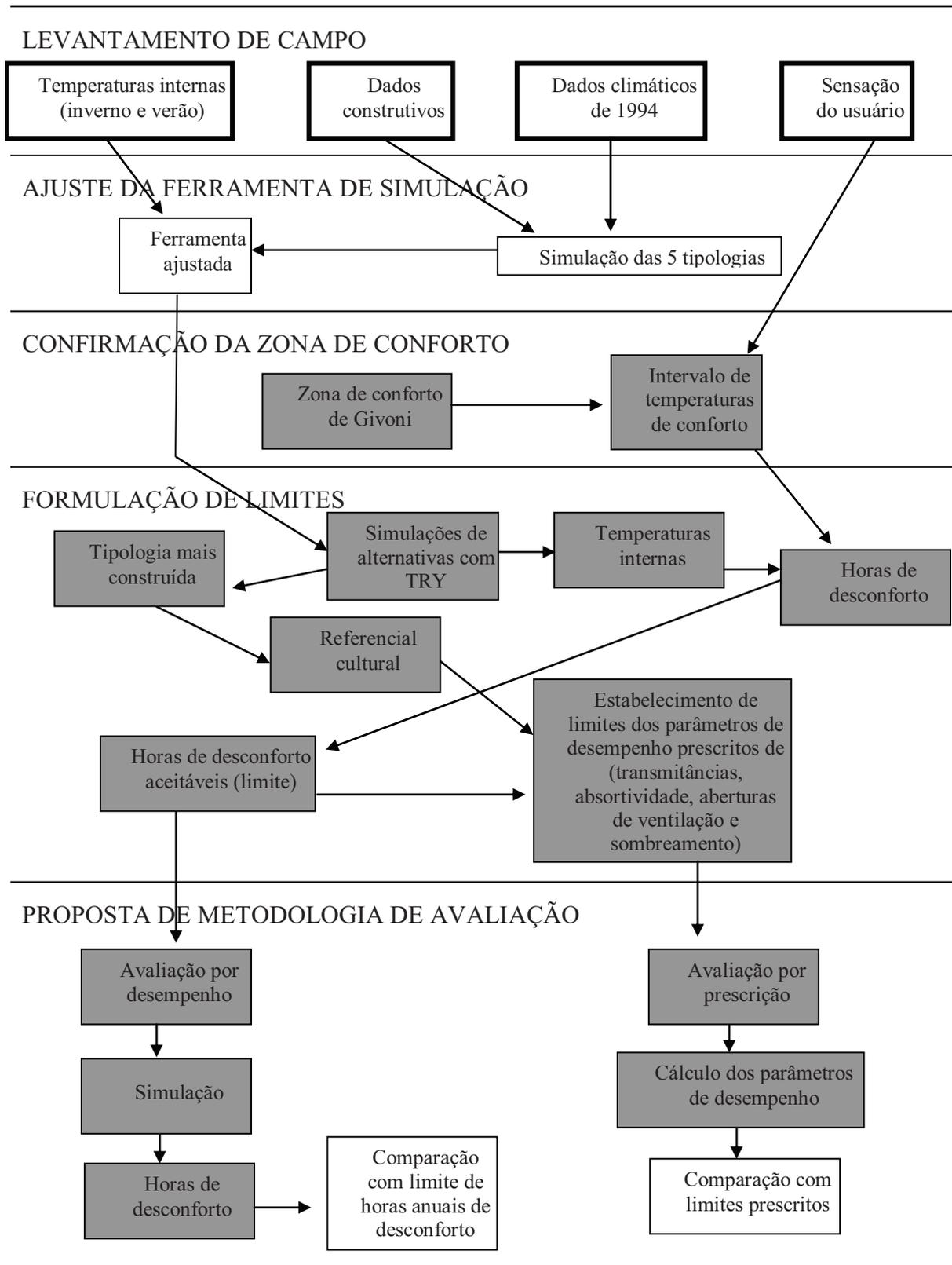
2.6.3 Critérios mínimos de desempenho de habitações térreas de interesse social

Neste trabalho, conduzido por Akutsu (1998), no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), a metodologia propõe a avaliação do desempenho térmico através de tabelas de referência, que descrevem tipos de paredes e tipos de forros e coberturas. Também apresenta um processo de avaliação com critérios de desempenho para as tipologias que não se enquadram nas tabelas. Este método classifica as habitações, no verão, como A se a temperatura do ar interior for menor ou igual a 29°C, B quando for menor ou igual à temperatura máxima exterior e C se a temperatura do ar interior for maior que a máxima exterior. No inverno, as habitações são classificadas como A se temperatura do ar interior for maior ou igual a 17°C, B quando a temperatura do ar interior for menor que 17°C e maior ou igual a 12°C, e C se a temperatura do ar interior for menor que 12°C. As unidades habitacionais, cujo conforto térmico for classificado como nível C tanto para verão como para inverno, são inaceitáveis.

2.6.4 Metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares

Este estudo, realizado por Barbosa (1997), em sua tese de doutorado, realizado junto à Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, teve por base a cidade de Londrina – PR. Nele é proposta uma metodologia para avaliar o desempenho térmico em edificações térreas residenciais unifamiliares através de limites de conforto térmico ajustados para uma população local. Os referidos limites baseiam-se na zona de conforto térmico de Givoni (1992) para países de clima quente e em desenvolvimento, que recomenda para o interior temperaturas variando de 18 a 29°C. O parâmetro adotado como critério de avaliação é o total de horas por ano em que as temperaturas internas obtidas na simulação apresentam-se fora dos limites de temperatura da zona de conforto de Givoni. Foi utilizado o *software* de simulação COMFIE, como ferramenta nos estudos. Na Figura 5 é apresentada a estrutura da metodologia proposta por Barbosa (1997).

A avaliação por prescrição é feita, verificando-se o cumprimento de limites estabelecidos para as características térmicas dos elementos construtivos. A avaliação por desempenho é realizada através da simulação com qualquer sistema construtivo, comparando-se as horas de desconforto anual, quantificadas após a simulação, com o limite aceitável de horas de desconforto anual estabelecido.



Fonte: Barbosa, 1997, p. 6.

Figura 5 - Estrutura da metodologia proposta por Barbosa

Em novo estudo coordenado por Barbosa (2003), cujo título foi o “Aperfeiçoamento e Desenvolvimento de Novos Métodos de Avaliação de Desempenho para Subsidiar a Elaboração e Revisão de Normas Técnicas”, onde foi realizada uma revisão bibliográfica de trabalhos realizados pelo IPT e pela ANTAC, relacionados com o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares. A fase de pesquisa bibliográfica visou analisar textos preparados para serem transformados em normas para avaliar o desempenho térmico de habitações de interesse social ou habitações populares.

A parte prática do trabalho foi realizada com habitações populares, nas quais se realizou avaliação de desempenho térmico através de três métodos, simulações térmicas, monitoramento térmico e levantamento de custo.

É feita uma proposta de alteração da Norma em Conforto Ambiental, sugerindo que seja incluída uma forma alternativa de avaliação de desempenho térmico de habitações populares, através da quantificação das horas anuais de desconforto.

2.6.5 Avaliação de desempenho térmico realizados na Vila Tecnológica de Curitiba

Foram encontradas duas dissertações de mestrado realizadas no Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, onde se avaliam o desempenho térmico de habitações construídas na Vila Tecnológica de Curitiba.

No trabalho de Dumke (2002) intitulado “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” foram analisadas 18 moradias habitadas e de sistema construtivo diferenciado.

A avaliação térmica das moradias habitadas foi realizada com medições no próprio ambiente, observando-se os padrões de uso das moradias. Foram utilizados *data-loggers* do tipo HOBO para as medições realizadas. Os períodos medidos foram de 09/07 a 03/08/2000 (inverno) e de 12/12/2000 a 10/01/2001 (verão). Os aparelhos foram programados para coletar a temperatura e umidade relativa a cada 15 minutos. Os dados coletados foram integrados para uma hora e plotados e analisados com o *software* ANALYSIS na carta psicrométrica de Givoni, tendo como resultado a quantificação da porcentagem do tempo de medição em que as condições do ambiente se situam na zona de conforto ou fora dela (SCHUCH et al, 2005).

Os resultados obtidos por Dumke (2002) apontam para apenas 10,6% das horas da temperatura externa na faixa de conforto (18°C a 29°C) no inverno, ou seja, 88,3% das horas em desconforto por frio e 1,01% das horas em desconforto por calor. No verão, a temperatura

externa apresentou 36,3% das horas na faixa de conforto e 63,7% das horas em desconforto assim distribuídas: 31,3% de frio e 32,4% de calor.

Analisando-se as coberturas, observou-se que tanto para o inverno como para o verão, aquelas com forro de madeira, câmara de ar não-ventilada e telhamento cerâmico foram as que apresentaram melhor desempenho térmico. Por outro lado, o pior desempenho foi obtido para as coberturas de forro de madeira ou de painéis de concreto e telhas de fibrocimento. Foi comprovada a importância do tipo de telha na obtenção do conforto térmico, sobretudo nas habitações térreas, observando-se um desempenho superior das moradias com telhas cerâmicas.

Com relação às tecnologias, constatou-se que o sistema construtivo com tijolos cerâmicos vazados e cobertura de madeira, com câmara de ar muito ventilada, apresentou pior desempenho térmico no inverno, mas um dos melhores desempenhos no verão, o que demonstra ser ela apropriada para regiões de clima mais quente. De modo semelhante, o sistema construtivo de blocos de concreto autotravados, apresentou bom desempenho térmico no verão e ruim no inverno.

Das tecnologias estudadas a mais adequada ao clima de Curitiba foi a de tijolos de solocimento, que teve melhor desempenho no inverno e segundo melhor desempenho no verão. Também apresentou excelente desempenho no verão e bom no inverno o sistema construtivo de maior inércia térmica e menor transmitância o sistema de poliestireno expandido, revestido com argamassa, sendo superado no inverno pelos sistemas construtivos de madeira.

O número de horas de desconforto por frio (73,1% das horas do ano) é muito maior que o desconforto por calor (5,9%), sob o enfoque da carta bioclimática de Curitiba (LAMBERTS et al., 1997). Os sistemas construtivos de madeira tradicionais da região, por seu bom desempenho no inverno, não podem ser descartados como alternativa para habitação, levando-se em conta também seu fator cultural. O sistema que apresentou o melhor desempenho foi o sistema de madeira de lei maciça e maior espessura, e o que apresentou o pior foi o com painel simples de madeira (DUMKE, 2002).

Para o inverno, o melhor desempenho se deu no sistema de tijolos de solocimento, onde a transmitância da parede ficou no limite e transmitância da cobertura acima do recomendado pela Norma NBR-15220. Com relação às inércias térmicas da parede e cobertura, elas ficaram dentro dos limites recomendados. A pior situação foi observada no sistema de tijolos cerâmicos vazados, com características de transmitância e inércia térmica

muito semelhantes ao sistema de tijolos de solocimento, exceto por apresentar a transmitância da cobertura acima do valor recomendado.

Apenas o sistema de poliestireno expandido entre telas de aço e revestido com argamassa, atende aos parâmetros recomendados para transmitância das paredes e coberturas. Mas a inércia térmica da parede e da cobertura, estão bem acima dos limites recomendados.

Não se verificou uma relação clara do desempenho térmico e das características termofísicas dos materiais. O que leva a supor que outros parâmetros seriam mais definidores do conforto térmico, tais como área de ventilação, ganho solar através das aberturas, material e orientação das esquadrias, bem como os padrões de uso das moradias: ocupação, operação de portas e janelas, e uso de equipamentos.

Para o verão, o melhor resultado ficou com o sistema de poliestireno expandido revestido com argamassa, cujos valores da transmitância ficaram dentro dos limites recomendados pela Norma NBR-15220. Contudo, a inércia térmica ficou bem acima dos limites recomendados, tanto para parede como para cobertura. A pior situação foi a do sistema constituído de painéis duplos de concreto com câmara de ar, que apresentou a transmitância da cobertura acima dos limites, transmitância da parede próxima dos limites e inércia térmica tanto de parede quanto de cobertura dentro dos limites da Norma. Isto mostrou que a transmitância parece influir no grau de conforto, a inércia térmica não.

As conclusões apresentadas no trabalho de Dumke (2002) afirmam que no verão as características termofísicas da envoltória parecem ser fatores determinantes do desempenho térmico das moradias, mas no inverno, outros fatores interferem de forma mais decisiva. Dessa forma, a Norma de Desempenho Térmico (ABNT, 2005) se aplica melhor para climas quentes, predominante no território nacional. Assim para o caso de Curitiba, sugeriu-se a introdução de parâmetros específicos para a condição de inverno. Além disso, os resultados mostraram serem necessários estudos mais aprofundados quanto aos limites fixados para o atraso térmico das paredes e coberturas.

2.7 Outros trabalhos sobre desempenho térmico

Em trabalho realizado em 1981, intitulado Conforto Higrotérmico: Avaliação de Desempenho de Habitações Térreas Unifamiliares, realizado pelo IPT (IPT, apud BARBOSA, 1997) foi apresentada uma proposta de normalização para avaliar o desempenho térmico de edificações de habitações térreas unifamiliares, válida para todo o território brasileiro. A proposta incluía um zoneamento climático com nove zonas de inverno e 11 zonas de verão.

Neste trabalho, são levados em conta a admissividade térmica dos elementos e componentes da edificação, a transmitância térmica, a condensação, o desconforto por contato dos pés dos usuários com o piso da edificação e o sombreamento. A avaliação é feita analisando-se os valores de transmitância (U) ou resistência (R) e comparando-os com seus valores limites, estabelecidos na proposta de Conforto Higrotérmico. Considera ainda a orientação, as dimensões e o sombreamento das janelas, dependendo da zona climática. Recomenda ainda uma renovação de ar de 18 m³/hora por pessoa, para todas as zonas, generalizadamente.

A proposta do IPT (IPT, apud BARBOSA, 1997), avalia o desempenho por prescrição, isto é, o método prescreve os limites dos parâmetros térmicos.

Sattler (1991), realizou a avaliação de desempenho térmico de uma edificação por meio de instrumentação (medições no local) e simulação por computador. Na avaliação de desempenho térmico por simulação, Sattler (1991) utilizou o programa THEDES, para verão e inverno.

A partir dos resultados do desempenho do sistema tradicional de referência, foram feitas recomendações gerais, identificadas como potencialmente capazes de proporcionar um melhor desempenho térmico.

A aplicação prática foi realizada por Becker (1992), na cidade de Cachoeirinha-RS, durante o outono de 1990, em protótipo habitacional, relatados no item 2.6.2.

Num estudo realizado por Akutsu e Vittorino (1991) intitulado Proposta de Procedimentos para Avaliação do Desempenho Térmico em Edificações Condicionadas e não Condicionadas, apresentada no I Encontro Nacional de Normalização Ligada ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Ambiental em Edificações, são apresentados procedimentos que conduzem à avaliação de desempenho térmico de edificações e à escolha do sistema de ar condicionado energeticamente mais eficiente.

O processo de avaliação vai depender do nível de exigência ou nível de conforto térmico exigido e depende das características climáticas do local. Assim são propostos os seguintes procedimentos no processo de avaliação:

- 1 - Caracterização das exigências humanas de conforto.
- 2 - Caracterização das condições típicas de exposição ao clima.
- 3 - Caracterização da edificação e sua ocupação.
- 4 - Caracterização do desempenho térmico da edificação.
- 5 - Avaliação do desempenho térmico da edificação.

As exigências básicas definidas como aceitáveis térmica para o ambiente são de que pelo menos 80% dos ocupantes expressem satisfação com o ambiente térmico, correspondendo a valores de PMV entre (+0,82 a -0,82). Dentre outros parâmetros, recomendam um valor mínimo da umidade relativa do ar de 30%, a temperatura superficial do piso deve estar entre 19°C e 26°C e a temperatura do ar no ambiente de até 29 °C.

Em outro trabalho intitulado: Critérios para a Definição de Níveis de Desempenho Térmico de Edificações, Akutsu e Vittorino (1993), apresentam critérios, propostos por Akutsu et al. (1987), para a definição de níveis de desempenho no processo de avaliação térmica de edificações, trazendo exemplos e aplicação desses critérios.

No terceiro Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Akutsu et al. (1995) apresentam um Método Expedido para Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações, resultado das experiências acumuladas na questão de avaliação de desempenho térmico de edificações. O método é simples e destinado a usuários leigos, para avaliação de habitações térreas de interesse social padrão COHAB, não sendo necessário o uso de cálculos por computador.

O método consiste em consultar e aplicar tabelas onde estão indicados os níveis de desempenho A, B ou C. O usuário deve selecionar um dos trinta tipos de paredes, um dos oito tipos de coberturas e uma das oito regiões climáticas. O método permite identificar o sistema construtivo mais adequado para cada região e a compatibilidade do sistema construtivo para o desempenho de verão e de inverno.

Assis et al. (1995) apresenta uma comparação entre os resultados de dois programas computacionais para a análise térmica de ambientes, o CASAMO-CLIM, versão maio/1988, desenvolvido pela École des Mines de Paris e o ARQUITROP, versão 3.0, desenvolvido por Roriz e Basso (1990). Ela simulou unidades unifamiliares de um conjunto habitacional projetado pela COHAB-MG para um período típico de 24 horas, no inverno e primavera.

O resultado apresentou uma grande similaridade entre os valores de temperatura e umidade relativa externa geradas pelos dois modelos. Tendo o estudo demonstrado a possibilidade do uso dos dois modelos na análise térmica de ambientes, já que há certa complementação nos resultados. O CASAMO-CLIM mostra a variação das condições de conforto, através do Diagrama Bioclimático de Givoni, o ARQUITROP mostra qual ou quais as componentes mais comprometidas quanto ao desempenho térmico.

Outro trabalho a que se teve acesso, referente ao assunto, foi desenvolvido por Basso (1995), onde ele aborda como se pode melhorar o desempenho térmico de habitações com o auxílio de sistemas computacionais, através do estudo da implantação e escolha do sistema

construtivo, de modo que o rigor climático seja suavizado. Ele utilizou o programa ARQUITROP para a simulação do desempenho térmico das edificações. Tendo estudado unidades habitacionais destinadas à população de baixa renda de conjunto habitacional na cidade de Cuiabá, que utiliza madeira como material construtivo.

Como resultado, obteve um tipo construtivo, utilizando terra de barro com forro ventilado, associado a pintura da parede externa na cor branca. Também concluiu que a inércia térmica é pequena, fazendo com que a sensação térmica seja similar tanto dentro como fora da casa. Recomenda o tratamento do entorno para melhorar as condições de conforto.

Pietrobon et al. (1996) apresenta uma metodologia de projeto arquitetônico bioclimático que enfoca a inter-relação entre os três sistemas envolvidos (entorno, edifício e usuário). Utilizou a simulação computacional (programa NBSLD) na determinação do desempenho térmico da edificação, visando ao conforto térmico humano. Pretendendo subsidiar as atividades preliminares de projeto, apresenta correlações entre características arquitetônicas de fachada e o consumo energético.

Amorin (1998) desenvolveu estudo sobre a Avaliação Bioclimática de Projetos de Habitações Populares, com ênfase no Desempenho Térmico, por meio de estudo de casos de projetos produzidos institucionalmente na região de Brasília e entorno, comparando-se alguns programas Governamentais.

Utilizou *softwares* de simulação térmica EASY e COMFORT para verificar a eficiência das variáveis bioclimáticas simuladas para o clima da região de Brasília. Tendo os resultados demonstrados a possibilidade de melhoria do conforto térmico nas habitações, a partir de modificações nas variáveis bioclimáticas propostas e das simulações efetuadas. Destacou a importância de se ter a possibilidade de simular resultados para fazer escolhas acertadas no processo de projeto, especialmente com recursos econômicos limitados.

Em trabalho apresentado por Lemos (1999) no V ENCAC, em Fortaleza, foram analisados cinco sistemas construtivos diferentes utilizados na edificação de habitação popular com o objetivo de verificar qual sistema apresentava o melhor desempenho térmico e quais as características térmicas que mais influenciam o resultado.

A metodologia empregada para avaliar o desempenho térmico baseou-se nos limites de temperatura de conforto definidos por Givoni (1992). Esta metodologia quantifica as horas anuais de desconforto por frio e por calor. Os sistemas foram comparados entre si segundo os resultados obtidos por simulação. O principal resultado encontrado foi que a taxa de ventilação é o parâmetro que mais influencia o desempenho térmico destes sistemas construtivos.

Dilkin e Schneider, 2000, realizam o exame de propostas de normas nacionais e internacionais de desempenho térmico de edificações de interesse social através do ambiente TRNSYS, chegando à conclusão de que poderia haver uma grande melhoria, se o valor da massa superficial das paredes e o coeficiente global de transferência de calor das vedações fossem aumentados em 50%. Também afirmam que há uma melhora ainda maior, quando se aplica um sombreamento com 80% de obstrução solar.

Um outro trabalho foi realizado por Mendes et al. (2000), utilizando o MATLAB/SIMULINK para simulação térmica de ambientes, onde analisam os efeitos da capacitância térmica e observam que edificações “termicamente pesadas” reduzem a variação da temperatura interna na ausência de ganhos internos ou por insolação.

Grings, (2003), em sua pesquisa, comparou resultados computacionais e experimentais do comportamento térmico de um ambiente. Foram coletados dados durante duas semanas ininterruptas através da instrumentação instaladas na sala, sendo posteriormente comparados com resultados obtidos através de simulações computacionais realizadas com o *software EnergyPlus*.

Como resultados foram obtidos gráficos comparativos entre os dados medidos e simulados (temperatura da sala e da carga térmica). A autora concluiu que os resultados obtidos a partir das medições realizadas na sala apresentaram resultados melhores do que nas simulações. Com relação à carga térmica medida e simulada, elas não apresentam uma boa concordância, ficando o resultado da simulação nestas condições muito além da margem de incerteza.

Num trabalho intitulado Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num *software*, Ruas (2002) pondera que, em muitos casos, as edificações são projetadas principalmente em função de tendências estéticas ou exigências técnicas de produção, sem a preocupação em adequar o ambiente às características e limitações do Homem.

Destaca ele que a avaliação do conforto térmico é uma ferramenta importante a ser usada em conjunto com programas simuladores de desempenho térmico para melhor adequar o projeto dos prédios ao clima e às atividades desenvolvidas, bem como, na fase pós-ocupação, identificar e equacionar problemas oriundos do projeto, da construção ou da manutenção da edificação.

Adotou o método de avaliação de conforto térmico da ISO 7730 (1994), abordando os modelos matemáticos inerentes ao método e os procedimentos para obtenção das variáveis de conforto, desenvolvendo o *software* Conforto 2.02 que avalia a sensação térmica das pessoas

de acordo com o método da ISO 7730 (1994) e os preceitos da ISO 7726 (1998), ISO 8996 (1990) e ISO 9920 (1995). O *software* simula intervenções nos ambientes, possibilitando o processo de tomada de decisão para melhoria da sensação térmica, principalmente nos locais de trabalho. Também permite estimar a sensação térmica em pesquisas sobre conforto térmico.

No ENTAC - IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, realizado em 2002 em Foz do Iguaçu (PR), Maciel e Lamberts, 2002, apresentaram uma análise das características arquitetônicas de uma edificação de Brasília, através da avaliação bioclimática desta cidade.

