

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS  
LINHA DE PESQUISA: CLIMATOLOGIA URBANA

**DESEMPENHO TÉRMICO EM HABITAÇÕES  
POPULARES PARA REGIÕES DE CLIMA TROPICAL:  
ESTUDO DE CASO EM CUIABÁ-MT**

**MARLON LEÃO**

**Profa. Dra. MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA**  
**Orientadora**

Cuiabá - MT  
Maio/2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS  
LINHA DE PESQUISA: CLIMATOLOGIA URBANA

**DESEMPENHO TÉRMICO EM HABITAÇÕES  
POPULARES PARA REGIÕES DE CLIMA TROPICAL:  
ESTUDO DE CASO EM CUIABÁ-MT**

**MARLON LEÃO**

*Dissertação apresentada ao programa  
de pós-graduação em Física e Meio  
Ambiente da Universidade Federal de  
Mato Grosso, como parte dos requisitos  
para obtenção do título de Mestre em  
Física e Meio Ambiente.*

**Profa. Dra. MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA  
Orientadora**

Cuiabá - MT  
Maio/2006

## FICHA CATALOGRÁFICA

L437d Leão, Marlon

Desempenho térmico em habitações populares para regiões de clima tropical: estudo de caso em Cuiabá-MT / Marlon Leão. – 2006.

vii, 102p. : il. ; color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, 2006.

“Orientação: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira”.

CDU – 699.866(817.2)

### Índice para Catálogo Sistemático

1. Habitação popular – Desempenho térmico – Cuiabá (MT)
2. Edificações – Desempenho térmico – Avaliação
3. Residências unifamiliares – Conforto térmico
4. Habitação popular – Alvenaria tradicional – Conforto ambiental
5. Habitação popular – Concreto pré-moldado – Conforto ambiental
6. Conforto ambiental
7. Climatologia urbana
8. Habitações populares – Regiões de clima tropical

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à Deus pela sabedoria e saúde a mim permitida durante a realização deste trabalho, à minha esposa Érika, pelo amor e companheirismo, aos meus pais Paulo César e Dilmar, e aos meus irmãos, Francielle e Marcel pelo amor, apoio e sacrifícios antes e durante a realização deste trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Para as pessoas e instituições que foram fundamentais para realização deste trabalho:

- A Profa. Dra. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira por sua presença constante, coordenando, orientando e corrigindo todas as etapas deste trabalho, pelo fornecimento dos equipamentos de medição, pela presença marcante desde o levantamento exaustivo dos dados até a conclusão final, e principalmente por acreditar em mim e neste projeto.
- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira pelo apoio pessoal participando das discussões e técnico fornecendo os demais equipamentos para medição.
- A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente da Universidade Federal de Mato Grosso.
- A minha esposa, Érika Fernanda Toledo Borges Leão pela participação exaustiva na coleta de dados realizados *in loco* nas residências e no desenvolvimento da dissertação.
- A minha irmã Francielle Leão e o Sr. Luiz Antônio Pagot secretário de Infra-Estrutura do Estado de Mato Grosso (SINFRA), que permitiu este estudo nas residências populares construídas pelo Governo do Estado.
- Ao meu irmão de coração Edmilson Eid e a equipe do escritório de arquitetura pela compreensão e apoio.
- A amiga Mariza Mello de Arruda Sampaio pelo apoio despendido durante todas as etapas dos trabalhos.
- As colegas Maria Emília, Karyna de Andrade Carvalho Rosseti, Fernanda Miguel Franco e José Erivam Júnior bolsistas do PIBIC, pela colaboração exaustiva durante as coleta de dados realizados *in loco* nas residências no decorrer do ano.
- A Sra. Soilse pelos auxílios técnicos na secretaria da Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente.
- A CAPES, pela bolsa de estudos 2005/2006.

- A FAPEMAT – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso pelos recursos disponibilizados para compra dos instrumentos utilizados nas medições de campo desta pesquisa.
- A ACRIMAT- Associação dos Criadores do Estado de Mato Grosso por ter permitido o acesso às residências.
- Ao Sr. Ednilto Rangel por colaborar na troca da pintura das residências para medição.
- Ao mestre de obra Donizete Santos Silva pelo corte de parte das paredes para que fosse possível o cálculo real de transmitância.
- Aos colegas do curso que colaboraram na troca de informações, nos softwares estatísticos e nas simulações.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	i
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	iv
<b>LISTA DE TABELA</b> .....	v
<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. PROBLEMÁTICA .....	1
1.2. JUSTIFICATIVA .....	2
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	3
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	5
2.1. INTRODUÇÃO .....	5
2.2. CLIMA .....	6
2.2.1. Classificação do Clima .....	8
2.3. CLIMA URBANO .....	10
2.4. PESQUISAS NO USO DE METODOLOGIAS PARA AVALIAR O DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES .....	13
2.4.1. São Paulo .....	13
2.4.2. Rio Grande do Sul .....	14
2.4.3. Florianópolis .....	15
2.4.4. Norma Brasileira de Avaliação do Desempenho Térmico .....	18
2.5. ESCALAS E ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO .....	19
2.5.1. Zonas de Conforto Térmico .....	19
2.5.1.1. <i>Carta Bioclimática de Olgyay</i> .....	20
2.5.1.2. <i>Carta Bioclimática de Givoni (atualizada em 1992)</i> .....	21
2.5.1.3. <i>Zona de Conforto da ASHRAE</i> .....	23
2.5.1.4. <i>Zona de Conforto de Szokolay</i> .....	24
2.6. DADOS CLIMÁTICOS .....	25
<b>3. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	31
3.1. A CIDADE DE CUIABÁ .....	31
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	36
4.1. INTRODUÇÃO .....	36
4.2. ESCOLHA DO MÉTODO PARA AVALIAÇÃO .....	37
4.3. ZONA DE CONFORTO CONSIDERADA .....	39
4.4. LEVANTAMENTO DE DADOS PARA ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO ATRAVÉS DE MEDIÇÕES NO LOCAL .....	40

4.4.1.	Levantamento de Dados Climáticos Externos .....	40
4.4.2.	Levantamento de Dados Climáticos Internos .....	41
4.4.3.	Identificação de Características das Tipologias Construtivas Selecionadas.....	42
4.4.3.1.	<i>Seleção das Unidades Habitacionais para Estudo</i> .....	42
4.4.3.2.	<i>Descrição das Unidades Selecionadas para Estudo</i> .....	42
4.5.	COLETA DE DADOS.....	46
4.5.1.	Período de Coleta de Dados .....	47
4.5.2.	Quantidade de Dados Coletados .....	48
4.5.3.	Tipos de Dados Coletados.....	48
4.5.4.	Equipamentos Utilizados na Coleta de Dados .....	49
<b>5.</b>	<b>APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>53</b>
5.1.	DADOS PARA ANÁLISE POR PRESCRIÇÃO.....	53
5.2.	DADOS PARA ANÁLISE POR DESEMPENHO .....	61
5.2.1.	Dados de Temperatura e Umidade Relativa.....	61
5.2.2.	Dados de Velocidade do Vento.....	71
5.3.	DADOS PARA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA .....	75
<b>6.</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>78</b>
6.1.	AVALIAÇÃO POR PRESCRIÇÃO .....	78
6.1.1.	Zona Bioclimática Definida .....	78
6.2.	AVALIAÇÃO POR DESEMPENHO .....	80
6.3.	AVALIAÇÃO POR FREQUÊNCIA.....	84
6.4.	ESTRATÉGIAS DE CONFORTO TÉRMICO PARA CUIABÁ.....	86
<b>7.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>88</b>
7.1.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	89
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFIAS</b> .....	<b>90</b>
8.1.	BIBLIOGRAFIAS CITADAS.....	90
8.2.	BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS.....	94
<b>9.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>95</b>
9.1.	ANEXO 1.....	95
<b>GLOSSÁRIO</b>		

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Variação de temperatura e precipitação de Cuiabá-MT observados no período entre as décadas de 70 e 90.....	34
FIGURA 2 – Localização das habitações populares avaliadas na cidade de Cuiabá-MT (ACRIMAT - Parque de Exposições da Associação dos Criadores do Estado de Mato Grosso).....	35
FIGURA 3 – Média anual das temperaturas do período medido.....	41
FIGURA 4 – Fachada da Residência A. ....	43
FIGURA 5 – Planta baixa da Residência A. ....	44
FIGURA 6 – Fachada da Residência B.....	45
FIGURA 7 – Planta baixa da Residência B. ....	46
FIGURA 8 – Termômetro digital de globo.....	49
FIGURA 9 – Termômetro infravermelho digital.....	51
FIGURA 10 – Anemômetro de fio quente.....	52
FIGURA 11 – Média horária anual das temperaturas nas faces internas das paredes da Residência A. ....	54
FIGURA 12 – Média horária anual das temperaturas nas faces externas das paredes da Residência A. ....	55
FIGURA 13 – Média anual das temperaturas nas faces externas e internas das paredes da Residência A. ....	56
FIGURA 14 – Média horária anual das temperaturas nas faces internas das paredes da Residência B.....	57
FIGURA 15 – Média horária anual das temperaturas nas faces externas das paredes da Residência B.....	58
FIGURA 16 – Média anual das temperaturas nas faces externas das paredes da Residência B.....	59
FIGURA 17 – Média anual das temperaturas de piso e forro nas Residências A e B. ....	60
FIGURA 18 – Média horária das temperaturas e umidade relativa na Residência A, durante a primavera, período de 03/10/2005 a 22/10/2005.....	61

FIGURA 19 – Média horária das temperaturas e umidade relativa na Residência A, durante o verão, período de 01/12/2004 a 21/12/2004.....	62
FIGURA 20 – Média horária das temperaturas e umidade relativa na Residência A, durante o outono, período de 02/05/2005 a 21/05/2005. ....	63
FIGURA 21 – Média horária das temperaturas e umidade relativa na Residência A, durante o inverno, período de 20/07/2005 a 08/08/2005. ....	64
FIGURA 22 – Média horária anual das temperaturas e umidade relativa na Residência A. ....	65
FIGURA 23 – Média horária das temperaturas e umidade relativa na Residência B, durante a primavera, período de 03/10/2005 a 22/10/2005.....	66
FIGURA 24 – Média horária das temperaturas e umidade relativa na Residência B, durante o verão, período de 01/12/2004 a 21/12/2004.....	67
FIGURA 25 – Média horária das temperaturas e umidade relativa na Residência B, durante o outono, período de 02/05/2005 a 21/05/2005. ....	68
FIGURA 26 – Média horária das temperaturas e umidade relativa na Residência B, durante o inverno, período de 20/07/2005 a 08/08/2005. ....	69
FIGURA 27 – Média horária anual das temperaturas e umidade relativa na Residência B.....	70
FIGURA 28 – Média horária aAnual das TBS e TR nas Residências A e B. ....	71
FIGURA 29 – Média horária de velocidade do vento interna e externamente da Residência A. ....	72
FIGURA 30 – Média horária de velocidade do vento interna e externamente da Residência B.....	73
FIGURA 31 – Média horária anual de velocidade do vento interna e externamente das Residências A e B. ....	74
FIGURA 32 – Freqüência anual das temperaturas internas TBS diurnas da Residência A. ....	75
FIGURA 33 – Freqüência anual das temperaturas internas TBS diurnas da Residência B.....	76
FIGURA 34 – Freqüência das temperaturas externas, TBS diurnas de Cuiabá (8h às 18h), durante o período anual medido. ....	77
FIGURA 35 – Freqüência anual das temperaturas, TBS dentro da zona de conforto. ....	85

FIGURA 36 – Localização das células com dados medidos. ....	97
FIGURA 37 – Zoneamento do território brasileiro.....	98
FIGURA 38 – Zona bioclimática 7.....	99
FIGURA 39 – Carta bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Picos, PI.....	100

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Aberturas para ventilação. ....	79
QUADRO 2 – Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa. ....	79
QUADRO 3 – Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona bioclimática 7. ....	100
QUADRO 4 – Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 7. ....	100
QUADRO 5 – Estratégia de condicionamento térmico passivo. ....	101
QUADRO 6 – Estratégia de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 7. ....	102

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Período de coleta dos dados .....	47
TABELA 2 – Características térmicas e taxas de envoltório das residências.....	53
TABELA 3 – Comparação entre os dados medidos e as exigências da NBR 15220-3/2005.....	80
TABELA 4 – Relatório de saída do <i>Analysis Bio</i> , das normais climáticas do período da primavera, nas Residências A, B e Exterior.....	82
TABELA 5 – Relatório de saída do <i>Analysis Bio</i> , das normais climáticas do período de verão, nas Residências A, B e Exterior.....	82
TABELA 6 – Relatório de saída do <i>Analysis Bio</i> , das normais climáticas do período de outono, nas Residências A, B e Exterior.....	83
TABELA 7 – Relatório de saída do <i>Analysis Bio</i> , das normais climáticas do período de inverno, nas Residências A, B e Exterior.....	83
TABELA 8 – Relatório Anual de saída do <i>Analysis Bio</i> , das normais climáticas, nas Residências A, B e Exterior.....	83
TABELA 9 – Horas de conforto para o clima de Cuiabá utilizando as normais climáticas para os 365 dias do ano.....	84
TABELA 10 – Resumo das frequências medidas.....	86

LEÃO, M. - **Desempenho Térmico em Habitações Populares para Regiões de Clima Tropical: Estudo de Caso em Cuiabá-MT**. 2006. Dissertação. (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. 105 f. Cuiabá, MT.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho térmico em duas unidades habitacionais, localizadas em área de clima tropical e são réplicas das tipologias construtivas mais empregadas na construção de residências populares pelo programa de habitação popular do governo do Estado de Mato Grosso (SINFRA/2004). A metodologia utilizada para avaliação do desempenho térmico nas edificações basicamente utilizou três métodos para análise: avaliação por desempenho, avaliação por prescrição e verificação das frequências de temperatura. Foram coletados dados sobre a metodologia construtiva de dois protótipos, um em alvenaria tradicional e outro em concreto pré-moldado, localizados no Parque de Exposições da ACRIMAT - Associação dos Criadores do Estado de Mato Grosso. Na coleta de dados baseadas na ISO-7726 (1998), foram levantadas características físicas e características térmicas dos elementos construtivos utilizados no envoltório e o micro clima interno das residências, medido nos períodos representativos de cada uma das quatro estações do ano. Fez-se então um reconhecimento do desempenho térmico das tipologias construtivas a partir de medições no local. Os dados climáticos horários coletados no CPTEC/INPE, da cidade de Cuiabá, foram processados pelo Programa *Analysis Bio* a partir das normais climáticas, para parametrização do limite das horas de conforto e desconforto quando na comparação das zonas do meio externo e interno. A zona de conforto térmico de GIVONI (1992) para países com clima quente e em desenvolvimento, com índices de temperatura entre 18°C e 29°C, foi escolhida como representativa para pessoas adaptadas aos climas existentes no Brasil. A NBR 15220-3/2005 (Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro), foi utilizada na análise por prescrição dos dados construtivos coletados nas unidades habitacionais. De acordo com a frequência das temperaturas de bulbo seco dentro da zona de conforto adotada, foram verificados os níveis de desempenho térmico das residências e comparadas entre si, para conclusões acerca da tipologia construtiva que melhor se adapta ao clima da região.

**Palavras-Chave:** conforto térmico; avaliação de desempenho térmico de edificações; residências unifamiliares.

LEÃO, M. – **Thermal Performance in Popular Housing for Regions with Tropical Climate: Study Case in Cuiabá – MT**. 2006. Dissertação. (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. 105 f. Cuiabá, MT.

## ABSTRACT

The aim of this project was to specify and to analyze the thermal performance of two dwelling unities, which are replies of the most common building typologies used at popular houses constructed by the popular housing program of the State of Mato Grosso (SINFRA/2004). The methodology used to the description and evaluation of the thermal performance of the buildings employed basically three methods for analysis: evaluation through performance, evaluation through prescription and verification of the temperature frequencies. Data about the building typology were obtained from two prototypes, one of traditional masonry and the other of pre-molded concrete, both built at the ACRIMAT -Producers Association of Mato Grosso State - Exposition Park. The data were obtaining based on ISO-7726 (1998), it was possible to get physical and thermal characterizations of the constructive elements used at the cover and the intern microclimate of the residences was measured at the representative periods of the four seasons of the year. So it was possible to do a recognition of the building typologies thermal performance using the local measurement. Climatic data hourly collected in the CPTEC/INPE from Cuiabá city, were processed by the *Analysis Bio* program according to the climatic normals, to make a parameter to the limit of hours of comfort and uncomfot while compared to the intern and extern environment comfort zones. The thermal comfort zone of GIVONI (1992) for countries with hot climate and for developing countries, with temperature rates among 18°C and 29°C, was chosen as representative of people used to the Brazilian climates. The NBR 15220-3/2005 (Part 3: Brazilian Bioclimatic Zoning) was used at the analysis through prescription of the building data obtained from the dwelling unities. According to the frequency of the dry bulb temperatures inside the comfort zone adopted, the thermal performance levels of the houses were verified and were all compared, aiming conclusions about the most suitable building typology for the local climate.

**Key-words:** thermal comfort; evaluation of the edifications thermal performance; unifamily residences.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. PROBLEMÁTICA

O Brasil é um país de vasta extensão territorial, que possui proporções continentais e variadas zonas climáticas. Estes conjuntos de fatores associados a uma arquitetura de influência européia, afetam diretamente o conforto térmico nas edificações brasileiras.

A concepção arquitetônica européia foi a grande precursora das linhas e traços das principais construções brasileiras do século passado, que apesar de extremamente eficientes termicamente no clima temperado, não são adequadas para os usuários de um clima predominantemente tropical.

Para aumentar o desempenho térmico nas edificações brasileiras, pesquisadores das regiões sul e sudeste vêm desenvolvendo de forma consistente ao longo dos últimos anos, pesquisas que potencializaram o desempenho térmico em habitações de sua região, especificamente para o clima sub-tropical.

Apesar da contribuição para melhorar os índices de conforto no país com tecnologias nacionais de um modo abrangente, estas pesquisas são ainda insuficientes para o clima tropical-úmido no estado de Mato Grosso, especificamente na capital Cuiabá, cidade esta considerada uma das mais quentes do país e carente de edificações termicamente adaptadas.

A crise energética ocorrida no país recentemente demonstra a necessidade do aprofundamento em pesquisas voltadas para o desenvolvimento de edificações energeticamente eficientes que são contempladas nas definições de projeto bioclimático definido pelos irmãos OLGYAY (1973). Por falta de conhecimento, o desenvolvimento de projetos que valorizam o conforto ambiental ainda são vistos

como inviáveis economicamente por grande parte dos empreendedores, resultando em edificações com alto consumo energético ou baixo desempenho térmico.

As habitações populares no Brasil, que são planejadas apenas para cumprir metas sociais e políticas, são as que mais sofrem sob a influência dos diferentes climas existente no país. No estado de Mato Grosso, o baixo padrão construtivo para região em virtude da padronização nacional utilizada em programas de moradia popular, qualifica as unidades habitacionais como de baixo desempenho térmico, tornando-as inapropriadas para uma região de clima tropical, sendo ainda mais rigoroso para com as famílias que habitam na Depressão Cuiabana.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

Em virtude do pequeno número de edificações estudadas e projetadas para a otimização do conforto térmico em Cuiabá-MT, torna-se clara a necessidade do presente projeto de pesquisa para a obtenção de dados consistentes sobre os melhores materiais a serem especificados em projetos arquitetônicos destinados às cidades de clima tropical. As habitações populares devem acompanhar o progresso tecnológico, sem que se perca a preocupação da adaptação à região, clima e principalmente o usuário em todos os seus aspectos.

Avaliar-se-á as condições de conforto térmico de duas residências com metodologias construtivas diferentes (alvenaria tradicional e pré-moldada) do projeto de habitação popular “Meu Lar”, realizado pelo governo estadual de Mato Grosso através da SINFRA (Secretaria de Infra-Estrutura). Após a avaliação será realizado um diagnóstico das condições térmicas encontradas e serão feitas sugestões de estratégias com o intuito de melhorar o desempenho térmico das habitações populares para a cidade de Cuiabá-MT.

O objetivo geral deste trabalho busca analisar o desempenho térmico das metodologias construtivas mais utilizadas para habitações populares no Estado de Mato Grosso em Cuiabá-MT. Por consequência de tal abrangência, também foram obtidos especificamente: o conforto térmico oferecido por cada uma das residências frente ao clima da região; os fatores de maior influência no desempenho térmico das

edificações; a tipologia construtiva mais utilizada no Estado, que apresenta melhor desempenho térmico para o clima da região. Dessa maneira será possível através da coleta dessas informações propor melhores condições para as futuras construções de habitações populares para Cuiabá-MT, gerando assim economia de energia, proteção ao meio ambiente e adequação ao conforto térmico.

### **1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO**

A revisão bibliográfica iniciada no item dois está composta em três partes: a primeira parte refere-se ao tema clima e clima urbano. Na segunda parte da revisão, buscou-se fazer um estudo das metodologias e aplicações na área de avaliação do conforto térmico em edificações residenciais. Na terceira etapa, fez-se um apanhado dos métodos e índices de avaliação de conforto térmico, bem como as normalizações existentes.

No item três é demonstrada a área de estudo em questão. Para isso, são feitas explanações sobre as características geográficas, morfológicas e climatológicas da região onde a cidade de Cuiabá está inserida, pois sendo esta uma área peculiar por pertencer à Depressão Cuiabana, tais influências não poderiam deixar de ser ressaltadas. Destaca-se com este item a necessidade de contextualização das residências analisadas dentro do clima da região.

O item quatro trata da aplicação dos métodos escolhidos, sintetizando os passos percorridos para levantamento, tratamento e processamento dos materiais necessários para o objetivo do estudo. O objetivo principal deste item foi a apresentação e discussão das escolhas tomadas diante das possibilidades, para que as unidades residenciais fossem avaliadas da melhor forma.

No item quinto, são apresentados os resultados da aplicação dos métodos para avaliação dos elementos construtivos, pelos critérios prescritivos; para avaliação por desempenho térmico das unidades habitacionais, pelo levantamento das variáveis climáticas do meio interno e externo; e para avaliação por frequência através das TBS (Temperatura de Bulbo Seco) dentro da zona de conforto térmico escolhida.

No item seis são analisados os resultados obtidos de acordo com os três métodos de avaliação bioclimática nas residências.

O item sete trata das considerações finais do trabalho, concluindo a análise do desempenho térmico das residências e indicando estratégias mínimas de conforto para a região de Cuiabá.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. INTRODUÇÃO**

O levantamento de pesquisas existentes no Brasil na área de avaliação do desempenho térmico de residências unifamiliares é abrangente e possui vários exemplos já consolidados em algumas regiões do Brasil principalmente sudeste e sul. Os estudos nessa área reúnem informações com características climáticas específicas, que buscam contribuir para criação e desenvolvimento da normalização nacional para avaliação do desempenho térmico em edificações residenciais unifamiliares.

Entre as pesquisas no âmbito nacional, destacam-se os trabalhos do IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo), do CIENTEC (Fundação de Ciência e Tecnologia, de Direito privado, vinculado à Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul) e a LABEEE (Laboratório de Eficiência Energética de Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina).

Sobre pesquisas no âmbito internacional, conforme o trabalho de BARBOSA (1997), as normas da França e a do Estado da Califórnia, nos EUA, se sobressaem por explicitarem uma forma de alcançar conformidade através de pacotes de soluções construtivas, que são possíveis de se implantar na metodologia específica para avaliação do desempenho térmico em edificações residenciais unifamiliares no Brasil, por serem de fácil aplicação e adaptáveis a uma tipologia construtiva regional.

Pesquisas realizadas no Brasil e no exterior foram observadas quanto aos índices e zona de conforto térmico aplicáveis na metodologia específica para avaliação do desempenho térmico em edificações.

A escassez de estudos voltados para a representação climática do estado de Mato Grosso pode ser explicada pela dificuldade da obtenção de dados climáticos de uma série temporal representativa, capaz de reproduzir a dinâmica climática da

região. A falta de dados horários e de elementos climáticos com registros recentes, a exemplo da radiação solar global e difusa, torna difícil a obtenção de um tipo de representação climática horária de um período anual.

## 2.2. CLIMA

O estudo do clima, que compreende tanto a formação resultante de diversos fatores espaciais e geomorfológicos que sejam: movimento de rotação e translação, energia solar, latitude, altitude, ventos, distribuição das terras e das águas, vegetação, etc.; quanto sua caracterização definida por seus elementos: temperatura do ar, umidade do ar, movimentos das massas de ar e precipitações, torna-se, pois, importante para a compreensão do sistema atmosférico, (MAITELLI, 1994).

Assim o clima pode ser definido como a função característica e permanente do tempo, num lugar, em meio a suas múltiplas variações, e o tempo é considerado a somatória das condições atmosféricas de um lugar, em um curto período de tempo, através da combinação de temperatura, pressão, umidade, ventos e precipitação, ou seja, representa um estado momentâneo da atmosfera (MASCARÓ, 1991).

Para TREWARTHA (1954) *apud* SETTE (2000), a região climática é qualquer porção da superfície terrestre sob elementos climáticos e características climáticas similares.

Já OLGAY (1963) *apud* ALMEIDA JÚNIOR (2005) afirma que o tempo é um conjunto de todas as variáveis meteorológicas, em um dado momento, e que os elementos aparecem em combinação. Dado o fato de que na sua obra o propósito geral é o estudo das sensações do conforto humano, os elementos que mais afetam esse conforto são: temperatura, radiação e ventos; tratando de forma diferenciada os efeitos da umidade, tais como: chuva, névoa, neve, geada e pressão de vapor.

Em 1977, a Organização Mundial de Meteorologia propôs o estudo do clima baseando-se na importância das interações entre atmosfera e a superfície terrestre, sendo chamado de sistema climático e constituindo o modelo climático global, CAMPELO Jr. *et al.* (1991).

A partir desse estudo vários pesquisadores deram início a novos trabalhos com uma nova visão da influência do clima e seus fatores no sistema atmosférico. Em uma região o clima é determinado pelo padrão das variações dos vários elementos climáticos (radiação solar, comprimento de onda da radiação, temperatura do ar, umidade, ventos e precipitações) que devem ser considerados no desenho dos edifícios e no conforto humano, (GIVONI, 1976).

As altas temperaturas são verificadas em áreas onde o crescimento vertical é intenso, onde existam altas densidades demográficas e pouca quantidade de vegetação, principalmente em setores industriais e residenciais, (ALMEIDA JÚNIOR, 2005).

LYNCH (1980) *apud* ROMERO (2000), aponta a temperatura, umidade, precipitação, nebulosidade, velocidade, direção dos ventos e insolação como os condicionantes externos do clima geral com os quais o planejador deve operar. Ele destaca as modificações do clima geral (microclima) impostas pela forma especial das pequenas superfícies: topografia, cobertura, superfície do solo e formas criadas pelo homem.

Essas características são normalmente variáveis de superfície e podem ser usadas como ferramentas para estudar e simular o clima.

GOMES (1980) *apud* ROMERO (2000), faz uma diferenciação entre elementos meteorológicos ou climáticos e fatores climáticos, atribuindo aos primeiros a função de definir o clima e aos segundos a função de dar-lhes origem ou determiná-los. Os fatores climáticos seriam: radiação solar, circulação atmosférica, repartição das terras e dos mares, relevo do solo, correntes marítimas, revestimento do solo. Os elementos do clima seriam: temperatura do ar, regime dos ventos, umidade do ar, nebulosidade e precipitações.

Desta forma ROMERO (1988) *apud* COSTA (2002) considera como fatores climáticos globais à radiação, latitude, altitude, massas de água e terra; os locais, a temperatura, umidade, movimento do ar e precipitações. Os fatores climáticos locais determinam as condições do microclima, isto é o clima em um local restrito, como por exemplo, uma cidade, bairro, uma rua ou mesmo uma edificação em uma camada de ar junto ao solo.

### 2.2.1. Classificação do Clima

O clima possui fortes influências sobre os seres humanos, pois apresentam variações em cada local do planeta, sendo uma das principais características naturais para a constituição do meio ambiente.

Devemos considerar três níveis para diferenciar escalas climáticas e desta forma procuramos identificar o clima por meio de uma divisão ordenada e hierárquica, sendo elas: macroclima, mesoclima e microclima de modo a permitir que cada uma delas possa ser relacionada com a imediatamente superior e inferior.

Para RIBEIRO (1993) a classificação dos três níveis da escala climática podem ser definidas como:

*“...Nível macroclimático é a interação entre a radiação solar, a curvatura da Terra e os seus movimentos de rotação e translação. (...) Nível mesoclimático, interação entre a energia disponível(para o processo de evaporação e de geração de campos de pressão) e as feições do meio terrestre.(...) Nível microclimático, interação entre os sistemas ambientais particulares na modificação dos fluxos de energia, umidade, massa e momentum”.*

Segundo TONIETTO & MANDELLI (2005) *apud* ALMEIDA JÚNIOR (2005) devem-se considerar três níveis para diferenciar escalas climáticas:

1. MACROCLIMA = Podendo ser chamado de clima original ou clima regional é o resultado da situação geográfica e orográfica. Corresponde ao clima médio ocorrente num território relativamente vasto, exigindo, para sua caracterização, dados de um conjunto de postos meteorológicos; em zonas com relevo acentuado os dados macroclimáticos possuem um valor apenas relativo exigindo, para sua caracterização, dados também de um conjunto de postos meteorológicos;
2. MESOCLIMA = Ou clima local, que corresponde a uma situação particular do macroclima, ou seja, o macroclima sofre localmente modificações em vários de seus elementos, o que determina um

mesoclima (clima local). Normalmente, é possível caracterizar um mesoclima através dos dados de uma estação meteorológica, permitindo avaliar as possibilidades de uma cultura, do clima de floresta ou de uma vertente. A superfície abrangida por um mesoclima pode ser muito variável, podendo fazer referência a situações bastante particulares do ponto de vista de exposições, declividade ou altitude, por exemplo. Muitas vezes o termo topoclima é utilizado para designar um mesoclima onde a orografia constitui um dos critérios principais de identificação, como por exemplo, o clima de um vale ou de uma encosta de montanha;

3. MICROCLIMA = Corresponde às condições climáticas de uma superfície realmente pequena, ou seja, ao clima de micro escala. Pode-se considerar dois tipos de microclima: microclima natural – que corresponde a superfícies da ordem de 10 m a 100 m; e, microclima da planta – o qual é caracterizada por variáveis climáticas (temperatura, radiação) medida por aparelhos instalados na própria planta. O termo genérico de bioclima é utilizado para essa escala que visa o estudo do meio natural e das técnicas de cultivo.

Para GOMES (1980) *apud* ALMEIDA JÚNIOR (2005), existe dificuldade prática das classificações, uma vez que elas não atendem nem às necessidades específicas dos pesquisadores nem a objetivos diversos. As classificações de THORNTHWAITE, DE MARTONE E KÖPPEN, tradicionais e universalmente aceitas, apresenta-se muito gerais.

