

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

## **CARTA BIOCLIMÁTICA DE CUIABÁ - MATO GROSSO**

**ÉRIKA FERNANDA TOLEDO BORGES LEÃO**

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

Cuiabá/MT  
Fevereiro/2007

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

## **CARTA BIOCLIMÁTICA DE CUIABÁ - MATO GROSSO**

**ÉRIKA FERNANDA TOLEDO BORGES 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  
Fevereiro/2007

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à Deus, ao meu marido Marlon Leão, aos meus pais Eritelto Borges e Maria Neide Toledo Borges, meus irmãos Júnior e Ronan e minha avó Josefina Adelaide Toledo. Agradeço também ao apoio da minha outra família, Paulo César Leão, Dilmar Galle Leão, Francielle Leão e Marcel Leão.

## AGRADECIMENTOS

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

- A Profa. Dra. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira por sua orientação e amizade oferecida de forma espontânea e essencial desde a graduação. A confiança e o apoio em mim depositado foram as bases para superação de todas as dificuldades.
- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira pela ajuda em percorrer todos os caminhos burocráticos exigidos para a obtenção dos dados.
- Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente da Universidade Federal de Mato Grosso: Dr. José Holanda Campelo Júnior, Francisco de Almeida Lobo e Mariano Martinez.
- Ao meu marido Marlon Leão, pelo direcionamento ao tema escolhido e participação durante todo o curso de mestrado até a dissertação.
- A todos os colegas do mestrado, que muito me ensinaram. Em especial agradecimento aos colegas Andréia Barbosa e Osvaldo Borges.
- A Sra. Soilse pelos auxílios técnicos na secretaria da Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente.
- A FAPEMAT – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso, pela bolsa de estudos.
- Ao Sr. Cel.av. Paulo Gerarde Mattos Araújo, do 1º Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo – CINDACTA1, pelo fornecimento dos dados climáticos horários.
- A Juliana e Fernando Simon do Laboratório de Eficiência Energética de Edificações – LABEEEE/UFSC, pela ajuda na utilização do programa *Analysis Bio*.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>i</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE EQUAÇÕES.....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE SIGLAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>x</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	2
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	5
2.2 CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA.....	6
2.2.1 Fatores Climáticos Globais .....	8
2.2.1.1 <i>Radiação Solar</i> .....	8
2.2.1.2 <i>Latitude, Altitude e Longitude</i> .....	13
2.2.1.3 <i>Ventos</i> .....	15
2.2.1.4 <i>Massas de Água e Terra</i> .....	25
2.2.2 Fatores Climáticos Locais .....	26
2.2.2.1 <i>Topografia</i> .....	26
2.2.2.2 <i>Vegetação</i> .....	29
2.2.2.3 <i>Superfície do solo</i> .....	31
2.2.3 Elementos Climáticos .....	33
2.2.3.1 <i>Temperatura</i> .....	33
2.2.3.2 <i>Umidade do Ar</i> .....	35
2.2.3.3 <i>Precipitações</i> .....	38
2.2.3.4 <i>Movimento do ar</i> .....	40
2.3 BIOCLIMATOLOGIA .....	43
2.3.1 Princípios e Análise Cronológica.....	43
2.3.2 Estudos Bioclimáticos e Aquecimento Global.....	44
2.3.3 Arquitetura Bioclimática.....	47

2.3.4	Escalas e Índices de Conforto .....	49
2.3.5	Métodos de Tratamento de Dados Climáticos .....	53
2.3.6	Carta Bioclimática.....	58
2.3.6.1	<i>Diagrama Bioclimático de Olgay</i> .....	59
2.3.6.2	<i>Carta Bioclimática de Edificações de Givoni (atualizada em 1992)</i> .....	61
2.3.6.3	<i>Zona de Conforto da ASHRAE</i> .....	64
2.3.6.4	<i>Zona de Conforto de Szokolay</i> .....	65
2.3.6.5	<i>Metodologia de WATSON e LABS</i> .....	66
2.3.7	Estratégias Bioclimáticas .....	67
<b>3</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>84</b>
3.1	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS REGIONAIS E LOCAIS .....	84
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>93</b>
4.1	VARIÁVEIS CLIMÁTICAS .....	97
4.1.1	Temperatura de Bulbo Seco .....	97
4.1.2	Umidade Relativa.....	103
4.1.3	Nebulosidade.....	105
4.1.4	Direção e Velocidade do Vento .....	106
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>111</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>141</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFIAS</b> .....	<b>144</b>
7.1	BIBLIOGRAFIAS CITADAS .....	144
7.2	BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS .....	147