Neste estudo foram realizadas medições da temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar e foi aplicado questionários aos usuários em relação à sensação térmica do ambiente. Resultou que a pouca ventilação apontada pelos usuários, como a maior causa de desconforto térmico.

Como o ambiente apresentava uma baixa carga térmica, se propôs que o conforto térmico pudesse ser obtido através das seguintes medidas: isolamento térmico da cobertura, resfriamento evaporativo por microaspersão, e vedação do sistema de renovação de ar existente. Os autores demonstram que com as medidas propostas, nos meses mais quentes, manteve-se o pico de temperatura diurno abaixo de 26,5°C.

Santos (2002) desenvolveu pesquisa tendo como foco o estudo da influência dos principais parâmetros arquitetônicos de edificações comerciais nas demandas de energia elétrica para fins de condicionamento ambiental. Analisa as leis e os principais mecanismos de como as trocas de calor ocorrem entre as edificações e o ambiente, e a complexidade de seu cálculo.

Realizou simulações visando avaliar a influência dos parâmetros arquitetônicos onde confirmou a importância nas trocas de energia em edificações, para minimizar-se o uso da energia elétrica na manutenção do conforto térmico. Afirma que é primordial a utilização do método de simulações numéricas computacionais na avaliação da eficiência energética, para que diferentes alternativas de projetos da edificação possam ser estudadas.

Wallauer (2003) realizou o estudo do conforto térmico em uma casa popular padrão, através da simulação e análise, para uma semana representativa da época do ano mais quente, e outra semana representativa da época do ano mais fria, sem sistema de condicionamento de ar, para quatro capitais brasileiras: Belém, Brasília, Recife e São Paulo.

Através do PMV, avaliou o conforto térmico dos ocupantes, utilizando arquivos climáticos das cidades. Levaram-se em consideração as rotinas de ocupação, nível de

atividades, fator de vestimenta e número de moradores, ganhos de calor internos e renovação do ar. A infiltração de ar e ventilação da residência foi definida pela sub-rotina de fluxo de ar multizonal COMIS (*Conjunction of Multi-zone Infiltration Specialists*), programa auxiliar do *EnergyPlus*.

O autor conclui que durante as noites e principalmente durante as madrugadas de alguns dias estudados, os valores de *PMV* indicaram a sensação de frio para os moradores. Assim a resistência térmica das roupas devem ser melhoradas para estas ocasiões.

No verão, Brasília e São Paulo apresentam os melhores índices *PMV* (os mais próximos de condições de conforto), enquanto que Belém e Recife os mais desconfortáveis, devido ao calor excessivo. No inverno, praticamente todas as cidades no período simulado apresentam índices do *PMV* dentro da faixa de conforto térmico.

Loureiro (2003) realizou um trabalho com objetivo de analisar as reais condições térmicas de edificações residenciais localizadas em Manaus, onde o clima é quente e úmido, com temperaturas elevadas durante todo o ano, baixas freqüências de ventos e alta umidade relativa do ar.

Estas variáveis foram plotadas na carta bioclimática de Givoni e como resultados foram obtidas as estratégias de ventilação natural, ar condicionado e sombreamento. Foi realizado estudo de caso em quatro residências, sendo um apartamento, baseados em medições horárias de temperatura de bulbo seco (TBS) e umidade relativa do ar (UR) no período de janeiro a março de 2002. Realizou-se análise comparativa das TBS, das UR, das horas em desconforto e do desvio médio das temperaturas de cada residência.

Também foram investigados dados de conforto e de preferência térmica obtidos através de questionários aplicados aos moradores e também uma análise do consumo de energia elétrica de duas destas residências, com o objetivo de verificar a posse de equipamentos, hábitos de consumo e a representatividade da utilização de ar condicionado e ventiladores no uso final.

A análise dos desempenhos térmicos nas residências mostrou a necessidade de adequação da arquitetura local às reais condições climáticas da cidade, de maneira a atenuar o desconforto térmico e favorecer a eficiência na utilização da energia elétrica.

Grigoletti, et al. (2003) realizou estudo de avaliação quanto a variáveis relacionadas ao conforto térmico, quatro tipologias habitacionais implantadas na Vila Tecnológica de Porto Alegre (aqui denominadas tipologias A, B, C e D).

Foi realizada simulação através do Programa THEDES (Thermal Design) e a avaliação foi baseada na norma 15220 (ABNT, 2005) para Desempenho Térmico das Edificações, e no Código de Edificações de Porto Alegre.

Os resultados da avaliação apontam uma baixa preocupação, durante a etapa de projeto, com as variáveis relacionadas ao desempenho térmico das edificações. Daí as edificações não apresentarem condições satisfatórias de habitabilidade, no que diz respeito a este importante requisito de conforto.

Com relação ao método da avaliação, destaca a necessidade de considerar outras variáveis que influenciam a existência de conforto térmico nas habitações, como ganhos internos de calor, temperaturas superficiais internas e admitância das superfícies internas. Além de realizar-se a ponderação dos resultados para cada item avaliado, especificando o quanto o item pode ser relevante para a criação de condições de conforto térmico no interior das habitações. Desse modo, aponta-se a insuficiente satisfação de critérios e a baixa utilização de estratégias de projeto adequados ao clima de Porto Alegre.

2.8 Conclusão

O resultado de um trabalho de pesquisa depende significativamente de uma boa revisão bibliográfica, que deve, além de revelar o estado da arte referente ao tema, possibilitar o conhecimento da interação e importância do assunto na nossa sociedade, dos diferentes enfoques que podem ser abordados, das sistemáticas possíveis para se chegar aos resultados.

Assim, a revisão bibliográfica feita mostrou a existência de muitos trabalhos realizados na área, que mostram a relevância do tema, com diversas sistemáticas e parâmetros definidores das condições adotadas.

Observou-se a importância de uma habitação adequada para o ser humano, assim sendo fundamental que se dê especial atenção àquelas famílias menos favorecidas, investindo-se em habitações de interesse social, de maneira a se obter unidades construídas que garantam habitabilidade e conforto.

O Brasil vive um momento de implantação de Normas Técnicas que fixam parâmetros ou estratégias e propõem metodologias para se avaliar o desempenho térmico-energético de edificações, tornando-se fundamental que se realizem pesquisas e estudos que confrontem a realidade de cada região do país com as definições das normas ou projetos de normas.

Num país de dimensões continentais, muitas recomendações e estratégias indicadas para uma região podem não ser adequadas para outra. Desta forma, a correta adequação ao

clima é o elemento fundamental e ponto de partida para a produção de edificações que garantam o conforto de seus usuários e apresentem um reduzido consumo de energia.

Observa-se em vários trabalhos estudados que, por exemplo, coberturas leves e ventiladas são recomendadas para a maior parte do país, em especial para a região norte e nordeste, mas que para a região sul são indicadas coberturas pesadas, por causa do inverno mais rigoroso existente.

Depois de verificadas as várias metodologias ou sistemáticas adotadas na avaliação do desempenho térmico de edificações, optou-se por aplicar uma metodologia de avaliação empregando a simulação através do software EnergyPlus, a coleta de dados in loco e o cálculo e análise dos resultados obtidos, considerando-se os sistemas construtivos, aspectos físicos, fatores climáticos e conforto térmico.

3 - MÉTODOS E MATERIAIS

3.1 Métodos e técnicas utilizados

O presente trabalho pode ser classificado, quanto à sua natureza, como do tipo de pesquisa aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, direcionados à solução de problemas relacionados ao conforto térmico de habitações sociais.

Com relação à forma de abordagem, ela deve ser considerada como pesquisa qualitativa, pois, apesar de se usarem dados quantitativos, se deseja conhecer a realidade das habitações sociais desenvolvidas em Passo Fundo, analisar os resultados e apresentar informações que possam subsidiar outros estudos que visem melhorar a qualidade existente.

Do ponto de vista dos objetivos, pode ser considerado como pesquisa descritiva, já que visa levantar e descrever as características com relação ao desempenho térmico das habitações e o estabelecimento de relações entre a realidade e a norma, bem como descrever alternativas que visem melhorar a situação encontrada.

A respeito dos procedimentos técnicos, pode-se dizer que se trata de um estudo de caso, pois se desenvolveu um estudo da situação local com relação ao problema.

A pesquisa foi realizada na cidade de Passo Fundo (ver Figura 6), que está localizada no Norte do estado do Rio Grande do Sul, possui uma população de 168.458 habitantes, conforme o censo 2000 do IBGE (2000). Apresenta uma densidade demográfica de 221,8 habitantes por quilômetro quadrado. Situa-se num planalto, a 687 metros acima do nível do mar. Possui clima temperado com característica subtropical úmido, com chuvas bem distribuídas durante o ano. A umidade relativa do ar média é de 72% e a temperatura média anual é de 17,5°C, apresentando uma variação de 3° a 36°C (PREFEITURA MUNICIPAL DE PASSO FUNDO, 2005).

Neste estudo, realizou-se uma revisão bibliográfica, para se conhecer o estado da técnica na área da pesquisa, em especial, a norma de desempenho térmico de habitações, NBR-15220 (2005), parâmetros de conforto, aspectos bioclimáticos e construtivos e demais fatores que envolvem avaliações deste tipo. Igualmente, foram levantados parâmetros e condições fixadas por outras normas técnicas da ABNT, e de outros organismos como a ISO e

ASHARE. Foram revisados trabalhos bibliográficos e de pesquisas realizadas na área onde se tenha avaliado o desempenho térmico em habitações sociais.



Fonte: Prefeitura Municipal de Passo Fundo, 2005

Figura 6 - Foto da cidade de Passo Fundo

3.1.1 Caracterização da amostra

Visando conhecer preliminarmente a realidade a respeito das habitações de interesse social em Passo Fundo, fez-se uma revisão bibliográfica em trabalhos realizados por outros pesquisadores, como Kalil (2001) e Mascaró (1999). Também se manteve contato com a Secretaria de Habitação do município, que forneceu as informações disponíveis. Devido à reformulação ocorrida na Prefeitura Municipal nos últimos anos, em virtude da mudança de sede da Secretaria de Habitação, a Prefeitura só possui documentação e informações dos programas habitacionais construídos nos últimos quatro anos.

Diante desta realidade, considerando que habitações mais antigas normalmente sofrem modificações (ampliações e melhorias) que descaracterizam a construção inicial, e que se deseja avaliar o imóvel que está sendo entregue ao morador; e considerando que o principal foco da pesquisa diz respeito à comparação de uma norma que ainda está para entrar em vigor, é mais lógico compará-la com a realidade mais recente. Decidiu-se, assim, por delimitar o estudo para as habitações construídas no período de 2001 e 2004, em Passo Fundo.

Definido o período alvo da pesquisa, foram levantados os Programas Habitacionais executados em Passo Fundo, conforme segue:

Tabela 4 - Habitações construídas no período de 2001 a 2004

Nome do programa:	Unidades construídas
PSH – Programa de Subsídios à Habitação de Interesse Social	169
Programa Morar Melhor	38
Programa “O de Casa”	160
Programa de Construções Emergenciais	60
Total de habitações construídas no período	427

Fonte: Prefeitura Municipal de Passo Fundo, 2005

Dentre estes programas, optou-se em avaliar as habitações do Projeto PSH, por este apresentar um maior número de construções feitas e possuir um padrão de casas definido e sendo estas construções realizadas e administradas pela municipalidade. Os outros programas apresentam uma heterogeneidade muito grande, pois algumas habitações foram construídas pelo próprio usuário e familiares, não apresentando um padrão de qualidade regular, já que havia variação de qualificação técnica e de aproveitamento dos materiais.



Figura 7 - Casa individual, casas geminadas (duas)

Como no programa PSH existem residências isoladas e geminadas (ver Figura 7 e Figura 8) e com diferentes orientações, foi selecionada uma amostra intencional de cinco habitações representativas em diferentes bairros da cidade, (ver Figura 9), escolhidas de forma aleatória, escolhendo-se duas da Vila Donária (assinalada com a letra A, no mapa Figura 9) por ser um loteamento maior, uma da Vila Valinhos (letra B, no mapa Figura 9), da Vila Santa Marta (letra C, no mapa Figura 9) e da Vila Entre-Rios (letra D, no mapa Figura 9).



Figura 8 - Casas geminadas – quatro unidades



Fonte: Prefeitura Municipal de Passo Fundo

Figura 9 - Mapa da cidade de Passo Fundo

As habitações 1, 2, 3 e 5 apresentam o mesmo projeto, ou seja, possuem as mesmas dimensões, as mesmas divisórias e localização de aberturas. No caso da habitação 1 e 2 elas são construídas de forma geminadas, em conjunto de quatro unidades (tipo fita) e apresentam reboco apenas na face externa das paredes. A habitação 1 está entremeio a duas outras habitações e a Habitação 2 em uma das extremidades, com uma parede do oitão praticamente na direção oeste.

A habitação 3 é construída de forma geminada, em conjunto de 3 unidades e apresenta reboco nas duas faces da parede, estando no meio de outras duas habitações. No caso da habitação 5, o conjunto geminado é formado por apenas duas casas e possui reboco nas suas faces da parede. A Habitação 4 possui um projeto diferente, é construída em unidades isoladas (não geminada) e possui uma área menor. As duas faces das paredes são rebocadas, possuindo inclusive a parede interna do dormitório de alvenaria, enquanto que nas demais habitações as divisórias são de madeira.

3.1.2 Coleta de dados

Foram realizados medições “*in loco*” de temperatura e umidade no interior e exterior das habitações definidas, em dois períodos do ano, ou seja, no inverno, durante os meses de junho e julho de 2005, e no verão, durante o mês de janeiro de 2006. Como não haviam equipamentos disponíveis para se realizar a avaliação simultaneamente nas cinco habitações, se realizou em dia diferentes.

Para a realização das medições dos parâmetros térmicos das moradias, foram utilizados dois registradores de temperatura e umidade UTReg – S1615, marca Squitter (Figura 12) que possuem sensores de temperatura e umidade embutidos. Em cada uma das cinco habitações definidas, fizeram-se medições de temperatura interna e externa durante 48 horas, com uma periodicidade dos registros de trinta minutos.

Construíram-se abrigos (ver Figura 10) para proteger os registradores de dados e para evitar que sofram a interferência dos moradores, do sol ou da chuva. O abrigo utilizado internamente no ambiente foi fabricado todo em chapa galvanizada perfurada. Já o Abrigo externo, visando proteger o registrador de temperatura, da chuva e da radiação solar direta, a parte superior foi construída em forma de “V” invertido em chapa galvanizada, constituindo-se na cobertura do mesmo. Igualmente as partes frontal e posterior, também, foram construídas em chapa galvanizada. Apenas na parte inferior e nas laterais foi utilizada chapa vazada, ou perfurada. Se pintou os dois abrigos na cor banca para evitar a absorção de calor através de radiação.

Os mesmos foram instalados sobre um pedestal de forma que o bulbo do sensor fique a uma altura de 1,20m do piso de acordo com a PNBR 01.136.01 (ABNT, 2004) e também conforme fixa a ISO 7726 (1985).

A coleta de dados foi realizada depois de calibrados os registradores e programado o registro de dados de umidade e de temperatura a cada trinta minutos. Após, deslocou-se até a habitação definida, onde foi localizado um dos aparelhos no interior da casa (com o abrigo menor), geralmente dentro da sala, tomando-se o cuidado para que não ficasse próximo de fogão, geladeira, mobiliários, paredes e não atrapalhasse a circulação dos usuários. Da mesma forma, colocou-se um dos registradores no exterior da casa, a cerca de um metro da edificação.

Os aparelhos permaneceram 48 horas em cada residência estudada, quando eram registradas, automaticamente, as temperaturas e umidades relativas a cada trinta minutos.

Depois de coletados, os dados foram transferidos para um microcomputador, através de um cabo serial, gerando um arquivo tipo txt. Após, os dados foram analisados e tratados, com auxílio do *Microsoft Excel*



Figura 10 - Abrigos interno e externo para proteção dos equipamentos

Simultaneamente às medições dos parâmetros nas residências, foram identificadas as tipologias construtivas das habitações em estudo, caracterizando-se os tipos de parede, piso, cobertura, divisórias, janelas e orientação. Igualmente, foram desenvolvidos os cálculos dos parâmetros de desempenho térmico destas edificações através do método definido pela norma da ABNT 15220, parte 2, calculando-se para cada elemento construtivo a transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar.

3.1.3 Software de simulação

Realizou-se um levantamento dos *softwares* disponíveis para a simulação de desempenho térmico de habitações que vêm sendo utilizado por outros pesquisadores, com a finalidade de se definir qual *software* seria utilizado neste trabalho.

Assim, foram analisados os *softwares* utilizados e se conheceu cada um deles e suas principais características, vantagens e desvantagens, conforme apresentado resumidamente a seguir:

O COMFIE (Cálculo de Multizonas Fixadas a uma Interface Inteligente) é um *software* bastante interessante e capaz de fornecer informações consistentes sobre o desempenho térmico de habitações.

O NBSLD realiza simultaneamente as equações de balanço térmico do ambiente, mas tem algumas limitações como não calcular as vazões de ar e considerar o telhado como plano.

Um outro *software* analisado foi o THEDES que simula o desempenho térmico de edificações não condicionadas artificialmente, gerando resultados numéricos e gráficos dos valores horários de temperatura no interior da edificação.

O ARQUITROP é um *software* nacional que é bastante interessante, pois, além de realizar a simulação de desempenho para qualquer dia do ano e fazer diagnóstico do clima local, possui um banco de dados climáticos para algumas cidades brasileiras e materiais de construção empregados em nosso país.

O DOE-2 tem sido utilizado para analisar o desempenho termo-energético de edificações, avaliando o consumo horário e os custos de energia de uma edificação.

O *EnergyPlus* combina as potencialidades dos programas, Blast e DOE-2, ou seja, utiliza o método de cálculo do programa Blast para efetuar o balanço térmico, avaliando o consumo energético de forma similar ao DOE-2. Este *software* apresenta resultados muito próximos dos reais, pois é muito flexível e leva em conta forma, economia, meio ambiente, conforto e segurança.

Atualmente, a maioria dos trabalhos científicos realizados na área de avaliação termo-energéticas realizados no país estão adotando o *software EnergyPlus*, que se trata de uma ferramenta gratuita que se destaca pelo rigor na modelação da geometria da edificação e pela integração de modelos que facilitam os estudos termo-energéticos. O *EnergyPlus* é um *software* de simulação que pode ser utilizado com diferentes interfaces (incluindo CAD) e ferramentas de análise de resultados (incluindo o Excel) que serão utilizados nesta pesquisa.

Apesar de não apresentar uma interface amigável, o que exige maior esforço e dedicação do pesquisador, porque o aprendizado é lento, em decorrência da modelagem ser difícil, morosa e trabalhosa. Mas o *EnergyPlus* permite modelagens complexas e, depois de definido o modelo, se torna fácil alterar alguns parâmetros e observar o comportamento dos resultados.

Considerando o que é referido pela grande maioria dos pesquisadores, como Grings (2003), que afirma que este *software* reproduz com bastante aproximação o comportamento térmico de uma edificação, decidiu-se pela utilização do *EnergyPlus* para a realização das simulações das habitações em estudo.

Depois de definido o *software*, com o objetivo de familiarizar-se com o ele, realizou-se uma pesquisa bibliográfica mais aprofundada, em especial através do *EnergyPlus* Manual (2005). Também se manipulou o *software*, utilizando os exemplos que o acompanham.

3.1.4 Dados climáticos utilizados

Os dados climáticos, indicados para serem usados na avaliação do desempenho térmico de edificações, são do ano climático de referência. Segundo LAMBERTS et al. (1996), os dados climáticos horários de um ano são fundamentais na simulação do desempenho térmico de uma edificação. No entanto, no Brasil, muitas vezes, não há a disponibilidade desses dados, dificultando as pesquisas na área. Esta realidade foi experimentada durante a realização deste trabalho, quando não se encontraram dados climáticos completos e confiáveis, em publicações oficiais ou científicas, sobre a cidade de Passo Fundo.

Assim utilizou-se um arquivo climático (formato TMY2) da cidade de Passo Fundo, montado pelo Larry Degelman (pesquisador dos EUA, que é uma referência na área, pertencente a IBPSA - International Building Performance Simulation Association). disponível no Labeee da Universidade Federal de Santa Catarina (DEGELMAN, 2005). O arquivo foi montado pelo autor, utilizando os dados das Normais Climatológicas de Passo Fundo, tendo por base o ano de 2003, utilizando dados simplificados (normais) para estimar

ano completo. No caso, esse ano climático não é tão preciso, mas não deixa de ter uma boa representatividade. Ele foi estimado a partir de médias mensais de temperatura, pressão, umidade relativa e demais parâmetros.

Utilizando-se um programa auxiliar do próprio *EnergyPlus* o arquivo climático com extensão TMY2 foi convertido em um arquivo EPW, que então foi utilizado pelo programa *EnergyPlus*, para avaliação do desempenho térmico das habitações em estudo.

Além do referido arquivo climático, buscaram-se informações na Embrapa Trigo, no laboratório anemométrico da Faculdade de Engenharia da UPF e no Aeroporto de Passo Fundo. Foram utilizados os dados da primeira, por haver um maior número de informações disponíveis (EMBRAPA, 2005).

3.1.5 Desenvolvimento das atividades e tratamento dos dados:

Através do estudo do manual do software (*ENERGYPLUS MANUAL*, 2005) e com dicas fornecidas por pesquisadores da Universidade do Rio Grande do Sul e da Universidade Federal de Santa Catarina o pesquisador habilitou-se a utilizar o *software*. Assim, na seqüência, depois de obtidos os dados climáticos, foram realizadas as simulações, visando executar a avaliação do desempenho térmico das habitações em estudo.

Assim realizou-se a montagem do modelo de cada uma das habitações em estudo no *software EnergyPlus*, definindo-se cada uma de suas características, inserindo cada um de seus elementos, parâmetros e arquivos climáticos. Considerou-se cada uma das habitações como uma única zona climática. A seguir rodou-se o programa, obtendo-se os relatórios da simulação de desempenho térmico de cada uma das edificações.

O *software EnergyPlus* forneceu o PMV (índice que estima o valor médio dos votos de um grupo de pessoas na escala de sensação térmica), que caracteriza a sensação de conforto térmico das habitações, o qual foi comparado com os valores recomendados pela norma ISO 7730 (1994).

Na parte experimental, os dados de temperatura e umidade, depois de coletados e criticados, foram formatados em tabelas e gráficos, os quais são apresentados como resultados do trabalho.

Os valores encontrados nas simulações para cada uma das habitações foram comparados com os das outras. Igualmente, os valores obtidos nas medições foram comparados entre as diferentes habitações. Ainda confrontaram-se os dados das simulações com as medições e com os parâmetros calculados.