Porém, segundo o mesmo autor, a classificação de KÖPPEN não poderia ser considerada, de fato, classificação climática, já que:

***“Não evidencia as influências de outros elementos climáticos, além da temperatura do ar”.***

### 2.3. CLIMA URBANO

Para MAITELLI (1994) no processo de urbanização a poluição do ar afeta a transferência de radiação e acrescenta núcleos de condensação no ar, aumentando a precipitação. A densidade e a geometria das edificações criam uma superfície rugosa que influencia na circulação do ar e no transporte de calor e vapor d'água. Os materiais de construção e o asfaltamento das ruas aumentam o estoque de calor, a impermeabilização do solo aumenta a possibilidade de enchentes. Esses fatores, associados a outros, contribuem para a formação de um microclima local, denominado clima urbano.

De acordo com LOMBARDO (1985) o clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização. É um mesoclima que está incluído no macroclima e que sofre, na proximidade do solo, influências microclimáticas derivadas dos espaços urbanos.

Deve-se analisar as variações do ambiente urbano, nos vários níveis, tais como nos bairros, ruas, casas e ambientes internos. A ação ecológica natural, associada aos fenômenos urbanos, constituem o conjunto complexo de inter-relações que produzem o clima urbano, (SOUZA, 1990).

Tempo é o estado atmosférico em certo momento, considerado em relação a todos os fenômenos metodológicos: temperatura, vento, umidade, entre outros. Esse estado é essencialmente variável. Entretanto num determinado lugar em meio a essas contínuas mudanças, distingue-se de constante, de previsível, que constitui o que se chama clima.

Assim, o clima pode ser definido como a função característica e permanente do tempo, num lugar, em meio a suas infinitas variações.

Os quatro fatores dinâmicos do clima – Temperatura, Umidade, Movimento do Ar e Radiação – afetam a perda de calor no homem. Esses fatores (elementos) climáticos não atuam isolados, mas conjuntamente. O efeito de sua ação conjunta sobre o indivíduo denomina-se pressão térmica, (MASCARÓ, 1991).

De acordo com BUENO (1998), as alterações no clima urbano têm ficado mais evidentes a cada dia.

Segundo ROMERO (1988) *apud* BUENO (1998):

***“A prática do desenho urbano tem se dado sem levar em conta os impactos que provoca no ambiente, repercutindo não só no desequilíbrio do meio como também no conforto e salubridade das populações urbanas”.***

Esses impactos são decorrentes das mudanças das características térmicas das superfícies, das taxas de evaporação e dos novos padrões de circulação do ar, tendo como consequência denunciadora a formação das chamadas ilhas de calor, que corresponde ao aumento de temperatura de uma determinada área urbana em relação aos seus arredores, (LABAKI & SANTOS, 1996; BUENO, 1998).

DETWYLER & MARCU (1974) *apud* ROMERO (1988), afirmam que as mudanças climáticas provocadas pela urbanização são três:

1. Alteração através da densa construção e pavimentação da superfície física do solo, impermeabilizando-a, aumentando sua capacidade térmica e sua rugosidade, ao mesmo tempo em que transforma o movimento do ar;
2. Aumento da capacidade armazenadora de calor com a diminuição do albedo (ROMERO, 1988).
3. Modificação da transparência da atmosfera devido à emissão de “contaminantes” (poeira, poluição, etc.).

Parâmetros como poluição do ar, direção e intensidade do vento, umidade, radiação de onda curta e longa, temperatura e balanço da energia urbana, foram considerados por DUFFRE *et al.* (1993) *apud* BUENO (1998), para a comparação das variações climáticas entre as áreas rurais e metropolitanas, a fim de se desenvolver um modelo de simulação urbana que pudesse ser generalizado, ou seja, utilizado em qualquer cidade.

Algumas características físicas dos centros urbanos têm efeito sobre o clima desses locais. Entre elas, GIVONI (1994) cita a localização dos mesmos numa determinada região; a densidade da área urbana; a orientação e largura das ruas; a altura relativa das edificações; os parques urbanos e áreas verdes particulares (BUENO, 1998).

De acordo com LOMBARDO (1985), em seu estudo sobre a cidade de São Paulo, existe uma estreita relação entre os tipos de uso do solo urbano e a variação de temperatura superficial. As altas temperaturas são verificadas em áreas onde o crescimento vertical é intenso, onde existem altas densidades demográficas e pouca

quantidade de vegetação, principalmente em setores industriais e residenciais. Contudo as regiões que possuem uma maior concentração de espaços livres, com vegetação ou próximos a reservatórios de água, sofrem acentuados declínios de temperatura.

Segundo MASCARÓ (1991), a temperatura do ar em relação à incidência da radiação solar em diferentes superfícies nas diversas estações do ano, pode-se chegar às seguintes condições:

- “1. Num dia de céu claro, quando o sol está aproximadamente no zênite, ou seja, nas latitudes entre 30°N e 30°S, ao meio-dia na estação apropriada, a incidência máxima de radiação solar na superfície horizontal terá um valor de 870 Kcal/m<sup>2</sup>.h;**
- 2. A incidência total máxima, durante o ano, se produz nos lugares de céu claro, ao redor das latitudes 15°N e S;**
- 3. A incidência total máxima durante o dia de verão, acontece nos lugares de céu claro, ao redor das latitudes 40°N e S;**
- 4. Quanto mais nuvens tenham o céu típico da região, menor será a incidência de radiação solar na superfície da terra. A quantidade de chuvas na região é um indício provável de nebulosidade.”**

De acordo com BROWN & DEKAY (2004), o clima atua como um contexto da seguinte forma:

1. O quadrante solar: pode ser usado para avaliar os efeitos das condições existentes no sítio, os impactos das alternativas de volumetria, o nível de penetração do sol nas edificações e a eficiência dos elementos de sombreamento;
2. A radiação solar: disponível por hora, em uma superfície horizontal pode ser usada com a temperatura, umidade relativa e velocidade dos ventos;
3. O cata vento: fornece informações mais específicas do que a rosa dos ventos. Ele tabula, para período de três horas e para cada mês, a velocidade dos ventos predominantes, a orientação dos ventos predominantes naquela velocidade e a percentual hora que o vento sopra naquela direção.

## 2.4. PESQUISAS NO USO DE METODOLOGIAS PARA AVALIAR O DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES

### 2.4.1. São Paulo

A Divisão de Edificações do IPT de São Paulo tem como preocupação à formulação de uma metodologia para avaliação do desempenho térmico de edificações. Cronologicamente, alguns dos trabalhos desenvolvidos pelo Instituto na área são:

- 1) *Avaliação de Desempenho de Edificações Térreas Uni familiares*, IPT (1981);
- 2) *Desempenho Térmico de Edificações Escolares, Manual de Procedimento para Avaliação*, AKUTSU *et al.* (1987);
- 3) *Proposta de Procedimentos para Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações Condicionadas e não Condicionadas*, AKUTSU e VITTORINO (1991a);
- 4) *Crítérios para a Definição de Níveis de Desempenho Térmico de Edificações*, AKUTSU e VITTORINO (1993);
- 5) *Métodos Expeditos para Avaliação de Desempenho Térmico de Habitações*, AKUTSU *et al* (1995b); e
- 6) *Crítérios Mínimos de Desempenho de Habitações Térreas Uni familiares*, AKUTSU *et al* (1995c).

Conforme BARBOSA (1997), como abrangência no presente estudo, torna-se pertinente resumir os seguintes trabalhos:

a) *Avaliação de Desempenho de Habitações Térreas Unifamiliares*, IPT (1981): é uma proposta de normalização para avaliar o desempenho térmico de edificações de habitações térreas unifamiliares, válida para todo o território brasileiro. A proposta inclui um zoneamento climático com nove zonas de inverno e onze zonas de verão, esta definida em consideração da variável radiação solar.

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.

Para cada zona climática existem exigências para as janelas, que é analisada segundo orientação, as dimensões e o sombreamento no projeto.

Em todas as zonas climáticas, a ventilação recomendada parte de uma renovação de ar de 18 m<sup>3</sup>/hora por pessoa.

Algumas zonas recomendam paredes que incluam colchões de ar com materiais isolantes e cobertura com colchão de ar não ventilado ou com colchão de ar ventilado.

b) *Método Expedito para Avaliação do Desempenho Térmico de Habitações*, AKUTSU *et al.* (1995b): Não se utiliza de cálculos por computador e é específico para habitações térreas de interesse social padrão COHAB.

Os níveis de desempenho A, B ou C são consultados em quadros sínteses. Com a escolha dos dados iniciais deve ser equivalente ao objeto de estudo, como tipo de paredes, tipo de coberturas e uma das 8 regiões climáticas que abrangem todo o território nacional.

A consulta aos quadros sínteses, por região climática e por estação (verão ou inverno), permite identificar o sistema construtivo mais adequado àquela região e a compatibilidade do sistema construtivo para o desempenho de verão e de inverno.

Portanto a proposta do IPT (1981) não avalia por desempenho, neste caso a avaliação é feita somente por prescrição, isto é, o método prescreve os limites dos parâmetros térmicos. A metodologia de avaliação prescritiva foi utilizada na análise das residências de acordo com as normas do Zoneamento Bioclimático Brasileiro.

#### **2.4.2. Rio Grande do Sul**

No Rio Grande do Sul, a CIENTEC buscando uma metodologia para avaliar o desempenho térmico de edificações para habitação popular, criou condições para fazê-la por meio de instrumentação (medições no local) ou através de simulação por computador.

Com relação a medições no local, a Instituição utiliza um sistema de aquisição de dados (ECI, modelo DL 4000), com recurso de 32 canais, um conjunto de sensores de temperatura tipo PT-100 e um analisador de clima interior (Indoor Climate Analyser), da Brüel & Kjaer.

O sistema construtivo avaliado é também comparado com um sistema construtivo tradicional, e com base nesses resultados são feitas recomendações gerais, identificadas como potencialmente capazes de proporcionar um melhor desempenho térmico.

Segundo SATTLER (1991a), os critérios e requisitos para avaliação não estão claramente estabelecidos, não sendo possível aprovar ou desaprovar sistemas construtivos. Apenas recomenda-se o que poderia atingir melhor desempenho.

A avaliação de desempenho térmico por simulação é feita através do programa THEDES, para verão e inverno. Para isto, são considerados os dias típicos de verão e inverno com nível de probabilidade de 2,5% de ocorrência para a cidade de Porto Alegre.

Em razão do dia típico de projeto possuir baixa probabilidade de ocorrência e pouca precisão, esta metodologia não foi utilizada para Cuiabá.

### **2.4.3. Florianópolis**

Em Florianópolis, o estudo intitulado *Uma Metodologia para Especificar e Analisar o Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares*, foi desenvolvido por BARBOSA (1997), em forma de tese à Universidade Federal de Santa Catarina, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção.

O trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico em edificações térreas, residenciais unifamiliares.

A estrutura básica para a montagem da metodologia foi: confirmar condições de conforto térmico da população local, ajustar uma ferramenta de simulação térmica horária anual, frente a diferentes sistemas construtivos, e estabelecer o limite de horas anuais de desconforto com base em um sistema construtivo referencial.

Para definir o sistema referencial, uma pesquisa foi realizada junto às Companhias de Habitação Popular, visando obter a tipologia construtiva mais adotada no Brasil para edificações térreas unifamiliares. Os questionários encaminhados às COHABs (Companhia de Habitação) coletaram informações sobre a tipologia construtiva nas regiões, antes e após a extinção do BNH (Banco Nacional de Habitação), ou seja, décadas de 60/70 e 80/90, respectivamente. As questões argüidas, referiam-se a: *Área Média De Construção*: por unidade habitacional; *Coberturas*: tipo de material, espessura, inclinação, tipo de estrutura, existência e comprimento de beiral; *Forro*: existência, tipo de material, espessura e cor; *Paredes*: tipo de material constituinte e espessura, espessura e cor de revestimento, acabamento interno e externo das mesmas; *Janelas*: área média, tipo de material opaco e transparente, tipo de caixilho e existência e tipo de proteção solar de janelas.

A porcentagem dos valores máximos ou mais freqüentes das respostas do questionário foi considerada para a composição da tipologia construtiva representativa na conclusão do levantamento. Esta tipologia construtiva, definida como representativa da habitação popular mais construída no Brasil, foi denominada como *casa COHAB padrão, ou referencial cultural*, e adotada como referencial, para a determinação dos limites mínimos aceitáveis para o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, com o mesmo propósito adotado por TURIK (1990), que considerou a casa COHAB tipo RS 16-I. 3-42, como padrão de referência por ser a mais construída no Rio Grande do Sul.

A metodologia foi aplicada à cidade de Londrina-PR onde um trabalho de campo foi realizado com cinco sistemas construtivos. Em cada um dos sistemas construtivos estudados, foram medidas no verão e no inverno as temperaturas internas, levantados os dados construtivos e as sensações dos usuários.

As temperaturas internas e os dados construtivos foram utilizados para ajustar a ferramenta adotada para simulação.

Um ano climático de referência para a região de Londrina foi estabelecido para uso nas simulações.

Para BARBOSA (1997), o critério principal utilizado para selecionar a ferramenta de simulação, foi a adoção de arquivo climático de dados horários de um período anual, com o objetivo de se analisar os resultados das simulações para o ano

inteiro e não somente para um dia típico por estação. O programa COMFIE foi selecionado por fazer parte da geração de sistemas que adotam informações horárias de um período anual como dados de entrada, representando o clima local, cumprindo assim, com a exigência principal do critério adotado nesta seleção e por estar disponível para ser utilizado em versão para microcomputador tipo PC.

Para o desenvolvimento do trabalho, foi necessária a montagem de dois arquivos climáticos: o primeiro arquivo climático (**LNA.TRY**), foi preparado com os dados do ano de 1994, ano real, no qual foi medido o desempenho térmico das cinco unidades habitacionais em estudo; e o segundo arquivo (**LON.TRY**), foi preparado com os dados do ano climático de referência (TRY), de Londrina, para o período de 1979 a 1990, sendo para este período o ano de 1986 identificado como ano climático de referência.

Neste estudo, a zona de conforto térmico de GIVONI (1992) para países de clima quente e em desenvolvimento, foi escolhida como representativa para pessoas adaptadas aos climas existentes no Brasil.

Os resultados de sensação térmica obtidos foram usados para referendar os limites de conforto adotados.

A metodologia considerou desconfortáveis, as temperaturas fora dos limites de conforto pré-estabelecidos. Com a ferramenta ajustada e o ano climático de referência, foram realizadas simulações com várias alternativas construtivas, estabelecendo-se as horas de desconforto anuais para cada alternativa.

A escolha do limite de horas anuais de desconforto aceitável foi feita frente à realidade econômica e o referencial cultural. Com este limite foi possível parametrizar o desempenho térmico do referencial cultural, em função de algumas variáveis de projeto tais como: transmitância de paredes e coberturas, absorvidade das paredes e coberturas, e capacidade térmica ou massa de paredes e coberturas além de áreas de aberturas para ventilação e sistema de sombreamento.

Esta metodologia foi utilizada neste trabalho como referência principal, em virtude de possuir objetivos em comum como: análise de diferentes tipologias construtivas para habitações populares, confirmação do desempenho térmico por frequência e simulação, através do Programa *Analysis Bio v2.1*. (LABEEE, 2003)

que plota os dados de TBS e UR em uma carta psicrométrica, verificando os pontos inseridos dentro da zona de conforto de Givoni, definida entre 18°C a 29°C.

#### **2.4.4. Norma Brasileira de Avaliação do Desempenho Térmico**

Desde 1990, na cidade de Gramado-RS, levantou-se a discussão sobre a necessidade de se estruturar uma abordagem desta questão, de forma adequada à realidade brasileira, no I Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído.

No Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, realizado em São Paulo em 1993, o trabalho apresentado por BARBOSA e LAMBERTS (1993c) expôs uma proposta de itens a serem desenvolvidos para a norma brasileira de avaliação de desempenho térmico e energético de edifícios, com base no estudo de sete normas estrangeiras, como: definição de símbolos e unidades; cálculo de transmitância térmica; procedimentos para tratamento de dados climáticos; zoneamento bioclimático e metodologia para avaliação de desempenho térmico em edificações residenciais unifamiliares.

BARBOSA e LAMBERTS (1993c) organizaram uma lista de itens considerados importantes na avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, e que poderiam ser desenvolvidos para a norma brasileira, são eles:

- a) *Transmitância*
- b) *Sombreamento*
- c) *Ventilação*
- d) *Perdas*

Para a recomendação de soluções construtivas em edificações residenciais unifamiliares por zona bioclimática, foi necessário à elaboração de pacotes alternativos de componentes e soluções construtivas globais dentro dos limites prescritos, utilizando os materiais e tipologias construtivas regionais. A norma do Zoneamento Bioclimático Brasileiro – NBR 15220-3/2005 aprovada em 2005 faz referência a todo território nacional dividindo-o em oito zonas distintas. O

detalhamento da norma e os pacotes prescritivos utilizados neste trabalho como metodologia de avaliação estão disponíveis no Anexo 1.

## **2.5. ESCALAS E ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO**

O ambiente térmico deve ser avaliado segundo índices e escalas de conforto térmico selecionado para embasamento. O comportamento humano diante das variações térmicas do ambiente é estudado e descrito a fim de se definir índices que expressem a relação entre causa e efeito de suas atividades em relação a valores numéricos representativos do fenômeno.

As escalas de conforto térmico são montadas em termos de sensações subjetivas graduadas por conforto e desconforto térmico, que são então diretamente relacionadas a parâmetros físicos de estímulo.

Através dos índices são estabelecidas zonas de conforto térmico delimitadas graficamente (nomogramas, cartas e diagramas) que prescrevem os parâmetros físicos e estabelecem as zonas de conforto térmico.

Segundo BARBOSA (1997), as cartas bioclimáticas são definidas como base nas zonas de conforto térmico e elementos de previsão de comportamento térmico das edificações, associando três informações:

- a) O comportamento climático do entorno;
- b) A previsão de estratégias indicadas para a correção desse comportamento climático por meio do desempenho esperado na edificação;
- c) A zona de conforto térmico.

### **2.5.1 Zonas de Conforto Térmico**

Ocorreu nos Estados Unidos da América, no período de 1913 a 1923, os primeiros esforços organizados para se estabelecer os índices de conforto térmico. Desde então e até hoje esse assunto vem sendo estudado em diferentes partes do mundo e vários métodos para avaliação de conforto térmico têm sido propostos.

O método mais conhecido e amplamente aceito é o Predicted Mean Vote (PMV) ou Voto Médio Estimado (VME), que foi desenvolvido pelo professor dinamarquês Ole Fanger e publicado em FANGER (1970).

FANGER (1970) usou dados obtidos em experiências de laboratório, com mais de 1300 pessoas, para estabelecer uma equação que permite, a partir do conhecimento das variáveis ambientais e pessoais, estimar a sensação térmica média de um grupo de pessoas (VME) quando exposto a uma determinada combinação dessas variáveis. O VME é dado na seguinte escala de sensações térmicas:

- + 3 – muito calor
- + 2 – calor
- + 1 – leve calor
- 0 – conforto
- 1 – leve frio
- 2 - frio
- 3 - muito frio

A fim de conhecer a quantidade de pessoas termicamente descontentes com um ambiente, Fanger relacionou o valor do VME com a porcentagem estimada de insatisfeitos (PEI).

O método de Fanger foi adotado como base para o desenvolvimento de uma norma que especifica condições de conforto térmico para ambientes termicamente moderados (ISO 7730, 1984) e da sua atualização em 1994.

#### **2.5.1.1. Carta Bioclimática de Olgyay**

O diagrama de Olgyay é desenhado entre dois eixos, sendo o eixo vertical o das temperaturas (secas) e o eixo horizontal o das umidades relativas. Entretanto, ele aplica-se estritamente para as condições externas. Olgyay justifica que em suas experiências as temperaturas internas foram muito próximas das temperaturas externas e sugere que seu diagrama seja utilizado principalmente para edifícios leves

em regiões úmidas como o leste dos Estados Unidos onde morou, indicando as estratégias para o interior.

Em GIVONI (1992), o diagrama de Olgyay é propício para as condições externas, entretanto existe uma incoerência quanto às estratégias de projeto sugeridas no diagrama para as condições internas.

Segundo BARBOSA (1997), os sistemas desenvolvidos por Olgyay e Givoni buscam ampliar a zona de conforto através da adoção de estratégias arquitetônicas que alteram a sensação do clima interno em estudo. Na carta de Olgyay, os limites de conforto foram obtidos de pesquisas efetuadas por fisiologistas. No diagrama bioclimático de Olgyay as condições de temperatura e umidade são plotadas como curvas fechadas ou ciclogramas das médias diárias horárias (24 horas), para cada mês, em uma dada localidade.

#### **2.5.1.2. Carta Bioclimática de Givoni (atualizada em 1992)**

GIVONI (1969) desenvolveu uma carta bioclimática a ser empregada em edifícios para corrigir as limitações do diagrama bioclimático idealizado por Olgyay. A principal diferença entre esses dois sistemas deve-se ao fato de que o diagrama de Olgyay é desenhado entre dois eixos, sendo o eixo vertical para temperaturas (secas) e o eixo horizontal o das umidades relativas, enquanto que a carta de Givoni é traçada sobre uma carta psicrométrica convencional.

Na carta de GIVONI (1992) os limites originais de conforto foram determinados com base em pesquisas conduzidas nos Estados Unidos, Europa e Israel, ou seja, países de clima temperado. Entretanto, considerando estudos realizados em países quentes e apoiando-se no fato de que as pessoas que moram em países em desenvolvimento com clima quente e úmido, aceitam limites máximos superiores de temperatura e umidade, a atualização feita pelo autor em 1992 passa a sugerir a expansão destes limites para o caso.

A carta bioclimática passa a ter demarcações de diferentes limites para climas temperados (países desenvolvidos) e para climas quentes (países em desenvolvimento), sugerindo também novos limites das condições climáticas, dentro

dos quais várias estratégias de projeto de edifícios e sistemas de resfriamento natural podem garantir conforto térmico interno.

As opções apresentadas para as estratégias são: ventilação durante o dia, inércia térmica com ou sem ventilação, resfriamento evaporativo direto e resfriamento evaporativo indireto (através de tanques de água no forro).

A variação de temperaturas sugeridas por GIVONI (1992) para as condições aceitáveis de pessoas que habitam países desenvolvidos é 18°C a 25°C no inverno e de 20°C a 27°C no verão, sendo o limite máximo de temperaturas aplicáveis em níveis baixos de umidade, abaixo de um conteúdo de vapor de 10 g/kg. A altas umidades, o limite máximo de temperaturas decresce progressivamente e o limite máximo de umidade em termos de umidade absoluta é de 15 g/kg.

Nos países em desenvolvimento e de clima quente, GIVONI (1992) sugere elevar de 2°C a temperatura limite máxima, elevando também de 2g /kg o valor do conteúdo de vapor. Essa adaptação é justificada com base em resultado de pesquisa, que alterou a nova carta de temperatura efetiva no limite superior da sensação de conforto, de 27,0°C para 29,7°C, quando a velocidade do ar é aumentada de 0,1 para 1,5 m/s.

Os critérios para definir a aceitabilidade da velocidade do ar são diferentes para edifícios residenciais e edifícios de escritórios. A ASHRAE (1981) especifica um limite máximo de 0,8 m/s no interior de escritórios para não levantar papéis, entretanto, em edifícios residenciais, o limite para velocidade do ar pode ser baseado no seu efeito para conforto, o que depende da temperatura.

GIVONI (1992) *apud* BARBOSA (1997), explica também que o clima interno em edifícios não condicionados reage mais largamente à variação do clima externo e à experiência de uso dos habitantes, sendo esta diferença um elemento a ser considerado na avaliação da eficiência energética do edifício estudado.

Assim, os limites sugeridos por GIVONI (1992) para a zona de conforto térmico de países com clima quente e em desenvolvimento são: no verão em situação de umidade baixa, a variação de temperatura pode ser de 25 °C a 29°C , e em umidade alta de 25 °C a 26°C, podendo chegar a 32°C com ventilação de 2,0 m/s; no inverno, os limites são de 18 °C a 25°C; com relação à umidade, os limites são de 4,0 g/kg a 17g/kg e 80% de umidade relativa.

### 2.5.1.3. *Zona de Conforto da ASHRAE*

Sua utilização foi idealizada para edifícios de escritórios com ar condicionado, mas também pode ser usada na avaliação de edifícios residenciais.

Para GIVONI (1992), a zona de conforto da ASHRAE (1981) especifica limites constantes para temperatura do ar e umidade na carta psicrométrica, e desconsidera as atividades das pessoas no ambiente.

No verão, quando o edifício precisa ser resfriado, assim como para o inverno, quando o edifício precisa ser aquecido, diferentes faixas de temperaturas foram descritas, considerando troca nos hábitos de vestimentas sazonais e aumento da conservação de energia.

Nas condições de ar parado (0,15 m/s no inverno e 0,25 m/s no verão), o limite máximo da ASHRAE (1981) para temperatura aceitável no verão se estende de 26°C (conteúdo de umidade = 12 g/kg) a 27°C (conteúdo de umidade = 4 g/kg).

A velocidade do ar é elevada de 1°C para cada acréscimo de 0,275 m/s. Acima de 28°C, a velocidade de 0,8 m/s é o valor máximo permitido para o ar no interior.

Na ASHRAE (1981), as altas velocidades de ar não afetam o limite máximo aceitável para umidade.

O diagrama ANSI - ASHRAE 55 - 92 modificou o limite inferior de umidade absoluta de 4 g/kg para 4,5 g/kg, sendo que o limite máximo não deve ser mais quantificado em umidade absoluta e, sim, em umidade relativa, cujo valor atual é de 60%. As temperaturas limites da zona de conforto ASHRAE (1981) são:

- a) No verão: (23°C ET\* a 26°C ET\*), nas seguintes condições:
  - vestimenta igual a 0.5 Clo (unidade usada para expressar o isolamento térmico proporcionado pelas peças e conjunto de vestimentas);
  - 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%.

- b) No inverno: (20°C ET\* a 23,5°C ET\*), nas seguintes condições:
- vestimenta igual a 0,9 Clo (unidade usada para expressar o isolamento térmico proporcionado pelas peças e conjunto de vestimentas);
  - metabolismo menor ou igual a 1,2 Met;
  - velocidade do ar menor ou igual a 0,15 m/s

A ASHRAE é utilizada em maior frequência como um padrão para o ambiente interno de espaços com ar condicionados, em habitações de países com climas temperados.

#### **2.5.1.4. Zona de Conforto de Szokolay**

Na carta psicrométrica de SZOKOLAY (1995) apresentam várias estratégias passivas de controle, tais como: aquecimento solar, efeito de massa, efeito do movimento de ar e resfriamento evaporativo.

O subaquecimento, supraaquecimento e superumidificação são considerados neste método através de estimativa.

Os limites de temperaturas de bulbo seco é de 18,5°C a 28,5°C na zona de conforto no método CPZ(Zona Potencial de Controle).

As médias das máximas e máximas mensais são a base de dados climáticos adotada.

Para a zona de conforto de inverno é calculada pela fórmula ( $t_n = 17,6 + 0,31 T$ ), onde T é a temperatura média do mês mais frio, e repetindo o mesmo processo para a temperatura média do mês mais quente para encontrar a zona de conforto de verão. A zona de conforto deve ser ainda delimitada acima e abaixo pelas linhas de umidades absolutas de 12g/kg e 4g/kg.

Os limites para temperatura de bulbo seco são  $(t_n - 2)$  e  $(t_n + 2)$ , na curva de 50% de umidade relativa da carta psicrométrica.

Com as zonas de conforto definidas, pode-se fazer a plotagem do clima da região sobre a carta psicrométrica.

Os dois pontos de cada mês interligados por uma linha reta, para cada mês representam dois pontos definidos pela temperatura média das máximas com a

umidade da tarde e a média das mínimas com a umidade da manhã. As 12 linhas, (dos doze meses do ano) relacionadas com a zona de conforto permitem visualizar o problema climático que afeta a região.

Entretanto, o superaquecimento, subaquecimento e superumidificação do clima em relação à zona de conforto, são indicados numericamente.

## 2.6. DADOS CLIMÁTICOS

O cálculo para o projeto de sistemas de ar condicionado, cálculos simplificados do consumo de energia e para simulações detalhadas de energia em edificações podem ser feitos com base no conhecimento de requisitos básicos das condições climáticas externas.

Diferentes níveis de projeto podem utilizar elementos climatológicos integrados através de tratamentos específicos, que vise direcioná-los para o uso na solução de problemas de projeto de edificações. Isto requer um prévio tratamento estatístico ou métodos que transformem uma grande quantidade de registros em ferramentas práticas de trabalho.

Os dados climáticos, mais comumente utilizados na avaliação do desempenho térmico de edificações, têm sido os dias típicos, temperaturas de projeto, graus/dia ou ano climático de referência. Segue como referência, um resumo de cada método citado:

- a) *Dia Típico de Projeto*: é uma ferramenta importante na determinação das exigências higrotérmicas de verão e inverno. O projeto é elaborado para melhor responder ao conforto térmico do indivíduo com base nas características deste dia típico.

Na metodologia desenvolvida por SATLLER (1989), que segundo GOULART (1993) comparou esta com a metodologia desenvolvida no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) e constatou que a metodologia de Satller para dia típico de projeto é mais recomendável por

resultar em dias com amplitudes de temperatura próximas a amplitude média e dentro de uma faixa de maior frequência de ocorrência.

Portanto, em seu procedimento descrito, SATLLER (1989) recomenda que para cada um dos dias do período de dados disponíveis, é calculada a temperatura média a temperatura média diária, e em seguida ordenadas em ordem crescente. Posteriormente é encontrado o conjunto de dias de temperaturas médias elevadas, considerando aproximadamente 15% do número total de dias. Da mesma forma são encontrados os dias de temperaturas médias mais baixas no período. Os dias encontrados correspondem aos períodos quente e frio, respectivamente.

A abrangência dos períodos quente e frio são determinados a partir da verificação das datas limites dos conjuntos. Os dias incluídos no período quente, denomina-se dias quentes, e os dias incluídos no período frio são chamados dias frios. Depois de reordenadas as temperaturas médias correspondentes aos dias dos períodos definidos acima, são determinados os níveis de 1%; 2,5%; 5% e 10% tanto para os dias quentes, como para os dias frios. Portanto, o nível de 2,5%, relativo a dias quentes, por exemplo, caracteriza o dia cuja temperatura média é excedida somente por 2,5% do total de dias quentes. Para cada nível, são selecionados os dias cujas temperaturas médias se situam imediatamente acima e abaixo da temperatura média do dia de referência e dentro de um intervalo representando 1% do número de dias do conjunto. Como a metodologia trabalha com um dia teórico, são calculadas as médias horárias das características dos dias situados nestes intervalos, para cada nível, definindo-se os dias típicos de verão e dias típicos de inverno. Para cada dia típico, são listados os valores horários de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido ou umidade relativa, nebulosidade (ou radiação solar), direção e velocidade do vento. Segundo GOULART (1993), deve-se conhecer a data de referência de cada dia típico, para que se estimem com precisão, os valores de irradiância solar nos diferentes componentes externos da edificação. A metodologia prevê que a data é definida pelo cálculo das declinações solares, ou seja, corresponde ao

dia cuja declinação solar mais se aproxime da média das declinações solares dos dias considerados na definição dos dias típicos;

- b) *Temperatura de Projeto – Metodologia ASHRAE*: o método de selecionar temperatura de projeto baseada na suposição de que o nível de frequência de uma temperatura específica em um determinado período de tempo se repetirá no futuro. As frequências de 1%, 2,5% e 5% foram selecionadas para um intervalo de múltiplos riscos, sendo de responsabilidade do profissional a escolha do nível de risco do seu projeto.