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Espectro de radiação.....	8
<b>Figura 2</b> - Deflexão de um objeto devido à Força de Coriolis.....	17
<b>Figura 3</b> - Representação do movimento de ar devido à distribuição dos continentes e da força de Coriolis (A = alta pressão, B = baixa pressão). .....	18
<b>Figura 4</b> - Localização dos tipos de vento distribuídos no globo terrestre. ....	20
<b>Figura 5</b> - Zonas de pressão. (Alta = zona de alta pressão, Baixa = zona de baixa pressão).....	21
<b>Figura 6</b> - Brisa marítima e brisa terrestre, respectivamente. ....	22
<b>Figura 7</b> - Brisa de vale durante o dia e brisa de montanha durante a noite. Fotografia: Elmar Uherek. ....	23
<b>Figura 8</b> - Mapa Físico de Mato Grosso. ....	28
<b>Figura 9</b> - Domínios Biogeográficos em Mato Grosso: Cerrado, Florestas e Pantanal. ....	31
<b>Figura 10</b> - Representação da área e direção de atuação da massa tropical continental, no país.....	41
<b>Figura 11</b> - Representação a área e direção de atuação da massa equatorial continental, no país.....	42
<b>Figura 12</b> - Concentração de Dióxido de Carbono desde a Última Glaciação.....	46
<b>Figura 13</b> - Simulação dos efeitos das variáveis climáticas para diferentes atividades e tipos de roupa. ....	50
<b>Figura 14</b> - Simulação dos efeitos das variáveis climáticas nas diferentes atividades e velocidade do ar. ....	51
<b>Figura 15</b> - Escala de conforto de Fanger. ....	53
<b>Figura 16</b> - Interpretação de uma Carta Bioclimática segundo BROWN & DEKAY (2004). ....	60
<b>Figura 17</b> - Diagrama psicrométrico aproximado considerando pressão de vapor normal. ....	62
<b>Figura 18</b> - Carta Bioclimática de Baruch Givoni adotada para o Brasil. ....	68
<b>Figura 19</b> - Representação de uma Carta Bioclimática com dados horários.....	69

<b>Figura 20</b> - Representação de uma Carta Bioclimática com Normais Climáticas.....	70
<b>Figura 21</b> - Elaboração do ponto A na plotagem das Normais Climáticas. ....	70
<b>Figura 22</b> - Elaboração da reta na plotagem das Normais Climáticas. ....	71
<b>Figura 23</b> - Representação da Zona Bioclimática 2 – Ventilação.....	72
<b>Figura 24</b> - Centro Cultural Jean-Marie Tjibaou, em Nouméa – Nova Caledônia. Arq. Renzo Piano. ....	74
<b>Figura 25</b> - Corte esquemático da edificação, com aberturas controladas para ventos fortes e suaves existentes na região. ....	74
<b>Figura 26</b> - Representação da Zona Bioclimática 3 e 6 – Resfriamento Evaporativo e Umidificação.....	76
<b>Figura 27</b> - Estação Ferroviária Atocha em Madrid, Espanha.....	77
<b>Figura 28</b> - Representação da Zona Bioclimática 4 e 7 – Massa Térmica para Resfriamento e Aquecimento, respectivamente. ....	78
<b>Figura 29</b> – Arquitetura Vernacular em Cuiabá.....	79
<b>Figura 30</b> - “Casa Cascata” do arquiteto Frank Loyd Wright, interiores.....	79
<b>Figura 31</b> - Representação da Zona Bioclimática 5 – Ar Condicionado. ....	80
<b>Figura 32</b> - Representação da Zona Bioclimática 8 e 9 – Zona de Aquecimento Solar Passivo e Aquecimento Artificial.....	81
<b>Figura 33</b> - Pannel fotovoltaico na fachada da sede do Building Research Energy, em Londres: uso de a luz solar. ....	82
<b>Figura 34</b> – Mapa da Localização Geográfica de Cuiabá/MT e região Centro-oeste. ....	84
<b>Figura 35</b> – Classificação climática de Mato Grosso segundo adaptação da proposta de Köppen.....	85
<b>Figura 36</b> – Classificação climática de Mato Grosso segundo adaptação da proposta de Strahler.....	87
<b>Figura 37</b> – Mapa de Limite de Municípios de Cuiabá.....	88
<b>Figura 38</b> – Vista da Paisagem Urbana de Cuiabá.....	89
<b>Figura 39</b> – Corte Esquemático do Mapa Físico de Mato Grosso. ....	90
<b>Figura 40</b> – Mapa Urbano de Cuiabá e Direção do Vento Dominante. ....	91
<b>Figura 41</b> - Temperaturas de Bulbo Seco Mensais do TRY de Cuiabá.....	99
<b>Figura 42</b> - Frequência de temperaturas de bulbo seco horárias no TRY de Cuiabá. ....	99