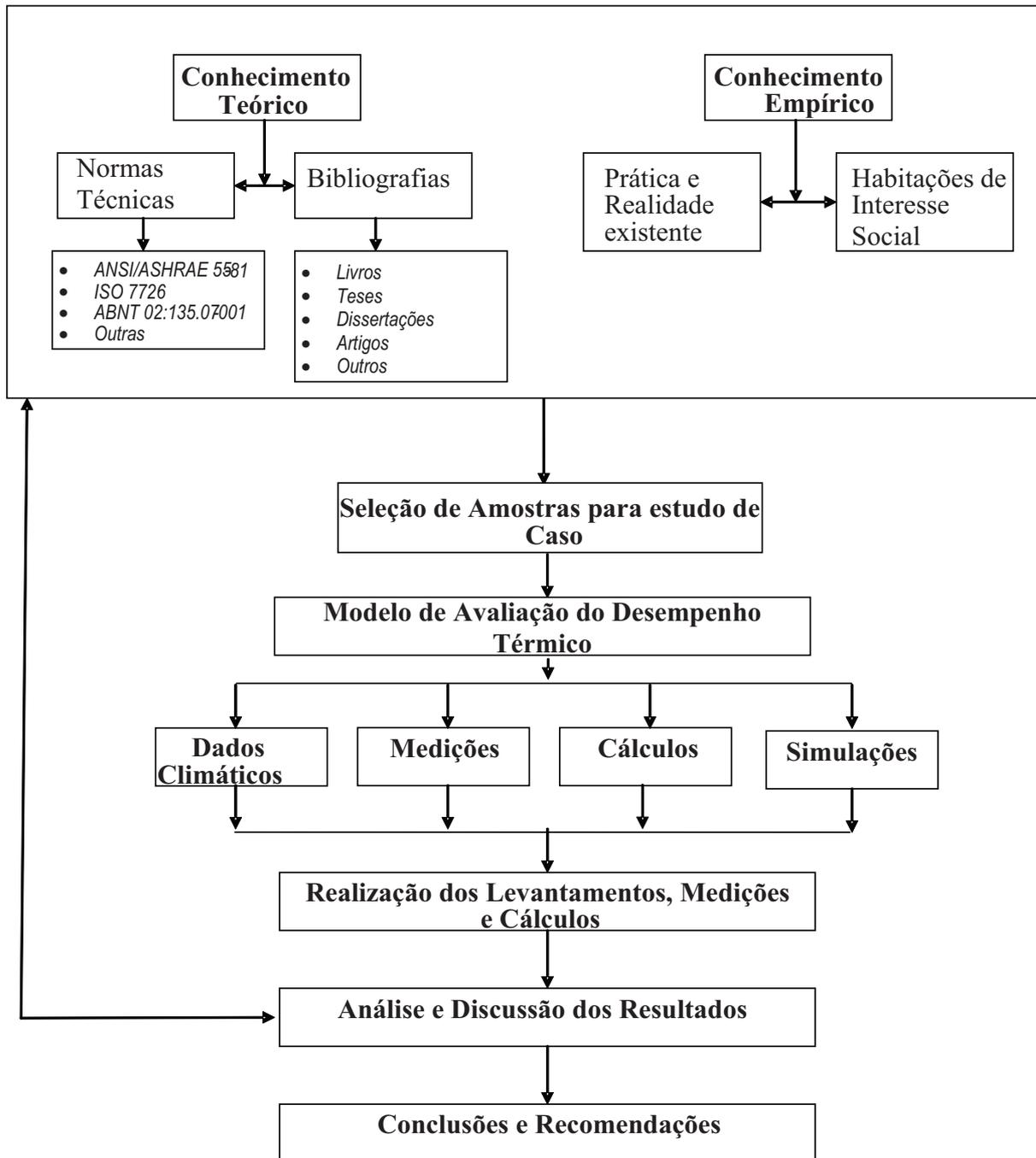


Figura 11 - Modelo representativo da metodologia aplicada

Os cálculos das propriedades térmicas - resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar - de elementos e componentes de edificações foram realizados, obedecendo aos procedimentos estabelecidos pela Norma da ABNT 15.220 e descritos na revisão bibliográfica (ABNT, 2005).

Tendo todas as informações e dados levantados, calculados e simulados, fez-se necessário analisar e comentar os resultados obtidos, com referência aos projetos habitacionais em estudo quanto ao desempenho térmico, comparando-se os resultados nos

diferentes métodos, com aqueles definidos na norma 15.220 da ABNT e no projeto de norma 02:136.01.

A partir da avaliação e análise realizada, levando-se em conta a questão de custos e conseqüente viabilidade de execução, foram propostas medidas, de forma justificada, que visem melhorar o desempenho térmico das habitações em estudo, considerando ações construtivas, utilização de outros materiais, mudança de orientação ou formato da construção, entre outras.

Na Figura 11, é apresentado esquematicamente o modelo representativo da metodologia do trabalho proposto.

3.2 Materiais e equipamentos

Nas medições da temperatura e da umidade, utilizaram-se dois registradores UTReg – S1615, marca Squitter (Figura 12), que possuem sensores de temperatura e umidade embutidos em seu corpo.



Figura 12 - UTReg – S1615, marca Squitter

Visando proteger os registradores de dados e para evitar que sofram a interferência dos moradores, da chuva e do sol, foram utilizados abrigos fabricados em chapa galvanizada, tendo suas paredes e parte inferior vazada, ou seja, em chapa perfurada (ver Figura 10).

Foi utilizada uma câmara fotográfica digital Sony, *Cyber-shot* DSC-P93A, para o registro visual de elementos ou de situações importantes para a pesquisa.

No tratamento dos dados, simulação, e elaboração da dissertação, foi usado um microcomputador, com *softwares* editor de texto e com planilha eletrônica.

Foi empregado o *software EnergyPlus* (programa desenvolvido pelo *United States Department of Energy*) para a simulação para avaliação de desempenho térmico das habitações em estudo.

4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Dados climáticos de Passo Fundo

Não havendo arquivos climáticos completos para a cidade de Passo Fundo, tentou-se obter informações que propiciassem montar os arquivos necessários para o presente trabalho, nas seguintes fontes:

– Laboratório anemométrico da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da UPF – no qual existem dados relativos à pressão, temperaturas e umidades do ar, mas não são contínuos, pois a leitura é feita em planilhas manuais e dependem da presença dos estagiários.

Tabela 5 - Normais climatológicas de Passo Fundo, do período 1961-1990

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Pressão atmosf. (mb)	934,8	935,6	936,7	938,2	939,2	939,9	940,4	939,3	938,7	936,9	935,1	934,4	937,4
Temperatura média (° C)	22,1	21,9	20,6	17,6	14,3	12,7	12,8	14,0	14,8	17,7	19,8	21,5	17,5
Temperatura máxima (° C)	28,3	28,0	26,7	23,7	20,7	18,4	18,5	19,9	21,2	23,8	26,0	27,8	23,6
Temperatura mínima (° C)	17,5	17,5	16,3	13,5	10,9	8,9	8,9	9,9	11,0	12,9	14,8	16,5	13,2
Temp. máx. absoluta (° C)	35,6	35,7	34,2	33,1	30,6	27,2	28,4	31,4	33,0	34,5	38,3	37,1	38,3
Temp. mín. absoluta (° C)	9,5	7,2	5,1	1,6	-1,4	-2,5	-3,8	-2,9	-0,9	2,8	4,0	6,5	-3,8
Precipitação total (mm)	143,4	148,3	121,3	118,2	131,3	129,4	153,4	165,7	206,8	167,1	141,4	161,5	1787,8
Precip. altura máx. 24h (mm)	86,8	161,1	97,2	164,6	144,1	78,4	104,3	112,0	144,4	103,7	84,1	111,3	164,6
Evaporação total (mm)	127,2	104,2	106,9	95,3	86,2	78,5	92,5	100,3	106,7	126,5	141,7	153,5	1319,5
Umidade relativa (%)	71	74	75	74	75	76	75	73	72	69	67	67	72
Insolação (horas)	238,8	208,1	207,0	185,2	181,1	153,7	162,6	161,1	154,9	202,3	220,6	254,2	2329,6
Nebulosidade (0-10)	5,2	5,3	4,9	4,7	4,7	5,2	5,1	5,4	5,9	5,4	5,3	5,0	5,2

Fonte: EMBRAPA, 2005

– Aeroporto municipal de Passo Fundo – local que só possui dados relativos aos horários dos vôos, não possuindo assim dados representativos dos dias.

– Estação meteorológica da Embrapa Trigo em Passo Fundo – na qual existem disponíveis dados relativos às normais climatológicas, evapotranspiração potencial,

fotoperíodo, horas-de-frio, características do vento, caracterização de pH de águas de chuva e radiação solar.

Na Tabela 5 são apresentadas as normais climatológicas de Passo Fundo, do período 1961-1990. Enquanto que, no Gráfico 1, pode ser visualizado comportamento das temperaturas média, mínima e máximas.

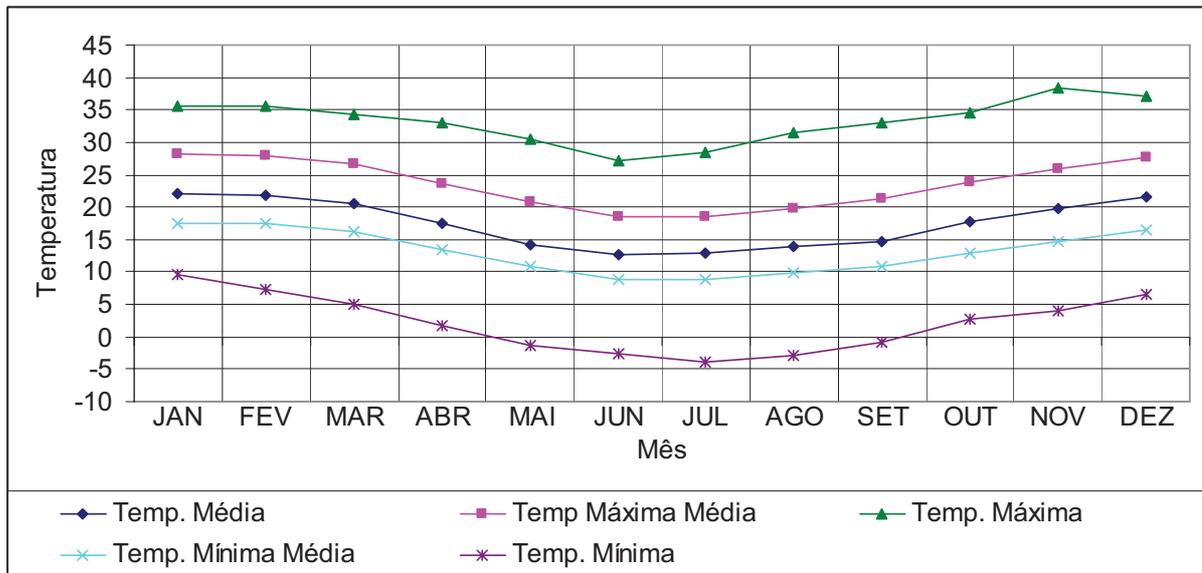


Gráfico 1 - Representação das temperaturas médias, máximas e mínimas de Passo Fundo

Foi utilizado um arquivo climático (formato TMY2) que retrata o ano climático da cidade de Passo Fundo, o qual foi gerado por Degelman (2005). Este arquivo possui informações das diversas variáveis climáticas de um ano inteiro, com dados de hora em hora, totalizando 8.760 horas.

4.2 Características das habitações avaliadas

As habitações estudadas estão inseridas dentro do espaço urbano de Passo Fundo, caracterizando-se por loteamentos, com terrenos pequenos, que não possuem nenhum tipo de vegetação (exceção feita ao da vila Valinhos que possui algumas árvores de pinus). Com relação à infra-estrutura, possuem abastecimento de água e alimentação de energia elétrica, mas não possuem ruas pavimentadas.

As características das tipologias construtivas foram obtidas através de plantas e memoriais descritivos, conseguidos junto à Secretaria Municipal da Habitação e em vistoria nas construções, levantando dados complementares.

As áreas construídas das unidades habitacionais em estudo variam de 30,37 m² a 36,60 m². Estas habitações apresentam-se em construção geminadas ou individuais, sendo a

grande maioria do primeiro caso. As paredes são de alvenaria, executadas com tijolos cerâmicos de seis furos, sendo a maioria rebocada nas duas faces, com espessura média entre 10 e 12 cm.

As coberturas são feitas em duas águas, com telhas de fibrocimento de 5mm de espessura. A Altura do ático é de 60 cm. Possuem forros em lambri de madeira, com 1 cm de espessura. O beiral varia de 40 a 52 cm de largura.

Todas as janelas possuem vidro de 3mm de espessura. As janelas da sala, e do dormitório são de correr, são fabricadas em ferro e possuem uma área média de 1,2 m², com 50% de abertura. A cozinha e o banheiro possuem janelas tipo basculante, sendo a primeira com uma área de 0,72 m² e a segunda 0,64 m².

As 5 (cinco) habitações avaliadas através de medições *in loco* estão a seguir caracterizadas, e a Tabela 6 apresenta um quadro resumo das principais características.

Tabela 6 - Característica das habitações estudadas

	Habitação 1	Habitação 2	Habitação 3	Habitação 4	Habitação 5
Área	36,60 m ²	36,60 m ²	36,60 m ²	30,37 m ²	36,60 m ²
Nº de pessoas	5	4	3	4	2
Equipamentos	fogão/TV/ refrigerador	fogão/TV/ refrigerador	fogão/TV/ refrigerador	fogão/TV/ refrigerador	fogão/TV/ refrigerador
Nº dormitórios	2	2	2	1	2
Telha	fibrocimento 5mm	fibrocimento 5mm	fibrocimento 5mm	fibrocimento 5mm	fibrocimento 5mm
Forro	lambri pinus 1 cm	lambri pinus 1 cm	lambri pinus 1 cm	lambri pinus 1 cm	lambri pinus 1 cm
Esquadrias Externas	metálica/vidro 3mm	metálica/vidro 3mm	metálica/vidro 3mm	metálica/vidro 3mm	metálica/vidro 3mm
Paredes externas	Alvenaria com tijolo de 10 cm + reboco externo de 1cm	alvenaria com tijolo de 10 cm + reboco externo de 1cm	alvenaria com tijolo de 10 cm + reboco de 1cm nas duas faces	Alvenaria com tijolo de 10 cm + reboco de 1cm nas duas faces	alvenaria com tijolo de 10 cm + reboco de 1cm nas duas faces
Paredes Int.	madeira 2 cm	madeira 2 cm	madeira 2 cm	madeira 2 cm	madeira 2 cm
Piso	cimentado	cimentado	cimentado	cimentado	cimentado
Orient.fachada	NO	NO	NE	NO	NE



Figura 13 – Forro com problemas

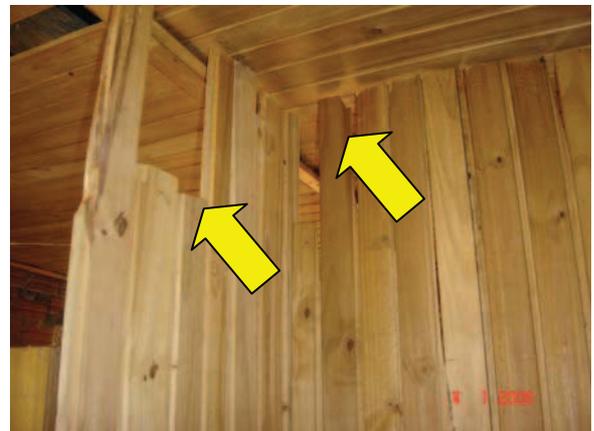


Figura 14 – Divisória defeituosa



Figura 15 – Piso e quadro da porta mal acabado



Figura 17 - Instalações elétricas irregulares



Figura 16 – Assoalho com irregularidades



Figura 18 – Maus acabamento

Observou-se que as habitações estudadas apresentam uma baixa qualidade construtiva, tanto com relação aos materiais empregados, como aos serviços utilizados, conforme podem ser vistos nas fotos das figuras 13 a 18.

4.2.1 Habitação nº 1 - Vila Donária

A Vila Donária fica localizada na região sudeste da cidade de Passo Fundo (ver Figura 9, marcado com número A) .

Sendo este o núcleo habitacional com maior número de unidades construídas no período em estudo (72 unidades), nele, foram alvo da pesquisa 2 (duas) habitações, as quais se apresentam assinaladas na Figura 20.



Figura 19 - Foto da habitação 1 (Vila Donária)



Fonte: Prefeitura Municipal de Passo Fundo

Figura 20 - Situação e localização das habitações da Vila Donária

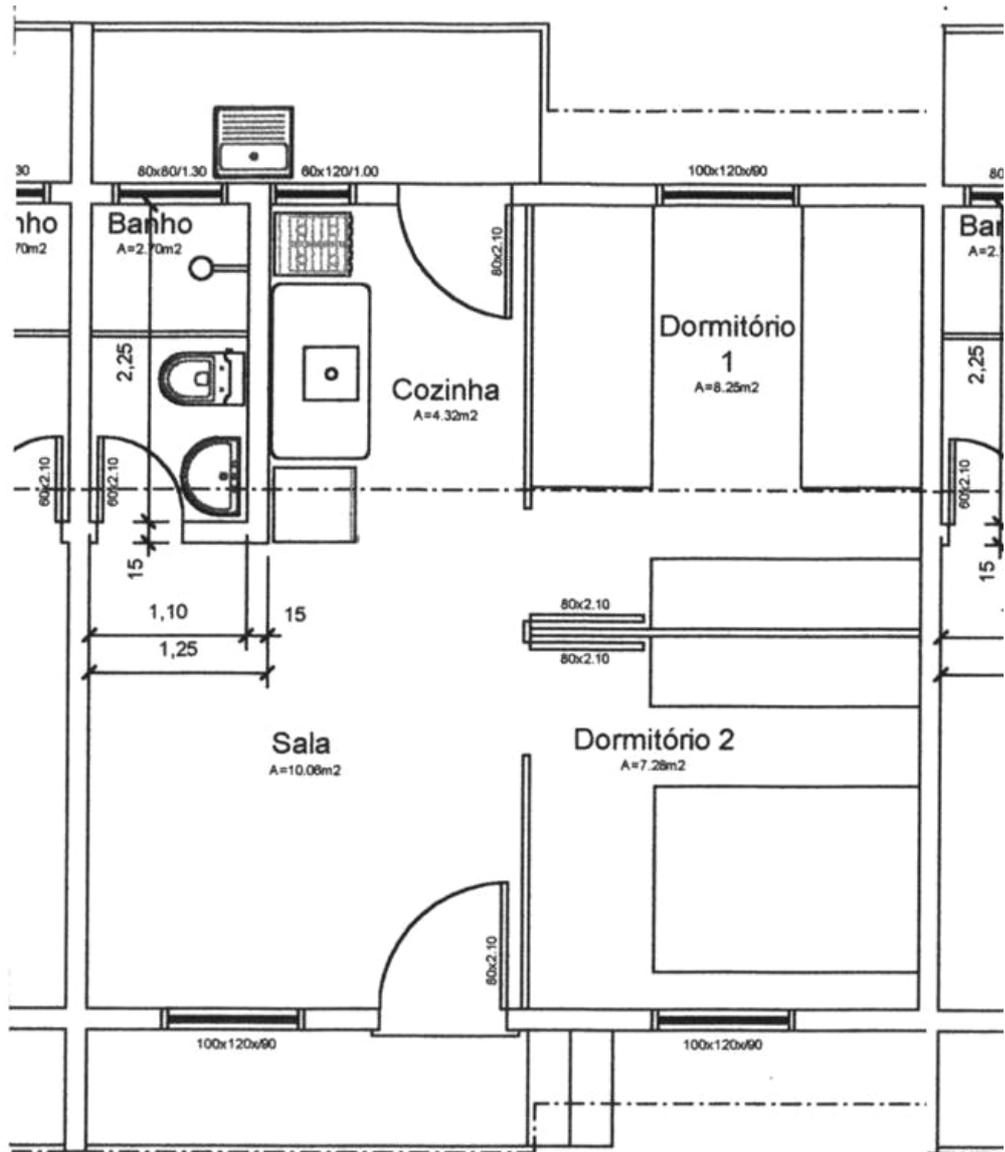


Figura 21 - Planta baixa da habitação 1, 2, 3 e 5

As habitações desse núcleo habitacional são do tipo geminadas, tendo quatro unidades em cada conjunto tipo fita (ver Figura 19). Cada unidade possui uma área de $36,60 \text{ m}^2$.

Neste caso, a habitação referida encontra-se no centro do conjunto geminado, ou seja, as suas paredes laterais limitam com outra habitação contígua. Portanto, só as paredes da frente e fundos possuem contato com o exterior (ver Figura 21).

Essa construção apresenta as paredes em alvenaria com tijolos (6 furos) de cutelo, 10 cm de espessura, rebocado apenas externamente. A cobertura é com telha de fibrocimento, 5 mm de espessura, possuindo forro de madeira de 1 cm de espessura. As paredes divisórias internas são de madeira de pinus de 2 cm de espessura, com exceção das do banheiro que são de alvenaria. As janelas e portas externas são em ferro com fechamento em vidro de 3 mm de espessura.

4.2.2 Habitação nº 2 - Vila Donária

A habitação número 2 possui uma área de 36,60 m² e encontra-se na extremidade oeste do conjunto de casas geminadas em fita, ou seja, apenas a parede lateral leste não possui contato com o exterior (ver foto Figura 22 e planta baixa Figura 21).



Figura 22 - Foto da habitação 2 (Vila Donária)

Esta unidade também apresenta as paredes externas em alvenaria com tijolos (6 furos) de cutelo, 10 cm de espessura, rebocado apenas externamente. A cobertura é com telha de fibrocimento, 5 mm de espessura, possuindo forro de madeira de 1 cm de espessura e as divisórias são de madeira de 2 cm. As janelas e portas externas são em ferro com fechamento em vidro.

4.2.3 Habitação nº 3 – Vila Valinhos:

A habitação 3 está localizada na Vila Valinhos, que fica situada na região nordeste da cidade, conforme assinalado com a letra B no mapa da Figura 9 e a sua posição no loteamento pode ser vista na Figura 23, indicada como Hab3.

Neste núcleo habitacional, as unidades também são do tipo geminadas, construídas com a mesma tipologia das Habitações 1 e 2 (Vila Donária). Apresenta adequação, pois neste

caso o terreno apresenta declividade, ocorrendo desnível entre uma habitação e outra do conjunto geminado. Sendo assim, a planta baixa é a mesma apresentada na Figura 21.