São apresentados no período de inverno, dois níveis de frequência de ocorrência. Estes níveis representam temperatura de bulbo seco que são igualadas ou excedidas por 99% ou 97,5% dos valores correspondentes ao número total de horas dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (um total de 2.160 horas) no hemisfério Norte e dos meses de junho, julho e agosto (um total de 2.208 horas) no hemisfério Sul.

No período de inverno, são apresentados três níveis de frequência de ocorrência. Estes níveis representam temperatura de bulbo seco que são iguais ou excedidas por 1%, 2,5% e 5% dos valores correspondentes ao número total de horas dos meses de junho a setembro (um total de 2.928 horas) no hemisfério Norte, e dos meses de dezembro a março no hemisfério Sul (um total de 2.904 horas). Para cada temperatura de bulbo seco de projeto de verão, deve ser encontrada a temperatura de bulbo úmido coincidente, ou seja, determina-se à média de todas temperaturas de bulbo úmido ocorridas com a específica temperatura de bulbo seco. Também são encontradas as temperaturas de bulbo úmido que representam valores que são igualados ou excedidos 1%, 2,5% e 5% das horas durante os meses de verão. Estes valores de temperatura de bulbo úmido são computados independentemente dos valores de temperatura de bulbo seco de projeto. Pela ASHRAE, as temperaturas de bulbo seco de projeto com a temperatura de bulbo úmido coincidente devem ser usadas para calcular cargas refrigeração em edificações. Já as temperaturas de bulbo úmido de projeto são determinadas, a

princípio, para uso em processos de resfriamento evaporativo, mas também podem ser usadas para calcular cargas de ventilação.

A metodologia da ASHRAE para temperatura de projeto também apresenta recomendações relativas a dados de vento.

No período de inverno, o vento predominante mais freqüente é encontrado com a temperatura de bulbo seco de projeto para o nível de 97,5% e a velocidade média do vento (média dos valores de velocidades do vento que ocorrem coincidentemente com a temperatura de projeto) para o mesmo nível.

Para o período de verão, o vento predominante mais freqüente é encontrado com a temperatura de bulbo seco de projeto, para o nível de 2,5%.

- c) *Grau-dia e Grau-hora*: segundo a ASHRAE (1993), são métodos para análise de energia em edifícios com equipamento de ar condicionado utilizados constantemente, sendo a demanda anual de energia requerida calculada através do valor da quantidade de grau-dia durante o ano.

Grau-dia é definido como sendo um parâmetro climático que pode ser definido como o somatório da diferença de temperatura, quando esta se encontra abaixo de uma temperatura base ( $T_b$ ). Quando a temperatura média diária for menor que  $T_b$ , calcula-se a diferença ( $T_b - T_{méd}$ ), somando-se estas diferenças, dia a dia, para todo o ano. Grau-hora pode ser estimado de maneira similar, porém tomando-se as temperaturas horárias em vez de temperaturas médias diárias.

Para o cálculo de refrigeração utilizando o conceito de grau-dia ou grau-hora, utiliza-se de maneira semelhante ao cálculo para aquecimento, demonstrado acima, porém são consideradas as temperaturas que excedem uma temperatura base ( $T_b$ ).

- d) *Ano Climático de Referência*: é a reunião de dados climáticos de um ano típico utilizado para o cálculo do consumo de energia através de programas de simulação de desempenho térmico de edificações.

STAMPER (1997) descreveu um procedimento utilizado para determinar o chamado Test Reference Year (TRY) ou Ano de Referência em português. Baseado na eliminação de anos de dados, que contêm temperaturas médias mensais extremas (mais altas e mais baixas), até permanecer um ano somente, que será eleito como o ano climático do local específico em estudo. Os meses são classificados em ordem de importância para cálculo de energia, analisando-se os valores da média das temperaturas médias mensais de temperatura do ar, anotando-se o mês mais quente e o mês mais frio, em seguida o segundo mês mais quente e o segundo mês mais frio e assim por diante, conforme aparecem as maiores e as menores temperaturas médias mensais, respectivamente. Após fecharem os doze meses, repete-se a seqüência dos meses, porém invertendo-se o sentido de análise, ou seja, onde é quente passa a ser frio e vice-versa. Com isso, os anos que apresentam temperaturas médias mensais extremas (mais altas e mais baixas) poderão ser eliminados na seqüência dos meses anotados.

Com a seqüência dos meses listados, as temperaturas médias mensais do registro disponível são calculadas e examinadas. O ano cujo mês anotado na lista for mais quente é eliminado, em seguida, o ano cujo mês anotado na lista é mais frio é eliminado, e assim sucessivamente até restar somente um ano. Este é designado como o Ano Climático de Referência.

O Test Reference Year (TRY), determinado por este processo, consiste em dados climáticos horários apresentados em um formato padronizado, conforme necessário para simulação de desempenho térmico de edificações. Segundo GOULART (1993b), o TRY determinado pelo processo descrito por STAMPER (1997), necessita das seguintes informações climáticas para as 8760 horas do ano:

- 1) Mês, dia e hora; temperatura de bulbo seco (TBS);
- 2) Temperatura de bulbo úmido (TBU); umidade relativa (UR%);
- 3) Direção de vento (DV); velocidade de vento (VV);
- 4) Pressão barométrica (PR); nebulosidade (TN);
- 5) Radiação solar (estimada a partir da nebulosidade).

Os dados do Ano Climático de Referência podem ser plotados sobre uma Carta Bioclimática, obtendo-se quais as estratégias de projeto mais adequadas, para melhor adaptar a edificação ao clima local.

Os profissionais de projeto de edificações e de sistemas de ventilação e ar condicionado, bem como aqueles responsáveis pela segurança e higiene do trabalho necessitam de conhecimento atualizado e de ferramentas práticas que permitam a avaliação do conforto térmico dos ambientes edificados.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1. A CIDADE DE CUIABÁ

A cidade de Cuiabá situa-se no centro geodésico da América do Sul, sendo as coordenadas geográficas, 15°35'56" latitude Sul e 56°06'01" longitude Oeste, altitude de 165 metros acima do nível do mar, variando em sua área urbana de 146 a 250 metros. A precipitação média anual é de 1.750 mm, com intensidade máxima em dezembro, janeiro e fevereiro e período seco no inverno. Os ventos predominantes na região são norte e noroeste.

O município de Cuiabá possui uma área de 3.224,68 Km<sup>2</sup>, sendo que a área urbana ocupa 251,94 Km<sup>2</sup> e a área rural ocupa 2.972,74 Km<sup>2</sup>, limita-se ao norte, com os municípios de Acorizal, Rosário Oeste e Chapada dos Guimarães, ao leste com Chapada dos Guimarães, ao sul com Santo Antônio de Leverger e a oeste com Várzea Grande e Acorizal, (MAITELLI, 1994).

Devido ao desenvolvimento das cidades e a conseqüente destruição da vegetação, as condições naturais do meio urbano são significativamente alteradas. O grande volume de construção provoca uma elevação nas temperaturas e uma diminuição das umidades dos centros urbanos, (MAITELLI, 1994).

Para BUENO (1998) nenhum ser vivo, animal ou vegetal, consegue ter vida normal sob condições de *stress* térmico. O homem, assim como qualquer outro organismo vivo, também tem seu rendimento prejudicado nessas circunstâncias.

Para CAMPELO Jr. *et al.* (1991) em Cuiabá, a direção predominante dos ventos é N e NO durante boa parte do ano e S no período de inverno.

***“É importante ressaltar que apesar da relativamente baixa velocidade do vento predominante, ocorrem rajadas (picos***

***de velocidade de curta duração)” (CAMPELO Jr. et al., 1991).***

A cidade de Cuiabá caracteriza-se por apresentar dois períodos bem definidos: um seco que vai de abril a outubro e outro úmido de novembro a março onde concentra 80% das chuvas. A cidade possui pequena amplitude térmica, exceto em fenômenos de friagem, temperatura média anual de 26,8°C, com média máxima de 42°C e média mínima de 15°C, umidade relativa do ar média de 78% e insolação total média de 2.179 horas (INMET, 2003).

Segundo CAMPELO Jr. et al. (1991), comenta que em Cuiabá/ MT a temperatura elevada na primavera-verão, oscila entre 30°C e 36°C entre os meses de setembro e outubro (meses que geralmente são mais quentes). O inverno tem uma particularidade, em média, 17 dias por ano com temperaturas inferiores a 20° C e apenas 8 dias por ano com temperatura média inferior a 18° C no período de maio a setembro, apresentando também nesse período uma duração de no máximo 2 a 3 dias, com as chamadas friagens de temperaturas mais amenas.

A distribuição de chuvas é tipicamente de clima tropical, onde no verão tem o seu máximo e no inverno o clima é seco. Cerca de 70% das chuvas são acumuladas entre os meses de novembro e março. Por isso, Cuiabá é conhecida hoje como a capital brasileira mais quente (MAITELLI, 1994).

A classificação de KÖPEN mostra praticamente as mesmas características, sendo o clima de Cuiabá do tipo Aw, isto é, tropical semi-úmido, com quatro a cinco meses secos e duas estações bastante definidas, uma seca (outono-inverno) e uma chuvosa (primavera-verão).

As características regionais das chuvas são notoriamente tropicais, ou seja, máximas no verão e mínimas no inverno e se devem, quase que exclusivamente, aos sistemas de circulação atmosférica, que ocorrem, principalmente, em número de três: sistemas de correntes perturbadas de Oeste, de Norte e de Sul (CAMPELO Jr. et al., 1991).

DUARTE (1995) mostra que Cuiabá está numa região de clima quente semi-úmido, com 4 a 5 meses secos.

Dessa forma, durante a primavera-verão, as temperaturas mantêm-se constantemente elevadas, principalmente, na primavera, estação pela qual o sol passa pelos paralelos da região, dirigindo-se para o Trópico de Capricórnio e a estação chuvosa ainda não teve início. No inverno, são registradas temperaturas estáveis, baixa umidade do ar, altas amplitudes térmicas diárias e elevadas temperaturas. Entretanto, ocorrem baixas temperaturas, resultantes da invasão do Anticiclone Polar, que transpõe a Cordilheira dos Andes após caminhar sobre o Oceano Pacífico, provocando um forte declínio na temperatura do ar com céu limpo e pouca umidade específica, (MAITELLI, 1994).

MAITELLI (1994) demonstra que o crescimento urbano em Cuiabá-MT influenciou o aumento da temperatura mínima média, com tendência de elevação de 0,073 ° C por ano analisado com dados do período de 1970 a 1992, época que coincide com um crescimento populacional mais intenso.

***“Em pesquisas realizadas verificou-se que em Cuiabá a intensidade média da ilha de calor foi de 3,8° C no período noturno da estação seca, com máximos de até 5° C, sob condições de tempo estável, céu limpo e calmaria, e de 1,8° C no período chuvoso, com valores máximos de até 2,3° C” (MAITELLI 1994).***

MAITELLI (1994), diz que com as modificações arquitetônicas do local e da atmosfera pela urbanização surgem as ilhas de calor. A diferença entre os valores de temperatura do ar de uma área urbana e seus arredores é que irá definir a intensidade das ilhas de calor urbana.

Dessa maneira é necessário realizar o acompanhamento do desenvolvimento das ilhas de calor, projeto de arborização de espaços público e privados, sistemas construtivos e a divulgação das informações sobre o uso do solo pelas prefeituras para proporcionar melhores condições climáticas.

Cuiabá encontra-se localizada na província geomorfológica denominada Depressão Cuiabana que se caracteriza como uma peneplanície de erosão onde predominam relevos de baixas amplitudes. A compartimentação, segundo o modelo do relevo, a área urbana e seu entorno identificam-se sete unidades distintas denominadas canal fluvial, diques marginais, planícies de inundação, áreas alagadiças, áreas aplainadas, colinas e morrotes, que apresentam características

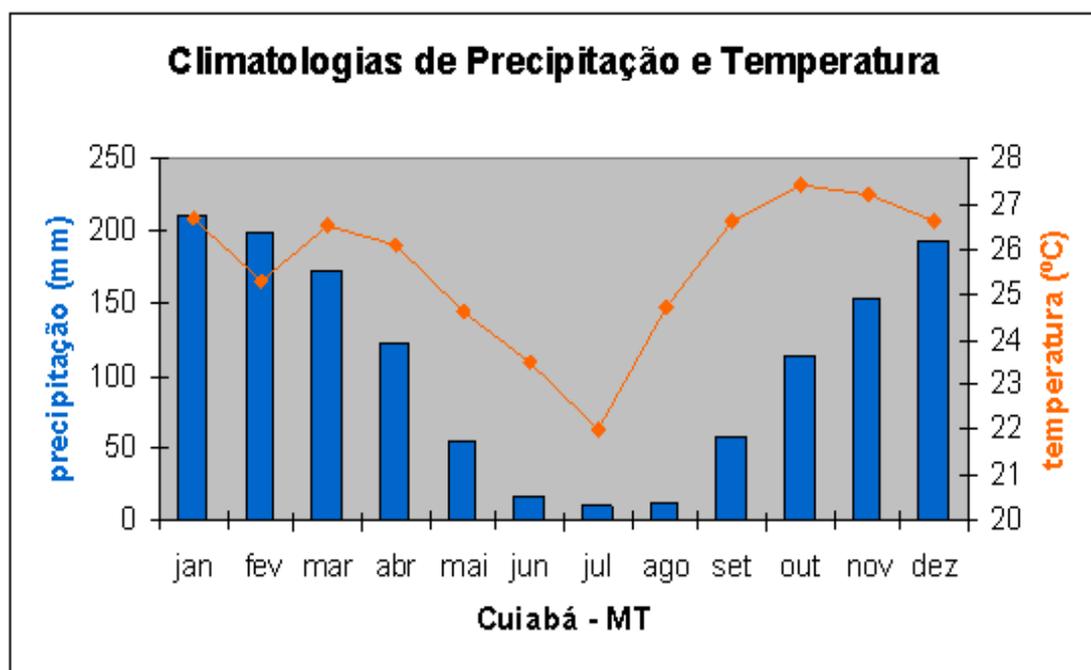
próprias e comportamento específico quanto às diversas formas de uso e ocupação do solo.

O solo é classificado como alissolos, são desaconselháveis à utilização agrícola pela presença de limitações como: fertilidade muito baixa, alta salinidade, reduzida profundidade, presença de pedras e etc.

Quanto à hidrografia, pertence à grande Bacia da Prata, contribuindo à Bacia do Rio Cuiabá.

Testemunhos geológicos indicam a origem do município na Faixa Móvel-Brasileira, retrabalhada posteriormente. Coberturas dobradas do proterozóico, com granitóides associados. Sua vegetação apresenta bioma típico de cerrado. (PREFEITURA MUNICIPAL DE CUIABÁ, 2001).

A Figura 1 mostra as variações de precipitação e temperatura de Cuiabá, em média mensal dos últimos 20 anos, entre as décadas de 70 e 90.

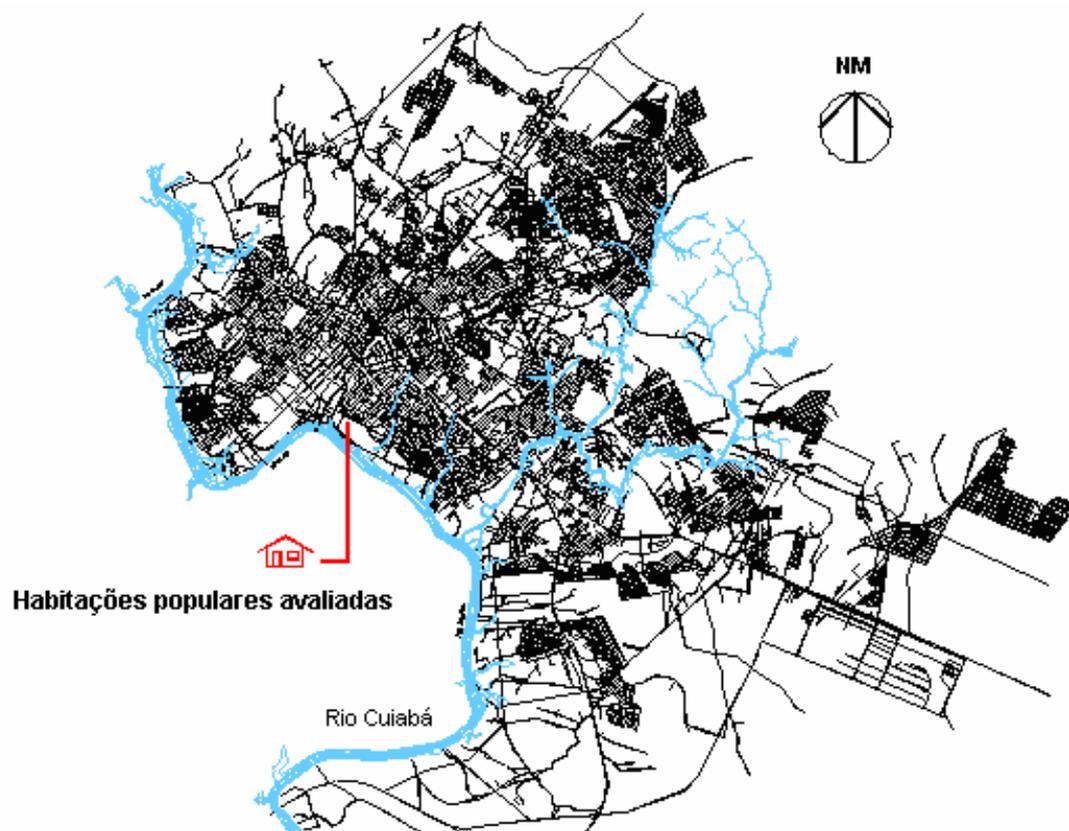


**FIGURA 1** – Variação de temperatura e precipitação de Cuiabá-MT observados no período entre as décadas de 70 e 90.

Fonte: CPTEC/INPE

O lote urbano tem dimensões amplas devido às atividades típicas do Parque de Exposição da Associação dos Criadores do Estado de Mato Grosso. Com isso, os protótipos ali situados, contemplam um microclima urbano característico, sem interferências térmicas artificiais (ilhas de calor, asfalto, trânsito, etc).

A Figura 2 abaixo mostra a localização das habitações populares avaliadas dentro do contexto urbano. A posição da área onde estão inseridas é notadamente distante do centro urbano, próximo ao Rio Cuiabá.



**FIGURA 2** – Localização das habitações populares avaliadas na cidade de Cuiabá-MT (ACRIMAT - Parque de Exposições da Associação dos Criadores do Estado de Mato Grosso).

**Fonte:** Prefeitura Municipal de Cuiabá.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. INTRODUÇÃO

Foram coletados dados sobre a tipologia construtiva de duas unidades habitacionais, que são réplicas das metodologias mais empregadas na construção de residências populares pelo programa de habitação popular do governo do Estado de Mato Grosso (SINFRA/2004).

A metodologia utilizada para descrição e avaliação do desempenho térmico nas edificações basicamente utilizou três métodos para análise: avaliação por prescrição, avaliação por desempenho e avaliação por frequências de temperatura.

Através do levantamento, constatou-se a existência de três diferentes sistemas construtivos utilizados no programa de habitação popular do governo do Estado de Mato Grosso, construídos no Parque de Exposições ACRIMAT - Associação dos Criadores do Estado de Mato Grosso pela Secretaria de Estado de Infra-estrutura. Entretanto, restringiu-se neste trabalho o estudo de apenas duas tipologias construtivas dentre as os três exemplares disponíveis.

Na coleta de dados realizado nas unidades habitacionais selecionadas para estudo, foram levantadas características físicas e características térmicas dos elementos construtivos utilizados no envoltório e o microclima interno medido nos períodos representativos de cada uma das quatro estações do ano. Objetivou-se, com os dados climáticos internos coletados, fazer um reconhecimento do desempenho térmico das tipologias construtivas a partir de medição no local.

Foram levantados também os dados climáticos do clima externo, estes não medidos *in loco*, mas coletados nas fontes disponíveis de dados horários equivalentes cronologicamente (CPTEC/INPE) para a caracterização do clima da cidade. A busca pelas Normais Climáticas e o TRY (*test refence year*) de Cuiabá foi necessária para

serem utilizados como dados de entrada pelo Programa *Analysis Bio v2.1*. (LABEEE, 2003) na simulação de desempenho térmico.

Este tipo de representação climática, feita através do TRY (ano climático de referência), permite analisar com mais propriedade os sistemas construtivos frente a uma ocorrência de seqüência climática representativa, através da avaliação do desempenho térmico por simulação computacional. Porém a falta do TRY e de medições com 24 horas diárias estabelece um direcionamento diferente das referências bibliográficas abordadas que utilizam esta metodologia para avaliação do desempenho térmico em edificações através de simulação.

A zona de conforto térmico de GIVONI (1992) para países de clima quente e em desenvolvimento, foi escolhida como representativa para pessoas adaptadas aos climas existentes no Brasil.

Para avaliação dos critérios de desempenho térmico das unidades habitacionais em questão, utilizou-se dos índices da zona de conforto térmica definida por GIVONI (1992) com temperaturas entre 18°C e 29°C.

Na avaliação dos elementos construtivos levantados nas unidades habitacionais em estudo, buscou-se referência na NBR 15220-3/2005. Desempenho Térmico de Edificações (Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social) e sua aplicabilidade para esta região de estudo.

A NBR 15220-3/2005 (Zoneamento Bioclimático Brasileiro), que faz recomendações construtivas específicas para cada Zona Bioclimática, foi utilizado como parâmetro na análise por prescrição dos dados construtivos coletados nas unidades habitacionais.

A instrumentação e metodologia utilizadas nas coletas de dados foram baseadas na ISO-7726, que em 1985 adotou as pesquisas de Fanger.

## **4.2. ESCOLHA DO MÉTODO PARA AVALIAÇÃO**

Através da revisão bibliográfica realizada, foram selecionados métodos para descrição e avaliação do desempenho térmico das unidades habitacionais em estudo.

O critério básico de estabelecimento dos limites dos parâmetros térmicos encontrados na análise das unidades residenciais buscou em outras bibliografias, a verificação de um limite de conforto específico para a tipologia de edificações em estudo, ou seja, habitação popular e de interesse social.

O método de avaliação por desempenho será utilizado para quantificar as horas de desconforto do período diurno em que houve coleta de dados, utilizando como parâmetro limite para qualificar os resultados obtidos da simulação das edificações, o relatório de saída do programa *Analysis Bio*, na plotagem das normais climáticas das residências e do clima externo inseridas manualmente com os dados do período medido. Nesta comparação, espera-se que o microclima dentro das unidades residenciais seja no mínimo igual ou inferior às temperaturas do clima externo.

A forma de avaliar por desempenho exige mais esforço para ser aplicada devido à necessidade de simulação do microclima da edificação. Mas a verificação é feita comparando as horas de desconforto quantificadas após a simulação. Sendo entendido como horas de desconforto aquelas que estão fora dos limites de conforto da Carta Bioclimática de Givoni. Dessa forma, a avaliação torna-se mais precisa e permite uma maior flexibilidade de opções para o projeto, podendo ser alcançada com opções mais viáveis técnica e economicamente.

O programa *ANALYSIS BIO* foi selecionado por plotar os dados de TBS e UR em uma carta psicrométrica, verificando os pontos inseridos dentro da zona de conforto de Givoni, definida entre 18°C a 29°C. Para uma análise mais completa são necessários, porém não obrigatória, a entrada de um arquivo climático horário de um ano inteiro. Mas na inexistência de um TRY para o clima de Cuiabá, e a incompatibilidade para gerar um arquivo climático com o Dia Típico, sendo as medições apenas no período diurno, nos rumos foram dados às referências encontradas.

Para que o programa plotasse os dados e fizesse uma análise das temperaturas e umidade relativa do ar, foram inseridos então, dados de entrada relativos ao período de um ano de medições realizadas. Em cada ambiente analisado: residência A, residência B e clima externo foram agrupadas junto à umidade relativa, as médias anuais das temperaturas máximas, mínimas e temperatura média. Por meio

desses grupos de dados, foram criadas três normais climáticas, uma para cada ambiente a ser plotado na carta bioclimática.

A avaliação por desempenho é feita através da verificação do cumprimento dos limites estabelecidos para as características térmicas do ambiente interno em relação ao externo.

Especificamente para este trabalho, esta característica é representada pela quantidade de horas de desconforto no ambiente interno, durante o período diurno verificado.

A avaliação por prescrição dos dados coletados servirá para verificação das exigências mínimas construtivas dos pacotes prescritivos para o clima de Cuiabá, fornecidos pela NBR 15220-3/2005 (Zoneamento Bioclimático Brasileiro).

A avaliação das frequências das temperaturas dentro da zona de conforto térmico considerada foi realizada a partir dos dados coletados de TBS nos respectivos períodos de cada estação do ano.

### **4.3. ZONA DE CONFORTO CONSIDERADA**

Para verificação do cumprimento dos limites dos parâmetros térmicos dos ambientes analisados, utilizou-se a zona de conforto GIVONI (1992) para países em desenvolvimento com clima quente.

Em sua zona de conforto GIVONI (1992) recomenda para o interior, temperaturas variando de 18 a 29°C, podendo-se admitir até 32°C para velocidades do ar de 2 m/s, em ambientes onde não haja trabalhos de escritório.

A umidade pode variar de 4 g/kg a 80% de UR no inverno e de 4 g/kg a 17 g/kg no verão.

De acordo com essas recomendações e com a caracterização climática da cidade de Cuiabá, já comentada acima, identificou-se a compatibilidade na utilização da mesma neste estudo.

## **4.4. LEVANTAMENTO DE DADOS PARA ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO ATRAVÉS DE MEDIÇÕES NO LOCAL**

### **4.4.1. Levantamento de Dados Climáticos Externos**

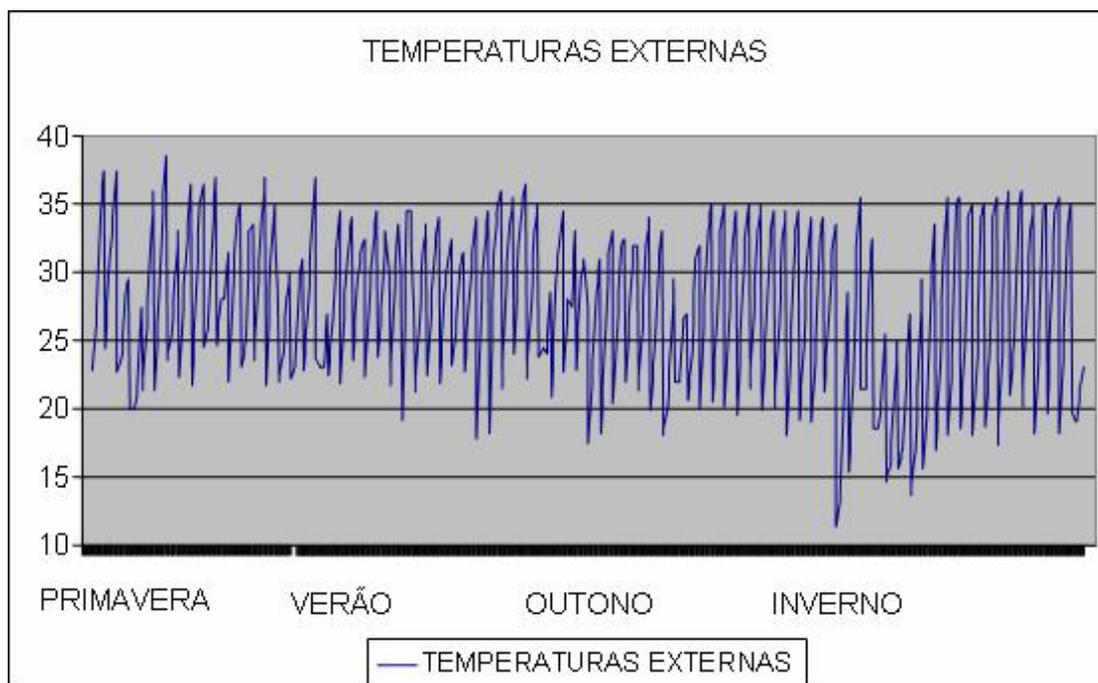
A coleta e o tratamento dos dados climáticos do ambiente externo são utilizados como visto na revisão bibliográfica, para a preparação dos arquivos climáticos a serem utilizados pelo programa simulador de desempenho térmico.

Diante dos novos rumos tomados para o sistema de tratamento dos dados climáticos, a análise do desempenho térmico das unidades residenciais foi feita para o período diurno, considerado o período mais crítico para o desempenho térmico das edificações considerando as características do clima local.

Em consequência da necessidade de confirmação dos resultados obtidos pelo método de análise por desempenho térmico, a interação do microclima medido internamente nas unidades residenciais com o meio externo se faz presente na análise comparativa com os dados climáticos da cidade de Cuiabá.

Estes foram coletados na página eletrônica do CPTEC - Centro de Previsão do Tempo e Clima, na Plataforma de Coleta de Dados. A disponibilidade de dados horários tornou possível a comparação simultânea com o clima externo.

Assim, os dados climáticos diurnos externos e internos das unidades residenciais foram analisados quanto à frequência de temperaturas e umidade dentro da zona de conforto de GIVONI (1992), quantificando assim as horas de conforto e desconforto naquele período. A Figura 3 mostra as temperaturas médias diárias diurnas externas nas estações do ano do período medido.



**FIGURA 3** – Média anual das temperaturas do período medido.

Fonte: CPTEC/INPE

#### 4.4.2. Levantamento de Dados Climáticos Internos

O levantamento de dados de desempenho e conforto térmico realizados *in loco*, foram efetuados nas duas unidades habitacionais selecionadas, durante 20 dias de cada uma das quatro estações do ano.

As medições tiveram como objetivo o levantamento de dados para análise do desempenho térmico das edificações dentro do clima da cidade de Cuiabá.

O levantamento de dados realizado, de forma geral, buscou informações sobre as características físicas de cada residência selecionada para o estudo, bem como as características térmicas dos elementos construtivos das mesmas perante o clima da cidade nas quatro estações do ano.

### 4.4.3. Identificação de Características das Tipologias Construtivas Seleccionadas

#### 4.4.3.1. *Seleção das Unidades Habitacionais para Estudo*

As duas tipologias construtivas seleccionadas foram: alvenaria tradicional em concreto armado, Residência A; e pré-moldada no sistema Jet Casa, Residência B.

A escolha partiu da concepção de que estes são os dois modelos que melhor representam o padrão de habitação popular utilizado pelo programa de habitação do atual governo.

Sendo este, um governo que teve expressiva participação na construção de habitações populares, o estudo das tipologias construtivas seleccionadas deve-se em razão da grande representatividade da mesma em comparação com as demais habitações populares existentes no estado, em detrimento de qualquer outro interesse.

#### 4.4.3.2. *Descrição das Unidades Seleccionadas para Estudo*

As edificações possuem materiais e áreas semelhantes, mas metodologias construtivas, projetos e orientações diferentes.