<b>Figura 43</b> - Frequência da amplitude de TBS diária no TRY de Cuiabá.....	102
<b>Figura 44</b> - Amplitudes de Temperatura de Bulbo Seco horárias do TRY de Cuiabá.....	102
<b>Figura 45</b> - Umidade Relativa média mensal do TRY de Cuiabá.....	104
<b>Figura 46</b> - Nebulosidade média mensal do TRY de Cuiabá.....	105
<b>Figura 47</b> - Média Mensal de Velocidade do Vento do TRY de Cuiabá.....	107
<b>Figura 48</b> - Frequência Mensal da Direção do Vento do TRY de Cuiabá.....	108
<b>Figura 49</b> - Frequência Anual da Direção do Vento do TRY de Cuiabá.....	109
<b>Figura 50</b> – Carta Bioclimática de Cuiabá, com 8760 horas do TRY. ....	112
<b>Figura 51</b> – Carta Bioclimática no período de Verão do TRY de Cuiabá. ....	116
<b>Figura 52</b> - Carta Bioclimática no período de Outono do TRY de Cuiabá.....	118
<b>Figura 53</b> - Carta Bioclimática no período de Inverno do TRY de Cuiabá. ....	120
<b>Figura 54</b> - Carta Bioclimática no período de Primavera do TRY de Cuiabá. ....	122
<b>Figura 55</b> - Carta Bioclimática com as médias mensais do TRY de Cuiabá. ....	125
<b>Figura 56</b> - Carta Bioclimática para o período de Verão Úmido do TRY de Cuiabá.....	127
<b>Figura 57</b> - Carta Bioclimática para o período de Inverno Seco do TRY de Cuiabá .....	129

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Valores estimados do Potencial Máximo de Radiação Solar incidente na superfície cal. $\text{cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ (VILLA NOVA, 1977). .....	11
<b>Tabela 2</b> - Temperaturas médias mensais dos anos de 1990 a 2004. ....	95
<b>Tabela 3</b> - Seqüência de eliminação dos meses. ....	95
<b>Tabela 4</b> - Seqüência de eliminação dos anos. ....	96
<b>Tabela 5</b> – Probabilidade de Ocorrência de Temperatura de Bulbo Seco (valores iguais ou menores) para as 8.760 horas do TRY de Cuiabá. ....	98
<b>Tabela 6</b> - Probabilidade de Ocorrência de Amplitudes Diárias de Temperatura de Bulbo Seco (valores iguais ou menores) em 365 dias do TRY de Cuiabá. ....	101
<b>Tabela 7</b> – Probabilidade de Ocorrência de Umidade Relativa (valores iguais ou menores) em 365 dias do TRY de Cuiabá. ....	103
<b>Tabela 8</b> - Probabilidade de Ocorrência de Velocidade do Vento (valores iguais ou menores) nos 365 dias do TRY de Cuiabá. ....	106
<b>Tabela 9</b> - Estratégias Bioclimáticas por Zonas em todas as horas do TRY de Cuiabá. ....	113
<b>Tabela 10</b> - Estratégias Bioclimáticas por Zonas durante o Verão do TRY de Cuiabá. ....	115
<b>Tabela 11</b> - Estratégias Bioclimáticas por Zonas no Outono do TRY de Cuiabá. ....	117
<b>Tabela 12</b> - Estratégias Bioclimáticas por Zonas no Inverno do TRY de Cuiabá. ....	119
<b>Tabela 13</b> - Estratégias Bioclimáticas por Zonas na Primavera do TRY de Cuiabá. ....	121
<b>Tabela 14</b> - Estratégias Bioclimáticas por Zonas para as Normais Climáticas de Cuiabá. ....	124
<b>Tabela 15</b> - Estratégias Bioclimáticas por Zonas para para o período de Verão Úmido do TRY de Cuiabá: ....	126
<b>Tabela 16</b> - Estratégias Bioclimáticas por Zonas para para o período de Inverno Seco do TRY de Cuiabá: ....	128