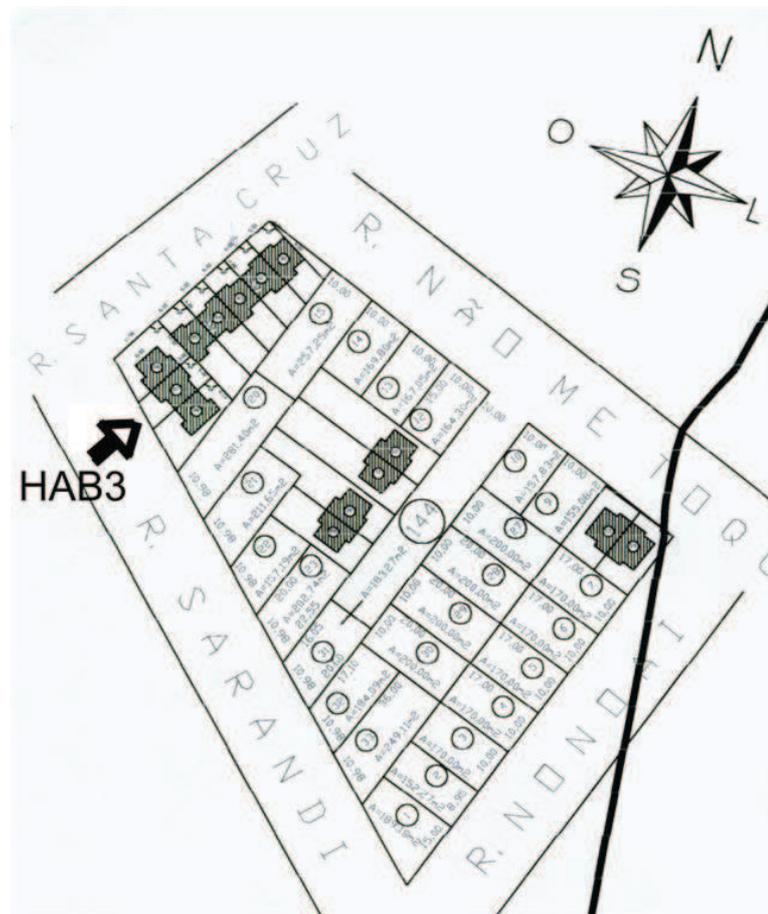


Figura 23 - Vila Valinhos – localização habitação 3



Figura 24 – Foto Habitação 3 (Vila Valinhos)

A edificação estudada não se encontra na extremidade, ou seja, as suas paredes laterais limitam com outra habitação contígua. Portanto, só as paredes da frente e fundos possuem contato com o exterior (ver Figura 24).

Esta habitação apresenta uma área total de $36,60 \text{ m}^2$ e as paredes são em alvenaria com tijolos (6 furos) de cutelo, 10 cm de espessura, rebocado interna e externamente (nas habitações 1 e 2 o reboco era apenas interno). A cobertura é com telha de fibrocimento, 5 mm de espessura, possuindo forro de madeira de 1 cm de espessura. As janelas e portas externas são em ferro com fechamento em vidro.

4.2.4 Habitação nº 4 - Vila Santa Marta

Neste núcleo, as habitações são individuais, isoladas (ver Figura 25), assim todas as paredes limites da construção são externas (ver foto Figura 26 e planta baixa na Figura 27).

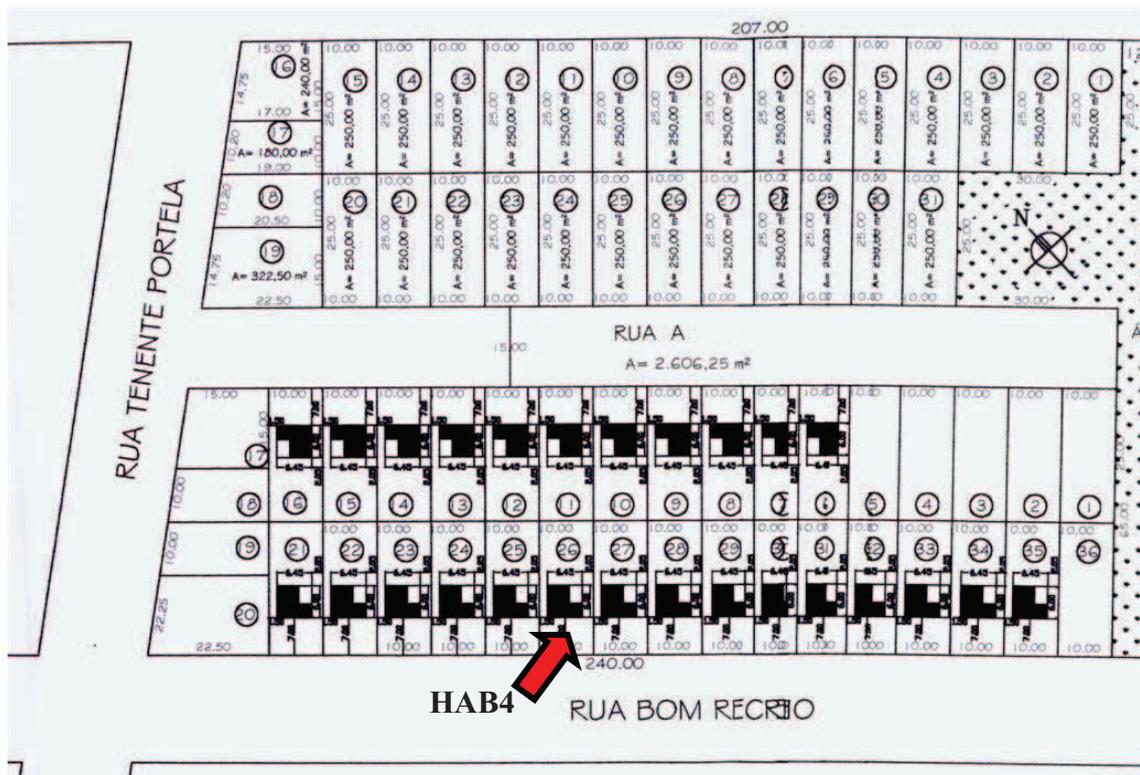


Figura 25 - Núcleo Vila Santa Marta – localização habitação 4

Estas unidades habitacionais apresentam uma área de $30,37 \text{ m}^2$. As paredes são em alvenaria com tijolos (6 furos), 12 cm de espessura, rebocado interna e externamente. A cobertura é com telha de fibrocimento, 5 mm de espessura, possuindo forro de madeira de 1 cm de espessura. As janelas e portas externas são em ferro com fechamento em vidro de 3 mm de espessura.



Figura 26 - Foto da habitação 4 (Vila Santa Marta)

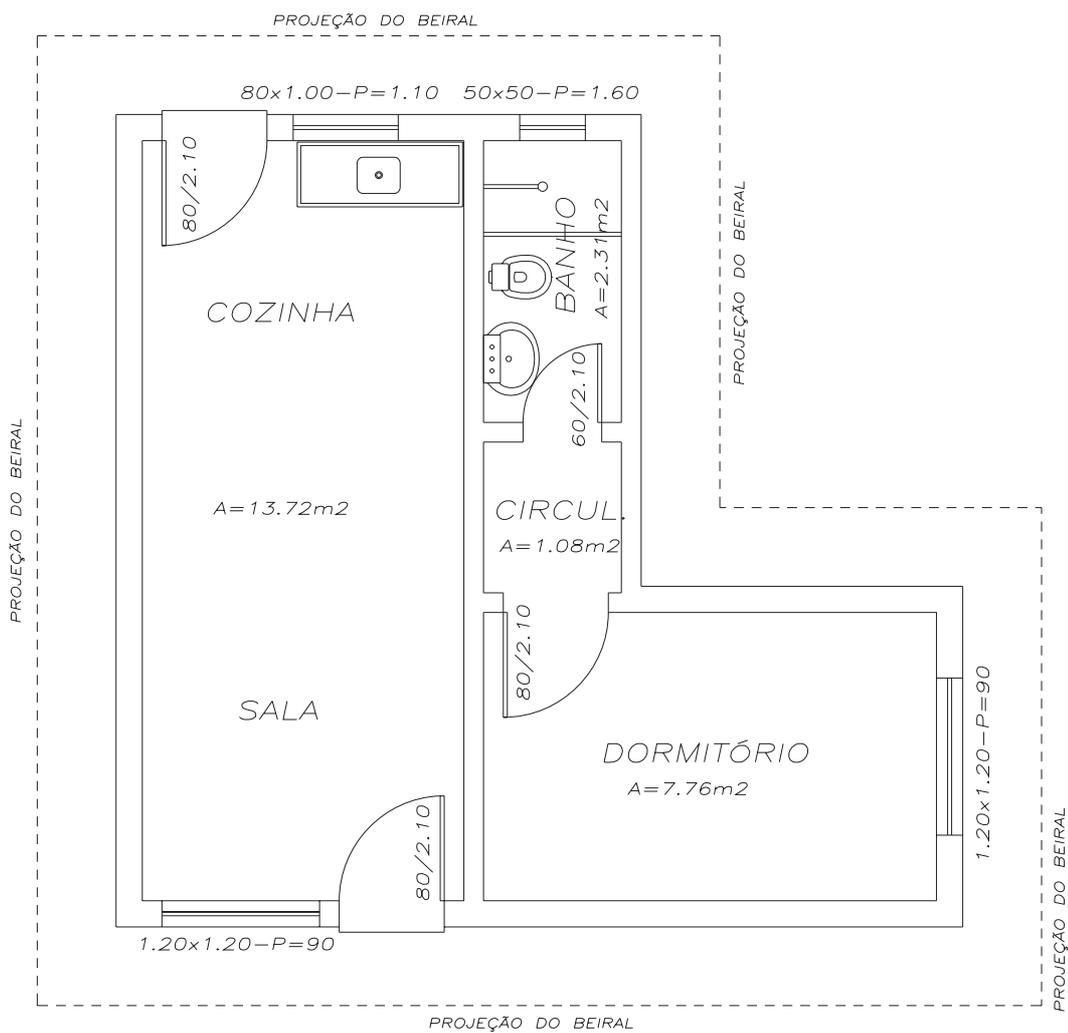


Figura 27 - Planta baixa da habitação 4

4.2.5 Habitação nº 5 - Vila Entre-Rios

Nesta Vila, há habitações geminadas e isoladas, sendo alvo da pesquisa a do tipo geminada e duas, tendo uma das paredes limites como divisória de outra habitação.



Figura 28 - Núcleo habitacional da Vila Entre-Rios



Figura 29 - Foto da habitação 5 (Vila Entre-Rios)

Estas unidades apresentam uma área de 36,60 m². As paredes são em alvenaria com tijolos (6 furos) de cutelos, 10 cm de espessura, rebocado interna e externamente. A cobertura é com telha de fibrocimento, 5 mm de espessura, possuindo forro de madeira de 1 cm de espessura. As janelas e portas externas são em ferro, com fechamento em vidro de 3 mm de espessura (ver Figura 28 e Figura 29).

4.3 Propriedades térmicas calculadas

Neste item, são apresentados os cálculos realizados das propriedades térmicas - resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar - de todos os elementos das edificações em estudo, para que se possa comparar com os valores calculados com aqueles especificados pela Norma NBR -15220 da ABNT.

Tabela 7 - Parâmetros calculados das 5 habitações analisadas

		Transmitância Térmica (W/m ² .K)		Atraso Térmico (Horas)		Fator de Calor Solar		
		Calculado	NBR -15220	Calculado	NBR -15220	Calculado	NBR -15220	
HAB1	Parede	2,50	≤ 3,00	4,25	≤ 4,3	3,00	≤ 5,0	
	Cobertura	Verão	2,02	≤ 2,00	0,91	≤ 3,3	2,43	≤ 6,5
		Inverno	2,82					
HAB2	Parede	2,50	≤ 3,00	4,25	≤ 4,3	3,00	≤ 5,0	
	Cobertura	Verão	2,02	≤ 2,00	0,91	≤ 3,3	2,43	≤ 6,5
		Inverno	2,82					
HAB3	Parede	2,55	≤ 3,00	4,50	≤ 4,3	3,06	≤ 5,0	
	Cobertura	Verão	2,02	≤ 2,00	0,91	≤ 3,3	2,43	≤ 6,5
		Inverno	2,82					
HAB4	Parede	2,55	≤ 3,00	4,50	≤ 4,3	6,11	≤ 5,0	
	Cobertura	Verão	2,02	≤ 2,00	0,91	≤ 3,3	2,43	≤ 6,5
		Inverno	2,82					
HAB5	Parede	2,55	≤ 3,00	4,50	≤ 4,3	3,06	≤ 5,0	
	Cobertura	Verão	2,02	≤ 2,00	0,91	≤ 3,3	2,43	≤ 6,5
		Inverno	2,82					

Segundo as diretrizes construtivas fixadas pela NBR - 15220 da ABNT, para a zona bioclimática 2, onde Passo Fundo está inserida, as paredes devem ser leves e a cobertura leve isolada e que atenda os valores das propriedades térmicas apresentados na Tabela 7. Verifica-se que, com relação à transmitância térmica, de todas as paredes, de todas as habitações, que os valores calculados estão dentro do valor recomendado, não atingindo o valor máximo.

Não se pode dizer o mesmo a respeito da transmitância térmica da cobertura (que é igual em todas as casas) que, no verão, encontra-se levemente acima do valor recomendado e no inverno é bem superior.

Tabela 8 - Comparativo das aberturas de ventilação existente e NBR 15220

Habitação	Ambiente	Percentual de Área de Ventilação Existente	Percentual de Área de Ventilação Exigido
1, 2, 3 e 5	Dormitório 1	7,2 %	De 15 a 25 %
	Dormitório 2	8,2 %	De 15 a 25 %
	Sala	6,0 %	De 15 a 25 %
	Cozinha	8,3 %	De 15 a 25 %
4	Dormitório	9,3 %	De 15 a 25 %
	Sala/Cozinha	8,2 %	De 15 a 25 %

As aberturas efetivas para ventilação apresentam os valores dos percentuais sobre área de piso inferiores àqueles estabelecidos pela NBR - 15220 da ABNT (ver Tabela 8). No caso da sala considerou-se a porta fechada.

Também, a mesma norma determina que o sombreamento das aberturas deve permitir sol durante o inverno. Em todas as habitações, as janelas dos dormitórios possuem venezianas, permitindo a sua abertura no inverno. As janelas das cozinhas e das salas não possuem venezianas ou outro tipo de proteção da irradiação solar.

4.4 Resultados obtidos nas medições efetuadas de temperatura e umidade

Os dados coletados diretamente nas habitações em estudo, são apresentados a seguir, por intermédio de gráficos que permitem visualizar e compará-los. Para cada uma das habitações são apresentados os valores medidos da temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar, tanto interna, como externa. Essas medições foram registradas a cada trinta minutos, nos períodos indicados. Ao final constatou-se que não há razão para se realizar medições com periodicidade inferior a 1 hora.

4.4.1 Resultados das medições no verão:

A seguir são apresentados os valores obtidos das temperaturas de bulbo seco e da umidade relativa do ar medidas no verão, tanto dentro das habitações em estudo, como externamente. Apresentam-se de forma gráfica os dados para uma melhor visualização dos resultados.

4.4.1.1 Resultados das medições no verão, na habitação 1

Observa-se que na Habitação 1, a temperatura de bulbo seco externa, nos dois dias medidos (das 17h de 06/01 às 17h de 08/01/2006), variou de 20 a 34 °C, enquanto que a temperatura interna se manteve na faixa de 24 a 33 °C. No caso, as temperaturas internas e externas apresentam curvas tipo senoidal com amplitude de valores similares, apenas havendo um atraso devido à inércia da construção, o que pode ser verificado no Gráfico 2.

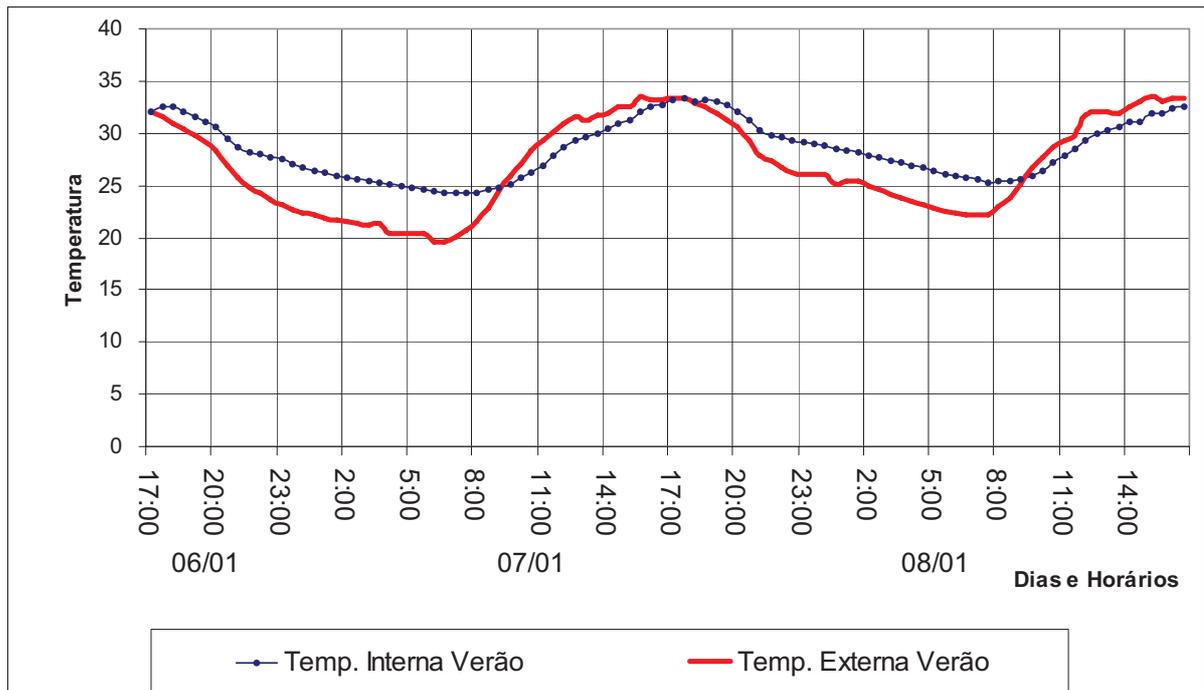


Gráfico 2 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 1 – no verão

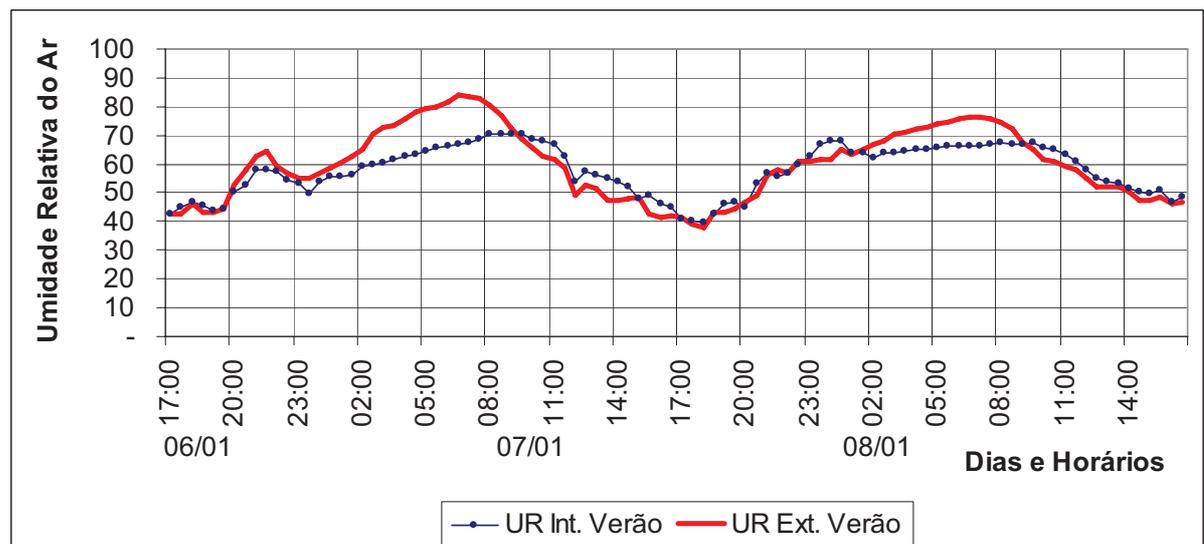


Gráfico 3 - Umidade relativa do ar – medida na habitação 1 – no verão

A umidade relativa medida, nestes dois dias, apresentou uma variação sazonal (ver Gráfico 3), tendo uma variação de 38 a 83 % externamente à habitação 1. Apresentando os menores valores por volta das 16 horas e os maiores valores por volta das seis horas da manhã.

Internamente a variação foi na faixa de 40 a 70%, apresentando os menores valores por volta das 17 horas e os maiores valores por volta da nove horas.

4.4.1.2 Resultados das medições no verão, na habitação 2

Na habitação 2, a faixa de temperatura externa nos dois dias medidos (das 16h de 04/01 às 16h de 06/01/2006), variou de 17 a 32 °C, enquanto que internamente esteve entre 21 e 30,5 °C. No Gráfico 4, observa-se que praticamente se repete o ocorrido na habitação 1, ou seja, há um atraso na mudança da temperatura interna devido à inércia térmica da construção, que, neste caso, é um pouco maior daquele da habitação 1, já que a construção está entre duas outras habitações.

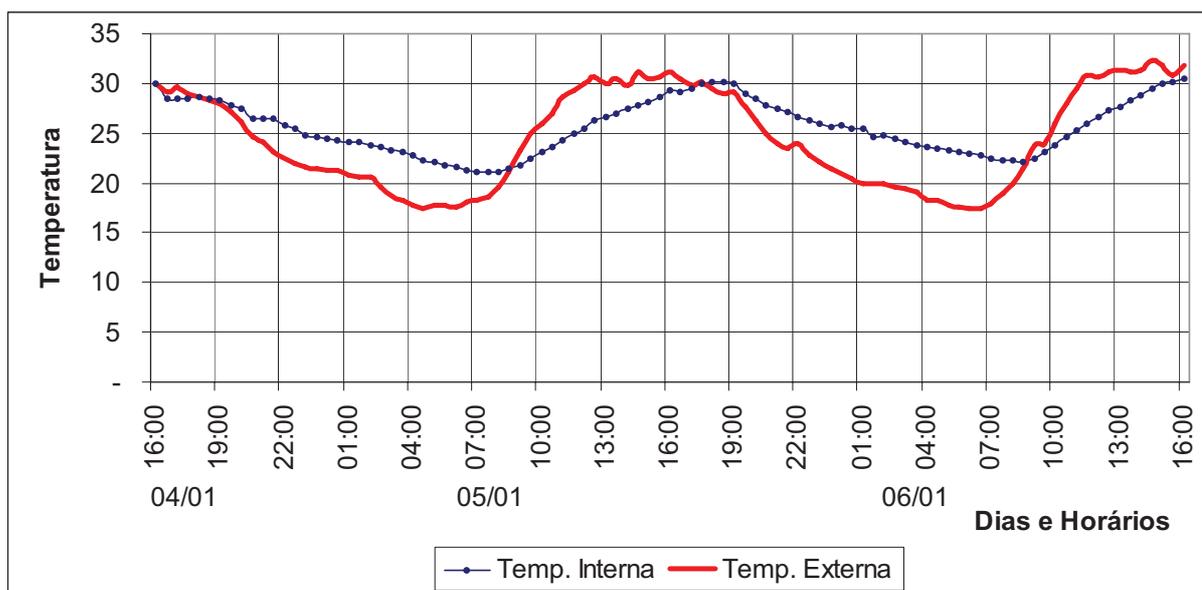


Gráfico 4 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 2 – no verão

Com relação à umidade relativa medida, o comportamento na habitação 2 é semelhante à habitação 1 (assim não se viu razão para apresentar o gráfico), tendo variado de 38 a 84 % externamente, apresentando os menores valores por volta das 16 horas e os maiores valores por volta das seis horas da manhã. Internamente, a variação foi na faixa de 40 a 72%, apresentando os menores valores por volta das 17 horas e os maiores valores por volta da nove horas.