- 1) **Residência A:** orienta a fachada principal para Norte, possui padrão construtivo mínimo, com dois quartos, sala com cozinha, banheiro varanda na entrada principal e área de serviço coberta. Paredes com tijolos seis furos quadrados de 9,2x14,2x24,8 cm, reboco paulista de 1,6 cm e espessura total de parede de 12,4 cm em alvenaria comum de meia vez, pintura interna em látex na cor branca e externa acrílica fosca na cor azul diretamente sobre reboco, esquadrias metálicas com pintura esmalte na cor amarela, portas com venezianas não ventiladas, janelas principais com veneziana não ventilada, gradeadas por dentro e sem vidro, janela do banheiro em maxi-ar gradeada sem vidro, telhado de duas águas em madeira recoberta com telhas cerâmicas

de 1,0 cm de espessura sem forro e com caixa de água, piso em concreto desempenado tingido com xadrez na cor vermelha. Nas dimensões das características construtivas da residência A, o volume foi calculado incluindo o ático em razão da casa não possuir forro, no cálculo de envoltória as paredes protegidas das varandas não foram contabilizadas. Os resultados mostram os seguintes dados:

*Envoltória: 63,77 m<sup>2</sup>*

*Esquadrias: 8,21 m<sup>2</sup>*

*Aberturas ventilação: 5,91 m<sup>2</sup>*

*Volume: 177,70 m<sup>3</sup>*

*Área de cobertura: 54,60 m<sup>2</sup>*

*Inclinação do telhado: 39%*

*Área construída: 39,99 m<sup>2</sup>*

A Figura 4 mostra a fachada da Residência A e a Figura 5 visualiza a planta baixa da Residência A.



**FIGURA 4** – Fachada da Residência A.

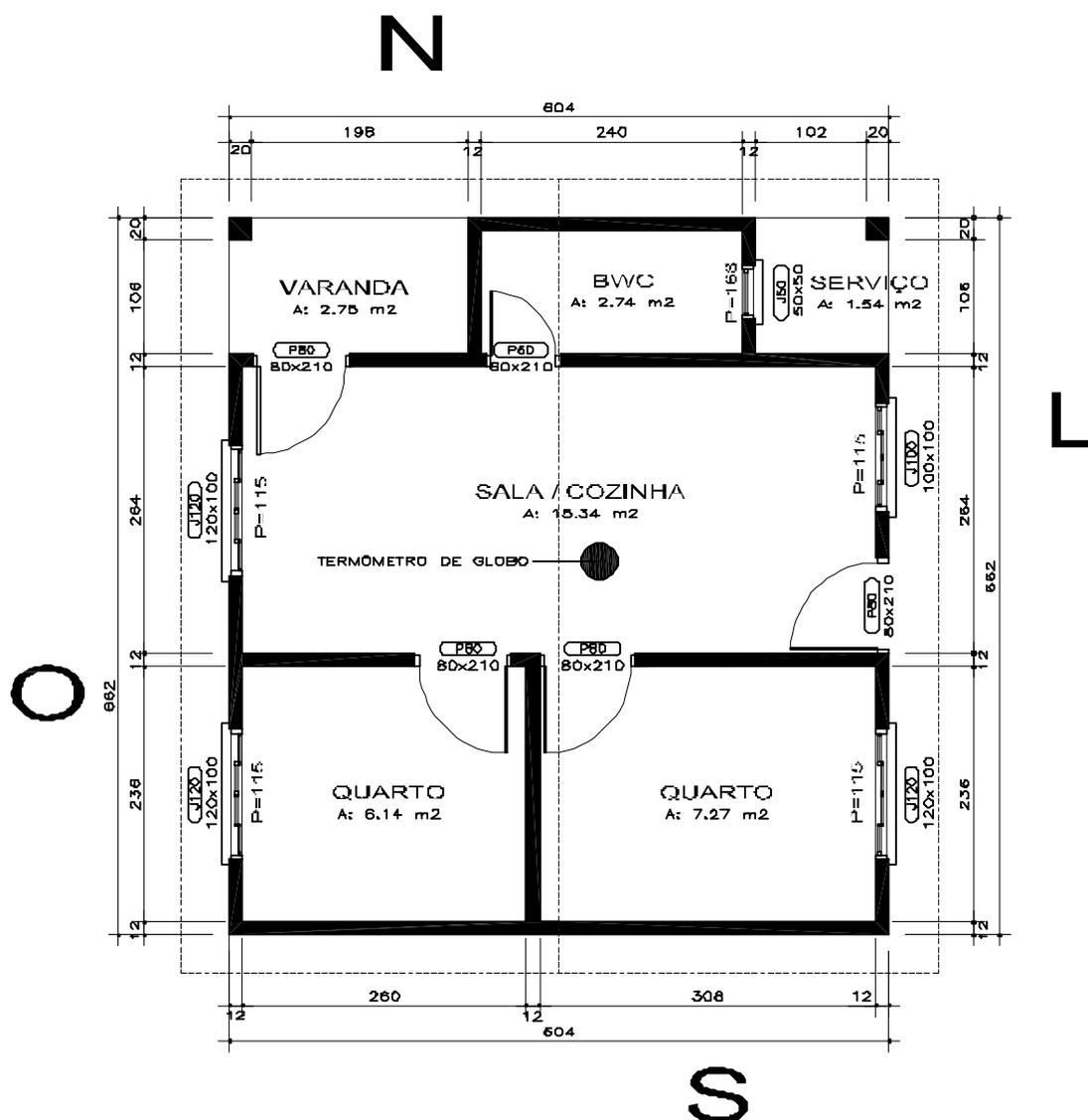


FIGURA 5 – Planta baixa da Residência A.

2) **Residência B:** orienta a fachada principal para Leste, possui padrão construtivo mínimo, com dois quartos, sala com cozinha, banheiro e área de serviço externa sem cobertura. Paredes com tijolos oito furos quadrados de 8,9x18,2x18,2 cm, reboco paulista de 1,2 cm e espessura total de parede de 11,3 cm em painéis verticais de alvenaria pré-moldada de meia vez com reboco paulista, intercalada com vigotas horizontais e verticais de concreto pré-moldado, pintura interna em látex na cor Amarela e externa acrílica fosca na cor amarela diretamente sobre reboco, esquadrias metálicas com pintura esmalte na cor marrom, portas com venezianas não ventiladas,

janelas principais com veneziana não ventilada, gradeadas por dentro e sem vidro, janela do banheiro basculante com vidro, telhado de duas águas em madeira recoberta com telhas cerâmicas de 1,0 cm de espessura com forro de madeira de 0,8 cm com caixa de água embutida, piso em concreto desempenado lixado. Nas dimensões das características construtivas da residência B abaixo, o volume foi calculado até o nível do forro de madeira, os resultados são:

*Envoltória: 70,28 m<sup>2</sup>*

*Esquadria: 7,91 m<sup>2</sup>*

*Aberturas ventilação: 5,71 m<sup>2</sup>*

*Volume: 86,55 m<sup>3</sup>*

*Área de cobertura: 52,78 m<sup>2</sup>*

*Inclinação do telhado: 48%*

*Área construída: 33,04 m<sup>2</sup>*

A Figura 6 mostra a fachada da Residência A e a Figura 7 visualiza a planta baixa da Residência A.



**FIGURA 6** – Fachada da Residência B.

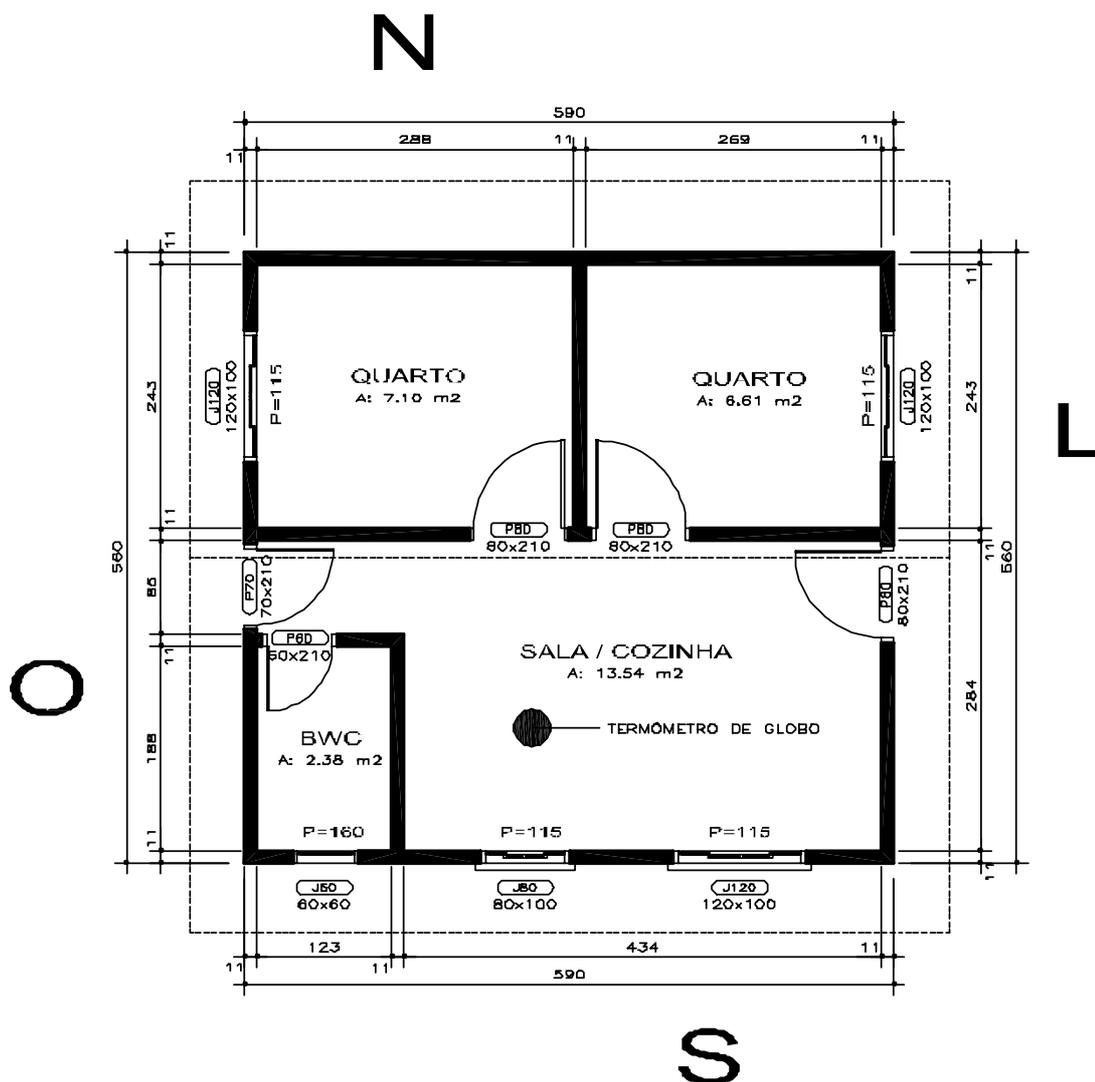


FIGURA 7 – Planta baixa da Residência B.

#### 4.5. COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada nas duas unidades habitacionais selecionadas, localizadas dentro do Parque de Exposições da ACRIMAT - Associação dos Criadores do Estado de Mato Grosso, que está inserida na zona urbana de Cuiabá.

As residências foram construídas em uma quadra coberta de gramíneas, com ventilação livre e insolação direta, fornecendo assim dados sem influência direta de

variáveis externas como microclimas, poluição, ilhas de calor e verticalização que podem alterar as medições reais.

Por serem protótipos construídos com a finalidade de serem modelos para exposição e divulgação dos sistemas construtivos, houve permissão para a realização dos estudos nas dependências do parque de exposição, estando porém, ambos os lados cientes das atividades corriqueiras existentes.

A coleta de dados foi feita de um modo direto, ou seja, os dados eram registrados manualmente pelos pesquisadores a cada hora do dia, durante todo o período de coleta nas duas residências simultaneamente.

Os aparelhos eram instalados e aclimatados uma hora antes das medições e desinstalados diariamente durante todos os 20 dias dos quatro períodos de coleta.

#### 4.5.1. Período de Coleta de Dados

As coletas ocorreram nas estações climáticas de anos distintos, 2004 e 2005, referentes ao período de desenvolvimento do estudo, conforme mostra a Tabela 1.

Considerando que as unidades residenciais não eram habitadas, não houve preocupações quanto a possíveis transtornos à vida doméstica, considerando-se somente a representatividade de cada estação do ano, a disponibilidade dos pesquisadores e equipamentos, as atividades do Parque de Exposição e da Secretaria de Estado de Infra-estrutura junto às unidades habitacionais.

**TABELA 1** – Período de coleta dos dados

<b>Coleta</b>	<b>Período</b>	<b>Estação</b>
1ª coleta	01/12/2004 a 21/12/2004	verão
2ª coleta	02/05/2005 a 21/05/2005	outono
3ª coleta	20/07/2005 a 08/08/2005	inverno
4ª coleta	03/10/2005 a 22/10/2005	primavera

#### 4.5.2. Quantidade de Dados Coletados

Em cada período de coleta de dados, foram feitos 20 dias de medições consecutivas. Para as quatro estações, obteve-se um total de oitenta dias de coletas durante um ano decorrido.

Diariamente, eram realizadas medições horárias, num período diurno das 8h às 18h, totalizando 11 horas dia.

Como o levantamento de dados foi realizado em conjunto a um projeto mais abrangente de pesquisa do programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, foi possível realizar as medições simultaneamente nos dois protótipos.

Portanto, a cada hora eram coletados 36 dados. Somando para as onze horas de medição do dia, 396 dados. Para os vinte dias do período de coleta, um total de 7.920 dados.

Durante todo o período de coleta de dados do microclima interno das duas unidades residenciais, foram obtidos 31.680 dados medidos manualmente.

#### 4.5.3. Tipos de Dados Coletados

O objetivo das medições *in loco* foi o levantamento de dados para análise do desempenho térmico das edificações dentro do clima da cidade de Cuiabá. Portanto eram necessárias variáveis climáticas capazes de caracterizar o microclima dentro de cada unidade habitacional estudada.

Para que fosse possível a análise do desempenho térmico das edificações, no centro de cada cômodo referencial de cada unidade habitacional, foram coletadas as seguintes variáveis:

- 1) Temperatura de bulbo seco (temperatura do ar);
- 2) Temperatura de bulbo úmido (temperatura do ar);
- 3) Temperatura radiante (temperatura do ar);
- 4) Temperatura pontual interna e externa das paredes de envoltório, forro, telhado, piso e dois pontos de solo externos médio entre as casas (temperatura da superfície);

5) Velocidade do vento interna e externamente (velocidade do ar).

#### 4.5.4. Equipamentos Utilizados na Coleta de Dados

Para medir as temperaturas internas foram utilizados termômetros digitais de globo modelo TBS 100 Digital da marca INSTRUTHERM®, fixos em cada residência. Cada aparelho possui: um termômetro de bulbo seco, um termômetro de bulbo úmido e um termômetro de globo, sendo que cada sensor faz medições instantâneas de cada variável (Figura 8).



FIGURA 8

**FIGURA 8** – Termômetro digital de globo

As especificações técnicas do aparelho são:

- 1) Display de cristal líquido (LCD) de 3 1/2 dígitos;
- 2) Escala: - 10 + 150°C;
- 3) Resolução: 0.1°C;
- 4) Precisão:  $\pm 0.1^\circ\text{C} \pm$  último dígito significativo;
- 5) Indicador e sensores em um único aparelho;

- 6) Taxa de amostragem: 3 / seg.;
- 7) Com congelamento de leitura;
- 8) Dimensões da mala: 340 x 290 x 190 mm;

#### SENSORES:

- 9) Globo: Esfera de cobre com diâmetro de 6" (152,4mm), com haste central ;
- 10) Búlbo úmido: haste c/ copo de 100ml e cordão de pano;
- 11) Búlbo seco: haste para temperatura ambiente;
- 12) Obs.: As hastes tem diâmetro de 4mm x 150mm de comprimento; São construídas em Pt-100 classe A, norma DIN 43760;
- 13) Temperatura de operação: 0 a 75°C;
- 14) Alimentação: 1 bateria de NiCa recarregável com recarregador embutido ou rede de 100 a 240 VCA;
- 15) Dimensões / Peso: 254 × 102 × 51 mm / 3Kg;
- 16) Fornecido: 3 hastes (sensores), esfera de cobre, frasco com água destilada, cordão de pano para bulbo úmido, cabo para rede 100 a 240VCA, bateria recarregável, mala especial para transporte, cordão de pano MOD. CP-150, manual de instruções e estojo para transporte Mod. ES – 04.

Para medidas pontuais das temperaturas dos elementos de envoltória, foi utilizado um termômetro infravermelho digital, modelo TI-810, código 04062, da marca INSTRUTHERM®. O aparelho mede a temperatura pontual e instantânea dos elementos construtivos (Figura 9).



**FIGURA 9** – Termômetro infravermelho digital

As especificações técnicas do aparelho são:

- 1) Display de cristal líquido com iluminação;
- 2) Aplicações: sistemas metalúrgicos, processos de vidro, alimentícios, energia elétrica, medicamentos, plásticos, borrachas, fábricas de papel, impressões, tabaco, etc...;
- 3) Escala:  $-25^{\circ}$  a  $1200^{\circ}\text{C}$  /  $-13^{\circ}$  a  $2192^{\circ}\text{F}$ ;
- 4) Precisão:  $\pm 1\%$ ;
- 5) Resolução:  $1^{\circ}\text{C}$ ;
- 6) Emissividade: 0.10 - 1.00 "(Ajustável)";
- 7) Coeficiente de distância: 50:1;
- 8) Resposta espectral: 8 a  $14\mu\text{m}$ ;
- 9) Tempo de resposta:  $< 500\text{mS}$ ;
- 10) Valor máximo, mínimo e médio;
- 11) Alarme de alerta;
- 12) Temperatura de operação: - 18 a  $50^{\circ}\text{C}$ ;
- 13) Alimentação: 1 bateria de 9V;
- 14) Dimensões / Peso: 180 x 180 x 51mm / 400g;
- 15) Fornecido: manual de instruções.

A velocidade do vento dentro e fora dos ambientes foi medida através de um Anemômetro de Fio Quente de Baixa Velocidade, da marca DANTEC, programado para medir a velocidade do vento em uma média de 60 segundo. Ressalta-se a escolha deste aparelho pela sensibilidade e precisão dos dados em ambientes internos, conforme mostra a Figura 10.



**FIGURA 10** – Anemômetro de fio quente.

Com a coleta dos dados foi possível realizar a análise e verificar a influência da temperatura para o conforto térmico nas edificações populares.

## 5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

### 5.1. DADOS PARA ANÁLISE POR PRESCRIÇÃO

A caracterização térmica das unidades habitacionais estudadas foi feita através da determinação dos parâmetros de transmitância térmica, inércia térmica e absortividade solar  $\alpha$  das paredes, coberturas, janelas e portas de cada unidade habitacional. As áreas de abertura para ventilação também foram calculadas e relacionadas com as áreas de construção de cada unidade habitacional.

Os dados das características térmicas construtivas coletadas foram utilizados como dados de entrada para o programa TRANSMITÂNCIA V1.0, desenvolvido pelo LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética de Edificações/UFSC.

O relatório de saída é apresentado na Tabela 2:

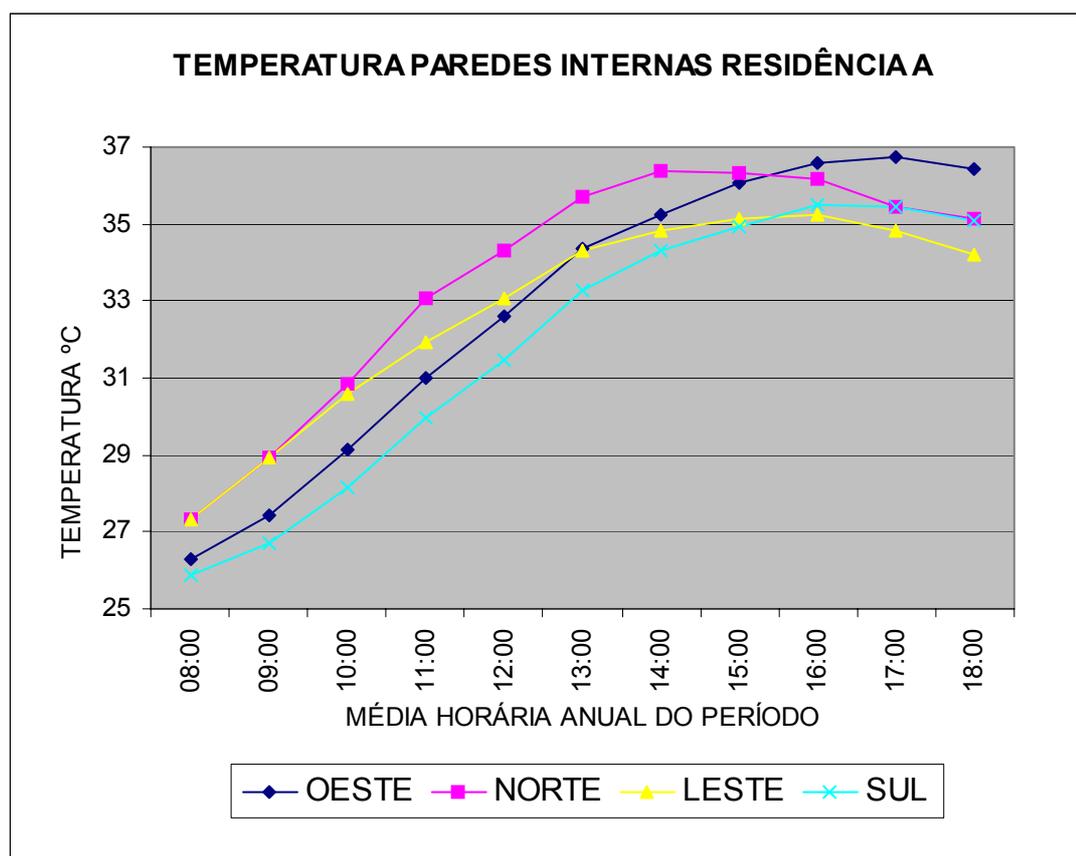
**TABELA 2** – Características térmicas e taxas de envoltório das residências

Tipo	Resid. A	Resid. B
Taxa área uso/Volume ( $m^2/m^3$ )	0.22	0.38
Taxa área cobertura/Área envoltório ( $m^2/m^2$ )	0.85	0.75
Taxa área esquadrias/área de piso	0.20	0.24
“U” Transmitância térmica parede ( $W/m^2 \cdot K$ ).	2.38	2.45
“Ct” Capacidade térmica parede ( $KJ/m^2 \cdot K$ )	160	131
Atraso térmico parede (horas)	3.6	3.2
“U” Transmitância térmica cobertura ( $W/m^2 \cdot K$ ).	4.55	2.00
“Ct” Capacidade térmica cobertura ( $KJ/m^2 \cdot K$ )	18	32
Atraso térmico cobertura (horas)	0.3	1.3
Fator Solar Parede (FS)	6.1	2.7
Fator Solar Cobertura (FS)	13.6	13.6

Para confirmar o levantamento dos elementos construtivos de envoltória para análise por prescrição, foram medidas as temperaturas da superfície das paredes através do termômetro digital infravermelho. Os pontos marcados nas paredes correspondem à direção Norte, Sul, Leste e Oeste e foram medidos interna e externamente a cada hora.

As paredes de mesma orientação tiveram igual marcação nas duas residências averiguadas.

Quanto à residência A, a Figura 11 mostra a média horária anual, ou seja, a média dos períodos em cada estação, das temperaturas medidas na face interna das paredes de envoltória.

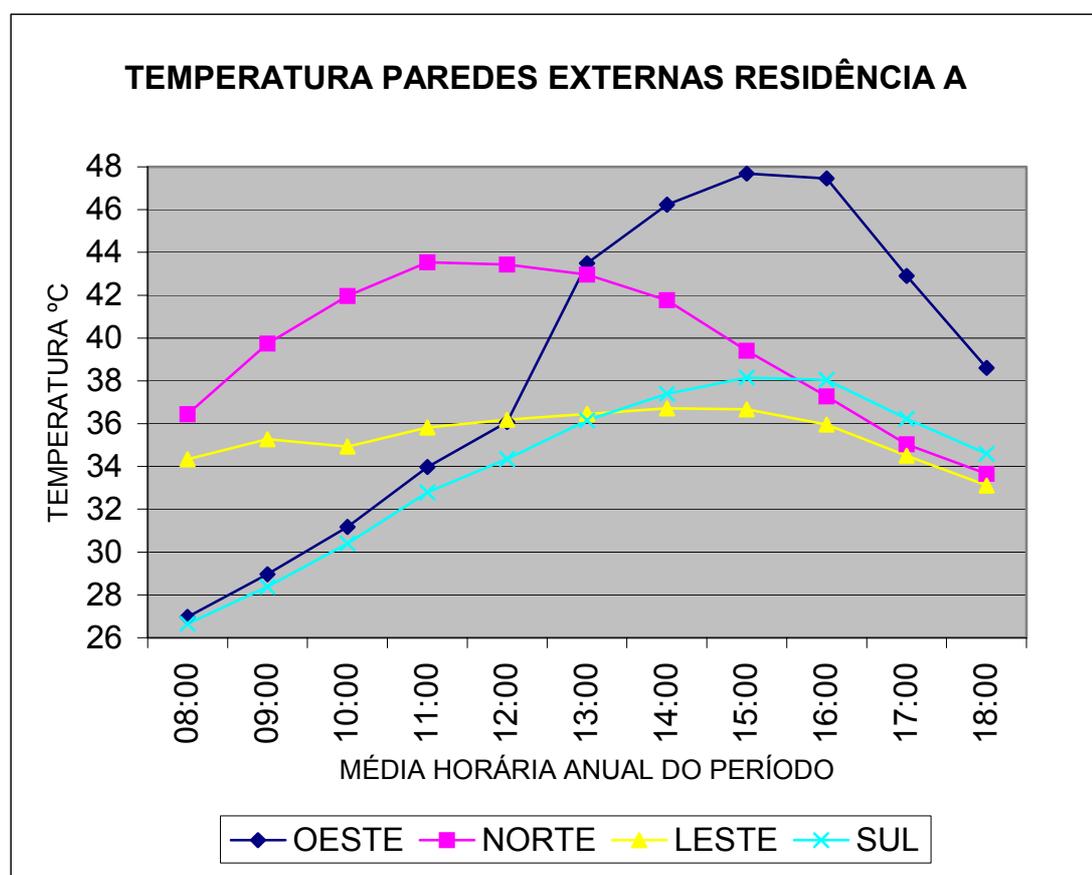


**FIGURA 11** – Média horária anual das temperaturas nas faces internas das paredes da Residência A.

O comportamento demonstra que o ganho de calor é equivalente a incidência solar em cada uma delas. Em média, durante o período diurno, as temperaturas das

paredes na face interna de envoltório variam aproximadamente 10°C. Nota-se um aumento superior de temperatura das faces norte e oeste em relação às demais, e ao final do fotoperíodo, inicia-se a queda na temperatura de todas as faces.

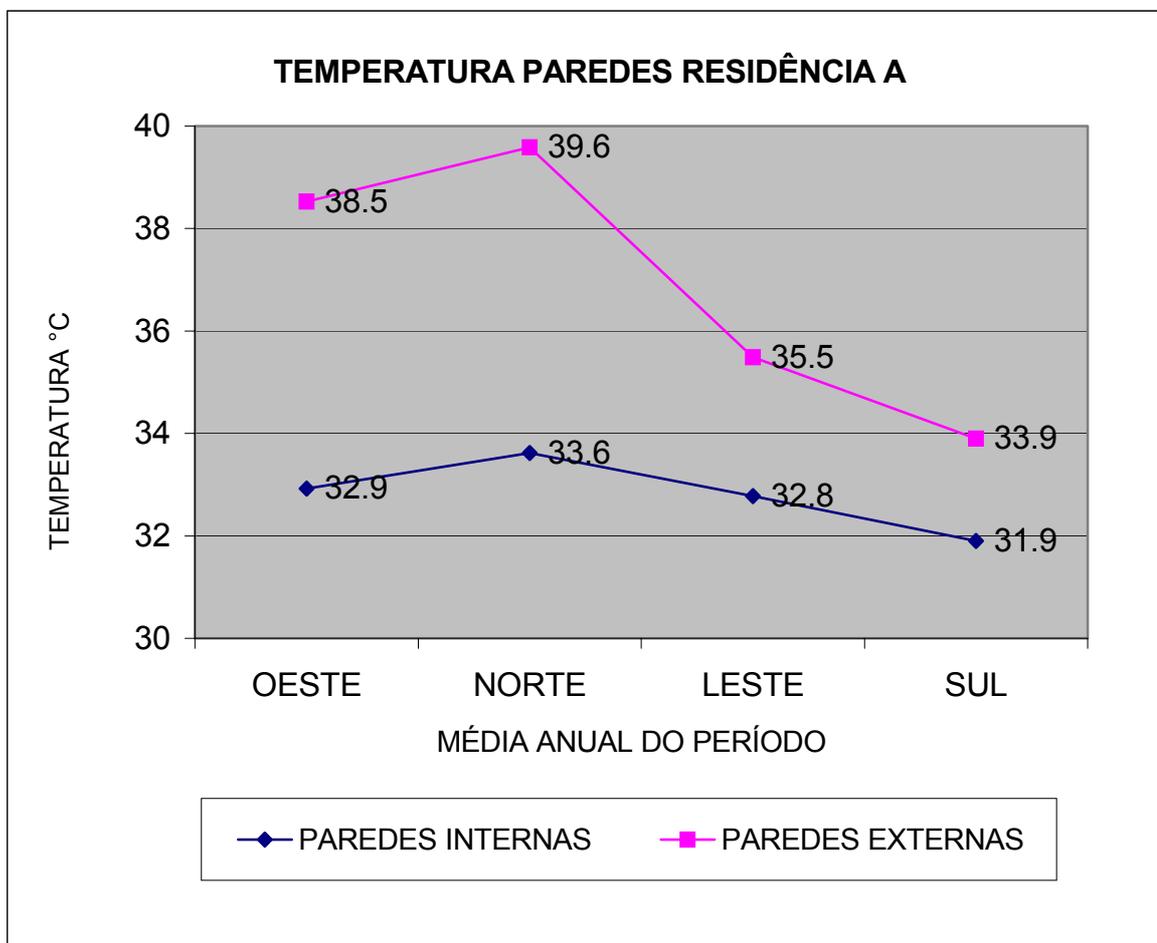
Na Figura 12 são expostas as médias horárias anual das temperaturas medidas na face externa da residência A. Nota-se que a incidência solar demanda em média de 8 a 10°C na elevação das temperaturas das faces de orientação norte e leste, nas primeiras horas do dia.



**FIGURA 12** – Média horária anual das temperaturas nas faces externas das paredes da Residência A.

Constata-se que a temperatura varia diretamente com a rotação solar sendo a face de orientação oeste a de maior acúmulo de incidência de radiação solar demonstrado no pico da média horária exponencializado em grande parte do período diurno. As paredes norte e leste na face externa possuem ao final do período diurno, temperaturas menores que no início de incidência solar.