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Relatório de saída do programa <i>Analysis Bio</i> .....	111
<b>Quadro 2</b> - Quadro comparativo dos relatórios das estratégias por zonas bioclimática indicadas por período analisado: .....	130

## LISTA DE EQUAÇÕES

$\frac{I}{I_0} = \cos Z$ <b>Equação 1</b> (Equação da Radiação Solar Incidente) .....	9
$I = I_0 \cdot \cos Z$ <b>Equação 2</b> (Equação da Radiação Solar Incidente) .....	9
$I = I_0 \cdot \cos Z \cdot \tau^{\sec Z}$ <b>Equação 3</b> (Equação da Radiação Solar Incidente Teórica) .....	10
$Q_{gm} = \frac{Q_0 \cdot I_{12}}{\frac{I_0}{R^2} \cdot \cos(\delta - \psi)}$ <b>Equação 4</b> (Potencial Máximo de Radiação Solar Incidente em uma superfície horizontal) .....	10
$Q_0 = \frac{916,7}{R^2} \cdot \sin \psi \cdot \sin \delta \cdot hp + \cos \psi \cdot \cos \delta \cdot \sin hp$ <b>Equação 5</b> (Radiação Solar Incidente Inicial) .....	11
$RL_{(d)} = Boc - Bol$ <b>Equação 6</b> (Balanço de Energia) .....	12
$\cos Azimute = \frac{\sin h \cdot \cos \delta}{\sin Z}$ <b>Equação 7</b> (Cálculo do Azimute) .....	14

## LISTA DE SIGLAS

- ABRAVA** - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
- 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
- ANALYSIS BIO** - Programa computacional para plotagem de uma carta bioclimática desenvolvido na UFSC/SC.
- ARQUITROP** - Programa de simulação térmica e energética de edificações desenvolvido na EESC/USP (Roriz e Basso, 1988)
- BIN** - Método desenvolvido pela ASHRAE para cálculo de consumo de energia que agrupa as temperaturas em intervalos BIN (temperaturas bin)
- 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  $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$  (ANSI/ASHRAE 55 - 92)
- 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
- ENCAC** - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
- ET\*** - Nova Temperatura Efetiva
- HORAS DE DESCONFORTO** - É o total de horas anuais na qual 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.
- 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 ( $1 \text{ met} = 58,2 \text{ W}/\text{m}^2$ )
- NBSLD** - Programa de computador para calculo 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 a superfície do mesmo ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ).
- S.I.** - Sistema Internacional
- 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

***T<sub>n</sub>*** - Temperatura neutra

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

***U*** - Coeficiente Global de transmissão de Calor de ambiente para ambiente (transmitância) (W/m<sup>2</sup>. k).

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

***UK*** - United Kingdom

***VELOCIDADE DO AR*** – velocidade do vento

***W*** - watts

LEÃO, E. B. **Carta Bioclimática de Cuiabá**. 2007. Dissertação. (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. 147 f. Cuiabá, MT.

## RESUMO

O conhecimento das condições climáticas de uma cidade, aliado ao dos mecanismos de interação com o meio e comportamento térmico dos materiais, permite uma consciente intervenção dos profissionais na área de construção civil, através de um tratamento específico de dados climáticos que seja capaz de transformar uma grande quantidade de registros em instrumentos práticos de trabalho para a solução dos problemas de projeto de edificações. Por isso, foram utilizados dados de médias mensais de temperatura do ar para um período de 15 anos (1990 – 2004), coletados no 9º Distrito Nacional de Meteorologia de Cuiabá, para a determinação do Ano Climático de Referência para Cuiabá, ou TRY (Test Reference Year). A metodologia segundo GOULART et al. (1997), consiste na eliminação de anos de dados climáticos que contenham temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas). Posteriormente foram coletados dados horários de temperatura de bulbo seco (TBS) e temperatura de bulbo úmido (TBU), na EMS - Estação Meteorológica de Superfície de Cuiabá, localizado no Aeroporto Marechal Rondon, para as 8.760 horas do ano de 1994, eleito como ano de referência. Esses dados foram utilizados na plotagem da Carta Bioclimática de Cuiabá e obtenção das estratégias bioclimáticas necessárias para correção do clima local, através do software especializado *Analysis Bio*, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética de Edificações LABEEE/UFSC. O relatório final de saída indicou 19,5% de horas de conforto e 80,5% de desconforto para o TRY de Cuiabá. As estratégias bioclimáticas mais indicadas foram sombreamento 94,7%, ventilação 56,2%, resfriamento evaporativo 20,2% e massa térmica para resfriamento 19,6%.