4.4.1.3 Resultados das medições no verão, na habitação 3

A temperatura externa, no período entre as 14h de 10/01 às 14h de 12/01/2006, teve uma variação de 20 a 37°C e a interna variou de 24 a 37 °C, na habitação 3, como pode ser observado no Gráfico 5. Também, verifica-se o atraso térmico, mas observam-se algumas oscilações nas temperaturas da faixa mais elevada.

A umidade relativa, medida externamente na habitação 3, apresentou uma variação sazonal de 37 a 75%. Tendo os menores valores por volta das 16 horas e os maiores valores por volta das seis horas da manhã. Internamente, a variação foi na faixa de 35 a 66%, apresentando os menores valores por volta das 18 horas e os maiores valores por volta da oito horas.

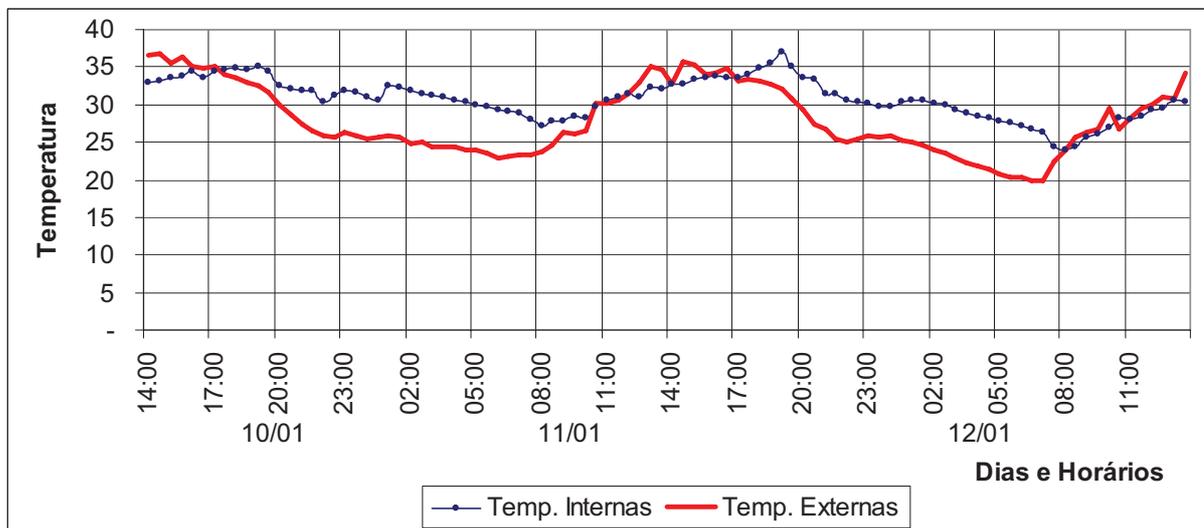


Gráfico 5 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 3 – no verão

4.4.1.4 Resultados das medições no verão, na habitação 4

Na habitação 4 a temperatura externa no período medido (das 16h de 12/01 à 16h de 14/01/2006), variou de 19 a 34 °C e a interna variou de 24 a 31 °C. Como pode ser verificado no Gráfico 6, a amplitude dos picos da temperatura externa é menor do que nos outros dias em que foram medidas as outras habitações.

Também verifica-se o atraso térmico, mas a variação da temperatura interna é menor do que nas outras habitações. Isso provavelmente se deve a uma maior inércia térmica das paredes da casa, que são rebocadas nas duas faces e talvez por sua orientação, que expõe uma menor área à radiação solar.

Os valores da umidade relativa externa na habitação 4, medidas no período, variaram de 40 a 88%, tendo os menores valores obtidos por volta das 15h e os maiores por volta das seis horas da manhã. Internamente a umidade relativa do ar variou de 46 a 71%.

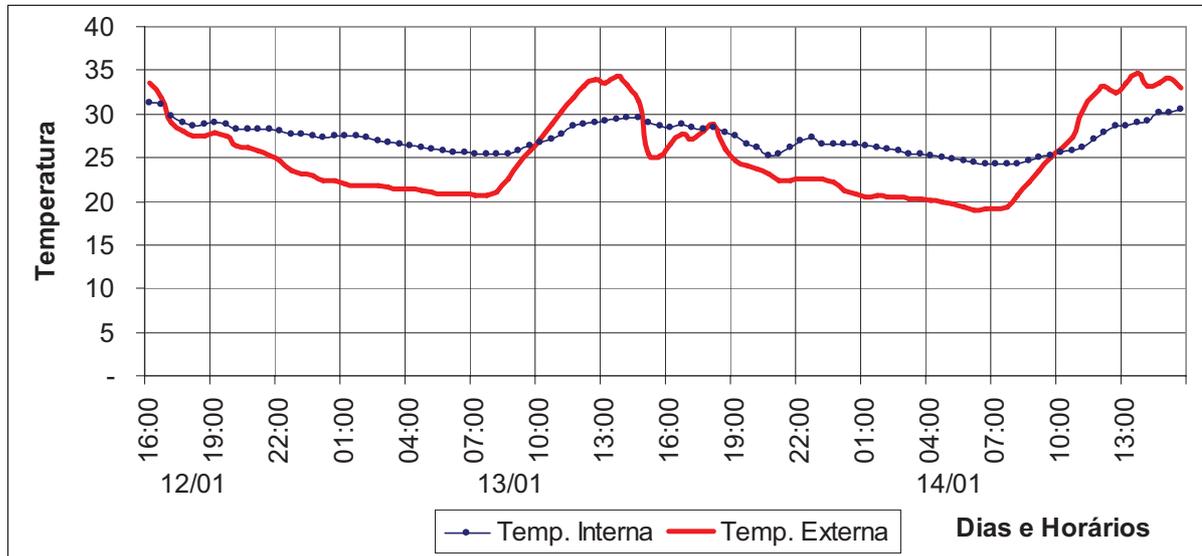


Gráfico 6 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 4 – no verão

4.4.1.5 Resultados das medições no verão, na habitação 5

Os dias em que foram efetuadas as medições na habitação 5 (das 16h de 16/01 às 16h de 18/01/2006) é um período atípico se considerarmos as características dos períodos das outras habitações no verão, onde inicialmente houve uma queda acentuada da temperatura externa, variando de 37 a 17 °C, mas depois permaneceu relativamente constante.

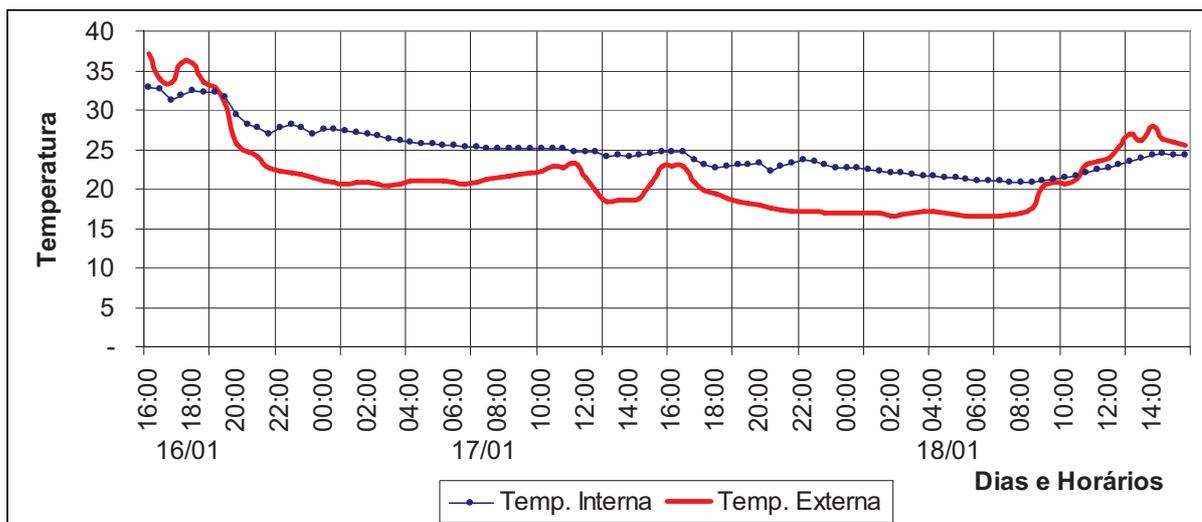


Gráfico 7 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 5 – no verão

Verificando-se o Gráfico 7, observa-se que no início das medições obteve-se a temperatura mais elevada de 37 °C e que caiu para cerca de 20 °C às 24 horas, depois a oscilação foi pequena, voltando a subir apenas no dia 18. A temperatura interna variou de 21 a 33 °C. Da mesma forma que a temperatura externa, houve o maior valor no início da medição, que depois se manteve com pequena oscilação, voltando a subir um pouco no final.

Os valores da umidade relativa, medidas no exterior da habitação 5, estiveram na faixa de 42 a 92 %, tendo os menores valores por volta das 16 horas e os maiores valores por volta da 8 horas da manhã. Internamente a variação foi na faixa de 49 a 75 %.

4.4.2 Resultados das medições no inverno

A coleta de dados relativos às temperaturas de bulbo seco e umidade relativa do ar, realizada no período de inverno, resultou nos valores e gráficos apresentados a seguir.

4.4.2.1 Resultados das medições no inverno, na habitação 1

Entre às 18h do dia 06/07 e 18h de 08/07/2005 (no inverno) a temperatura bulbo seco externa medida variou de 3 a 16 °C, apresentando uma curva quase senoidal (ver Gráfico 8).

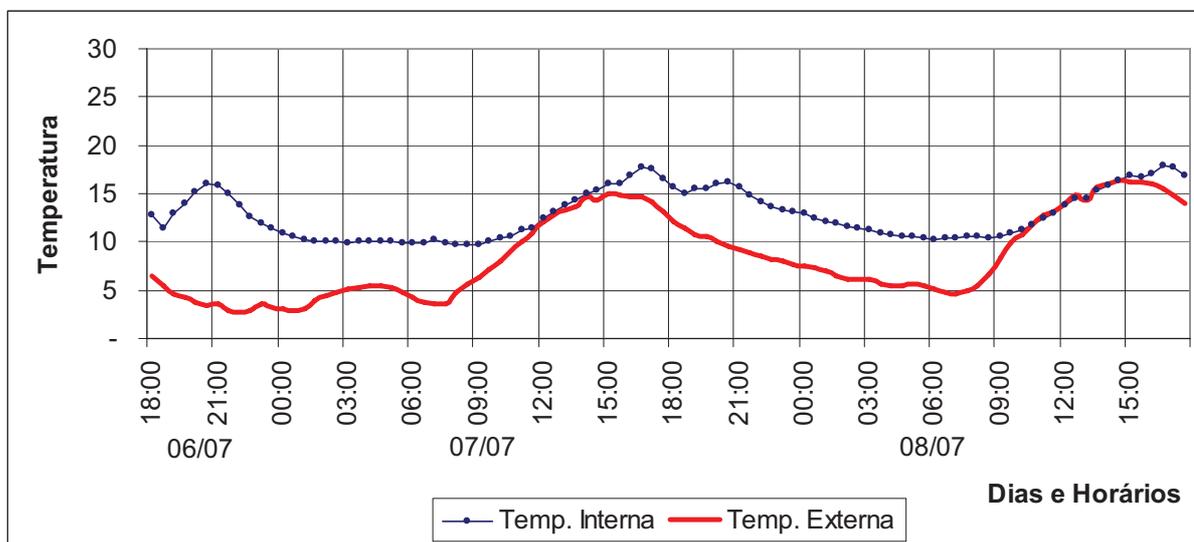


Gráfico 8 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 1 – no inverno

As temperaturas internas variaram de 10 a 18°C no período, também se comportaram de modo semelhante, apenas ocorrendo uma discrepância na noite do dia 06, onde houve um aumento na temperatura interna, quando a temperatura externa estava em queda. Talvez os moradores tenham ligado o forno do fogão ou algum aquecedor, apesar da recomendação realizada, para que não fizessem isto.

A umidade relativa externa da habitação 1, medida no período, é apresentada no Gráfico 3, tendo variado de 52 a 88%, onde os maiores valores foram atingidos por volta da oito horas da manhã e os menores por volta das 15 horas. Na parte interna da habitação, a umidade relativa do ar esteve entre os valores de 55 e 77%, apresentando pico superior por volta da nove horas e inferior por volta das 16h (ver Gráfico 9).

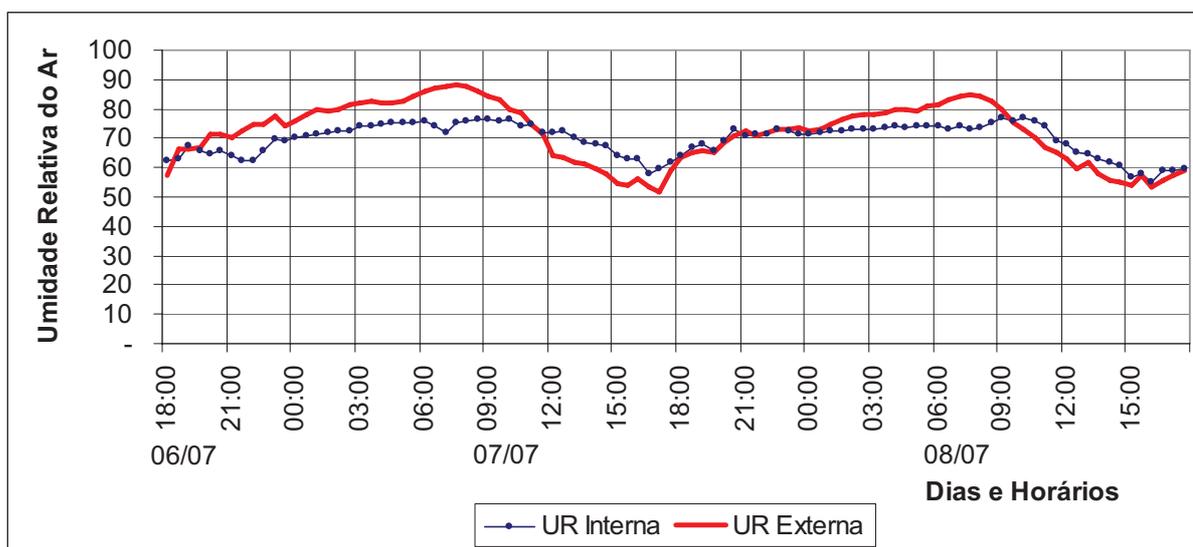


Gráfico 9 - Umidade relativa do ar – medida na habitação 1 – no inverno

4.4.2.2 Resultados das medições no inverno, na habitação 2

Similar ao que ocorreu na habitação 1, na habitação 2 a temperatura medida entre as 18h de 08/07 e 18 h de 10/07 apresentou uma variação externa entre 8 e 18°C e interna entre 12 e 20°C (ver Gráfico 10).

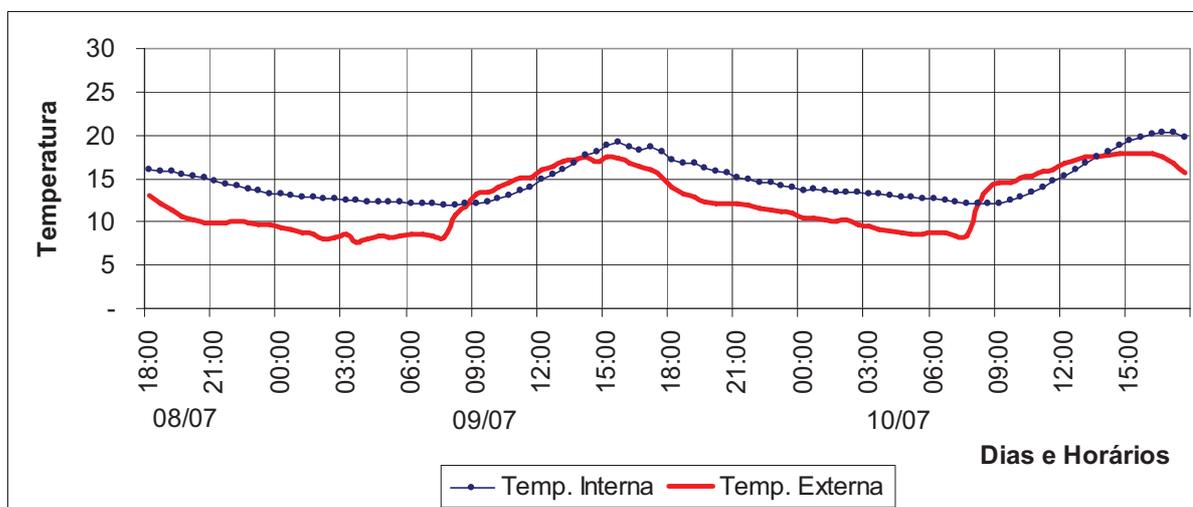


Gráfico 10 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 2 – no inverno

A umidade relativa, na habitação 2, na parte externa, esteve entre 49 e 85%. Internamente, os valores variaram entre 50 e 75%.

4.4.2.3 Resultados das medições no inverno, na habitação 3

No Gráfico 11, estão contidas as temperaturas de bulbo seco medidas na habitação 3, entre as 17h de 21/06 à 17h de 23/06, cujos valores das temperaturas externas variaram entre 5 e 18°C. Internamente, a variação esteve entre 11 e 18°C. Observa-se que à noite houve aumento na temperatura, significando que, provavelmente, tenham utilizado algum processo de aquecimento do ambiente, mesmo tendo sido recomendado que não o fizessem.

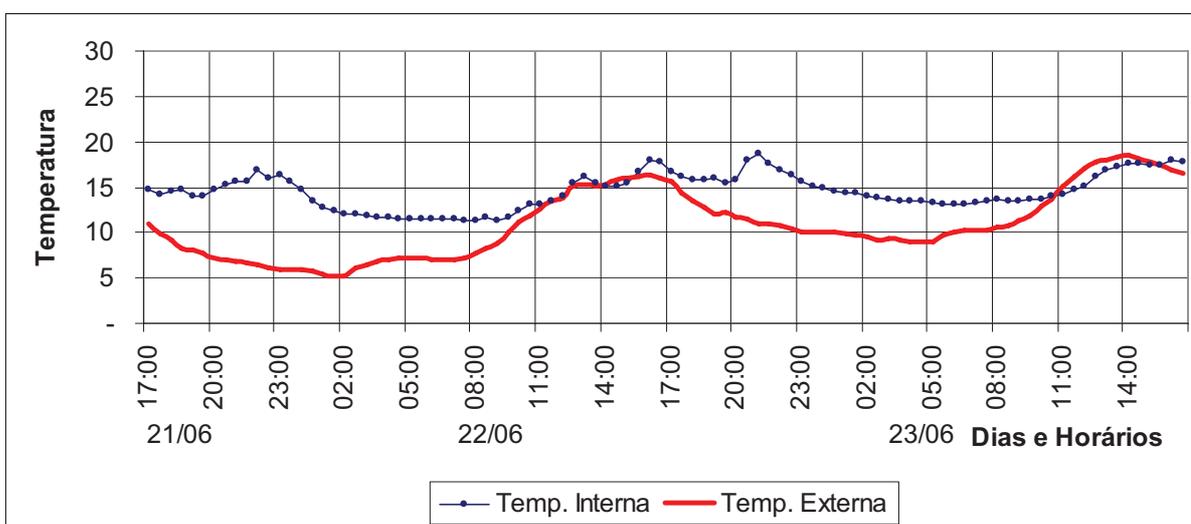


Gráfico 11 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 3 – no inverno

A umidade relativa do ar, na habitação 3, variou externamente entre 65 e 89%. Internamente a variação esteve na faixa de 68 a 83%.

4.4.2.4 Resultados das medições no inverno, na habitação 4

Na habitação 4, as temperaturas foram medidas entre as 16h de 20/07 e 16h de 22/07/2005, as quais são apresentadas no Gráfico 12. A temperatura externa oscilou no período entre 6 e 17°C. Internamente a temperatura esteve entre 11 e 15 °C.

Os valores da umidade relativa, medidos externamente a esta habitação, estiveram na faixa de 42 e 92%. Na parte interna, os valores ficaram entre 49 e 86%.

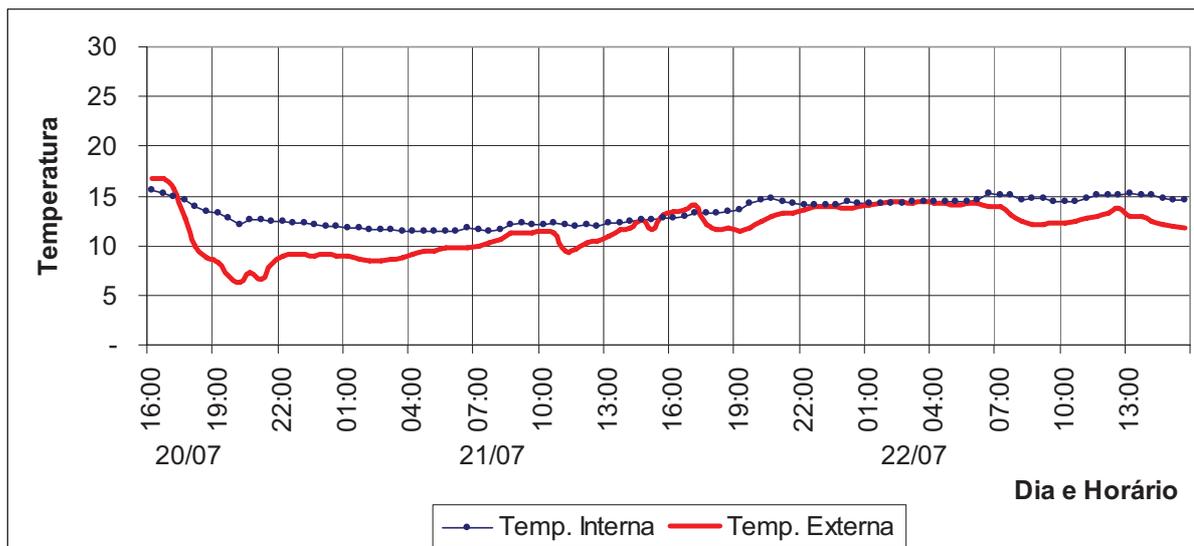


Gráfico 12 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 4 – no inverno

4.4.2.5 Resultados das medições no inverno, na habitação 5

As temperaturas coletadas na habitação 5, obtidas entre as 18h de 23/06 e 18h de 25/06 são apresentadas no Gráfico 13, onde a temperatura externa variou na faixa de 5 a 29°C.

Houve variações bruscas desta temperatura, pois num período de cerca de quatro horas variou de aproximadamente 5 °C (pela manhã), até quase 30 °C (à tarde). A temperatura interna variou no período entre 11 e 18 °C.

A umidade relativa do ar externo oscilou entre 39 e 92%. Na parte interna da habitação variou entre 67 e 85%.