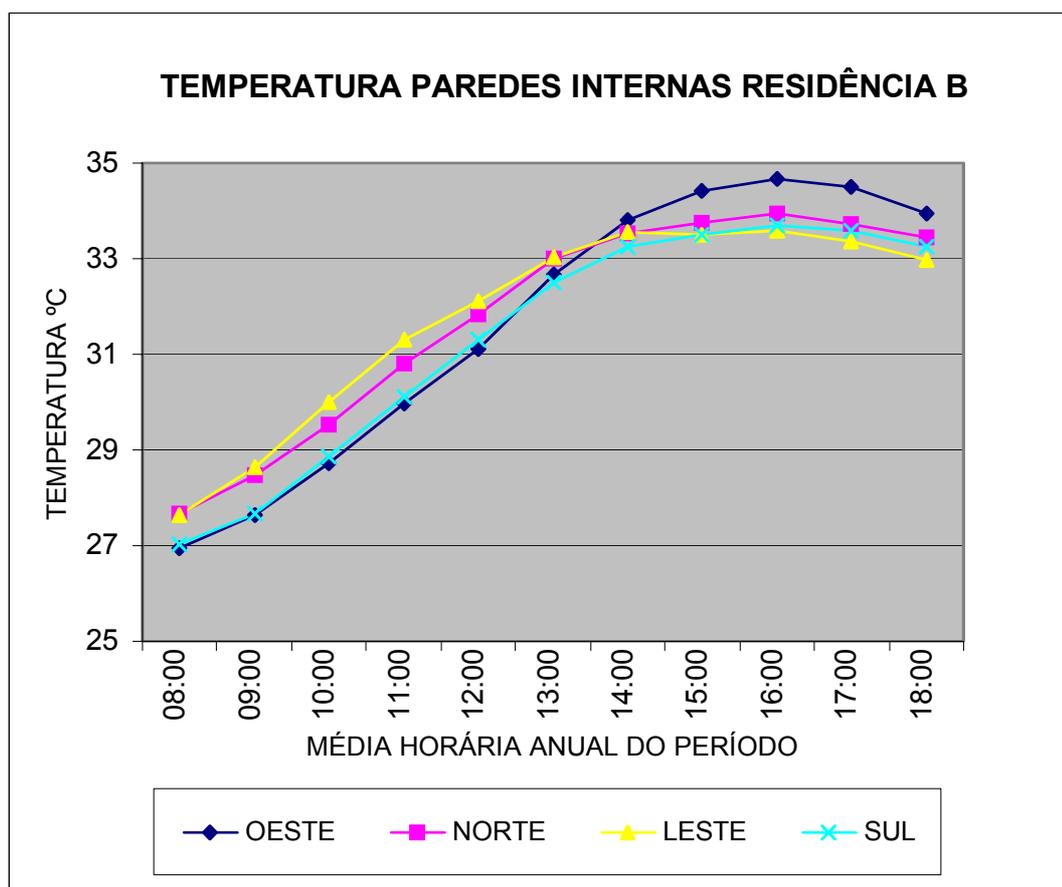
São apresentadas na Figura 13, as médias anuais absolutas das temperaturas nas faces internas e externas, nas diferentes orientações.



**FIGURA 13** – Média anual das temperaturas nas faces externas e internas das paredes da Residência A.

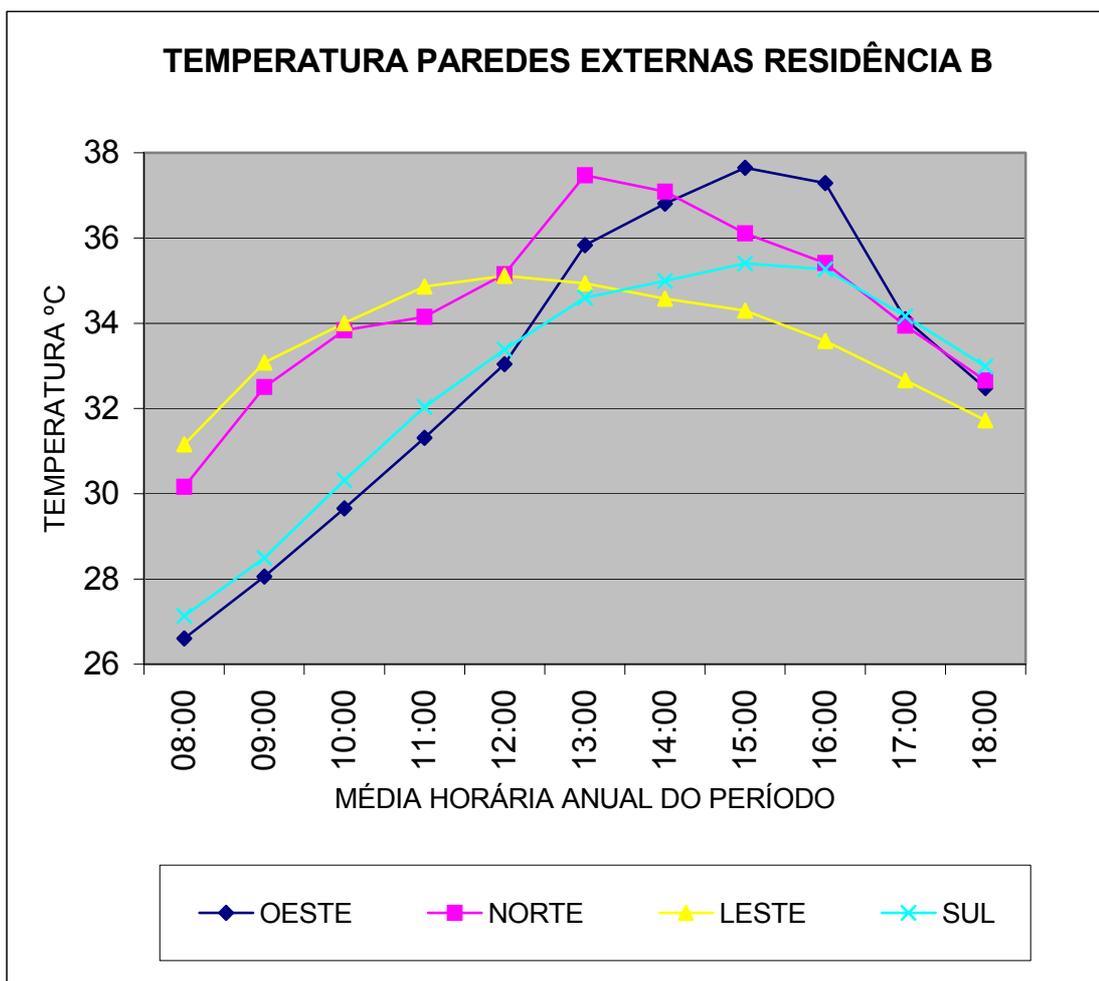
Comparando-se as duas faces da residência A, externa e interna, nota-se que em média, a parede de orientação norte possui maior amplitude na variação das temperaturas entre os dois meios, 6°C aproximadamente. Já a parede de orientação sul, como esperado, possui menor variação nas temperaturas internas e externas, 2°C apenas. Observou-se que as diferenças de temperatura nas paredes internas e externas são grandes, a baixa inércia térmica do envelope associado ao alto índice de FS no valor de 6,1 devida à cor externa azul escuro, não foram suficientes para gerar um atraso térmico esperado.

Na residência B, a variação das temperaturas internas das faces de diferentes orientações é menor que na residência A. Ao longo do período, a variação das temperaturas nas faces internas de envoltória é de aproximadamente 7°C variando de acordo com a posição solar (Figura 14).



**FIGURA 14** – Média horária anual das temperaturas nas faces internas das paredes da Residência B.

Na Figura 15 são expostas as médias horárias anual das temperaturas medidas na face externa da residência B.



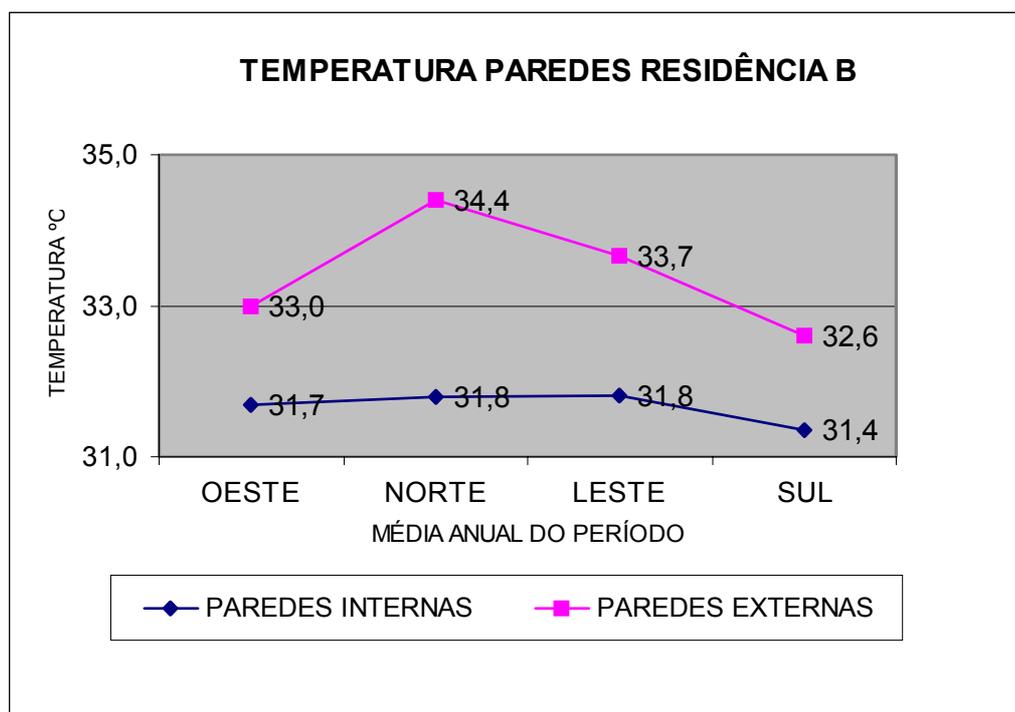
**FIGURA 15** – Média horária anual das temperaturas nas faces externas das paredes da Residência B.

Nota-se que a incidência solar demanda em média de 4 a 5°C na elevação das temperaturas das faces de orientação norte e leste, nas primeiras horas do dia.

Pode-se verificar em todas as paredes de diferentes orientações, as temperaturas das faces externas no início do período são menores que no final do período de insolação e confirmando a posição leste com a mais homogenia.

A variação de temperatura é normal acompanhando a posição do sol, porém com discrepância menor que na residência A.

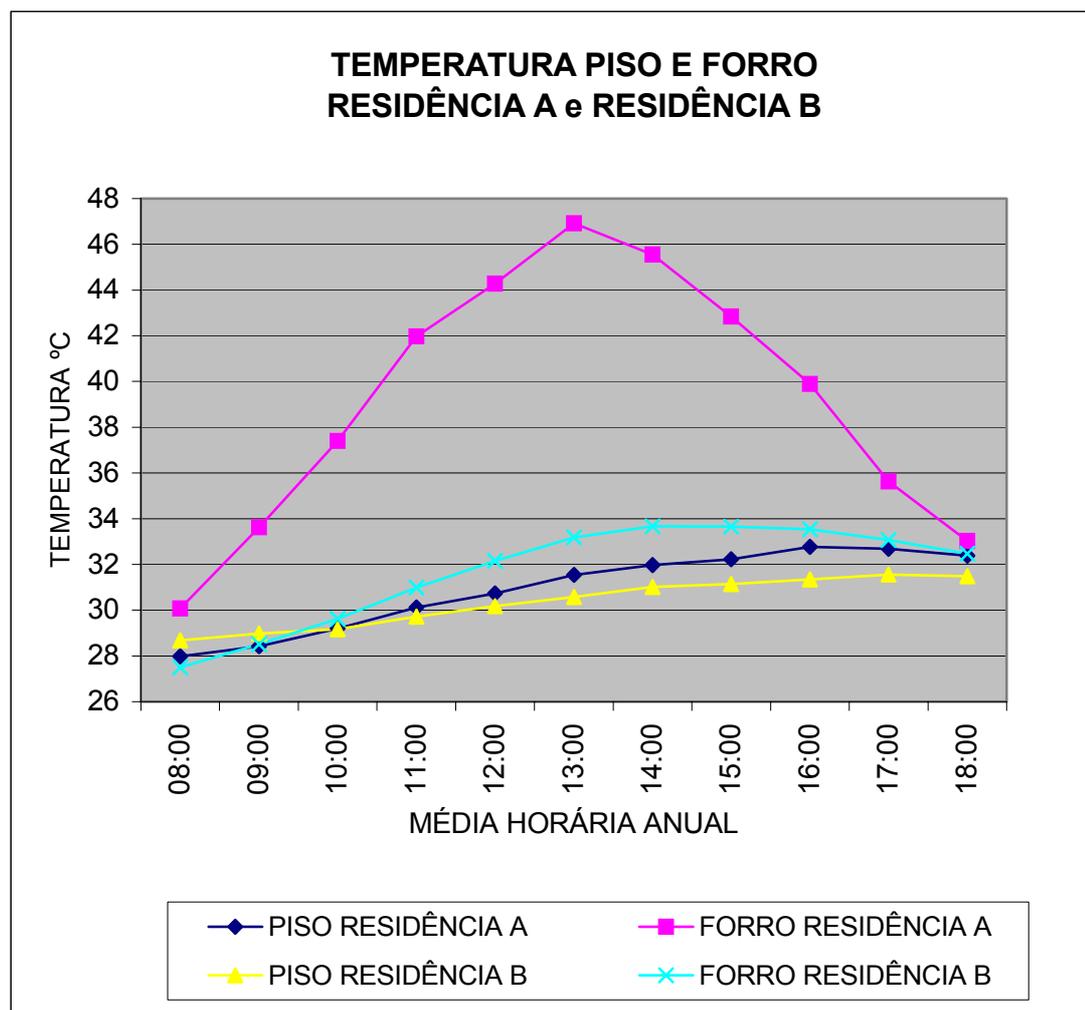
Na Figura 16 são comparadas as médias anuais absolutas das temperaturas nas faces internas e externas, nas diferentes orientações.



**FIGURA 16** – Média anual das temperaturas nas faces externas das paredes da Residência B.

Nas faces externa e interna da residência B, a parede de orientação norte possui maior amplitude na variação das temperaturas entre os dois meios, sendo 2,6°C a média anual. Na parede de orientação sul, apenas 1,2°C é a média de variação das temperaturas das faces internas e externas, podendo-se observar uma diferença de temperatura muito menor que na residência A. O envelope da Residência B não é melhor, pelo contrário apresenta resultados inferiores como pode ser verificado na Tabela 1, o melhor resultado da Residência B neste quesito reflete o baixo índice de FS no valor de 2,3 em razão da cor externa ser amarela.

A Figura 17 mostra a média horária anual da variação de temperatura nos elementos envoltórios de cobertura e piso nas duas residências. Assim, podem ser comparados o comportamento desses elementos durante todo o período de medição.



**FIGURA 17** – Média anual das temperaturas de piso e forro nas Residências A e B.

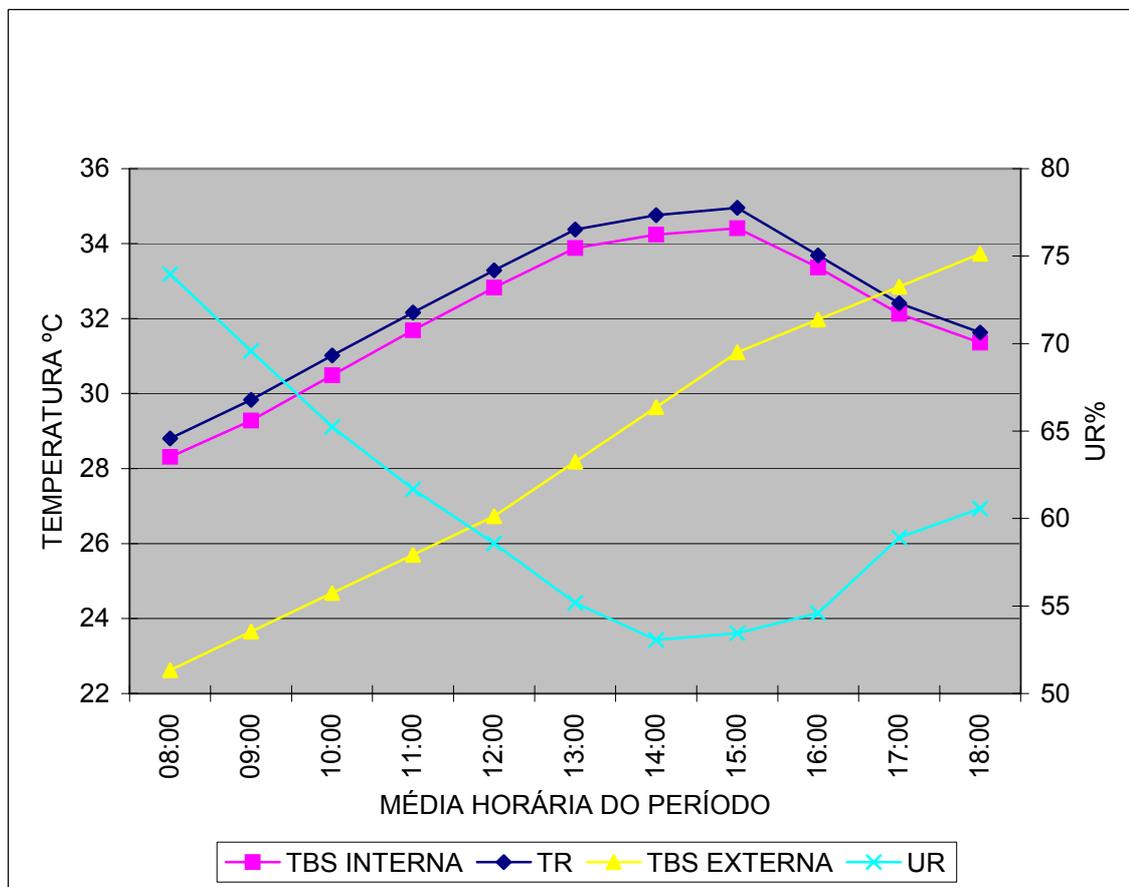
Todos os elementos têm a temperatura acrescida até o final do período de insolação. Nota-se que as temperaturas dos elementos de cobertura são mais elevadas que os elementos de piso na maior parte do tempo. Porém, o pico no elemento de cobertura da residência A pode ser compreendido pela inexistência de forro, sendo a temperatura medida na face interna da telha cerâmica. A temperatura mais elevada do piso da Residência A demonstra o ganho de calor através das esquadrias.

## 5.2. DADOS PARA ANÁLISE POR DESEMPENHO

### 5.2.1. Dados de Temperatura e Umidade Relativa

Serão apresentados neste item, os dados do levantamento do microclima interno em cada uma das residências, em virtude da importância destes dados, os mesmos serão mostrados nos gráficos abaixo individualmente a cada estação. Serão também apresentados dados que demonstrem o comportamento de ambas através de médias horárias para o ano todo.

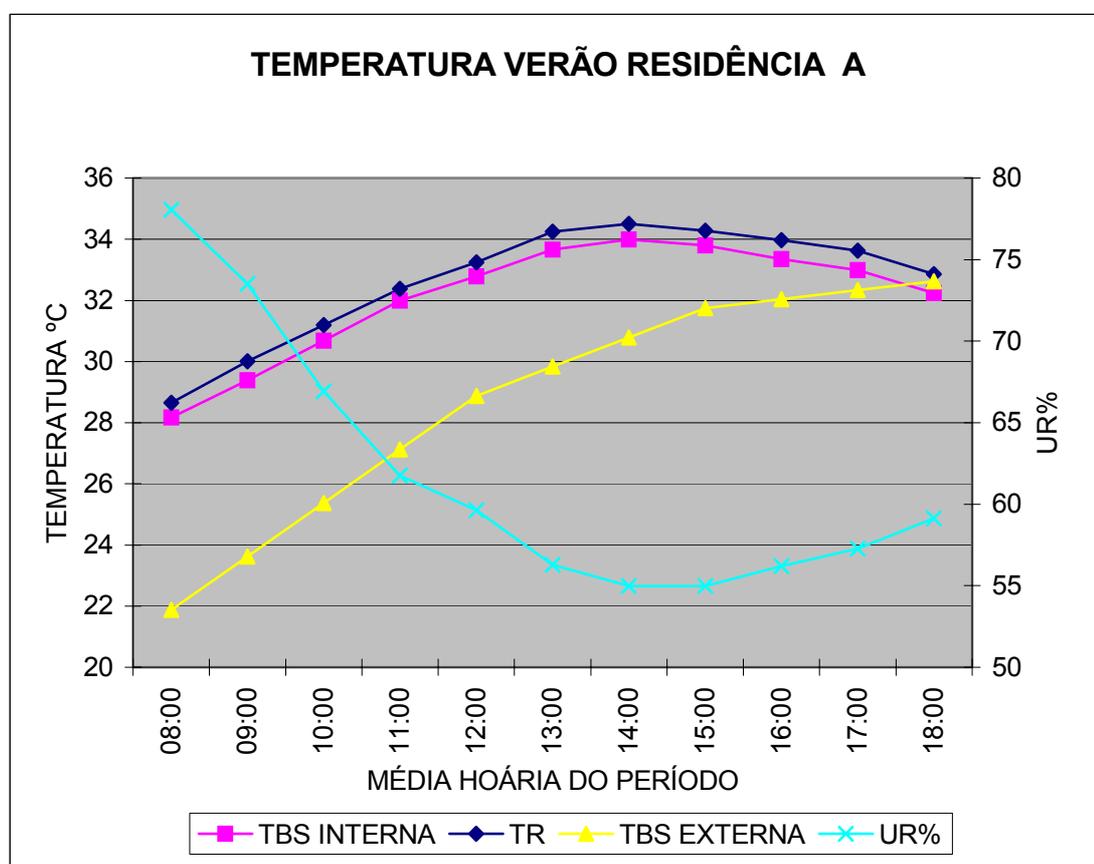
Para a residência A, no período de primavera medido, são apresentadas as médias horárias de TBS interna e externa (temperatura de bulbo seco dentro e fora da residência), TR (temperatura radiante interna) e UR (umidade relativa interna), como mostra a Figura 18.



**FIGURA 18** – Média horária das temperaturas e umidade relativa na Residência A, durante a primavera, período de 03/10/2005 a 22/10/2005.

Já nas primeiras horas do dia a temperatura externa é inferior que a temperatura interna, somente no final do período vespertino a situação se inverte. A TBS externa varia de 22 a 33°C aproximadamente. A TBS INTERNA varia de 28.5 a 35°C, com o ponto mais elevado às 15h do dia. A temperatura radiante acompanha a TBS interna e esta sempre alguns décimos de graus mais elevada. A umidade relativa que se comporta de maneira inversa à temperatura, varia em média de 53 a 74% durante o dia.

A Figura 19 diz respeito ao período de verão medido na residência A:

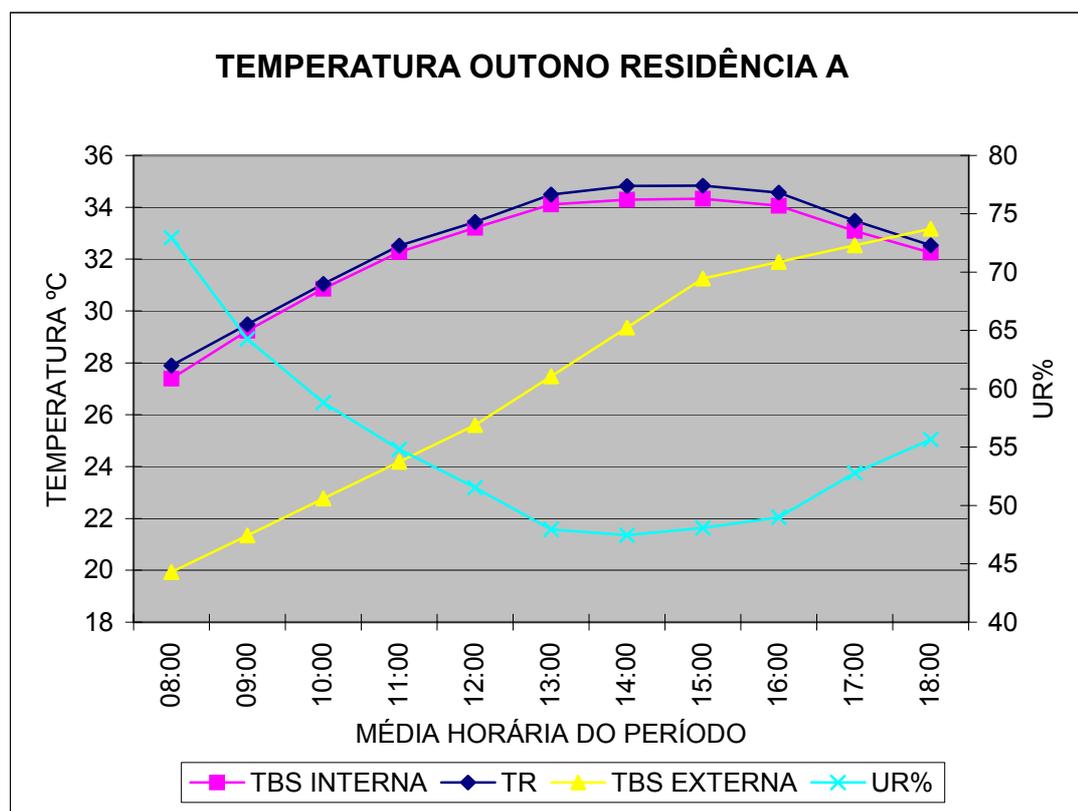


**FIGURA 19** – Média horária das temperaturas e umidade relativa na Residência A, durante o verão, período de 01/12/2004 a 21/12/2004.

Nota-se que a temperatura externa é menor em 6°C aproximadamente em relação à temperatura interna da residência no início do período matutino. Ao final do dia, elas se equivalem, sendo que durante o período, a TBS interna varia de 28 a 34°C, e a TBS externa de aproximadamente 22 a 32°C. Nesta estação, a temperatura

radiante também se mantém superior a TBS interna durante todo o dia. A umidade relativa varia na média de 55 a 78% entre as 8 e 18h do dia.

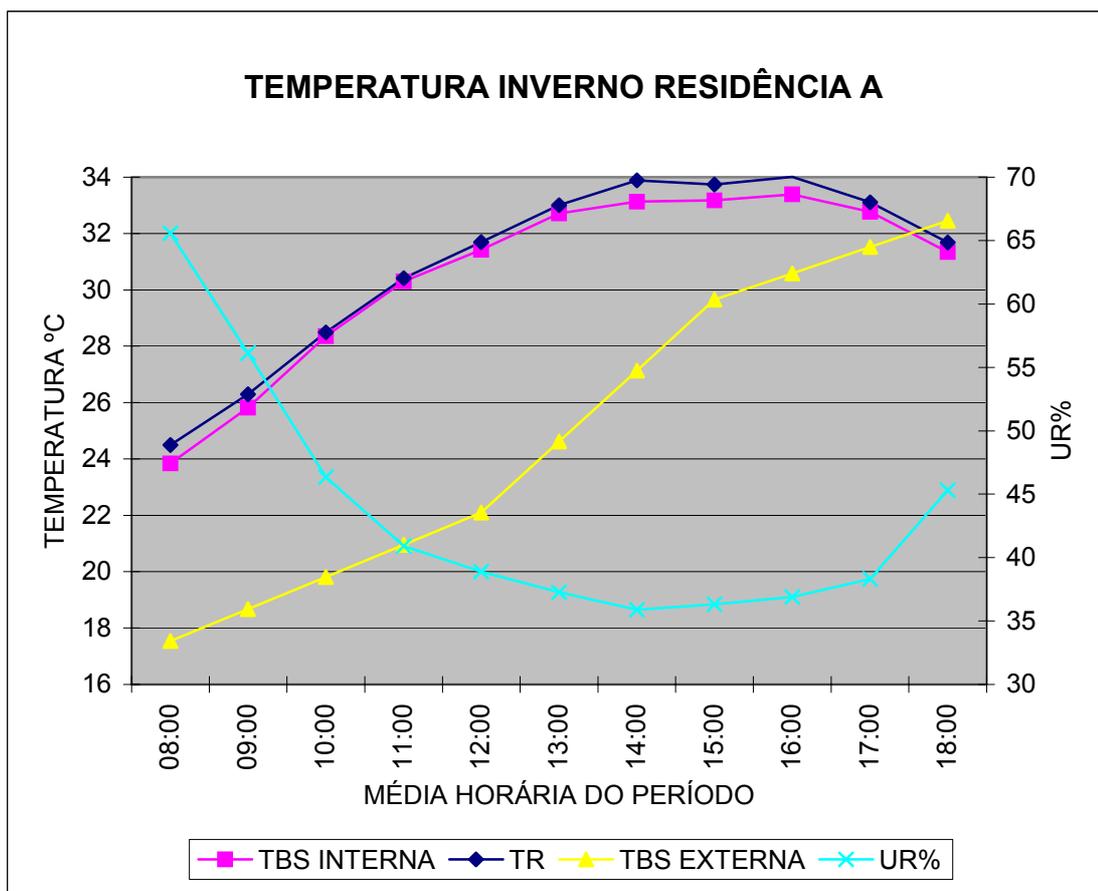
A Figura 20 informa as variações climatológicas observadas na residência A:



**FIGURA 20** – Média horária das temperaturas e umidade relativa na Residência A, durante o outono, período de 02/05/2005 a 21/05/2005.

Neste período de medição, pode-se averiguar que às 8h ainda a temperatura externa é em média 7°C menor em relação à temperatura dentro da residência. Ao final do dia elas podem ser consideradas equivalentes, sendo que a TBS interna sofreu variação de 27 a 34,5°C, e a TBS externa de aproximadamente 20 a 33°C. Nesta estação, a temperatura radiante possui algumas horas de equivalência com a TBS interna, mas ainda se mantém mais elevada na média. A umidade relativa varia em média de 48 a 73% no período diurno.