Palavras-Chave: Clima, Ano Climático de Referência e Dados Climáticos.

LEÃO, E. B. **Bioclimatic Letter of Cuiabá**. 2007. Dissertação. (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. 147 f. Cuiabá, MT.

## ABSTRACT

The knowledge of the climatic conditions of a city, ally to the mechanisms of interaction with the environment and thermal behavior of materials, allows a conscientious intervention them professionals in the area of civil construction, through a specific treatment of climatic data that is able to transform a great amount of registers into practical instruments of work for the solution of the problems of project in constructions. Therefore, were used monthly averages of temperature of air on a period of 15 years (1990 - 2004), had collected in 9° National District of Meteorology in Cuiabá, for the determination of the Climatic Year of Reference for Cuiabá, or TRY (Test Reference Year). The methodology according to GOULART et al. (1997), it consists of the elimination of climatic years datas that contain average temperatures monthly extreme (high or low). Later, hourly datas of temperature of dry bulb (TBS) and temperature of humid bulb (TBU) had been collected, in the EMS - Meteorological Station of Surface in Cuiabá, located in the Airport Rondon Marshal, for the 8.760 hours of the year of 1994, elect as the year of reference. These data had been used in the drawing of the Bioclimatic Letter of Cuiabá and to get the necessary bioclimatics strategies for correction of the local climate, through specialized software *Analysis Bio*, developed for the Laboratory of Energy Efficiency of Constructions LABEEE/UFSC. The final report of exit indicated 19,5% of hours of comfort and 80,5% of discomfort for the TRY of Cuiabá. The most indicated bioclimatics strategies had been shading 94,7%, ventilation 56,2%, evaporative cooling 20,2% and thermal mass for cooling 19,6%.

Key-words: Climate, Climatic Year of Reference and Climatic Data.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 PROBLEMÁTICA

A combinação de características como latitude, altitude acima do nível do mar, proximidade de grandes massas de água e de montanhas, umidade do solo e a natureza da vegetação, podem criar incontáveis tipos climáticos.

Porém o clima está em constante mudança, tanto através de lentas transformações geomorfológicas, como pela interferência do homem – em geral, de rápidas conseqüências – derrubando florestas, represando rios e poluindo a atmosfera.

Em 1992, a partir da consolidação do conceito de desenvolvimento como diretriz para mudanças no desenvolvimento global, deu-se início a busca do uso racional dos recursos naturais, economia de energia e preservação e conservação do meio ambiente e da biodiversidade.

Na arquitetura e áreas afins, o conhecimento do clima aliado aos mecanismos de trocas físicas de calor, pode ser utilizado como parâmetro para o desenho da edificação. Essa metodologia de construção surgiu com idéias relacionadas à bioclimatologia, que buscam ambientes com maior conforto ao usuário através de recursos naturais oferecidos pelo meio e evitando o uso dispendioso de energia, resultando em maior eficiência energética nas edificações.

Nos Estados Unidos, já na década de 60, os irmãos Olgyay aplicaram a bioclimatologia na arquitetura considerando o conforto térmico humano e criaram a expressão “projeto bioclimático”. Delimitando a relação entre clima e projeto arquitetônico, configurou-se um manual para projeto bioclimático, com particular referência à carta bioclimática, sendo esta a primeira representação gráfica a mostrar a conexão entre clima e o conforto humano.

A carta bioclimática de Olgay tem como princípio relacionar a temperatura de bulbo seco com a umidade relativa, e através dessa relação propõe uma zona de conforto e sugere medidas corretivas do clima para as condições internas da edificação. Essas medidas buscam atingir conforto quando o ponto de estudo está fora da zona de conforto, quantificando a necessidade de estratégias passivas diante das condições climáticas oferecidas, ou ativas, quando necessárias.