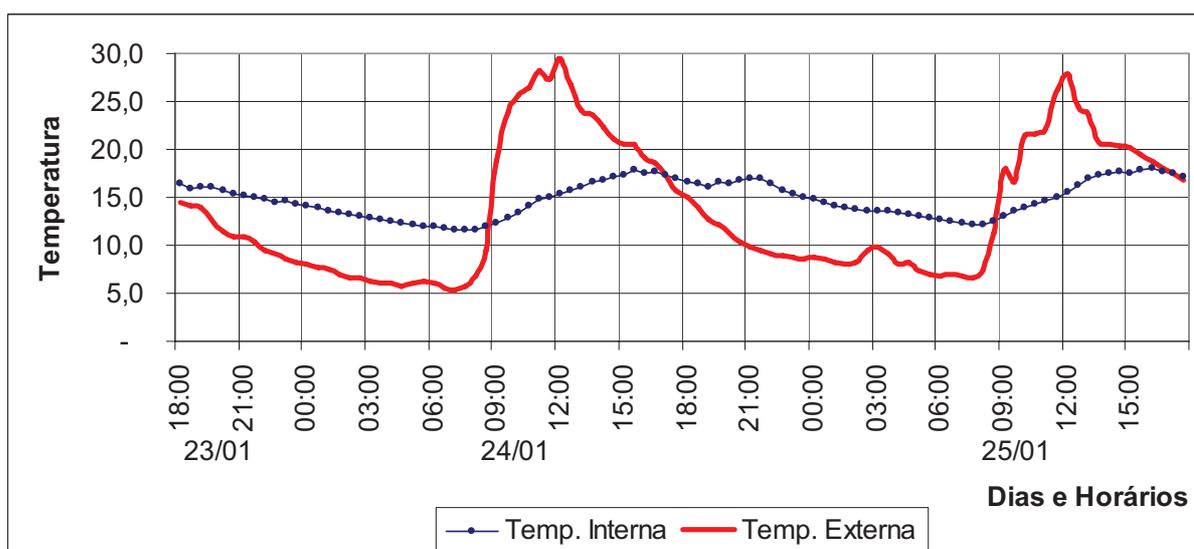


Gráfico 13 - Temperatura interna e externa – medida na habitação 5 – no inverno

4.5 Resultados das simulações realizadas utilizando o EnergyPlus

Neste item são apresentados os resultados obtidos pelas simulações realizadas com o *EnergyPlus* com relação ao comportamento da temperatura. O resultados liberados pelo *EnergyPlus* estão sob forma de planilhas, com extensão CSV (Comma Separated Values), ou valores separados por vírgula, formato este que foi lido através de um editor de planilhas eletrônicas e depois gerado um elemento gráfico apresentado.

4.5.1 Resultados das simulações para o verão:

Pela simulação realizada, o comportamento das temperaturas, em todas as habitações alvo do estudo, são similares, assim, para a habitação 1, para um dia médio de verão, foi usado aleatoriamente o dia de 21/01, onde a temperatura externa variou de acordo com uma curva senoidal. Igualmente, as temperaturas internas apresentam o mesmo tipo de curva, apenas com uma menor amplitude de variação na temperatura e com um pequeno retardo, conforme pode ser visto no Gráfico 14. Na simulação de um dia de temperatura extremas, que adotou-se o 31/01, observa-se uma curva similar a anterior, apenas mais acentuada (ver Gráfico 15).

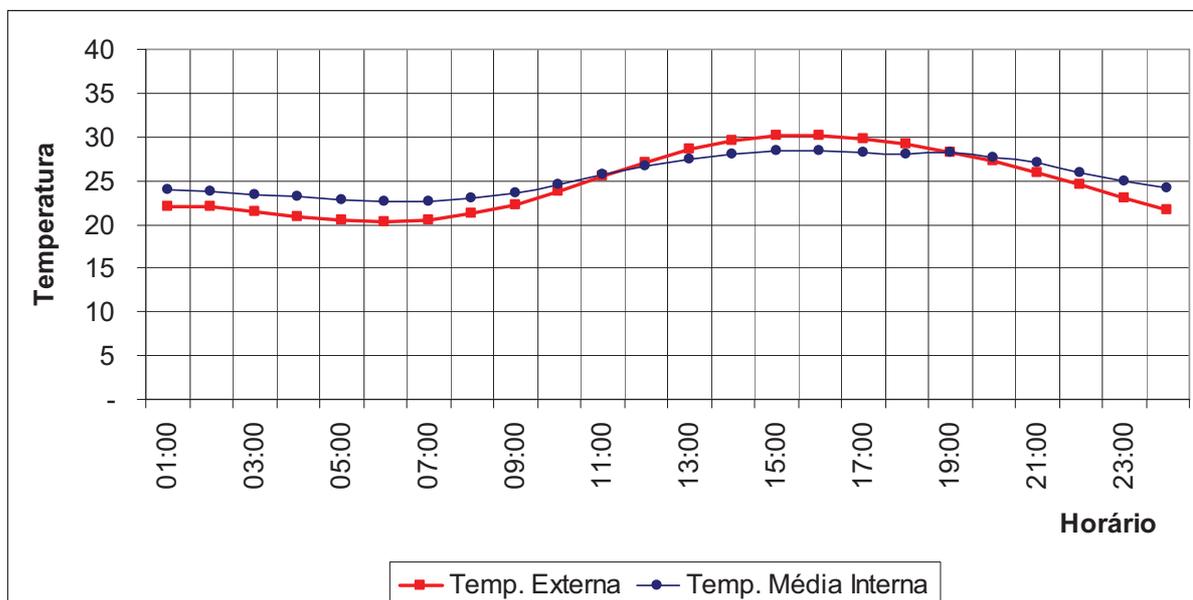


Gráfico 14 - Temperatura interna e externa – simulada na habitação 1 – 21/01

Na verdade, o comportamento térmico, no verão, é muito parecido nas 5 (cinco) habitações em estudo, conforme pode ser visto no Gráfico 16, para um dia de verão. Isso se deve ao fato de que as construções apresentam diferenças tipológicas e construtivas mínimas.

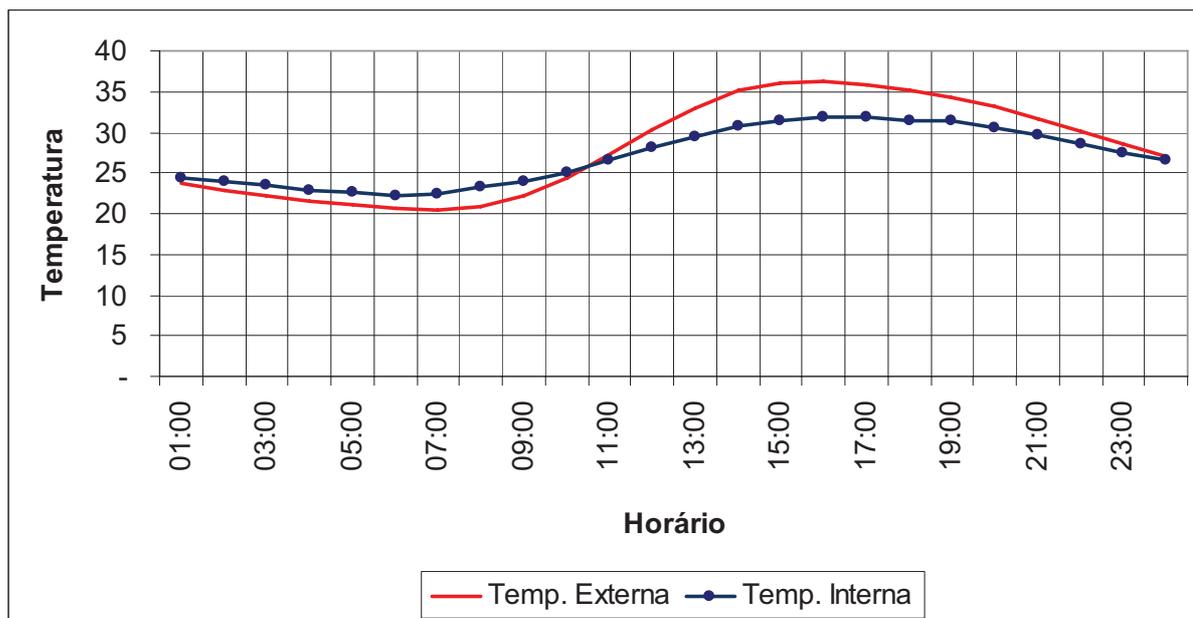


Gráfico 15 - Temperatura interna e externa – simulada na habitação 1 – 31/01

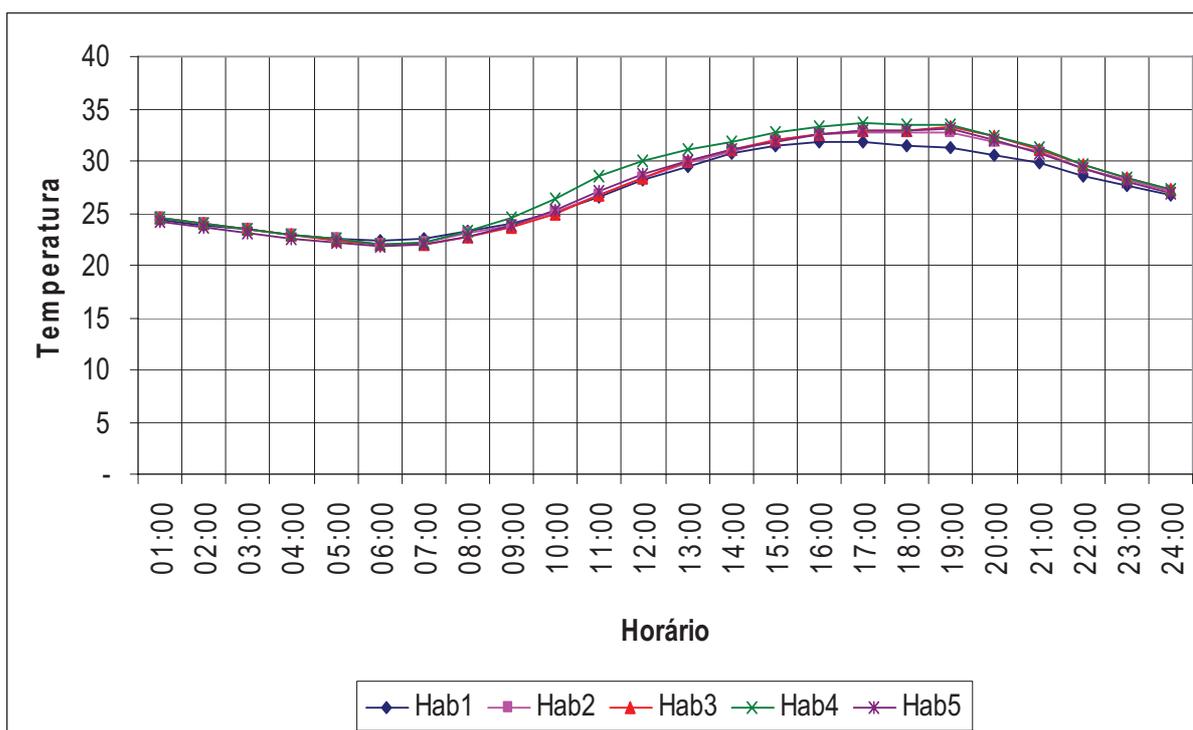


Gráfico 16 - Temperatura interna - simulada nas 5 habitações – 31/01

Observa-se que a habitação 1 apresenta as menores temperaturas no verão, principalmente à tarde e à noite. Por outro lado, a habitação 4 é aquela que apresenta as maiores temperaturas. Acredita-se que isto ocorra por ser ela isolada estando mais exposta as condições externas.

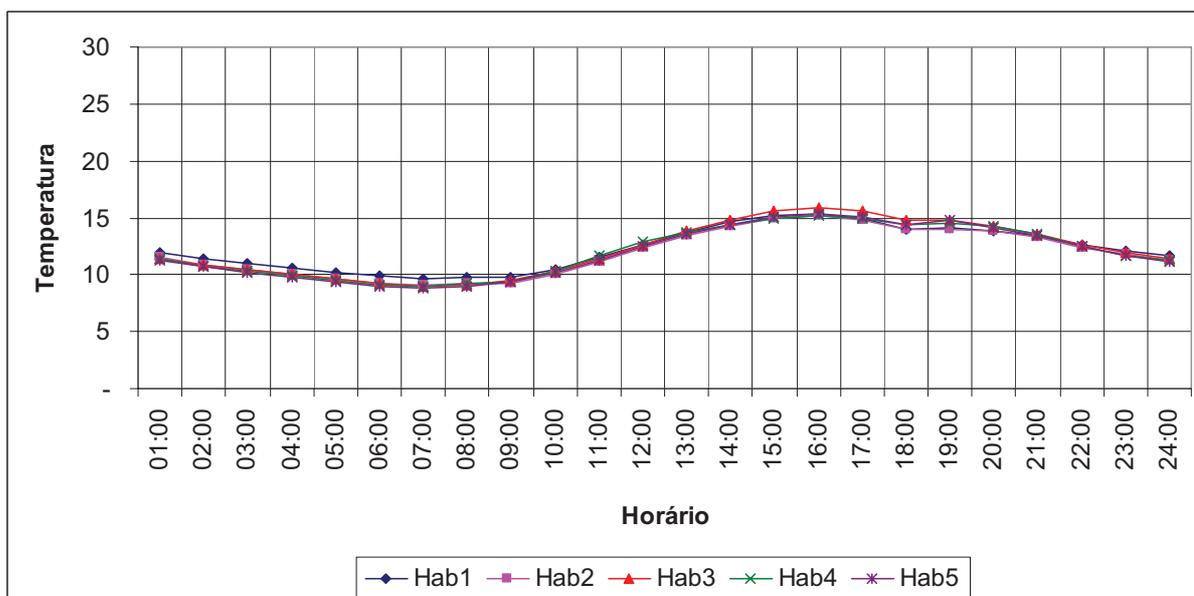


Gráfico 17 - Temperatura interna simulada nas 5 habitações – 12/07

4.5.2 Resultados das simulações para o inverno:

No inverno, também o comportamento das habitações é bastante similar, tendo temperaturas muito próximas, conforme pode ser verificado no Gráfico 17, para um dia típico de inverno.

Para se observar a inércia térmica em um dia de inverno, é apresentado o Gráfico 18, relativo a habitação 2, onde verifica-se que, apesar da temperatura externa ter atingido 2 °C, de manhã, a temperatura interna mínima chegou apenas a 9 °C.

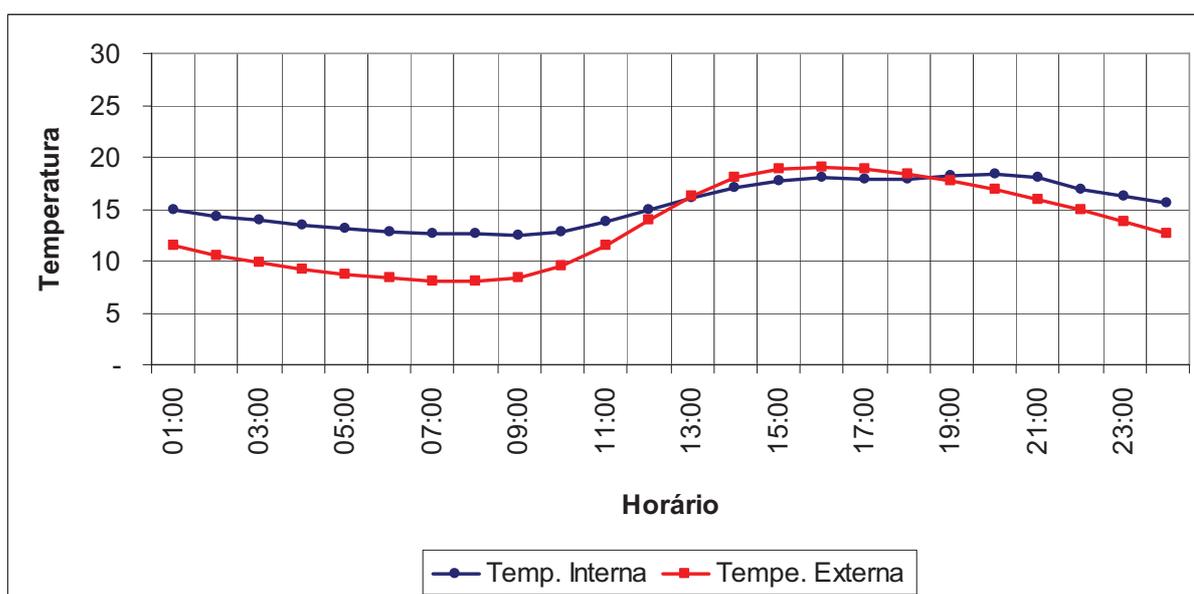


Gráfico 18 - Temperatura interna e externa – simulada na habitação 2 – 20/07

Da mesma forma, pode ser vista no Gráfico 19 a representação do comportamento das temperaturas simuladas para todo o inverno, observando-se a existência da inércia térmica e também que as temperaturas internas sempre são superiores às externas em pelo menos 6 °C, nos dias mais frios.

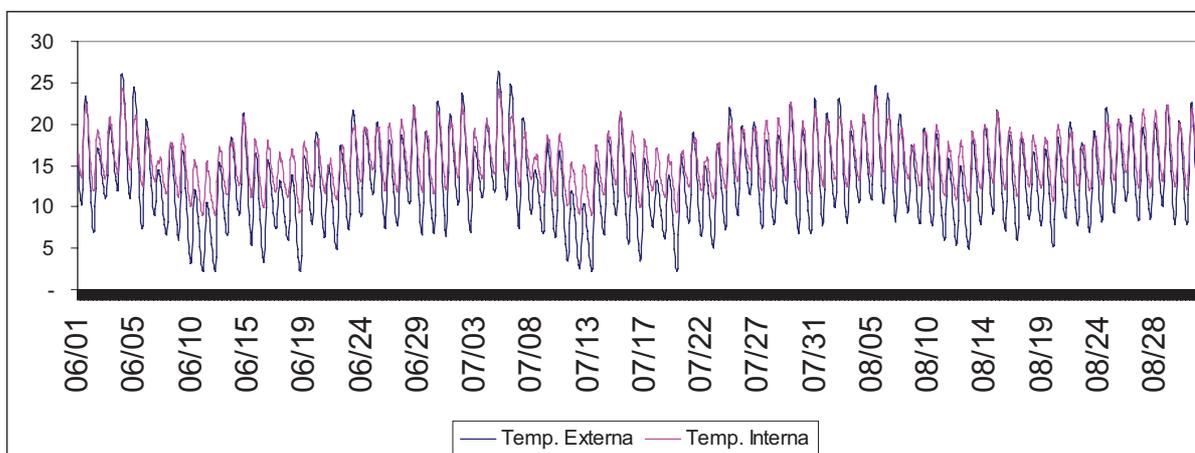


Gráfico 19 - Comparativo das temperaturas internas e externas no inverno

4.6 Análise dos resultados

4.6.1 Relacionado à NBR 15220 da ABNT

Através dos cálculos realizados (ver Tabela 7), constatou-se que as paredes das casas possuem uma transmitância térmica de 2,50 e 2,55 W/m²K, portanto inferior ao valor máximo fixado para a norma, que é de 3,00 W/m²K. A cobertura apresenta para o verão um valor calculado da transmitância térmica levemente superior ao limite estabelecido pela norma, ou seja, o valor calculado é de 2,02 e o normatizado deve ser menor do que 2,00. No inverno, este valor é bem superior ao limite estabelecido, sendo o calculado igual a 2,82 e o da norma menor do que 2,0.

O atraso térmico obtido para as paredes sem rebocos internos foi de 4,25, levemente inferior ao valor fixado de 4,3 horas, atendendo à norma 15.220 da ABNT. Contudo, nas paredes com reboco nas duas faces, o valor calculado do atraso térmico é de 4,50, portanto superior ao valor tabelado. O valor calculado para a cobertura é bem inferior àquele fixado pela norma.

Com relação ao atraso térmico, questiona-se o limite superior fixado, pois sendo o clima de Passo Fundo temperado, que apresenta uma variação diária de temperatura elevada, seria recomendado que as construções apresentassem uma inércia térmica maior, neste caso o

valor do atraso térmico também seria maior, não atendendo à norma. Assim, estudos mais aprofundados devem ser realizados com o objetivo de se definir se para a região climática número 2, onde Passo Fundo está inserida, é vantajoso fixar-se um limite superior para o atraso térmico.

O fator de ganho de calor solar, calculado para todas as habitações, é inferior ao estabelecido pela norma, visto que todas as casas podem ser classificadas como de cores claras.

A NBR - 15220 da ABNT estabelece para a zona bioclimática 2, onde Passo Fundo está inserida, que a edificação deve possuir aberturas para ventilação médias, de 15 a 25% da área do piso. As habitações 1, 2, 3 e 4 apresentam janelas de 1,20 metros quadrados nos dormitórios e na sala, enquanto que na habitação 4 elas possuem 1,4 m². Assim, se a área de abertura para ventilação fosse 100% do vão, as áreas das esquadrias atenderiam ao estabelecido pela norma. No caso estudado, todas as janelas só abrem 50% da área total. Dessa forma, as áreas de abertura estão bem abaixo do recomendado. O mesmo ocorre com as cozinhas e banheiros, onde as janelas são tipo basculantes.

4.6.2 Relacionado ao PNBR 02:136.01 da ABNT

Os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica das paredes externas, segundo o projeto de norma 02:136.01, parte 4, são de 2,5 W/(m².K), assim os valores calculados, de 2,5 para as habitações 1 e 2 estão no limite. No entanto, nas habitações 3, 4 e 5 os 2,55 estão acima do limite estabelecido. No verão, a transmitância calculada para as coberturas de todas as habitações (apresentam o mesmo tipo de cobertura), é de 2,02 W/(m².K), sendo, dessa forma, inferior a 2,3 W/(m².K) fixado como limite pelo projeto de norma. Contudo, para o inverno, os valores calculados de 2,82, são superiores aos estabelecidos.

A capacidade térmica calculada apresenta um valor muito superior ao mínimo estipulado que é de 45 kJ/(m.K), pois para as habitações 1 e 2 o valor é de 199 kJ/(m.K) e para as habitações 3, 4 e 5 é de 213 kJ/(m.K).

A referida norma estabelece que os elementos de cobertura devem possuir capacidade térmica maior ou igual a 150 kJ/(m.K) que, no caso, não é atendido, pois as coberturas das habitações em estudo são leves, possuindo um valor muito inferior, ou seja, apresenta apenas 13,84 kJ/(m.K).

Conforme pode ser visto na Tabela 9, as aberturas de ventilação são inferiores ao fixado no referido projeto de norma, apenas no dormitório 1 e na sala das habitações 1, 2, 3 e 5.

Tabela 9 - Comparativo das aberturas de ventilação existente e PNBR 02:136.01

Habitação	Ambiente	Percentual de Área de Ventilação Existente	Percentual de Área de Ventilação Exigido
1, 2, 3 e 5	Dormitório 1	7,2 % .	≥ 8 %
	Dormitório 2	8,2 % ▢	≥ 8 %
	Sala	6,0 % .	≥ 8 %
	Cozinha	8,3 % ▢	≥ 8 %
4	Dormitório	9,3 % ▢	≥ 8 %
	Sala/Cozinha	8,2 % ▢	≥ 8 %

O item 10.3 da parte 3, do PNBR 02:136.01, requer que haja sombreamento das aberturas localizadas em paredes externas. No caso em estudo, apenas as janelas dos dormitórios de todas as residências possuíam venezianas, que possibilitam o sombreamento e o controle da entrada de luz. As demais aberturas externas não possuem sombreamento.