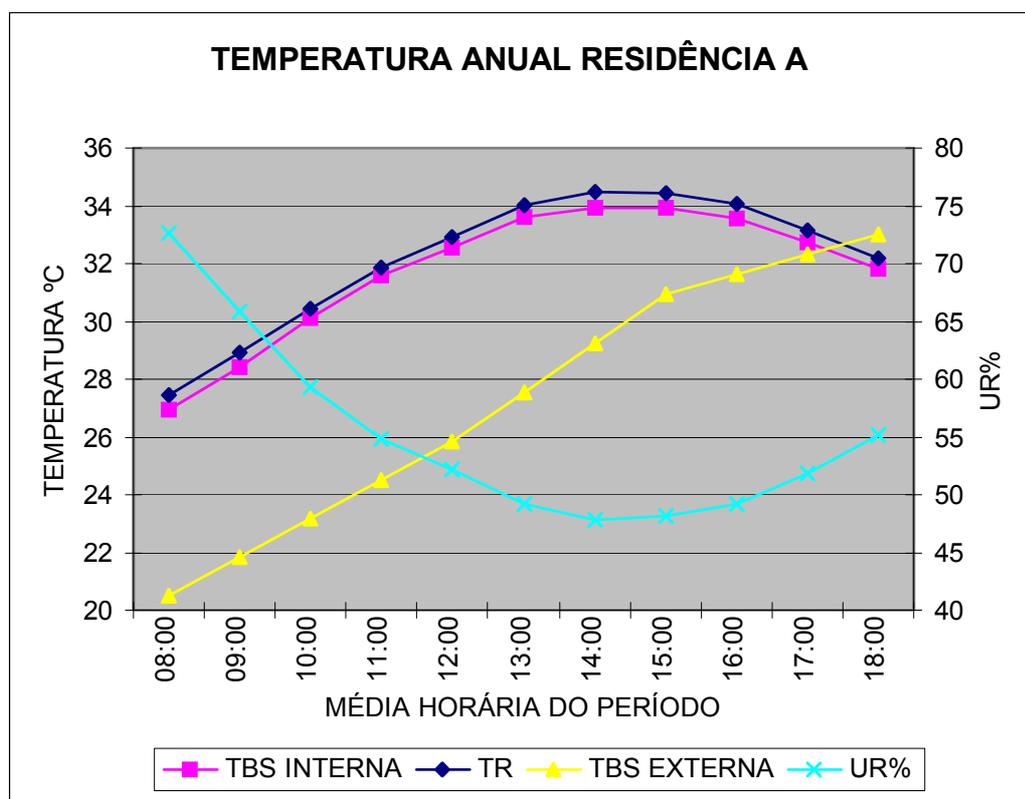
A Figura 21 mostra o comportamento médio das variáveis climatológicas observadas na estação de inverno durante as medições, na residência A:



**FIGURA 21** – Média horária das temperaturas e umidade relativa na Residência A, durante o inverno, período de 20/07/2005 a 08/08/2005.

Neste período, no início da manhã, a temperatura externa é em média  $7,5^{\circ}\text{C}$  menor que a temperatura dentro da residência, a maior diferença no decorrer do ano. Ao final do dia, as temperaturas nos dois meios são semelhantes, sendo a variação da TBS interna de  $24$  a  $33^{\circ}\text{C}$ , e a TBS externa de aproximadamente  $17$  a  $32^{\circ}\text{C}$ . Nesta estação, a temperatura radiante também possui algumas horas de equivalência com a TBS interna, mas ainda se mantêm mais elevadas na média. A umidade relativa varia em média de  $36$  a  $66\%$  no período diurno.

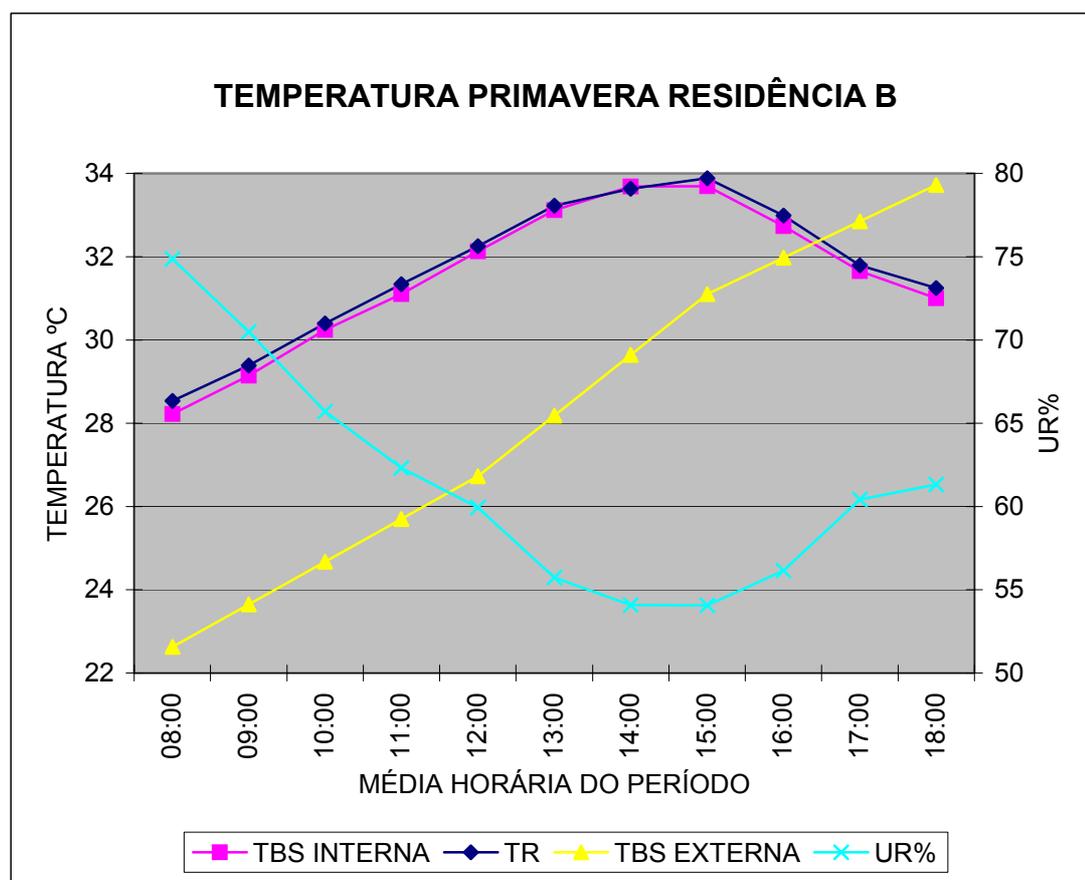
Para uma visão mais ampla do desempenho térmico na residência A no decorrer do ano, a Figura 22 demonstra a média horária anual das condições térmicas e de umidade observadas no período:



**FIGURA 22** – Média horária anual das temperaturas e umidade relativa na Residência A.

Em média, durante o ano de medição, pode-se averiguar a temperatura externa é 7°C menor em relação à temperatura dentro da residência A, nas primeiras horas do dia. Ao final do dia a situação se inverte com pequena diferença entre elas. A TBS interna varia em média de 27 a 34°C, e a TBS externa de aproximadamente 20.5 a 33°C. Na média anual, a temperatura radiante é sempre superior que a TBS interna em alguns décimos de graus, demonstrando segundo BARBOSA (1997) a ineficiência do envoltório mostrando a radiação transmitida. A umidade relativa varia em média de 47 a 73% no ano todo.

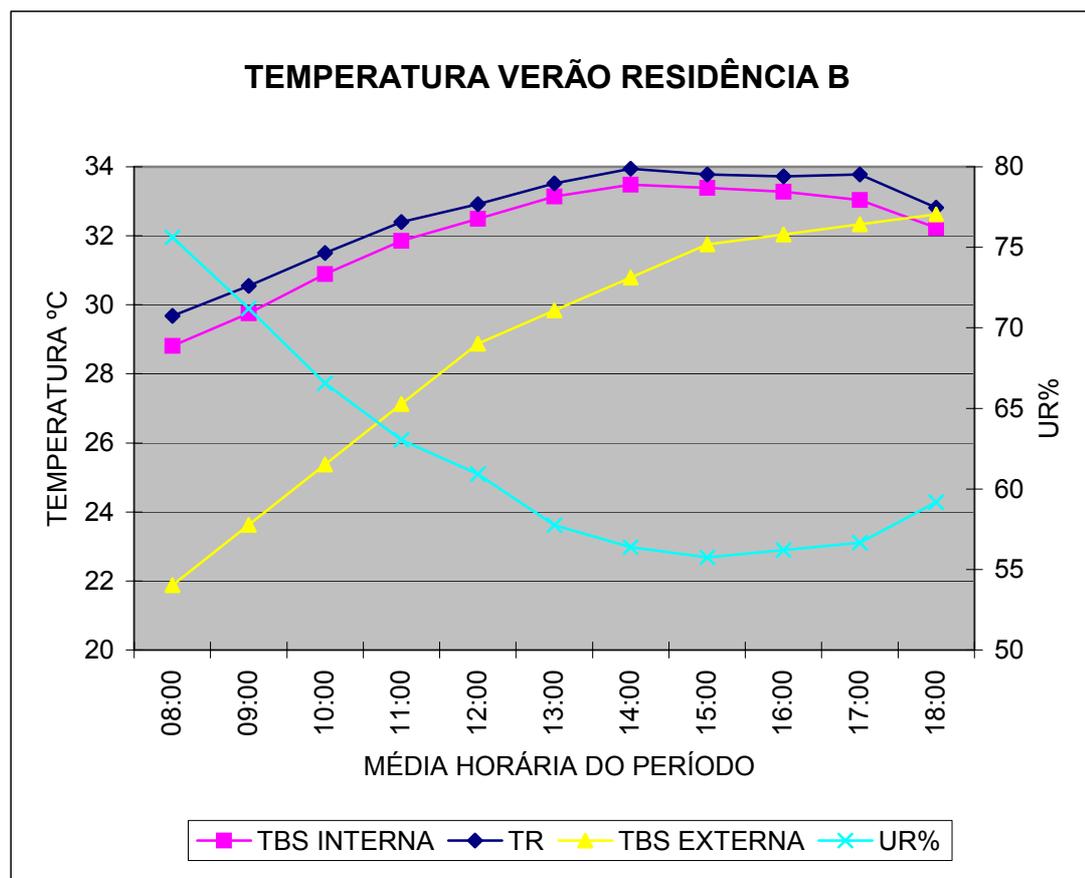
Na Figura 23 estão apresentados os dados obtidos durante o levantamento do comportamento do clima externo em comparação com o microclima interno a residência B, com média horárias de TBS interna e externa (temperatura de bulbo seco dentro e fora da residência), TR (temperatura radiante interna) e UR (umidade relativa interna), como mostra o gráfico relativo ao período de primavera:



**FIGURA 23** – Média horária das temperaturas e umidade relativa na Residência B, durante a primavera, período de 03/10/2005 a 22/10/2005.

Na estação da primavera, durante as primeiras horas do dia a temperatura externa é em média 6°C menor que a temperatura dentro da residência B. Ao final do dia a situação se inverte em 2°C. A TBS interna varia de 28.5 a 34°C, e a TBS externa varia aproximadamente de 22.5 a 33.5°C. Nesta estação, a temperatura radiante é ligeiramente superior a TBS interna. A umidade relativa varia em média de 54 a 75% no período diurno.

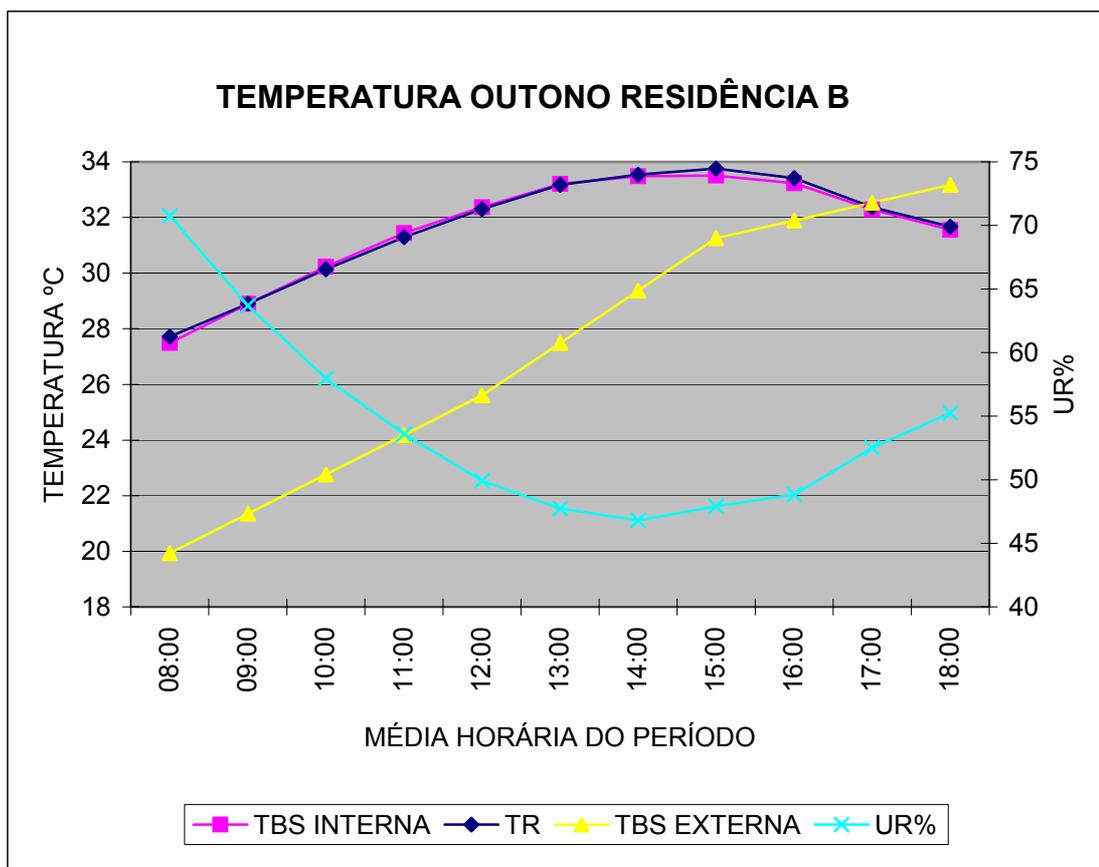
A Figura 24 demonstra os resultados do levantamento e das condições térmicas de unidade observadas no verão, dentro da residência B:



**FIGURA 24** – Média horária das temperaturas e umidade relativa na Residência B, durante o verão, período de 01/12/2004 a 21/12/2004.

No verão, a temperatura externa é aproximadamente 7°C menor que a temperatura dentro da residência B no início do dia. Ao final do dia as temperaturas são equivalentes. A TBS interna varia de 29 a 32.5°C, e a TBS externa varia aproximadamente de 21.5 a 32.5°C. Neste período, a temperatura radiante internamente é sempre superior a TBS durante todo o dia. A umidade relativa varia no dia de 56 a 75%.

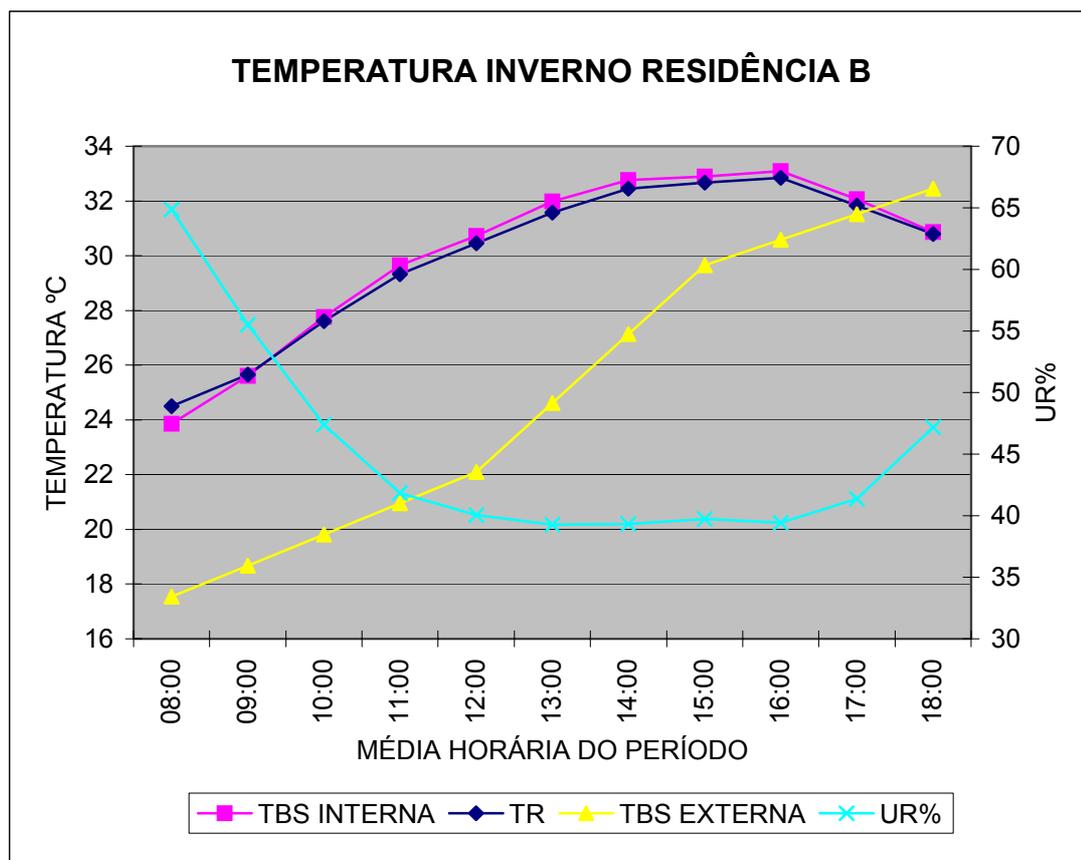
A Figura 25 esta visualizando o comportamento das condições térmicas e de umidade no interior da Residência B:



**FIGURA 25** – Média horária das temperaturas e umidade relativa na Residência B, durante o outono, período de 02/05/2005 a 21/05/2005.

Neste período de outono, a temperatura externa inicial é em média 7,5°C menor em relação à temperatura interna da residência B. Ao final do dia a situação é oposta, com diferença de 1°C a mais na temperatura externa às 18h. A TBS interna varia de 27,5 a 31,5°C, e a TBS externa varia aproximadamente de 21,5 a 33°C. Nesta estação, a temperatura radiante é igual ou ligeiramente inferior durante todo o dia. A umidade relativa varia em média de 48 a 71% no período diurno.

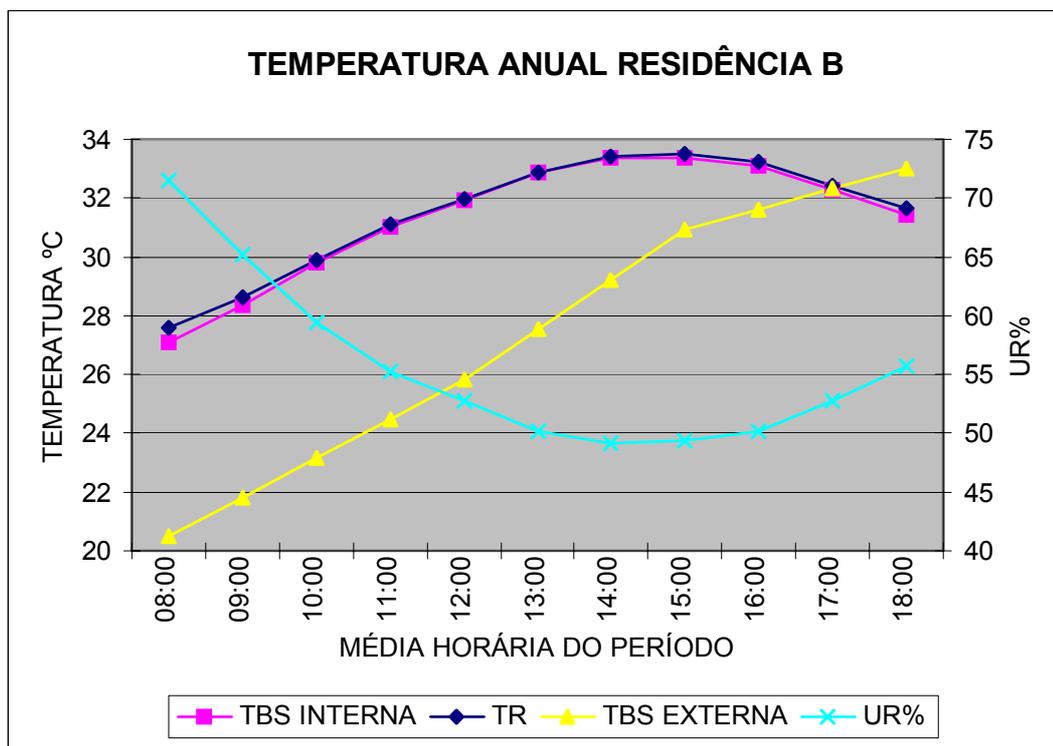
Os dados climáticos levantados na estação de inverno para constatação do comportamento microclimático dentro da residência B, estão apresentados na Figura 26.



**FIGURA 26** – Média horária das temperaturas e umidade relativa na Residência B, durante o inverno, período de 20/07/2005 a 08/08/2005.

Durante o inverno, a temperatura externa é 7°C menor em relação à temperatura dentro da residência B, no início do período matutino. Ao final do dia a situação se inverte e a temperatura externa é superior em 1°C com relação à temperatura externa, às 18h. A TBS interna varia de 24 a 33°C, e a TBS externa varia aproximadamente de 19 a 32°C. Nesta estação, a temperatura radiante é superior que a TBS apenas às 08:00 da manhã, tornando-se inferior o restante do dia. A umidade relativa varia em média de 39 a 65% no período diurno.

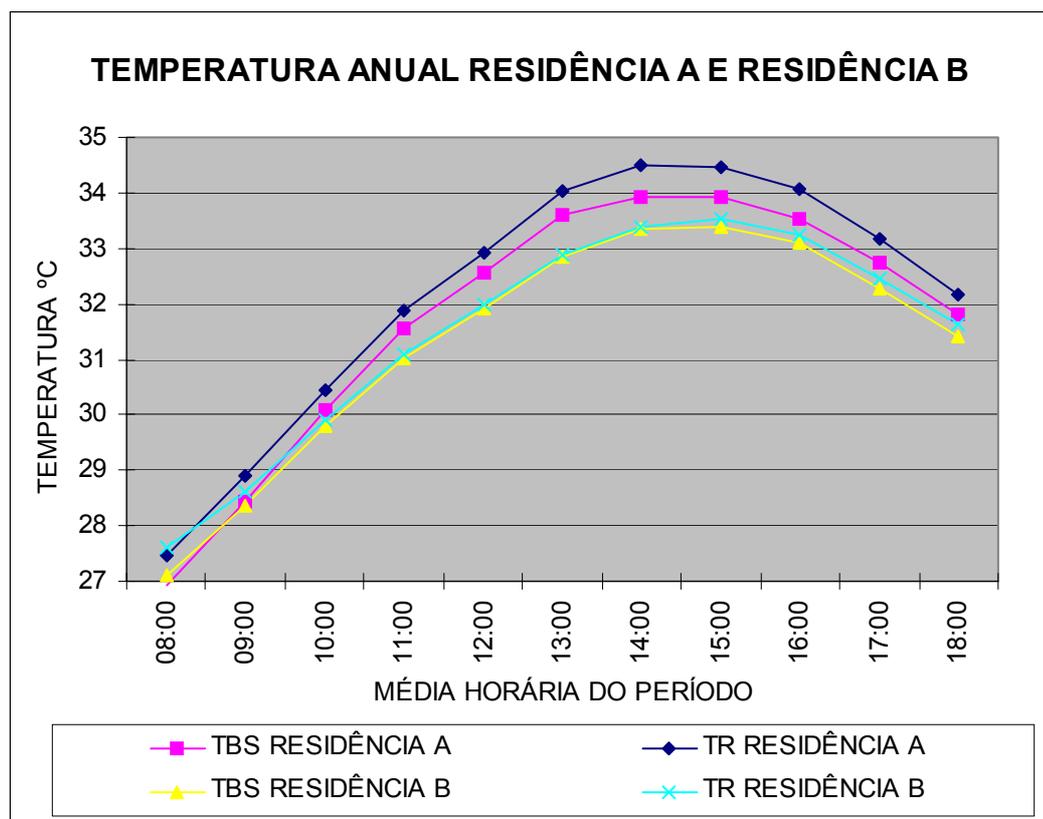
Para uma visão mais ampla do desempenho térmico na residência B no decorrer do ano, a Figura 27 mostra a média horária anual das variações climáticas do período:



**FIGURA 27** – Média horária anual das temperaturas e umidade relativa na Residência B.

Em média, durante um ano de medição, pode-se averiguar a temperatura externa é 7°C menor em relação à temperatura dentro da residência B, nas primeiras horas do dia. Ao final do dia a situação se inverte, com uma diferença de 1°C entre elas. A TBS interna varia em média de 27 a 33,5°C, e a TBS externa de aproximadamente 20,5 a 33°C. Na média anual, a temperatura radiante é praticamente igual à TBS interna no decorrer do dia sendo levemente superior no início e no fim do dia. A umidade relativa varia em média de 49 a 72% no ano todo dentro da residência.

Os dados de TBS interno (temperatura de bulbo seco interna da residência) e TR (temperatura radiante) das duas residências foram comparados durante o período de um ano, e estão visualizadas na Figura 28:



**FIGURA 28** – Média horária aAnual das TBS e TR nas Residências A e B.

Nota-se que os dados das temperaturas na residência A são, na maior parte do dia, superiores aos das temperaturas na residência B.

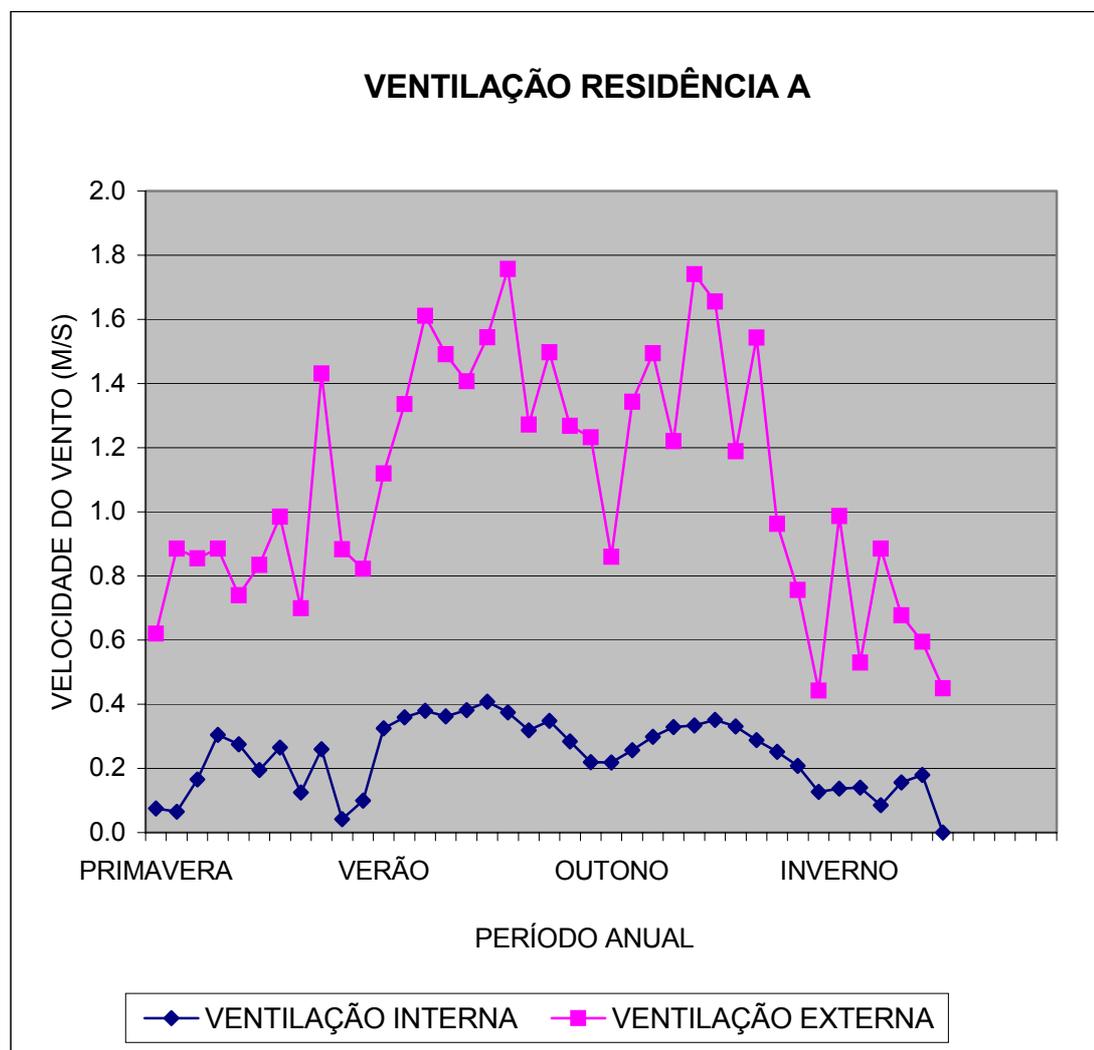
Na residência A, a TR é sempre maior que a TBS em todas as horas do dia.

Na residência B, a TR é levemente superior que a TBS no início e no final do dia sendo no meio do período, entre 11 e 14h são consideradas equivalentes, demonstrando mais uma vez um envoltório mais eficiente na Residência B em razão de um FS inferior.

### 5.2.2. Dados de Velocidade do Vento.

Na metodologia adotada para o levantamento de dados relacionados à ventilação, foram delimitados; um ponto interno (junto ao termômetro de globo) e outro externo (em frente à porta principal) de cada residência para medição da velocidade do vento.

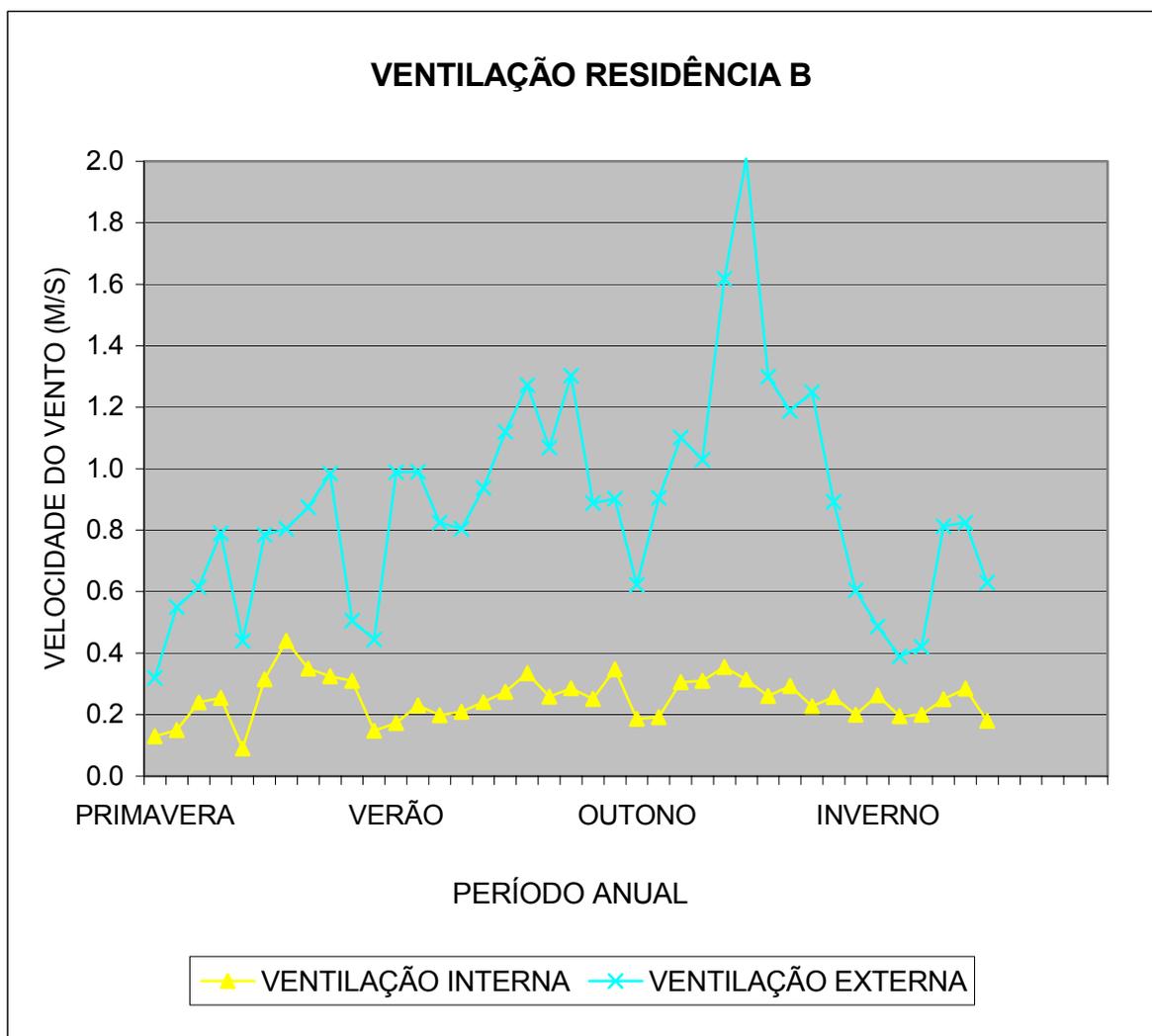
A Figura 29 abaixo mostra a média horária da velocidade do vento dentro e fora da residência A, durante o período anual de medição:



**FIGURA 29** – Média horária de velocidade do vento interna e externamente da Residência A.

Como está descrito, a velocidade do vento fora da residência é maior que internamente. No ponto externo, o vento variou de 0,45 m/s a 1,75 m/s com média absoluta de 1,05 m/s. Dentro da residência, a velocidade do vento variou de 0 a 0,40 m/s com média absoluta de 0,24 m/s. No verão e outono a velocidade do vento dentro e fora apresentaram valores de maior intensidade em relação às outras estações.

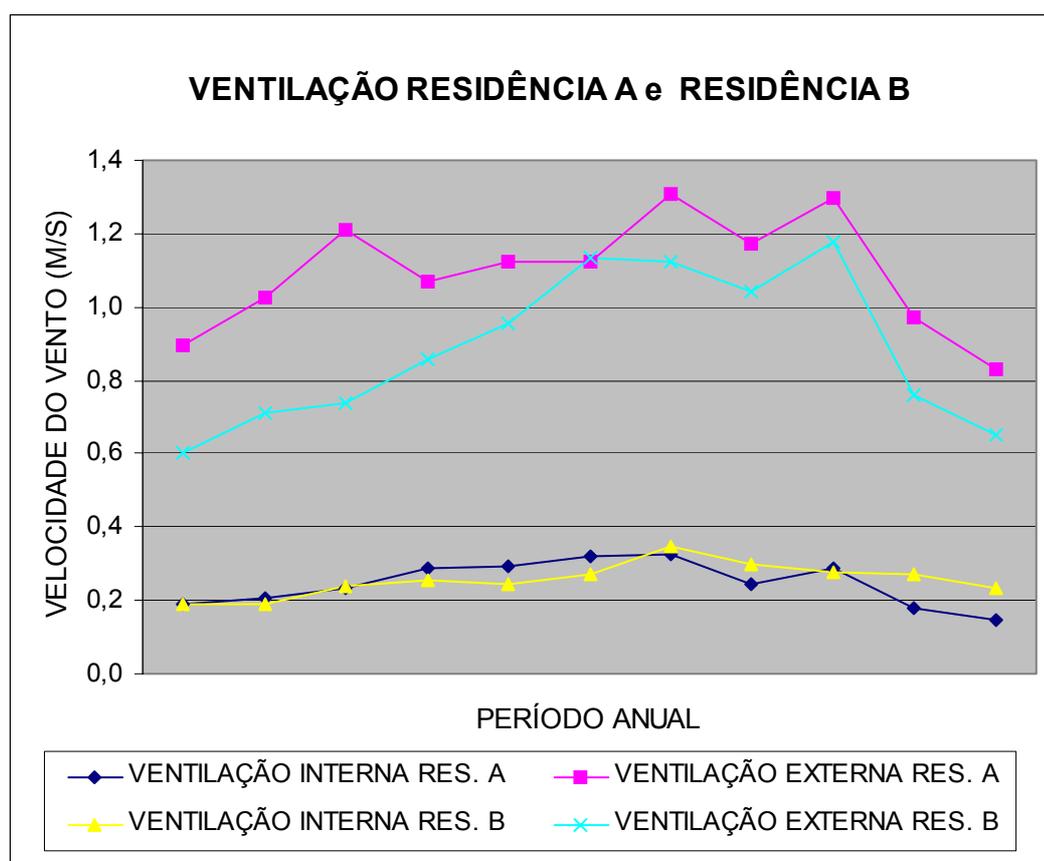
A Figura 30 mostra a média horária da velocidade do vento dentro e fora da residência B, durante o período anual de medição:



**FIGURA 30** – Média horária de velocidade do vento interna e externamente da Residência B.

No ponto externo, o vento variou de 0,30 m/s a 2,00 m/s com média absoluta de 0,85 m/s. Dentro da residência, a velocidade do vento variou de 0,10 a 0,45 m/s com média absoluta de 0,25 m/s. No verão e outono a velocidade do vento fora apresentou valores de maior intensidade, e dentro da residência B, os valores de ventilação foram maiores na primavera.

Observando em conjunto a ventilação nas duas residências, pode-se averiguar a orientação mais apropriada para implantação de acordo com os ventos dominantes da região, conforme pode ser visualizado na Figura 31.



**FIGURA 31** – Média horária anual de velocidade do vento interna e externamente das Residências A e B.

Na residência A, com orientação da fachada principal para Norte na qual estava locado o ponto de medição, observou-se para todo período anual, maiores valores de velocidade do vento no ponto externo.

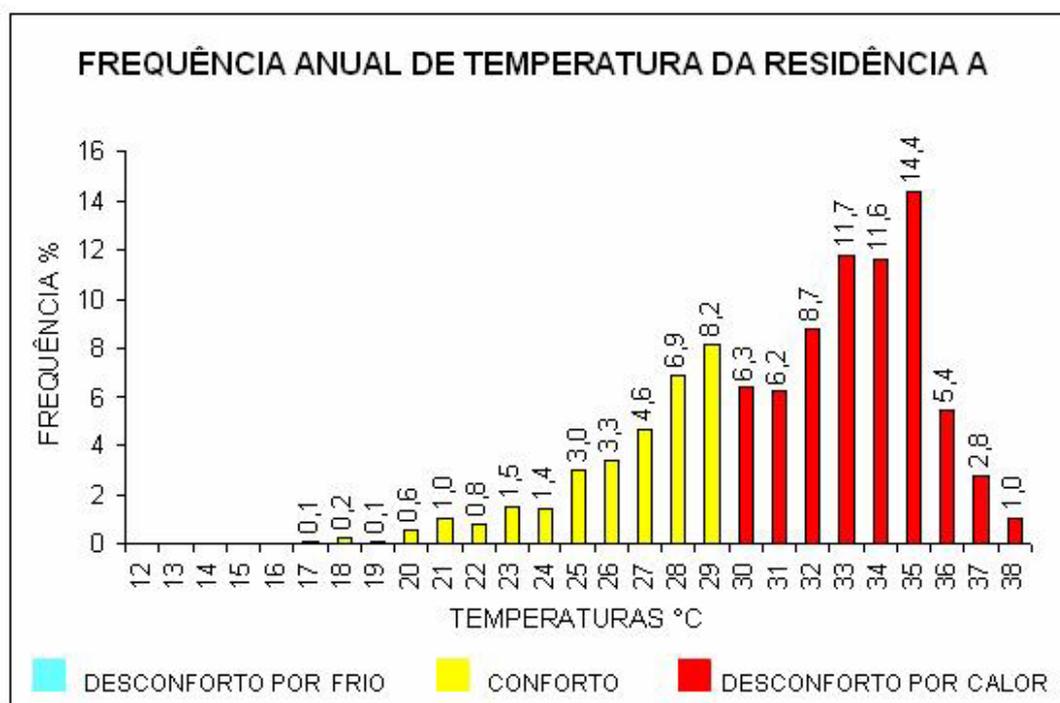
A residência B, com a fachada principal orientada para Leste, onde foi locado o ponto externo para medição, apresentou ventilação com menor intensidade em relação à fachada Norte.

Quanto aos pontos internos, à ventilação durante todo o ano em ambas as residências foram muito semelhantes, com algumas alternâncias durante as estações. Segundo os valores apurados nas residências com média aproximada de 0,25 m/s, estes valores são insuficientes para aumentar a zona térmica de GIVONI (1992) para 32°C quando a ventilação interna é igual a 2 m/s, mantendo a temperatura limite em 29°C no interior das edificações.

### 5.3. DADOS PARA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA

Serão apresentadas neste item, as frequências anuais das temperaturas internas de bulbo seco das duas residências e as temperaturas de bulbo seco externas.

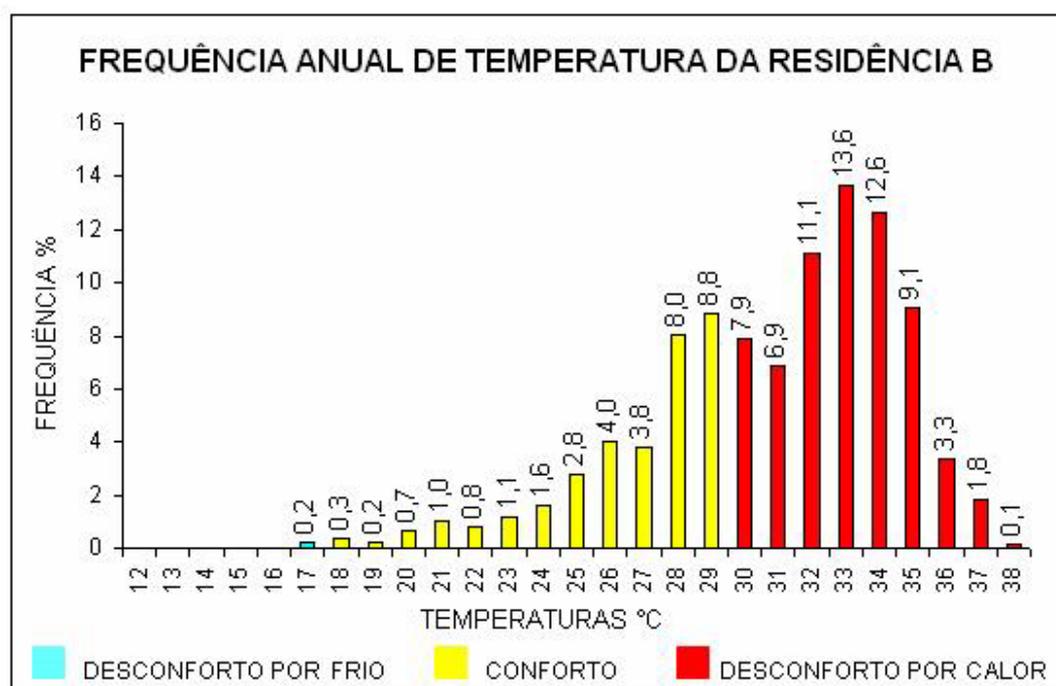
A Figura 32 mostra a frequência das TBS internas obtidas na Residência A durante todos os períodos de medições:



**FIGURA 32** – Frequência anual das temperaturas internas TBS diurnas da Residência A.

De acordo com o gráfico, a temperatura de bulbo seco de maior ocorrência na residência A foi 35°C. Durante todo período de medição, essa temperatura teve 14,4% de frequência. As temperaturas de menor frequência na residência foram 17 e 19°C, a 0,1%. As temperaturas nos períodos de medição variaram de 17 a 38°C, dentro da residência A.

Para a Residência B, a Figura 33 mostra a frequência anual das temperaturas em seu ambiente interno:

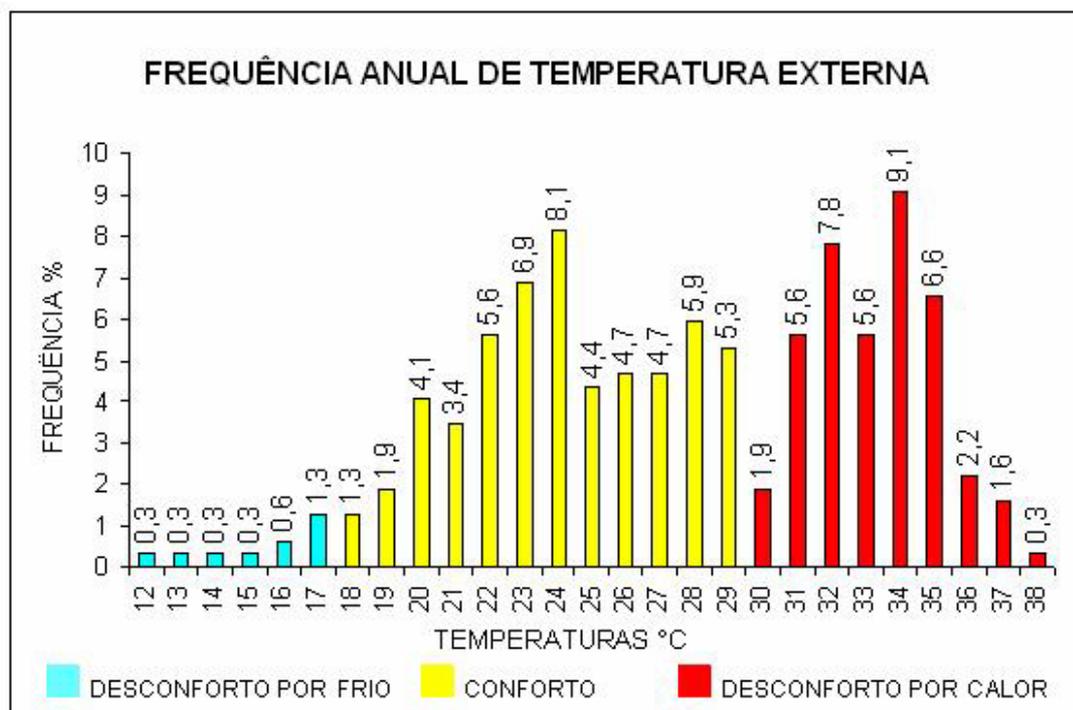


**FIGURA 33** – Frequência anual das temperaturas internas TBS diurnas da Residência B.

A temperatura de bulbo seco de maior ocorrência na residência B foi 33°C. Em todo período de medição, essa temperatura teve 13,6% de frequência. A temperatura de menor frequência na residência foi 38°C, com 0,1%. As temperaturas nos períodos de medição variaram de 17 a 38°C, dentro da residência B.

Pode-se constatar também que as temperaturas absolutas mais altas foram registradas novamente na Residência A.

A Figura 34 mostra a frequência de TBS referente ao clima de Cuiabá, para os mesmos períodos diurnos de coleta de dados, nas quatro estações:



**FIGURA 34** – Frequência das temperaturas externas, TBS diurnas de Cuiabá (8h às 18h), durante o período anual medido.

Fonte: CPTEC/INPE

A frequência das temperaturas de TBS externa, 34°C foi à temperatura de maior ocorrência, com 9,1%. As temperaturas nos períodos variaram de 12 a 38°C. Observa-se mais uma vez que as temperaturas externas foram frequentemente mais baixas que as temperaturas aferidas nas duas residências analisadas.

## **6. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **6.1. AVALIAÇÃO POR PRESCRIÇÃO**

Os dados apresentados na Tabela 2 foram usados para avaliação por prescrição dos elementos construtivos das edificações. Através da tabela resumida dos pacotes alternativos de acordo com a zona bioclimática referida (NBR 15220-3/2005), os mesmos foram averiguados quanto às exigências construtivas mínimas necessárias.

#### **6.1.1. Zona Bioclimática Definida**

Cuiabá está dentro da Zona 7 do Zoneamento Bioclimático Brasileiro segundo a NBR 15220-3/2005 (ver anexo 1). Conforme a norma, a cidade necessita das estratégias de código FHIJK.

No Quadro 3, as aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 7 são:

- a) Aberturas para ventilação - Pequenas
- b) Sombreamento das aberturas - Sombrear aberturas

No Quadro 4, estão dispostos os tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 7:

- a) Parede: Pesada
- b) Cobertura: Pesada

As estratégias de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 7 são:

No Verão: H) Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento  
 J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)

**QUADRO 1 – Aberturas para ventilação.**

Aberturas para ventilação	A (em % da área de piso)
Pequenas	$10\% < A < 15\%$

Fonte: NBR 15220-3/2005

**QUADRO 2 – Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa.**

Vedações externas	Transmitância térmica – U (W/m <sup>2</sup> . K)	Atraso térmico - $\varphi$ (Horas)	Fator solar – F <sub>So</sub> (%)
Paredes pesadas	$U \leq 2,20$	$\varphi \geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Coberturas pesadas	$U \leq 2,00$	$\varphi \geq 6,5$	$FS_o \leq 6,5$

Fonte: NBR 15220-3/2005

Analisando os dados da Tabela 3 abaixo, observa-se que em relação às aberturas, as edificações não estão de acordo com o tamanho de esquadria especificado que é de 10 a 15% da área do piso. As Residências A e B possuem respectivamente uma taxa de esquadria de 20 e 24%, não possuindo sombreamento requerido devido ao beiral ser de apenas 50 cm.

As paredes especificadas para as Residências A e B devem ser pesadas com transmitância menor que 2,20 W/m<sup>2</sup>. K, atraso térmico maior que 6,5 horas e fator solar inferior a 3,5 FS. As residências verificadas possuem uma transmitância superior no valor de 2,38 e 2,45 W/m<sup>2</sup>. K respectivamente, atraso térmico inferior com 3,6 e 3,2 horas e um índices superior de FS de 6,1 na Residência A devido a pintura externa ser azul escuro, sendo atendido nesta exigência apenas na Residência B com índice de FS inferior de apenas 2,7 devido a pintura cor amarelo claro.

As coberturas requeridas para as Residências A e B também são pesadas com transmitância menor que 2,00 W/m<sup>2</sup>. K, atraso térmico maior que 6,5 horas e fator solar inferior a 6,5 FS. As residências possuem uma transmitância superior na Residência A no valor de 4,55 W/m<sup>2</sup>. K e igual ao exigido na Residência B no valor

de 2,00 W/m<sup>2</sup>.K, o atraso térmico muito inferior com apenas 0,3 e 1,3 horas respectivamente e um índice muito superior de FS de 13,6 comum as duas residências.

Observa-se nas aberturas, paredes e coberturas das duas residências, que dos quatorze materiais analisados apenas dois correspondem às normas do Zoneamento Bioclimático Brasileiro (NBR 15220-3/2005), com isso as residências possuem um grande ganho de calor pelas aberturas, pouca inércia térmica nos materiais do envelope e cor de pintura não apropriada, influenciando diretamente no ganho de temperatura interna.

**TABELA 3** – Comparação entre os dados medidos e as exigências da NBR 15220-3/2005.

<b>Tipo</b>	<b>Norma</b>	<b>Resid A</b>	<b>Sit.</b>	<b>Resid. B</b>	<b>Sit.</b>
Taxa área uso/Volume (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	-	0.22	-	0.38	-
Taxa área cobertura/Área envoltório (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	-	0.85	-	0.75	-
Taxa área esquadrias/área de piso	10% < A < 15%	0.20	X	0.24	X
“U” Transmitância térmica parede (W/m <sup>2</sup> .K)	U ≤ 2,20	2.38	X	2.45	X
“Ct” Capacidade térmica parede (KJ/m <sup>2</sup> .K)	-	160	-	131	-
Atraso térmico parede (horas)	φ ≥ 6,5	3.6	X	3.2	X
“U” Transmitância térmica cobertura (W/m <sup>2</sup> .K)	U ≤ 2,00	4.55	X	2.00	OK
“Ct” Capacidade térmica cobertura (KJ/m <sup>2</sup> .K)	-	18	-	32	-
Atraso térmico cobertura (horas)	φ ≥ 6,5	0.3	X	1.3	X
Fator Solar Parede(FS)	F <sub>so</sub> ≤ 3,5	6.1	X	2.7	OK
Fator Solar Cobertura(FS)	F <sub>so</sub> ≤ 6,5	13.6	X	13.6	X

## 6.2. AVALIAÇÃO POR DESEMPENHO

Para análise do conforto térmico das edificações será adotada como índice de referência a Carta Bioclimática de GIVONI (1992). A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos da Carta Bioclimática utilizando o software Analysis Bio desenvolvido pela LABEEE - Laboratório de eficiência Energética em Edificações da UFSC, utilizando as normais climáticas internas e externas inseridas manualmente de acordo com o período e número de horas medido.

Analisando as tabelas podemos observar o desempenho térmico de cada edificação individualmente durante todas as estações medidas, e sua respectiva média

anual de conforto com as estratégias climáticas mais indicadas para cada um dos períodos.

A estação da primavera apresentou índice zero de conforto nas residências enquanto o clima externo apresentou um índice na ordem de 30%, demonstrando a incapacidade das edificações de gerar isolamento térmico como ainda contribuiu para o aumento da temperatura interna em uma escala maior que a externa, obrigando o uso de ar condicionado a uma taxa de 58 e 52% das horas respectivamente nas Residências A e B frente ao uso de apenas 34% para o clima externo.

A estação de verão não foi diferente e o resultado praticamente se repetiu, tendo zero de conforto nas residências e o clima externo apresentou 15% de conforto, o uso de ar condicionado subiu para 57 e 60% das horas respectivamente nas Residências A e B frente ao uso de apenas 29% para o clima externo. O uso da ventilação também foi destacado com 42 e 39% nas residências frente a 29% para o clima externo.

Na estação de outono pela primeira vez no ano foi observada uma zona de conforto térmico natural nas Residências A e B com 3 e 7% respectivamente, confirmando novamente o melhor envelope da Residência B com mais que o dobro de índice de conforto em relação à residência A. Mas pode-se considerar absurdamente irrelevante se compararmos com o clima externo natural que forneceu no período uma taxa de 42% de conforto.

Outro destaque que se observa é o uso do ar condicionado de quase 45% na residência A contra 21% na residência B e 4% recomendado para o meio externo, ou seja, para o clima de Cuiabá.

No inverno, período analisado de maior conforto térmico nas edificações e de maior proximidade com o conforto externo, o índice de conforto nas Residências A e B foi 54 e 55% respectivamente e 69% no exterior. Este período foi o único do ano onde a utilização do ar condicionado não foi requerido nas residências e no exterior sendo necessária o uso de aquecimento de 2% no clima exterior.

O comportamento anual demonstrado é relativo às médias realizadas pelas normais climáticas de todos os períodos medidos e demonstra as estratégias que devem ser levadas em consideração na realização dos projetos arquitetônicos. O desempenho anual apresenta 11.4 e 11.7% de conforto nas Residências A e B frente

a 49.4% de conforto no clima exterior. O uso de ar condicionado durante o ano é muito requisitado, chegando ao total de 33 e 26% nas Residências A e B durante o período medido contra apenas 7% no clima externo caracterizando as edificações como de baixo desempenho térmica e baixa eficiência energética.

A análise por desempenho fornece informações mais completas do desempenho das edificações por utilizar as normais climáticas da região cruzando informações das médias das temperaturas mínimas, médias e máximas com umidade relativa do ar. As Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8 mostram os relatórios do programa *Analysis Bio*:

**TABELA 4** – Relatório de saída do *Analysis Bio*, das normais climáticas do período da primavera, nas Residências A, B e Exterior.

PRIMAVERA	RESIDÊNCIA A	RESIDÊNCIA B	EXTERIOR
Conforto	-	-	30.75%
Ventilação	41.17%	40.14%	4.78%
Massa Térmica para Resfriamento	-	-	6.64%
Ar Condicionado	58.79%	52.29%	27.10%
Vent./Massa/ Resfr. Evaporativo	0.05%	7.59%	23.59%
Massa/Resfr. Evaporativo	-	-	-
Vent./Massa	-	-	7.14%

**TABELA 5** – Relatório de saída do *Analysis Bio*, das normais climáticas do período de verão, nas Residências A, B e Exterior.

VERÃO	RESIDÊNCIA A	RESIDÊNCIA B	EXTERIOR
Conforto	-	-	15.64%
Ventilação	42.16%	39.89%	29.58%
Massa Térmica para Resfriamento	-	-	-
Ar Condicionado	57.85%	60.12%	34.54%
Vent./Massa/ Resfr. Evaporativo	-	-	3.25%
Massa/Resfr. Evaporativo	-	-	-
Vent./Massa	-	-	-

**TABELA 6** – Relatório de saída do *Analysis Bio*, das normais climáticas do período de outono, nas Residências A, B e Exterior.

OUTONO	RESIDÊNCIA A	RESIDÊNCIA B	EXTERIOR
Conforto	3.14%	7.65%	42.02%
Ventilação	5.54%	-	13.54%
Massa Térmica para Resfriamento	-	13.58%	9.20%
Ar Condicionado	44.98%	21.12%	4.05%
Vent./Massa/ Resfr. Evaporativo	36.60%	50.29%	28.37%
Massa/Resfr. Evaporativo	-	-	2.83%
Vent./Massa	9.73%	7.37%	-

**TABELA 7** – Relatório de saída do *Analysis Bio*, das normais climáticas do período de inverno, nas Residências A, B e Exterior.

INVERNO	RESIDÊNCIA A	RESIDÊNCIA B	EXTERIOR
Conforto	53.99%	55.69%	69.53%
Aquecimento Solar Passivo/Massa	-	-	2.09%
Vent./Massa/ Resfr. Evaporativo	31.45%	32.51%	18.96%
Massa/Resfr. Evaporativo	14.57%	11.81%	9.42%

**TABELA 8** – Relatório Anual de saída do *Analysis Bio*, das normais climáticas, nas Residências A, B e Exterior.

ANUAL	RESIDÊNCIA A	RESIDÊNCIA B	EXTERIOR
Conforto	11.45%	11.76%	49.44%
Ventilação	-	-	2.86%
Massa Térmica para Resfriamento	3.68%	6.17%	4.71%
Ar Condicionado	33.70%	26.15%	7.52%
Vent./Massa/ Resfr. Evaporativo	39.99%	45.31%	28.09%
Massa/Resfr. Evaporativo	-	-	7.39%
Vent./Massa	11.18%	10.62%	-

Os relatórios de saída do programa *Analysis Bio* através das normais climáticas indicam que a cidade de Cuiabá possui durante o ano 29.11% de horas de conforto, 66.91% de horas de desconforto por calor e apenas 3.98% de horas de desconforto por frio. Os resultados indicam o uso de ventilação e ar condicionado durante o período de desconforto por calor e aquecimento solar durante o pequeno período de desconforto por frio. Um resumo das horas de conforto esta contido na Tabela 9.

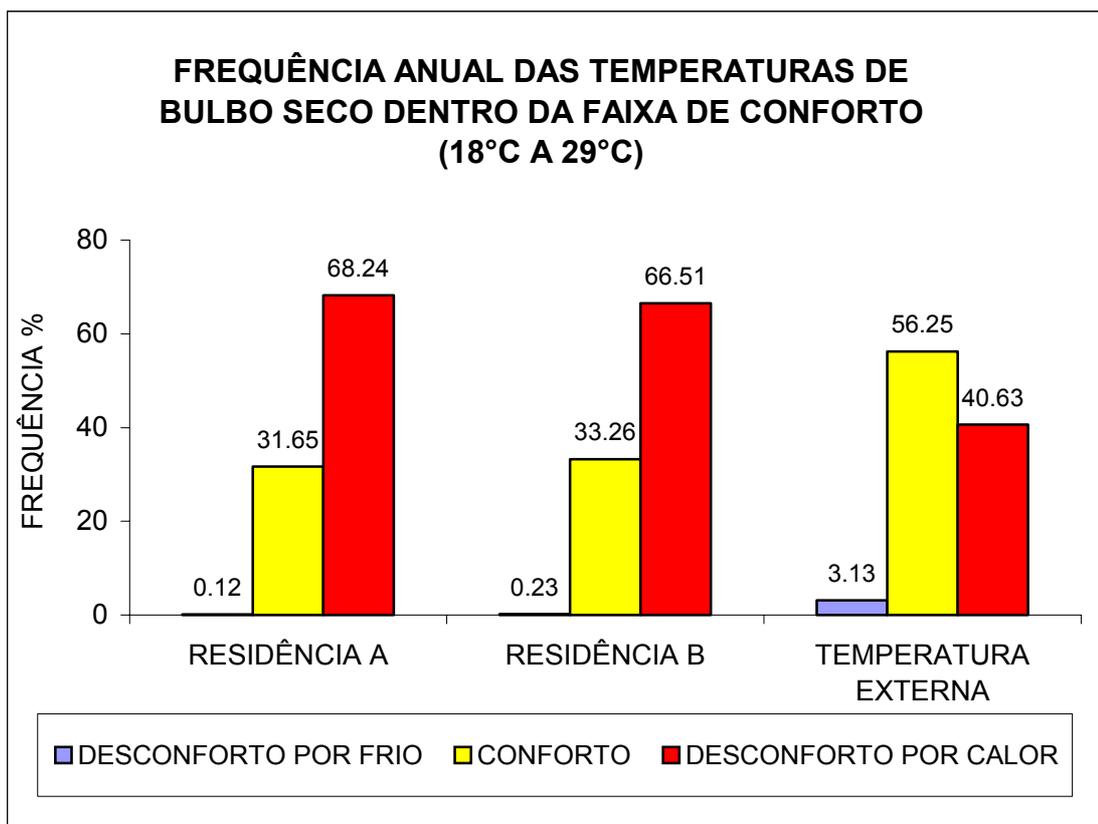
**TABELA 9** – Horas de conforto para o clima de Cuiabá utilizando as normais climáticas para os 365 dias do ano.

Sensação	%Horas
Conforto	29.11%
Desconforto por calor	66.91%
Desconforto por frio	3.98%

### 6.3. AVALIAÇÃO POR FREQUÊNCIA

A avaliação por frequência é feita através da contagem de TBS dentro da zona de conforto, entre 18 e 29°C. Entre esse intervalo, é considerada a frequência de temperatura na zona de conforto no ambiente analisado. Para as temperaturas menores que 18°C, é contabilizado a frequência de temperaturas na zona de desconforto por frio. E para as temperaturas acima de 29°C, verifica-se a frequência de temperaturas na zona de desconforto por calor.

A Figura 35 mostra a análise da frequência da TBS dentro da zona de conforto térmico selecionada, ou seja, entre 18 e 29°C. A observação foi feita nas residências A e B, internamente, e também para o clima da cidade correspondente ao mesmo período e número de horas medido nas residências.



**FIGURA 35** – Frequência anual das temperaturas, TBS dentro da zona de conforto.

Observando os dados do período de medição anual, nota-se que a residência A e a residência B possuem pequena diferença quanto à frequência de temperaturas nas faixas de conforto e desconforto. A frequência das TBS dentro da faixa de desconforto por frio na Residência A é menor que na Residência B, porém apenas neste item a Residência A demonstra melhor desempenho, pois a Residência B possui maior frequência de TBS dentro da faixa de conforto e menor frequência de TBS na zona de desconforto por calor. As temperaturas absolutas mais altas registradas também foram mais frequentes na Residência A com 14,4% a 35°C e na Residência B com 13,6% a 33°C. Observa-se que a Residência B possui desempenho térmico superior em relação à Residência A para o clima da grande Cuiabá, porém é evidente que o desempenho das duas residências é inaceitável, não atingindo sequer o nível de conforto do clima externo (Tabela 10).