Com relação às condições de conforto para o verão, as habitações atendem às condições mínimas exigidas, já que tanto as temperaturas simuladas, como as medidas no interior são menores do que as do exterior.

Com referência ao inverno, não se pode dizer o mesmo, pois nas simulações, em todas as habitações, apresentaram temperaturas inferiores a 12 °C. As medições confirmam o verificado nas simulações efetuadas para o inverno, onde apenas a habitação 5 não apresentou temperatura inferior a 12 °C, porque no dia da medição o clima estava ameno.

Tabela 10 - Percentual anual das temperaturas inferiores a 12 °C

Descrição	Percentual horário anual com temperatura inferior a 12 °C.
Habitação 1	2,53
Habitação 2	3,65
Habitação 3	3,95
Habitação 4	3,82
Habitação 5	4,68

Na Tabela 10 são apresentados os percentuais obtidos nas simulações para o ano típico, onde as temperaturas são inferiores aos 12 °C, valor mínimo fixado pela norma. A habitação 1 teve a melhor performance, porque além de ser uma casa central, que possui só duas paredes externas, possui o maior número de pessoas.

Num primeiro instante, podem parecer pequenos os percentuais para um ano, mas se for transformada em horas, será visto que na habitação 1, onde ocorre o menor percentual, ele equivale a 222 horas, que seriam mais de nove dias por ano em situação de temperatura em desacordo com a norma.

A habitação 5 apresentou o maior valor percentual, ou seja, a pior performance. Isto também está relacionado ao menor número de pessoas. No caso se teria 410 horas anuais de desconforto, o que equivaleria a mais de 17 dias por ano.

Para uma habitação ser enquadrada com desempenho térmico intermediário, a faixa de temperatura, no verão, deve ser igual ou inferior a 29 °C. As habitações estudadas apresentam um percentual médio anual de 1,8 % acima da temperatura de 29 °C, conforme podem ser vistos os resultados na Tabela 11.

Tabela 11 - Desempenho térmico no verão

Descrição	Percentual horário anual	Percentual horário anual
	com temperatura superior a 27 °C.	com temperatura superior a 29 °C.
Habitação 1	4,91 %	1,04 %
Habitação 2	6,42 %	1,77 %
Habitação 3	6,70 %	1,95 %
Habitação 4	7,88 %	2,68 %
Habitação 5	6,16 %	1,75 %

Uma habitação de nível superior deve ter as temperaturas iguais ou inferiores a 27 °C, no caso, verifica-se que as habitações pesquisadas apresentam em seu interior um valor médio de 6,4 % das horas anuais superior a este valor (ver Tabela 11).

Com relação ao desempenho térmico no inverno, uma habitação, para ser enquadrada, segundo a PNBR 02:136.01 (ABNT, 2004), deve possuir temperaturas iguais ou superiores a 15 °C. Contudo, para se enquadrar como superior, deve ter temperaturas iguais ou superiores a 17 °C. No caso estudado, obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 12, onde o percentual que não satisfaz à condição de nível intermediário é de 18,6%. Enquanto o que não se enquadra como de nível superior em um percentual médio de 31,1 %.

Tabela 12 - Desempenho térmico no inverno

Descrição	Percentual horário anual com temperatura inferior a 15 °C.	Percentual horário anual com temperatura inferior a 17 °C.
Habitação 1	17,11 %	30,05 %
Habitação 2	18,68 %	31,32 %
Habitação 3	18,97 %	31,33 %
Habitação 4	18,23 %	30,28 %
Habitação 5	20,01 %	32,54 %

Os resultados obtidos nas residências estudadas demonstram que, em Passo Fundo, o desconforto é muito maior no inverno, pois os valores percentuais com níveis de desconforto é bem maior do que no verão.

4.6.3 Comparativo entre as temperaturas simuladas e medidas

No Gráfico 20, são apresentadas as temperaturas obtidas diretamente na Habitação 1, através de medições, realizadas no verão, tanto para o interior como no exterior da habitação, juntamente com os valores obtidos através da simulação, utilizando o *software EnergyPlus*. Observa-se que, neste dia, as temperaturas apresentam a mesma taxa de variação de temperatura externa, estando tanto a medida como a simulada bastante próximas, com exceção do período da manhã, quando, na temperatura medida houve um crescimento mais rápido do que na simulada.

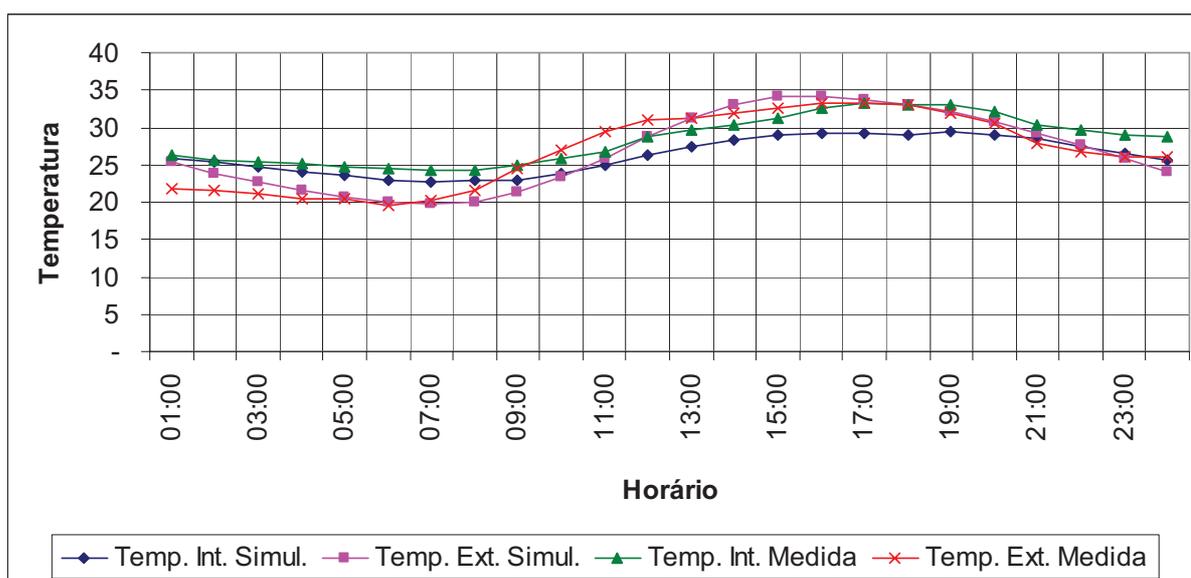


Gráfico 20 - Comparativo entre as temperaturas simuladas e medidas no verão

Com relação à temperatura interna, observa-se que a temperatura medida é quase sempre superior a temperatura simulada, principalmente à tardinha. Portanto, as condições reais no interior das habitações apresentam condições mais desconfortáveis do que aquelas que resultam da simulação.

Realizando-se o comparativo entre um dos dias medidos no inverno e um dia simulado que apresente variação de temperatura similar, obteve-se o Gráfico 21, onde observa-se que internamente as temperaturas, tanto as medidas, como as simuladas, são muito parecidas. Neste caso, a simulação retrata bem a condição real existente na habitação.

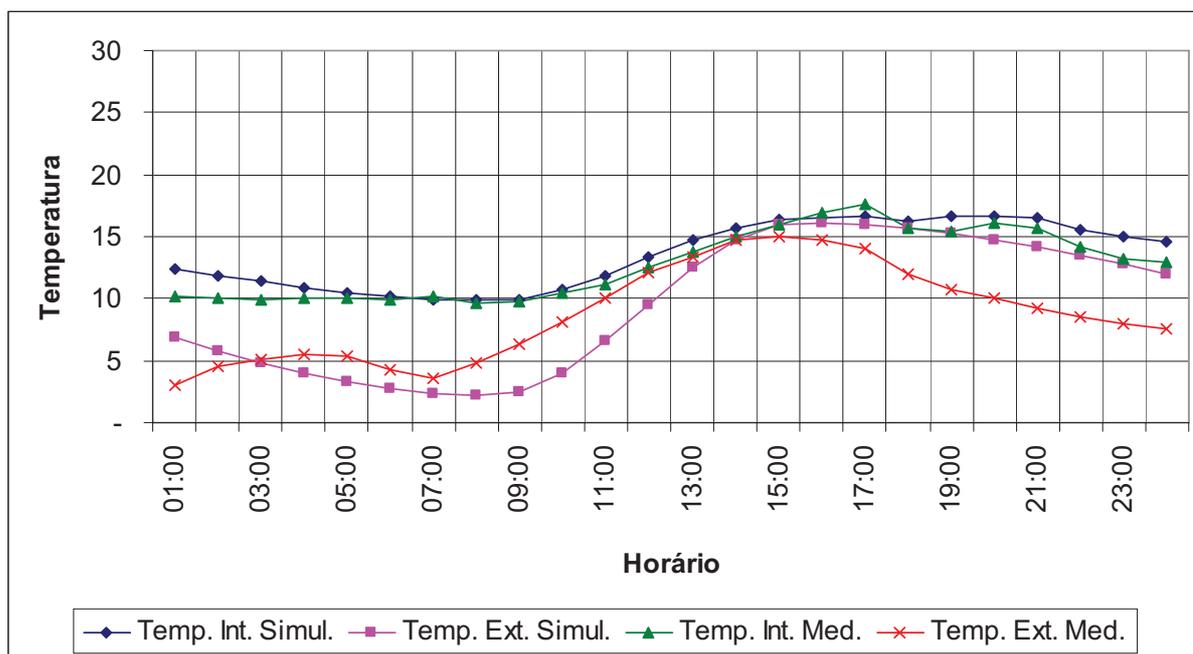


Gráfico 21 - Comparativo entre as temperaturas simuladas e medidas no inverno

4.6.4 Análise da orientação das habitações

As habitações em estudo apresentam as orientações representadas na Figura 30, mas analisando-se os Gráficos 16 e 17 verifica-se que, devido à pequena diferença das temperaturas entre as 5 habitações em estudo, pouca influência as orientações têm no desempenho térmico destas construções.

Acredita-se que a principal razão desta influência mínima da orientação deve-se ao fato de as construções serem praticamente quadradas.

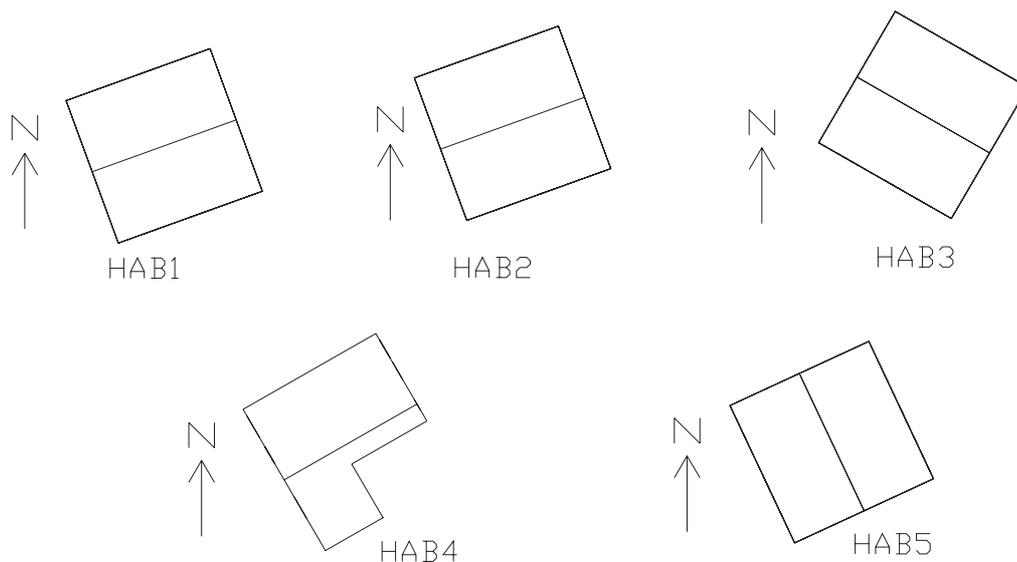


Figura 30 - Orientação das habitações em estudo

4.6.5 Conforto térmico

Analisada a questão do conforto térmico sob o enfoque da ASHRAE 55-2004, que, entre outras condições, estabelece para o verão que a temperatura não pode ser superior a 28 °C num percentual maior do que 4% das horas anuais, verifica-se que, em todas as habitações estudadas, isto não é atendido. Também, no inverno, os percentuais de horas anuais com temperatura inferior a 18 °C, é bem superior a este percentual.

Com relação ao comportamento do PMV para cada uma das cinco habitações em estudo, no verão, os resultados obtidos com o software EnergyPlus são apresentados no Gráfico 22. Considerando que o PMV deve estar na faixa entre -1 e +1, para a condição de conforto térmico, verifica-se que, durante todo o período, os valores estão fora desta faixa, portanto caracterizando a condição de desconforto.

Pode ser observado que a habitação 4 apresenta os maiores valores do PMV, isto se deve por ela ser uma habitação isolada e ter uma maior superfície de troca térmica, comparada com as demais habitações que são construídas na tipologia geminada.

Como o PMV depende da temperatura de bulbo seco da zona, da temperatura média radiante da zona, da atividade das pessoas, da velocidade do ar no interior da zona, da umidade relativa da zona e da resistência térmica da vestimenta das pessoas, a alteração de qualquer um destes parâmetros provoca a alteração do PMV. Dessa forma, como as habitações apresentam características similares, não há muita variação no PMV nas diferentes moradias.

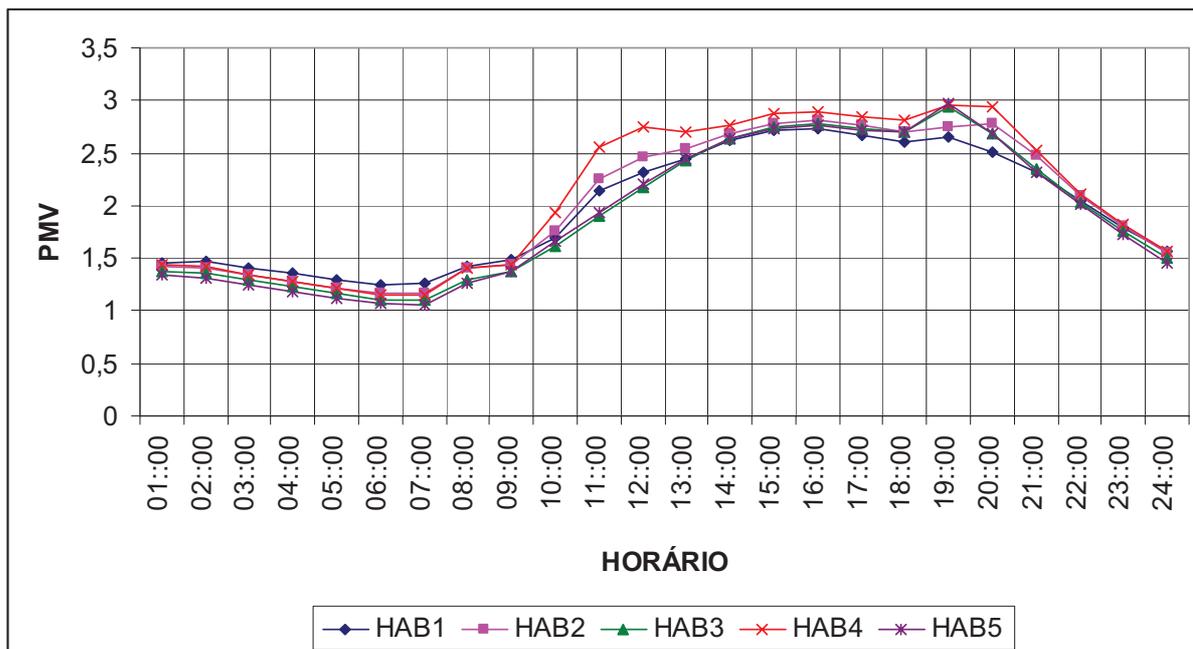


Gráfico 22 - PMV para um dia de verão - dia 21/01

O comportamento do PMV no inverno pode ser verificado no Gráfico 23, onde é apresentada a sua variação no decorrer das 24 horas de um dia típico de inverno.

Nesse caso, verifica-se que, no período das 13 às 23 horas, o valor do PMV encontra-se dentro da faixa de conforto térmico. Apenas no restante do tempo seria considerado em condição de desconforto, ou seja, na metade do dia os valores estariam fora da condição de conforto.

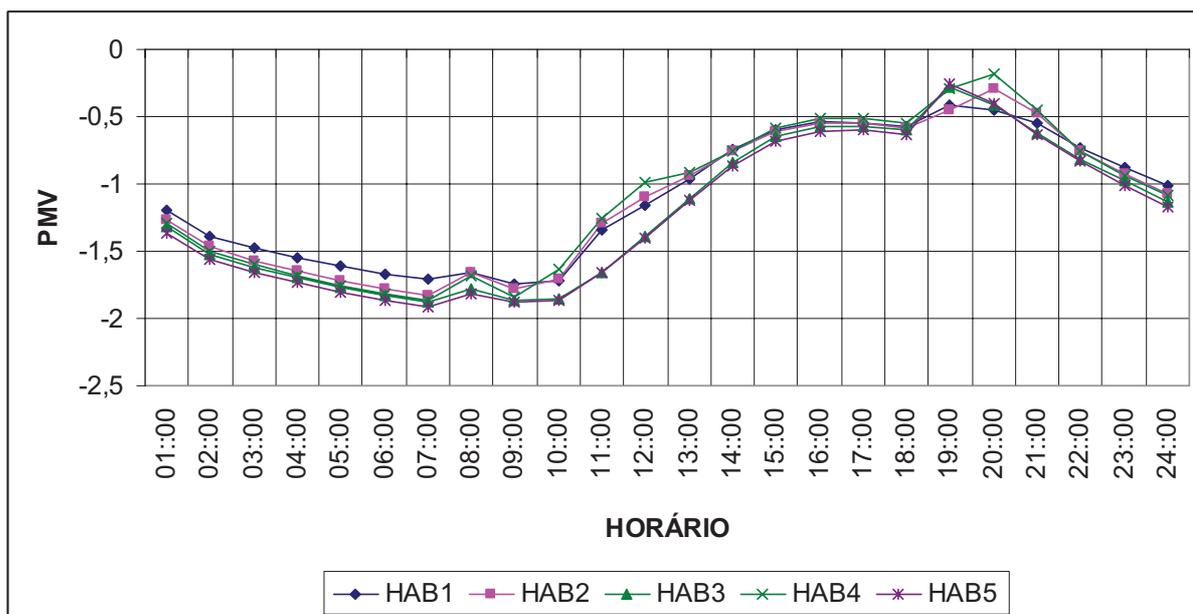


Gráfico 23 - PMV para um dia de inverno - dia 21/07

Conforme a metodologia de avaliação por desempenho, proposta por Barbosa (1997), a quantidade de horas anuais fora da zona de conforto (temperaturas entre 18 ° C a 29° C), deve ser menor que mil horas, para que a edificação seja considerada dentro do limite aceitável para desempenho térmico. No caso, todas as habitações estudadas apresentam mais do que mil horas fora da zona de conforto. Por isso, segundo este critério, todas as habitações estudadas seriam classificadas como desconfortáveis.

5 - CONCLUSÕES

5.1 Conclusões da pesquisa

Realizados os estudos e pesquisas propostos, obtiveram-se resultados que mostram as condições de desempenho térmico das habitações de interesse social construídas em Passo Fundo, nos últimos quatro anos. Estas informações obtidas possibilitam outros estudos, visando à melhoria do conforto térmico em futuros programas habitacionais, além de outros trabalhos científicos nesta área.

Foi possível identificar as práticas construtivas e tipologias de habitações sociais construídas no período, em Passo Fundo, as quais se caracterizam, em sua grande maioria, por habitações com piso acimentado, cobertura de telha fibrocimento 5mm, paredes de alvenaria de tijolos seis furos, assentados de cutelo, rebocadas nas duas faces (algumas só externamente) e forro e divisórias de madeira de pinus. As aberturas externas são metálicas, com vidro de 3 mm.

Observou-se nas habitações a baixa qualidade, englobando projeto, materiais e mão-de-obra utilizada. Com relação ao projeto, verificou-se que grande parte das habitações não contempla os espaços mínimos requeridos pelos usuários, pois, na maioria delas, os dormitórios sequer têm espaço para circulação, já que praticamente todo o piso é ocupado por camas, por exemplo. Também foi utilizado o mesmo projeto para a maioria dos núcleos habitacionais construídos sem, ao menos, se fazer as adequações necessárias de acordo com as condições topográficas e geográficas de cada local.

Verificou-se a utilização de materiais de baixa qualidade, principalmente nas aberturas, tanto internas como externas, e nas madeiras utilizadas para o forro e divisórias. Da mesma forma, a não qualificação da mão-de-obra utilizada na construção das edificações pode ser verificada pelo exame da habitação, onde se observa a não utilização de tecnologias adequadas, resultando em maus acabamentos, falta de nivelamentos e mau uso de materiais.

Os resultados da pesquisa permitem concluir que a maioria dos parâmetros das habitações estudadas está dentro daqueles estabelecidos pela norma 15220 da ABNT. Verificando-se, entretanto, que o valor da transmitância da cobertura, no inverno, não atende a estes parâmetros, bem como o atraso térmico das paredes rebocadas nas duas faces

(habitacões 3, 4 e 5), que é superior ao fixado pela norma. Também, as áreas de aberturas estão bem abaixo do recomendado pela norma.

Com referência ao que estabelece a PNBR 02:136.01 da ABNT, igualmente, grande parte dos parâmetros das habitacões estudadas estão dentro dos valores recomendados. No entanto, verifica-se que a transmitância da cobertura, no inverno, não atende a estes parâmetros. Do mesmo modo, a capacidade térmica da cobertura é muito inferior ao valor estabelecido. Com relação às aberturas de ventilação, ainda se verifica que alguns ambientes não atendem ao mínimo fixado pelo PNBR. Da mesma forma, faltam sombreamentos das janelas, pois apenas as dos dormitórios possuem venezianas. Com relação às condições de conforto, verifica-se que no verão há atendimento ao que é fixado, enquanto que no inverno não.

Os resultados das inter-relações entre as características construtivas das unidades habitacionais, os parâmetros climáticos do município e a temperatura no interior dos ambientes demonstram que atendem, em parte, às exigências das normas estudadas quanto ao desempenho térmico, mas que alguns parâmetros estão aquém do estabelecido, exigindo melhoria em termos de tipologia, orientação solar, tecnologias construtivas e materiais das habitacões de interesse social.