**TABELA 10** – Resumo das frequências medidas.

INTERVALOS DE TBS	RESIDÊNCIA A	RESIDÊNCIA B	TEMPERATURA EXTERNA
Abaixo de 18°C	0,12%	0,23%	3,13%
Entre 18°C e 29°C	31,65%	33,26%	56,25%
Acima de 29°C	68,24%	66,51%	40,63%

#### 6.4. ESTRATÉGIAS DE CONFORTO TÉRMICO PARA CUIABÁ

A análise por prescrição demonstrou que os materiais utilizados na construção para região de Cuiabá não apresentam desempenho térmico satisfatório de acordo com a NBR 15220-3/2005, comprovado pela análise por desempenho e frequência. De acordo com as metodologias estudadas seguem abaixo referências de padrões construtivos mínimos e estratégias para Cuiabá.

a) Esquadrias: as aberturas das edificações devem ser sombreadas e pequenas com área de 10 a 15% da área do piso.

Ex: Veneziana com ventilação seletiva;

b) Paredes: pesadas com transmitância menor que 2,20 W/m<sup>2</sup>. K, atraso térmico maior que 6,5 horas e fator solar inferior a 3,5 FS (usar cores claras).

Ex: Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão, dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm, espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm, espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm, espessura total da parede: 26,0 cm, e pintura na cor branca. este modelo de parede atende as exigências com transmitância de 1,52 W/m<sup>2</sup>. K e atraso térmico de 6,5 horas;

c) Coberturas: pesadas com transmitância menor que 2,00 W/m<sup>2</sup>. K, atraso térmico maior que 6,5 horas e fator solar inferior a 6,5 FS.

Ex: Cobertura de telha de fibro-cimento com espessura de 0,7 cm com laje de concreto de 20 cm ou telha cerâmica com Espessura de 1,0 cm com laje de concreto de 20 cm e pintura na cor branca. Estes modelos de coberturas

atendem as exigências com transmitância de 1,99 e 1,84 W/m<sup>2</sup>. K e atraso térmico de 7,9 e 8,0 horas respectivamente;

d) Resfriamento evaporativo: utilizando coberturas porosas, sem impermeabilização ou vitrificação, para uma melhor performance térmica. A utilização de tanques de água na cobertura é uma solução a ser utilizada, mas acompanhada de estudos e detalhamentos específicos. Deve-se evitar dentro de espaços fechados a presença de cortina de água ou qualquer artifício que aumente o nível de umidade interno.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que a qualidade técnica das unidades habitacionais foi prejudicada em prol do baixo custo de execução, a utilização de materiais de construção de baixa qualidade e com padrões construtivos mínimos foram insuficientes para atingir o nível de conforto térmico desejado para a região da grande Cuiabá. Paredes e coberturas leves com pouca massa e inércia, prejudicaram a capacidade térmica aumentando o índice de transmitância e diminuindo o atraso térmico para o interior. Esquadrias com pouca ventilação e sombreamento inadequado por pouco beiral agregado a uma implantação inadequada prejudicaram a ventilação cruzada, aumentaram o ganho de calor pelas aberturas e comprimiram a zona de conforto de Givoni de 32°C para 29°C no verão. O uso de cores fortes prejudicou todo o envoltório aumentando em média a temperatura das paredes em 5,5°C e invertendo o desempenho do envelope da Residência A como pior apenas por sua cor externa.

As residências populares ainda possuem ordem, espaço, proporção e metodologias construtivas praticamente fixas em todo o Brasil, as habitações populares não são projetadas e construídas respeitando o clima do local onde são edificadas, mas sim seguindo um planejamento social e político.

A moradia popular de acordo com AROZTEGUI (1991) segundo BARBOSA (1997), Com relação à proposta clássica de atendimento das necessidades, as exigências mínimas tornam-se inadequadas, pois a forma científica de definir os mínimos é uma negociação. Cabe ao técnico a tarefa de servir de ponte entre a ciência e a decisão política, expondo de forma compreensível, para todas as partes interessadas, o significado dos mínimos. O cumprimento da exigência somente será efetivo quando for totalmente compreensível e possuir uma justificativa convincente. Ficou muito claro após análise de conforto térmico por três metodologias distintas, que o objetivo principal deste trabalho não seria apenas comparar as duas tipologias construtivas e indicar a mais apropriada para nossa região. As residências

apresentaram padrões construtivos tão baixos e por conseqüência desempenho térmico tão insatisfatório que tornaram o clima externo mais confortável termicamente que o interior das edificações, não definindo as unidades habitacionais mais utilizadas atualmente na nossa região como abrigo. O trabalho de normalização do conforto térmico brasileiro é de vital importância para que os governantes possam utilizar as normas que definem os padrões construtivos mínimos para habitações populares, de acordo com a região.

## **7.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- a) Buscar uma melhor avaliação das unidades residenciais através do levantamento de dados utilizando um logger, tornando-os assim mais apurados. Dessa forma serão obtidos dados que permitam analisar o comportamento das tipologias construtivas não apenas para o período diurno, mas para um período de 24 horas.
- b) A simulação computacional das residências utilizando um arquivo climático horário anual, o TRY, também seria capaz de avaliar com maior precisão o desempenho térmico das residências, através da identificação por simulação dos elementos construtivos que têm maior influência nos resultados encontrados, elencando então os benefícios necessário tanto na fase de projeto como para adaptações.
- c) Buscar a identificação de parâmetros limites aceitáveis de horas de desconforto para as habitações populares de interesse social diante das características climáticas da cidade de Cuiabá. Seria necessário que fossem levantados dados para avaliação do desempenho térmico em residências habitadas, onde a aplicação de questionários acerca da sensação térmica dos usuários serviria para confirmação da zona de conforto térmico a ser adotada.

## 8. BIBLIOGRAFIAS

### 8.1. BIBLIOGRAFIAS CITADAS

A.L. PAPST, E R. LAMBERTS. **Desempenho térmico de três edificações residenciais em Florianópolis-SC**. Fortaleza/ ENCA99, 1997.

ALMEIDA JR, N. - **Estudo de Clima Urbano: Uma Proposta Metodológica**. 2005. Dissertação. (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. 94 f. Cuiabá, MT.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI). **ANSI/ASHRAE 55**: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: ANSI, 1981.

BARBOSA, M.J.; LAMBERTS, R. **Avaliação térmica de edifícios**: subsídios para a normalização brasileira. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção. UFSC, 1993b. 50 p. Relatório Interno.

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.

BARBOSA, M. J. E LAMBERTS, R. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, aplicada a Londrina-PR**, In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2001, São Paulo.

BECKER, M. F. M. **Análise de desempenho térmico de uma habitação unifamiliar térrea** In: ENTAC 93 avanços em tecnologia e gestão de edificações. São Paulo: ANTAC, 1993, p. 825-834.

BROWN, G. Z. DEKAY, - **Sol, vento e luz : estratégia para projeto de arquitetura**. Trad. Alexandre Ferreira da Silva Salvaterra. Brookman, 2 ed. Porto Alegre, 2004.

BUENO, C. L. **Estudo da atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas.** Universidade Estadual de Campinas, Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, 1998.

CAMPELO, Jr. *et al.* - **Caracterização macroclimática de Cuiabá.** In. 3º Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente. Londrina, 1991. *Anais.* Londrina, v. 1, Comunicações, p. 542-552.

COSTA, E. C. – **Física aplicada à construção.** São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

CPTEC/INPE no Estado de Mato Grosso. In: CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. **Produtos do CPTEC/Observações Meteorológicas/Plataforma de Coleta de Dados.** 1995-2004. Disponível em: [www.cptec.inpe.br](http://www.cptec.inpe.br). Acesso em: 20/09/2005.

DUARTE, D. H. S. **O clima como parâmetro de projeto para a região de Cuiabá.** Dissertação de Mestrado em Arquitetura – EESC/USP, 1995.

DOURADO, S. C. **Ilhas de calor e urbanização na Amazônia Mato-Grossense.** Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2000.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort - Analysis and Application in Environmental Engineering.** Copenhagen, 1970.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering.** New York : McGraw-Hill, 1972.

GIVONI, B. – **Climate and architecture,** 2º ed. London: Applied Science, 1976 (reprinted 1981). Architectural Science Series.

GIVONI, B. **Impact of Planted Areas the Urban Environmental Quality: A Review.** London: V25H, n°01, p. 289-299, 1991.

GIVONI, B. **Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines.** *Energy and Buildings*, v. 18, n. 1, 1992.

GIVONI, B - Urban design for hot humid regions. *Renewable Energy*, v. 5, n° 5/8, p. 1047-1053, Aug. 1994.

GOULART, S. ; LAMBERTS, R. **Metodologias de tratamento de dados climáticos para análises térmicas em edificações.** in: ENTAC 93 Avanços em tecnologia e gestão de edificações. São Paulo:ANTAC, 1993a .

GOULART, S.V.G. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras.** Núcleo em Pesquisa em Construção/UFSC. Florianópolis/SC. 1997.

INMET no Distrito Federal. In: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Climatologia**. 2003. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/climatologia>. Acesso em: 15/08/2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 7726: Ergonomics of the thermal environment: instruments for measuring physical quantities. [S.I], 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 7730: Moderate Thermal Enviroments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal confort. [S.I], 1984.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO (IPT). Divisão de Edificação. **Conforto higrotérmico: avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares**. São Paulo, 1981. Trabalho desenvolvido para o BNH,

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO (IPT). **Divisão de Edificação**. 2005. (RT-021 - Painéis Cerâmicos Pré-Fabricados "Jet Casa")

KÖPPEN, W. 1948. **Climatologia**. Ed. Fondo de Cultura Económica, México.

KRUGER, EDUARDO L. E R. LAMBERTS (1999): **Avaliação do desempenho térmico de casas populares**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Salvador, 2000.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES (LABEEE) (2003) **Analysys Bio v2.1**. Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC, Florianópolis/SC.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES (LABEEE) (2003) **Transmittance**. Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC, Florianópolis/SC.

LOMBARDO, M. A. – **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985. 244p.

MACIEL, A. A. **Projeto Bioclimático em Brasília: Estudo de caso em edifício de escritórios**. Florianópolis - SC, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFSC.

MAITELLI, G. T. – **Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá-MT**. São Paulo, FFLCH-USP, 1994. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1994.

MASCARÓ, L. R. **Energia na edificação, estratégia para minimizar seu consumo**. Projeto de Editores Associados, São Paulo, n° 81, p. 69, nov. 1991.

NBR 15220-3/2005 **Desempenho Térmico de Edificações** (Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social)

OLGYAY, V. **Design with Climate**. Princeton University Press, New Jersey. 1973.

PAPST, A. L. **Uso de Inércia Térmica no Clima Subtropical Estudo de Caso Florianópolis – SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia), UFSC. Florianópolis, 1999.

PIETROBON, C. E. **Luz e Calor no Ambiente Construído Escolar e o Sombreamento Arbóreo: Conflito ou Compromisso com a Conservação de Energia?**. Florianópolis-SC. 1999. 554p. (Trabalho apresentado à UFSC).

PIETROBON, C. E.; TOLEDO, L. M. A. de; BARBOSA, M. J. **Proposta de metodologia para Avaliar o Perfil do Consumo de Energia Elétrica em Edificações**. Florianópolis: NPC/UFSC, 1994, 67p. (Trabalho apresentado ao NPC-UFSC).

PREFEITURA MUNICIPAL DE CUIABÁ. **Perfil socioeconômico de Cuiabá**. Cuiabá – MT: ano 2000-IPDU/DPI – 2001.

RIBEIRO, A. G. – **As escalas do clima**. *Boletim de Geografia Teórica*, v. 23, n° 45-46, 1993.

ROMERO, M. A. B. - **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: Projeto, 2000, 2ª edição, 128 p.

SAMPAIO, C. H. B. – **Análise pós-ocupação de ambiente escolar: conforto térmico**. Universidade Federal de Mato Grosso. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, MT, 2004.

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

SATTLER, M. A. **A avaliação de desempenho térmico de edificações pela CIENTEC**. ENCONTRO DE NORMALIZAÇÃO LIGADA AO USO RACIONAL DE ENERGIA E AO CONFORTO AMBIENTAL EM EDIFICAÇÕES, 1, 1991, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: UFSC, 1991a. p. 145-149.

SETTE, D. M. – **O holorrítmo e as interações trópico-extratropical na gênese do clima e as paisagens do Mato Grosso**. São Paulo. 394 f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

SOUZA, L. C. L. – **Desempenho térmico de coberturas leves: Aplicação do modelo NBSLD**. São Carlos. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1990.

STAMPER, EUGENE. Weather data. In: **ASHRAE Journal**. February 1997, p. 47.

SZOKOLAY, S.V. **Environmental Science Handbook for Architects and Builders**. Lancaster: Construction Press, 1982.

SZOKOLAY, Steven V. **The CPZ (Control Potential Zone) method and its use to develop climate zones** Queensland: University of Queensland, Harari Africa ISES - 1995.

WATSON, D, LABS, K. **Climatic Desing: Energy Efficient Building: Principles and Practices**. New York, McGraw Hill, 1983.

## 8.2. BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

FROTA, A.B. ; SCHIFFER, S.R. **Manual de Conforto Térmico**. 2. ed. São Paulo: Studio Nobel, 1995.

GOUVÊA, L. A. **Biocidade – Conceitos e critérios para um desenho urbano, em localidades de clima tropical de planalto**. Editora Nobel. São Pulo – SP – Brasil.2002. p.10.

LAMBERTS, R. **Eficiência Energética na Arquitetura**, PW, São Paulo, 1997.

NOGUEIRA, M.C.J.A. & NOGUEIRA, J. S. **Educação, meio ambiente e conforto térmico: caminhos que se cruzam**. Revista Eletrônica em Educação Ambiental. Rio Grande, RS, ISSN: 1517-1256. p. 104-108, v. 10, 2003.

SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA DO ESTADO DE MATO GROSSO (SINFRA). **Mato Grosso um Canteiro de Obras 30 Meses**, Cuiabá/MT, 2005.

## **9. ANEXOS**

### **9.1. ANEXO 1**

NBR 15220-3/2005 Desempenho Térmico de Edificações

(Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social)

## **Anexo 1 - NBR 15220-3/2005 Desempenho Térmico de Edificações (Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social)**

As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

O Zoneamento Bioclimático Brasileiro faz parte do conjunto de Normas de Desempenho Térmico de Edificações, NBR 15220-3/2005. Esta é constituída por cinco partes:

- 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 condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: Determinação da resistência térmica e da condutividade térmica em regime estacionário pelo método fluximétrico.

A NBR 15220-3/2005 apresenta uma metodologia que pode ser aplicada para avaliação do desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social na fase de projeto ou para alterações de edificações existentes, através das recomendações fornecidas pelo Zoneamento Bioclimático Brasileiro, que indica diretrizes construtivas e detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados.

A divisão do território brasileiro foi feito em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, formulou-se um

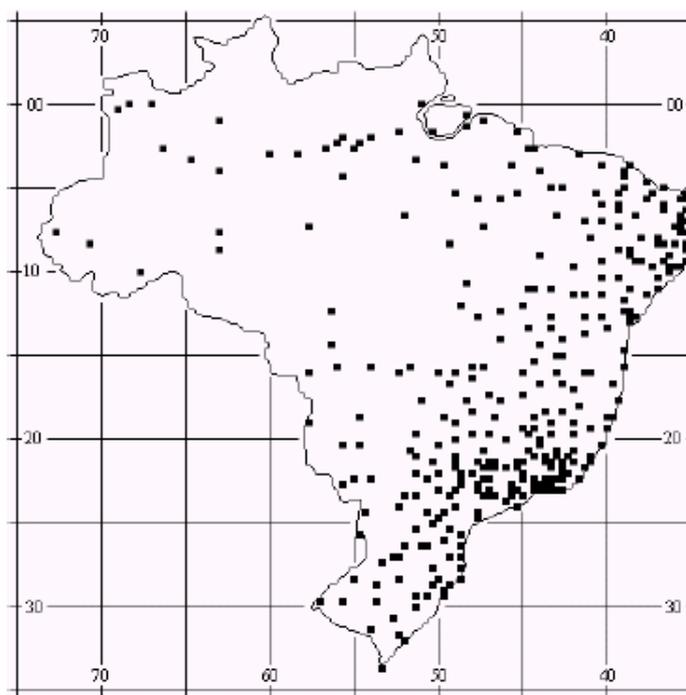
conjunto de recomendações tecno-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática. A escala para adequação climática baseou-se na Carta Bioclimática a partir da sugerida por GIVONI (1992).

O território brasileiro foi dividido em 6500 células, cada uma das quais foi caracterizada pela posição geográfica e pelas seguintes variáveis climáticas (Figura 36):

- a) Médias mensais das temperaturas máximas;
- b) Médias mensais das temperaturas mínimas;
- c) Médias mensais das umidades relativas do ar.

A base de dados climáticos para as 330 células contou com:

- a) Dados das Normais Climatológicas medidos desde 1961 a 1990 em 206 cidades;
- b) Dados das Normais Climatológicas e outras fontes medidos desde 1931 a 1960 em 124 cidades ;
- c) Para as demais células o clima foi estimado, por interpolação.



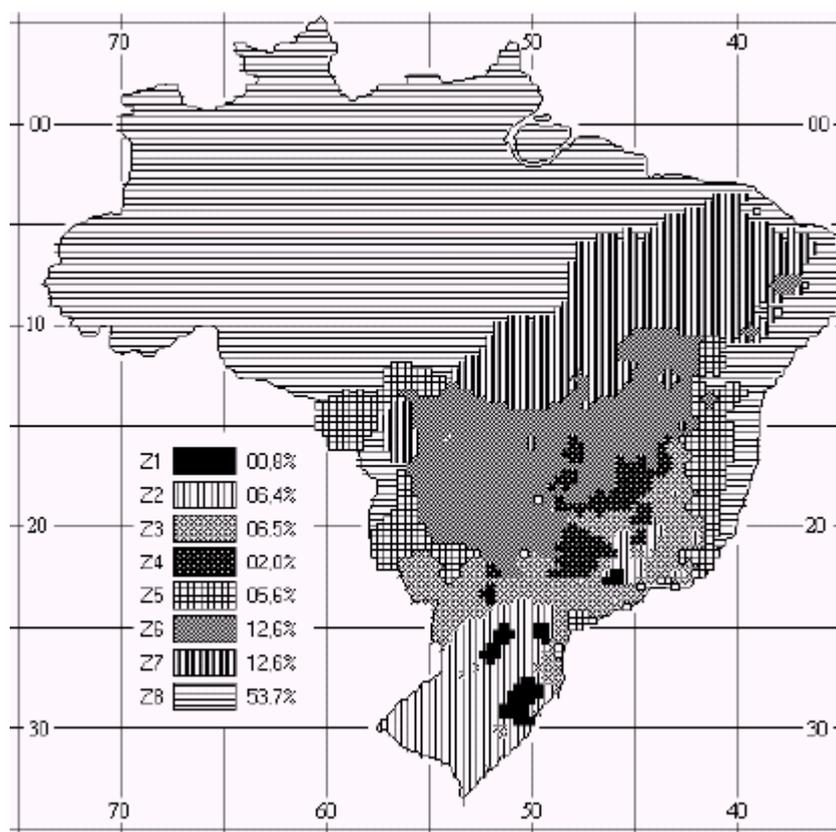
**FIGURA 36** – Localização das células com dados medidos.

Fonte: NBR 15220-3/2005

Os objetivos e campo de aplicação da Norma são basicamente três:

- a) Estabelecer um Zoneamento Bioclimático Brasileiro que embasa um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social.
- b) Estabelecer requisitos mínimos de projeto que proporcionam condições aceitáveis de conforto térmico nas habitações unifamiliares de interesse social.
- c) Aplicável às habitações de interesse social com até três pavimentos.

O zoneamento bioclimático brasileiro compreende oito diferentes zonas, conforme indica a Figura 37:



**FIGURA 37** – Zoneamento do território brasileiro.

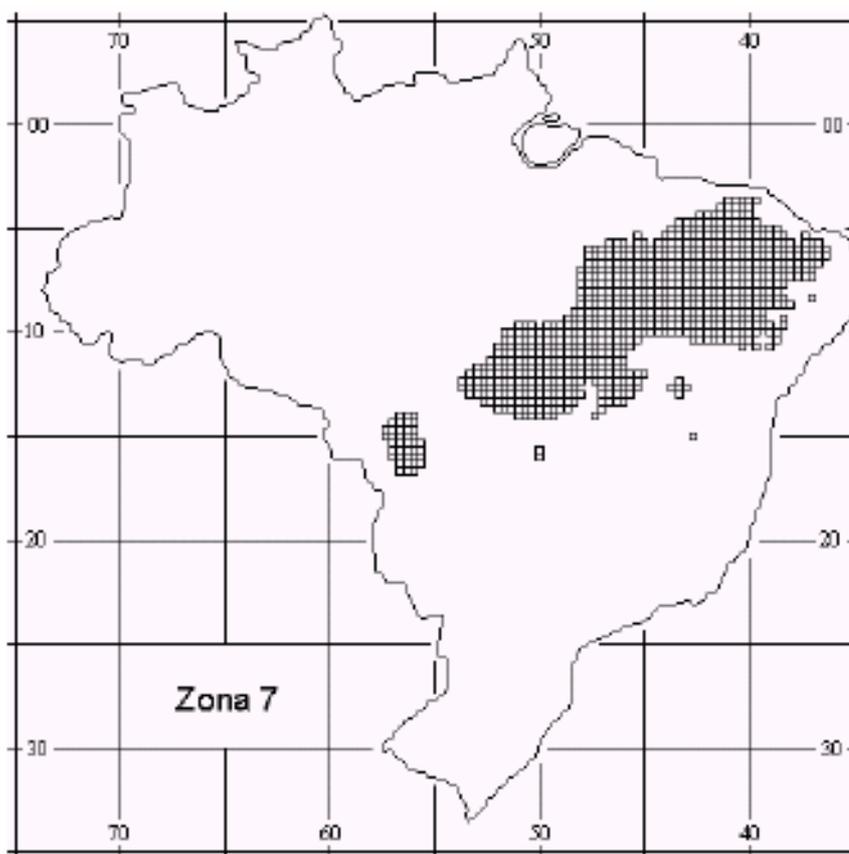
Fonte: NBR 15220-3/2005

Para a formulação das diretrizes construtivas e para o estabelecimento das estratégias de condicionamento térmico passivo, foram considerados quatro parâmetros e condições de contorno:

- a) Tamanho das aberturas para ventilação;
- b) Proteção das aberturas;
- c) Vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura);
- d) Estratégias de condicionamento térmico passivo.

As diretrizes construtivas para cada Zona Bioclimática não têm caráter normativo, apenas orientativo, e são relativas a aberturas, paredes e coberturas.

De acordo com a relação de 330 cidades cujos climas foram classificados, consta que a cidade de Cuiabá necessita das estratégias de códigos FHIJK e está posicionada dentro da zona 7 do mapeamento, como mostra a Figura 38:

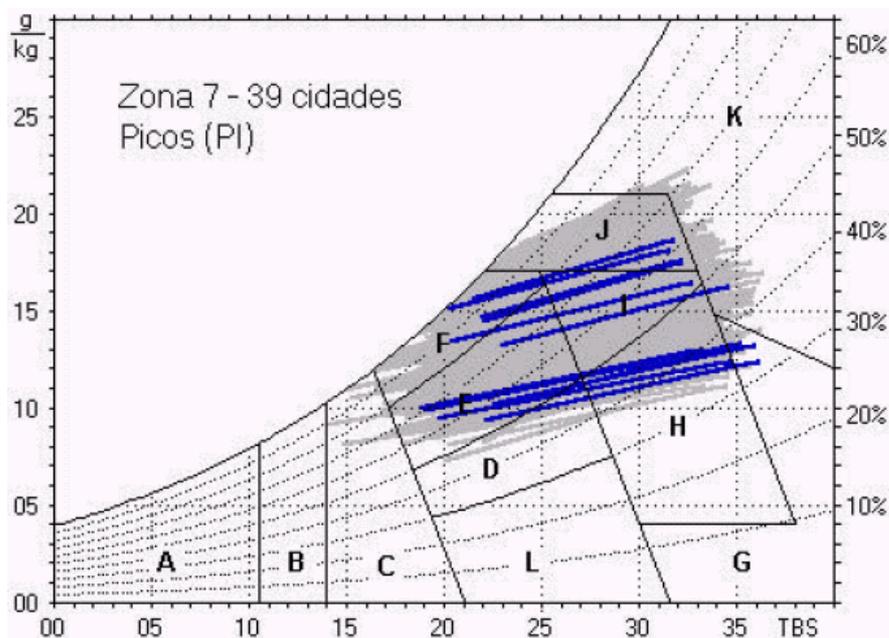


**FIGURA 38** – Zona bioclimática 7.

Fonte: NBR 15220-3/2005

A Figura 39 mostra a Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades da zona 7, destacando a cidade de Picos, PI. Para Cuiabá,

inserida na mesma zona através da plotagem das normais climatológicas, apresenta recomendações semelhantes às demais cidades desta mesma zona.



**FIGURA 39** – Carta bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Picos, PI.

Fonte: NBR 15220-3/2005

Assim, as diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 7 na qual Cuiabá está inserida estão demonstradas nos Quadros 3 e 4:

**QUADRO 3** – Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona bioclimática 7.

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Pequenas	Sombrear aberturas

Fonte: NBR 15220-3/2005

**QUADRO 4** – Tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 7.

Vedações externas
Parede: Pesada
Cobertura: Pesada

Fonte: NBR 15220-3/2005

O Zoneamento Bioclimático do Brasil apresenta o detalhamento das diferentes estratégias de condicionamento térmico passivo, conforme Quadros 5 e 6:

**QUADRO 5** – Estratégia de condicionamento térmico passivo.

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

Fonte: NBR 15220-3/2005

**QUADRO 6** – Estratégia de condicionamento térmico passivo para a Zona Bioclimática 7.

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Verão	H) Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)
Nota: Os códigos H e J são os mesmos adotados na metodologia utilizada para definir o Zoneamento Bioclimático do Brasil.	

Fonte: NBR 15220-3/2005

## GLOSSÁRIO

**(a)** - Coeficiente de absorção de radiação solar

**ABRAVA** - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento

**ABRAVA/IBF** - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento/ Instituto Brasileiro do Frio

**ANSI / ASHRAE 55 - 81** - American National Standards Institute / American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers Norma número 55 de 1981

**ANTAC** - Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído

**ARQUITROP** - Programa de simulação térmica e energética de edificações desenvolvido na EESC/USP (Roriz e Basso, 1988)

**AVALIAÇÃO POR DESEMPENHO** - Conforme a norma ASHRAE/IES 90.1-1989, o Sistema Critérios de Desempenho é usado quando muitas inovações de projeto ou flexibilidade são desejadas. Neste trabalho o termo Avaliação por desempenho será entendido como a avaliação que é feita verificando-se o cumprimento de limites estabelecidos para as características térmicas do ambiente. Ex.: temperaturas do ar no interior, quantidades de horas de desconforto no interior, etc.

**AVALIAÇÃO POR PRESCRIÇÃO** - Conforme a norma ASHRAE/IES 90.1-1989 os Critérios Prescritivos devem ser usados quando uma quantidade mínima de esforço para determinação da conformidade é desejado. Neste trabalho será entendido como a avaliação que é feita verificando-se o cumprimento dos limites estabelecidos para as características térmicas ou físicas dos elementos construtivos. Ex.: transmitância e massa de paredes e coberturas, cor de paredes e de coberturas, dimensões das aberturas etc.

**BENEFÍCIOS TÉRMICOS MÍNIMOS VIÁVEIS** - são os benefícios implantados na casa COHAB padrão, para reduzir o máximo possível o número de horas de desconforto com um mínimo de investimento.

**BIN** - Método desenvolvido pela ASHRAE para cálculo de consumo de energia que agrupa as temperaturas em intervalos BIN (temperaturas bin)

**CASA COHAB PADRÃO** - é a tipologia construtiva mais construída pelas COHABs que responderam à pesquisa detalhada no item 3.2. A casa COHAB padrão está descrita na Tabela 3.1. Foi adotada neste trabalho como referencial cultural conhecido

**CIENTEC** - Instituição de direito privado vinculada à Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado do RS

**clo** - unidade usada para expressar o isolamento térmico proporcionado pelas peças e conjunto de vestimentas, onde  $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$  (ANSI/ASHRAE 55 - 92)

**COHAB** - Companhia de Habitação

**COMFIE** - Calcul d'Ouvrages Multizones Fixé à une interface Expert, desenvolvido pelo Centro de Energia da Escola de Minas de Paris

**CPZ** - Control Potential Zone

**DOE** - Department of Energy (USA)

**ECI** - Índice de Conforto Equatorial

**EESC** - Escola de Engenharia de São Carlos

**ENCAC** - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

**ET\*** - Nova Temperatura Efetiva

**FONAVI** - Fundo Nacional de Habitação - Uruguai

**HORAS DE DESCONFORTO** - É o total de horas anuais nas quais o valor da temperatura não está dentro do intervalo da zona de conforto considerada, seja no interior de uma edificação ou mesmo para avaliar o clima externo

**IES** - Sociedade de Engenharia de Iluminação

**IPT** - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.

**IRAN** - Instituto Argentino de Racionalização de Materiais.

**IRAN 11 603** - Classificação Bioambiental (com base na temperatura efetiva corrigida)

**IRAN 11 604** - Economia de Energia em Calefação: Coeficiente Volumétrico G de Perdas.

**IRAN 11 605** - Condições de Habitabilidade em Habitações: Valores Máximos Admissíveis de Transmitância Térmica K.

**IRAN 11 625** - Verificação do Risco de Condensação de Vapor de Água Superficial e Intersticial em Paredes e Tetos de Edifícios.

**ISO 7726** - International Standard Organization

**ISO 7730** - International Standard Organization

**ITS** - Index of Thermal Stress

**Met** - Metabolismo, taxa de energia produzida pelo corpo. Varia com a atividade ( $1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2$ )

**NBSLD** - Programa de computador para cálculo de cargas térmicas e de refrigeração em edificações originalmente desenvolvido pelo National Bureau of Standard

**PMV** - Voto Médio Estimado

**PPD** - Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas

***R*** - Resistência térmica global de um componente, de superfície à superfície do mesmo ( $m^2K/W$ )

***S.I.*** - Sistema Internacional

***SET*** - Standard Effective Temperature

***SET\**** - Nova Temperatura Efetiva Padrão

***SRY*** - Short Reference Year

***TBS*** - Temperatura de Bulbo Seco

***TBU*** - Temperatura de Bulbo Úmido

***THEDES*** - Programa de computador para simulação do comportamento térmico de edificações desenvolvido no UK

***TRY*** - Test Reference Year ou Ano Climático de Referência

***U*** - Coeficiente Global de transmissão de Calor de ambiente para ambiente (transmitância) ( $W/m^2k$ )

***UFSC*** - Universidade Federal de Santa Catarina

***UK*** - United Kingdom