Verificou-se que o período de desconforto térmico é muito maior devido ao frio (baixas temperaturas) do que devido ao calor (altas temperaturas). Assim, as medidas que visem à melhoria das condições de conforto térmico devem considerar este fator. Dessa forma, é indicado um melhor aproveitamento do calor de radiação solar, com o aumento da inércia térmica da edificação, combinada com uma orientação solar adequada. Isso pode melhorar bastante o conforto dentro destas residências no inverno, mas antes se recomenda que sejam realizados outros estudos mais específicos sobre o assunto.

Esta situação já foi encontrada por outros pesquisadores em estudos de avaliação do desempenho térmico em cidades da região sul do Brasil, como o realizado por Dunke (2002) em Curitiba, cujo desempenho no inverno é bem inferior ao do verão. Destacando, assim, a recomendação de utilização de elementos construtivos mais pesados, que ofereceriam uma maior inércia térmica, desejável para o clima frio da região sul.

Analisando-se a situação, verifica-se que a principal causa do desconforto no inverno está relacionada à cobertura leve, encontrada nas habitacões estudadas, que, no caso, apresentam telha de fibrocimento, camada de ar e forro de lambri de madeira leve.

O que leva a concluir que nessa região, onde há inverno rigoroso, não é adequada a utilização de elementos construtivos leves, em especial na cobertura. Desta forma equivocase

a Norma NBR 15220 ao indicar coberturas leves para uma região de climas frios e com uma grande variação diária da temperatura, como é o caso de Passo Fundo.

Na verdade há uma incompatibilidade entre a NBR 15220 e PNBR 02:136.01, já que a segunda recomenda para coberturas uma capacidade térmica mínima de 150 kJ/(m.K), que só pode ser obtida com uma cobertura pesada, como uma laje por exemplo.

Diante disto, visando melhorar o desempenho das habitações estudadas e sua habitabilidade, recomenda-se que sejam utilizados forros de concreto, que é mais pesado, aumentando a capacidade térmica e melhorando o conforto térmico, sobretudo no inverno.

Com relação às aberturas, recomenda-se que as janelas possuam uma área maior, atendendo o que estabelece a NBR 15220, melhorando a ventilação. Também todas elas devem ser dotadas de veneziana para sombreamento, garantindo o controle da entrada de luz pelos usuários.

Igualmente, recomenda-se que sejam utilizados elementos externos de sombreamento, tais como vegetações, que também auxiliam para melhorar os loteamentos, que parecem inóspitos e sem vida.

A sistemática e os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa mostraram-se plenamente viáveis para se especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, podendo ser recomendada a sua utilização por outros pesquisadores.

A aplicação do software EnergyPlus para a avaliação do desempenho térmico de edificações apresenta resultados bastante próximos da realidade, sem que se tenham as limitações existentes nos dados medidos. A medição in loco apresenta um custo superior e disponibilidade de pessoal e necessidade de equipamentos e acessórios. Outrossim, normalmente, é inviável se obter dados de longos períodos e que sejam estatisticamente confiáveis. Ainda em habitações já ocupadas, pode se ter a interferência dos moradores e os dados coletados podem não retratar a normalidade. Dessa forma, a simulação pode ser utilizada com grandes vantagens.

A sociedade está em processo evolutivo permanente e isso é possível devido às pesquisas, descobertas e informações que permitem intervir, visando avançar diante da realidade existente. Por isso, este trabalho traz informações importantes para que se possa avançar com relação à melhoria de qualidade de vida nas habitações de interesse social de Passo Fundo e de outras regiões do país.

Para que haja esse avanço, torna-se necessário que os resultados de estudos como este cheguem até o poder público e aos profissionais que projetam as habitações de interesse

social, para que, assim, tenham conhecimento das condições de conforto térmico encontradas dentro destas moradias e do tipo de estratégias que podem ser tomadas para se garantir efetivas melhorias.

Com isso, considera-se alcançado o objetivo de deixar uma contribuição efetiva para que se possam melhorar, cada vez mais, as condições de conforto térmico nas habitações de interesse social, permitindo outras iniciativas nesse sentido.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

Espera-se que este seja o primeiro de muitos trabalhos que venham trazer informações técnicas com relação à real situação das condições de conforto térmico apresentadas nas habitações de interesse social construídas em Passo Fundo. Assim, sugere-se que se desenvolvam os seguintes trabalhos:

- Executar o processamento de um arquivo climático do ano completo para o clima de Passo Fundo, para que se tenha, em trabalhos futuros, dados mais confiáveis.
- Realizar simulações, utilizando outros conceitos e tecnologias de eficiência energética, passivas (cortinas, brises, vegetação), com o objetivo de se propor medidas que visem melhorar o desempenho térmico de habitações.
- Aplicar a metodologia utilizada para análise de outras tipologias construtivas existentes ou que possam vir a ser construídas.
- Avaliar, para o clima de Passo Fundo, se a fixação de limite máximo para o atraso térmico, conforme estabelece a NBR 15220, é efetivamente vantajosa ou não, já que resulta numa baixa inércia térmica.
- Desenvolver outros estudos relativos ao uso de coberturas pesadas, tipo laje, com maior inércia térmica e melhor aproveitamento da radiação solar.
- Estudar as tipologias construtivas e as características de habitabilidade a fim de se determinar se as construções tipo geminadas são as mais indicadas para a utilização em habitações de interesse social.

REFERÊNCIAS

ABIKO, A. K.; ORNSTEIN, S. W. **Inserção urbana e avaliação pós-ocupação (APO) da habitação de interesse social**. Rio de Janeiro: Habitare, 2002. (Coletânea Habitare ; v.1).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6401: instalações centrais de ar condicionado para conforto - parâmetros básicos de projeto**. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 15220: desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **PNBR 02:136.01: desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos**. Rio de Janeiro, 2004.

AKUTSU, M. **Avaliação de desempenho térmico de edificações: a necessidade de uma revisão normativa**. São Paulo: IPT, 1991.

AKUTSU, M.; SATO, N. M. N.; PEDROSO, N.G. **Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares: manual de procedimentos para avaliação**. São Paulo: IPT, 1987.

AKUTSU, M.; VITTORINO, F. Proposta de procedimento para avaliação do desempenho térmico de edificações condicionadas e não condicionadas. In: ENCONTRO NACIONAL DE NORMALIZAÇÃO LIGADA AO USO RACIONAL DE ENERGIA E AO CONFORTO AMBIENTAL EM EDIFICAÇÕES, 1991. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1991. p. 157-171.

ALMEIDA, M. M. **Da experiência ambiental ao projeto arquitetônico: um estudo sobre o caminho do conhecimento na arquitetura**, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55/1998: thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta, 1998.

_____. **ASHRAE 55/2004: thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta, 2004.

_____. **ASHRAE handbook, 2001: fundamentals**. Atlanta: Ashrae, 2001. [550] p.

AMORIM, C. N. D. **Desempenho térmico de edificações e simulação computacional no contexto da arquitetura bioclimática: estudo de casos na região de Brasília**, 1998. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

ASSIS, E. S.; PINTO, J. A. R. Análise de desempenho térmico de habitação popular padrão COHAB em Bonfinópolis (MG): comparação entre dois modelos computacionais. In: SEMINÁRIO MODELOS DE SIMULAÇÃO DE AMBIENTES, 1995. São Paulo. **Anais ...** São Paulo: FAU/USP, 1995. v.1, p.123-136.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

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

_____. Aperfeiçoamento e desenvolvimento de novos métodos de avaliação de desempenho para subsidiar a elaboração e revisão de normas técnicas. In: ROMAN, H.; BONIN, L. C. **Normalização e Certificação na Construção Habitacional**. Porto Alegre: ANTAC, 2003.

BASSO, A. **Simulação computacional como ferramenta de apoio ao estudo da adequação térmica de unidades habitacionais**. São Paulo: NUTAU, 1995.

BECKER, M. F. M. **Análise de desempenho térmico de uma habitação unifamiliar térrea**, 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

BONILLA, José A. **Fundamentos da agricultura ecológica: sobrevivência e qualidade de vida**. São Paulo: Nobel, 1992.

BRASIL. **Código do consumidor**. Lei nº 8078, de 11 de setembro de 1990. Brasília, DF, 1990.

_____. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 1988.

_____. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Casa Civil de Presidência da República, 2005. Disponível em: <http://www.presidencia.gov.br/ccivil_03/_Ato20042006/2005/Lei/L11124.htm>. Acesso em: 11 jan. 2006.

_____. **Lei nº 11.124, de 16 de junho de 2005**. Casa Civil de Presidência da República, 2005. Disponível em: <http://www.presidencia.gov.br/ccivil_03/_Ato20042006/2005/Lei/L11124.htm>. Acesso em: 23 dez. 2005.

BUTERA, F. M. **Architettura e ambiente: manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici**. Milano: Etaslibri, 1995.

CACHIONE, J. **Climatologia e meteorologia: que relação é esta?** Londrina: UEL, 2005. Disponível em: <http://geocities.yahoo.com.br/uel_climatologia/textobasico.htm>. Acesso em: 10 dez. 2005.

CARDOSO, A. L.; RIBEIRO, L. C. Q. Os municípios e as políticas habitacionais. In.: ABIKO, A. K.; ORNSTEIN, S. W. **Inserção Urbana e Avaliação Pós-Ocupação (APO) da Habitação de Interesse Social**. Rio de Janeiro: Habitare, 2002. (Coletânea Habitare ; v.1).

CIPRIANO, C. J. **Simulação termo energética de um sistema de ar condicionado para comparação dos resultados medidos e simulados**. 2003. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

COSTA, E. C. **Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural**. São Paulo: Blücher, 1982.

_____. **Física aplicada à construção: conforto térmico**. São Paulo: Blücher, 1974.

CRAWLEY, D. B. et al. EnergyPlus: energy simulation program. **ASHRAE Journal**. Atlanta, v.42, p. 49-56, 2000.

CSTB. **La conception thermique des bâtiment à la reunion: soleil et vent**. [s.l.]: Loft Impressions, 1984. p. 52.

CUNHA, E. G. et al. **Elementos de arquitetura de climatização natural**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2004.

DANTAS, E. H. M. Ar condicionado vilão ou aliado? uma revisão crítica. **Revista Brasindoor**. São Paulo, v.2, n.9, p.04-14, abr/jun.98.

DEGELMAN, L. **Arquivo climático de Passo Fundo (TMY2)**. Florianópolis: UFSC, 2005.

DILKIN, P.; Schneider, P. S. Avaliação térmica das propostas de norma brasileiras para edificações de interesse social. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS TÉRMICAS. Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre, 2000.s28 p05.

DOE2.COM. **Building energy use and cost analysis tool. DOE-2**. Disponível em: <<http://doe2.com/DOE2/index.html>>. Acesso em: 26 maio 2005.

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**. Curitiba: CEFET-PR, 2002.

EMBRAPA Trigo. **Informações meteorológicas**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoVarzeaTropical/glossario.htm>>. Acesso em: 17 jan. 2006.

_____. **Glossário**. Disponíveis em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/index.htm>>. Acesso em: 30 out. 2005.

ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. **EnergyPlus**. Disponível em: <www.eere.energy.gov/buildings/energyplus>. Acesso em: 26 maio 2005.

ENERGYPLUS manual, version 1.2.3.: the board of trustees of the University of Illinois and the regent of the University of California. [s.l.: s.n.], 2005.

EVANS, M.; SCHILLER, S. **Diseño bioambiental y arquitectura solar**. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 1994.

FANGER, P. **Thermal comfort: analysis in environmental engineering**. Kingsport: McGraw-Hill, 1970.

FERREIRA, J. L. **Simulação do comportamento térmico de estufas agrícolas com cobertura plástica**, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GIVONI, B. **Comfort, climate analysis and building design guidelines: energy and Buildings**. Lausanne: [s.n.], 1992. v.18

GOULART, S. V. G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

GOULART, S.; LAMBERTS, R. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: UFSC, 1993.

GRIGOLETTI, G. C.; SATTler, M. A. Estudo comparativo de temperaturas internas obtidas com simulações e medições in loco para um protótipo habitacional de interesse social. In: CONFORT E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ARQUITETURA LATINO-AMERICANA, 2003. Curitiba. **Anais ...** Curitiba, 2003.

GRINGS, E. T. O. **Comparação entre resultados computacionais e experimentais do comportamento térmico de um ambiente**, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – UFRGS, Porto Alegre, 2003.

GRINGS, E. T. O.; BEYER, P. O. Comparação entre resultados computacionais e experimentais do comportamento térmico de um ambiente. In: VII ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7, 2003. Curitiba. **Anais eletrônicos ...** Curitiba, 2003. Disponível em: <<http://150.162.76.35/encac-cotedi/>>. Acessado em: 12 dez. 2005.

HAGEL, Arone P. L. A. **Análise computacional da demanda energética de climatização de edifício**. Brasília: UNB, 2005.

IBGE. **Censo demográfico 2000**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25 maio 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7243: hot environments-estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT- index (wet bulb globe temperature)**. Switzerland, 1989.

_____. **ISO 7726: thermal environments-instruments and methods for measuring physical quantities**. Switzerland, 1998.

_____. **ISO 7730: moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort**. Geneva, 1994.

_____. **ISO 8996: ergonomics-determination of metabolic heat production**. Geneva, 1990.

_____. **ISO 9920: ergonomics-estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble**. Geneva, 1995.

_____. **ISO 10551: assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales**. Geneva, 1995.

KALIL, R. M. L. **Participação e satisfação do usuário:** alternativas de gestão de habitações sociais em Passo Fundo, RS, 2001. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

_____. **Avaliação pós-ocupação e eficácia social:** estudo de caso comparativo de habitações de interesse social autoconstruídas na modalidade cooperativa autogestionária e na modalidade promoção pública municipal. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** São Paulo: AU editores, 1997.

LAMBERTS, R.; LOMARDO, L.; AGUIAR, J. C.; THOMÉ, M. **Eficiência energética em edificações: estado da arte.** Rio de Janeiro: PROCEL, 1996.

LEMOS, P. N.; BARBOSA, M. J. Avaliação comparativa de desempenho térmico entre cinco sistemas construtivos de habitação popular. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5, 1999. Fortaleza. **Anais ...** Fortaleza, 1999.

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

MACIEL, A. A.; LAMBERTS, R. Edifício de Escritórios em Brasília, uma análise bioclimática. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, 2002. Foz do Iguaçu. **Anais ...** Foz do Iguaçu, 2002.

MASCARÓ, J. J. M. **Habitação popular para o planalto do Rio Grande do Sul.** Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 1999.

MENDES, N.; OLIVEIRA, G. H. C.; ARAÚJO, H. X. O uso do MATLAB/SIMULINK para avaliação do comportamento térmico de ambientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS TÉRMICAS. Porto Alegre, 2000. **Anais ...** Porto Alegre, 2000. s28 p10.

MENEZES, M. S. **A qualidade do ar interior,** 1999. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho). Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 1999.

MICHALOSKI, A. O. **Avaliação do desempenho térmico por meio de simulação computacional de habitações populares implantadas na Vila Tecnológica de Curitiba,** 2002. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – CEFET-PR, Curitiba, 2002.

NEUMANN, V.; SCHNEIDER, P. S. Metodologias simplificadas de avaliação do desempenho energético de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5, 1999. Fortaleza. **Anais ...** Fortaleza, 1999.

PEDRINI, A. **Desenvolvimento de metodologia de calibração de modelos para simulações térmica e energética de edificações,** 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

PEREIRA, F. L. **Determinação computacional da influência de parâmetros físicos no comportamento termo-energético de uma edificação.** Porto Alegre: UFRGS, 2005.

PIETROBON, C. et al. **A simulação computacional do desempenho no contexto da arquitetura bioclimática**. São Paulo: NUTAU, 1996.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PASSO FUNDO (RS). **Cidade virtual**: dados gerais. Disponível em: <<http://www.pmpf.rs.gov.br>>. Acesso em: 03 jan. 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE (RS). **Plano diretor de desenvolvimento urbano ambiental de Porto Alegre (PDDUA) - 1999**. Disponível em: <<http://www.portoalegre.rs.gov.br/planeja/spm/default.htm>>. Acesso em: 11 nov. 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RECIFE (PE). **Plano diretor do Recife - 2004**. Disponível em: <<http://www.recife.pe.gov.br/pr/secplanejamento/planodiretor>>. Acesso em: 18 fev. 2006.

RIVIERO, R. **Arquitetura e clima**: condicionamento térmico natural. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: D.C. Luzzatto, 1986.

ROMERO, M. A. B. **Encontro nacional de modelos de simulação de ambientes**. São Paulo: NUTAU, 1995.

RORIZ, M.; Basso, A. **ARQUITROP versão 3.0**. São Carlos: [s. n.], 1990.

RUAS, Á. C. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software**, 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), 2002.

SANTOS, R. F. **A arquitetura e a eficiência nos usos finais da energia para o conforto ambiental**, 2002. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SANTOS, L. D.; MARTINS, I. **A Qualidade de vida urbana**: o caso da cidade do Porto. Porto: Universidade do Porto, 2002. Disponível em: <<http://sigarra.up.pt/fep>> Acesso em: 08 set. 2005.

SATTLER, M. A. THEDES: um programa de computador para simulação de desempenho térmico de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE NORMALIZAÇÃO LIGADA AO USO RACIONAL DE ENERGIA E AO CONFORTO AMBIENTAL EM EDIFICAÇÕES, 1, 1991, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1991.

SATTLER, M. A. **Dias climáticos típicos para o projeto térmico de edificações em Porto Alegre**. Porto Alegre: CIENTEC, 1989.

SCHUCH, L. M. S.; LAMBERTS, R.; DUTRA, M. **Analysis 1.5**. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2005.

SELLERS, W. D. **Physical climatology**. Chicago: The University of Chicago, 1965.

SHALDERS NETO, A. **Regulamentação de desempenho térmico e energético de edificações**, 2003. (Dissertação de Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA, R. D. **Análise de sistemas construtivos de madeira na região de Londrina:** aplicação de requisitos de habitabilidade e de projeto, 2000. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

STOECKER, W. F.; JONES, J. W. **Refrigeração e ar condicionado.** São Paulo: McGraw-Hill, 1985.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. **Conforto térmico.** São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.master.iag.usp.br/conforto/index.html>>. Acessado em: 21 jan. 2006.

WALLAUER, M. D.; Beyer, P. O. Estudo do conforto térmico em edificações populares através da utilização do programa de simulação EnergyPlus. In: CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO DO MERCOSUL, 2002. Florianópolis. **Anais ...** Florianópolis, 2002.

WERNA, E. et al. **Pluralismo na habitação.** São Paulo: Annablume, 2001.

WERNA, E.; ABIKO, A. K.; COELHO, L. O novo papel do Estado na oferta de habitação e parcerias de agentes públicos e privados. In.: ABIKO, A. K.; ORNSTEIN, S. W. **Inserção Urbana e Avaliação Pós-Ocupação (APO) da Habitação de Interesse Social.** Rio de Janeiro: Habitare, 2002. (Coletânea Habitare ; v.1).

WESTPHAL, M. F. **O movimento cidades/ municípios saudáveis:** um compromisso com a qualidade de vida. **Ciência Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 39-52, 2000.

ANEXOS

ANEXO A - Tabelas da NBR 15220 da ABNT:

Tabela 1 - Densidade (ρ), condutividade (λ) e calor específico (c) de materiais

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))	
Argamassas				
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00	
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84	
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00	
Cerâmica				
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92	
	1300-1600	0,90	0,92	
	1600-1800	1,00	0,92	
	1800-2000	1,05	0,92	
Fibrocimento				
placas de fibrocimento	1800-2200	0,95	0,84	
	1400-1800	0,65	0,84	
Concreto (com agregados de pedra)				
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00	
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00	
Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (p dos inertes ~ 750 kg/m ³)				
com finos	1400-1600	0,52	1,00	
	1200-1400	0,44	1,00	
sem finos	1000-1200	0,35	1,00	
Concreto com argila expandida				
dosagem de cimento > 300 kg/m ³ , p dos inertes > 350 kg/m ³	1600-1800	1,05	1,00	
	1400-1600	0,85	1,00	
	1200-1400	0,70	1,00	
	1000-1200	0,46	1,00	
dosagem de cimento < 250 kg/m ³ , p dos inertes < 350 kg/m ³	800-1000	0,33	1,00	
	600-800	0,25	1,00	
	< 600	0,20	1,00	
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite expandida	600-800	0,31	1,00	
	400-600	0,24	1,00	
dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1,00	
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24	1,00	
	500-600	0,20	1,00	
concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1,00	
Gesso				
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84	
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84	
				com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida)
				dosagem gesso: agregado = 1:1
dosagem gesso: agregado = 1:2	500-700	0,25	0,84	
Granulados				

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80
argila expandida	< 400	0,16	
areia seca	1500	0,30	2,09
areia (10% de umidade)	1500	0,93	
areia (20% de umidade)	1500	1,33	
areia saturada	2500	1,88	
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84
Impermeabilizantes			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46
Isolantes térmicos			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno extrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida poliuretano	30-40	0,030	1,67
Madeiras e derivados			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
palha (capim santa fé)	200	0,12	
Metais			
aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38
Pedras (incluindo junta de assentamento)			
granito, gneisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-300	1,60	0,84
calcários/mámore	> 2600	2,90	0,84
outras	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	< 1500	0,85	0,84
Plásticos			
borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos	900-1700	0,40	
polimetacrílicos de metila (acrílicos) policloreto de vinila (PVC)	1200-1400	0,20	
Vidro			
vidro comum	2500	1,00	0,84

Fonte: ABNT, 2004, Parte 2, p. 9

Tabela 2 – Resistência de câmaras de ar não ventilada

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

Notas:

1 s é a emissividade hemisférica total.

2 Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.

3 Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas, desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies – a inferior – continuará limpa, sem poeira.

4 Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.

Fonte: ABNT, 2004, Parte 2, p. 8

Tabela 3 – Absortância (α) para radiação solar e emissividade (ε) para radiação a temperaturas comuns

Tipo de superfície	α	ε	
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05	
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12	
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25	0,25	
Caiação nova	0,12 / 0,15	0,90	
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95	
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95	
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95	
Reboco claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95	
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98	0,90 / 0,98	
Vidro incolor	0,06 / 0,25	0,84	
Vidro colorido	0,40 / 0,80	0,84	
Vidro metalizado	0,35 / 0,80	0,15 / 0,84	
Pintura:	Branca	0,20	0,90
	Amarela	0,30	0,90
	Verde clara	0,40	0,90
	“Alumínio”	0,40	0,90
	Verde escura	0,70	0,90
	Vermelha	0,74	0,90
	Preta	0,97	0,90

Fonte: ABNT, 2004, Parte 2, p. 8

Tabela 4 – Resistência térmica superficial interna e externa

R_{si} ($m^2 \cdot K$)/W			R_{se} ($m^2 \cdot K$)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: ABNT, 2004, Parte 2, p. 7

Tabela 5 – Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor admissíveis

Vedações externas		Transmitância térmica – U W/m ² .K	Atraso térmico – φ Horas	Fator solar – FS _o %
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$\varphi \leq 4,3$	$FS_o \leq 5,0$
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\varphi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$\Phi \geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Coberturas	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\varphi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Leve refletora	$U \leq 2,30$	$\varphi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\varphi \leq 6,5$	$FS_o \leq 6,5$

NOTAS

1 Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar

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

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

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

Fonte: ABNT, 2004, Parte 3, p. 17