Em 1969, Givoni desenvolvendo a idéia de Olgay, propõe uma carta bioclimática para edificações, baseada na carta psicrométrica, que inclui, além da temperatura de bulbo seco e da umidade relativa, a pressão de vapor e a temperatura de bulbo úmido. Com o perfil bioclimático do local, os profissionais da área de projeto podem obter indicações fundamentais sobre as estratégias a serem adotadas no projeto bioclimático.

A carta bioclimática, que por uma simples definição é uma carta psicrométrica sobre a qual são traçados polígonos bioclimáticos, vem sendo utilizada com frequência até os dias de hoje, tendo recebido alguns aperfeiçoamento de vários pesquisadores.

No Brasil, GOULART et al. (1997) utilizando dados de aeroportos fez a análise bioclimática de 14 cidades brasileiras, com a confecção de suas respectivas cartas bioclimáticas, porém Cuiabá não estava inserida nessa realidade. A falta de dados horários era um obstáculo a ser vencido, sendo então utilizado dados referentes às Normais Climáticas para o estudo das características climáticas regionais.

O clima em Cuiabá possui estudos de elevada relevância nas áreas de agrometeorologia, geografia e outros. Porém, o estudo do clima direcionado para a área da construção civil, arquitetos e engenheiros, e até urbanistas, estão em fases iniciais.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

A aliança entre essas duas ciências, arquitetura e climatologia são de suma importância na construção civil trazendo melhorias significativas em diversos casos já estudados no Brasil e no exterior. Melhorias estas, não apenas sobre aspectos

econômicos, com a customização de energia nas edificações concebidas sob estes parâmetros, mas também sociais, ao direcionar tais ferramentas na concepção de habitações populares.

O conhecimento do clima, aliado ao dos mecanismos de trocas de calor e do comportamento térmico dos materiais, permite uma consciente intervenção da arquitetura, incorporando os dados relativos ao meio ambiente externo de modo a aproveitar o que o clima apresenta de agradável e amenizar seus aspectos negativos.

Porém esses dados relativos ao meio ambiente externo, ou seja, dados meteorológicos, não são direcionados para a solução dos problemas de projeto de edificações, fazendo com que os profissionais da área os ignorem. A lapidação desses dados brutos pode ser feita através da integração dos diferentes elementos climatológicos em um tratamento específico que seja capaz de transformar uma grande quantidade de registros em ferramentas práticas de trabalho.

Através da construção da Carta Bioclimática para Cuiabá, pode-se obter tais ferramentas que auxiliem os profissionais da área, e assim contribuindo para o desenvolvimento dos estudos voltados para a arquitetura bioclimática.

Em muitos países o uso de dados climáticos em programa simuladores é freqüente. Através destes, a avaliação do desempenho térmico das edificações quanto ao clima local são essenciais, pois cria parâmetros para o ajuste das construções que visam maior eficiência energética.

Os dados horários utilizados na construção da Carta Bioclimática são o início de um arquivo climático a ser formatado em ocasiões futuras. Os arquivos de entrada para os atuais softwares de simulação estão em níveis avançados em vários locais do mundo e no Brasil. Para tanto, é necessária a disponibilidade de dados horários de muitas variáveis, inclusive dados de radiação e conteúdo de umidade.

Tendo consciência de que a arquitetura deve estar de acordo com os parâmetros climatológicos específicos de cada local, torna-se clara a necessidade do presente projeto de pesquisa para a obtenção de dados consistentes na caracterização do clima e utilização dos recursos técnicos climatológicos em benefício do bem estar dos usuários, minimizando os efeitos climáticos locais, em virtude de uma arquitetura adaptada à região e mais eficiente no consumo de energia.

Como objetivo geral desta pesquisa, será então confeccionada a Carta Bioclimática de Cuiabá, apresentando e quantificando as estratégias necessárias para condicionamento térmico das edificações, através da análise bioclimática do ano climático de referência, o TRY.

Os objetivos específicos estão pautados na avaliação da representatividade desse ano típico eleito pelo método de STAMPER (1977) e descrito por GOULART et al. (1997), para a seqüência de anos selecionada. Será também avaliada a diferença existente entre a análise bioclimática feita por Normais Climáticas e pelo TRY para o clima de Cuiabá.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

A fundamentação teórica designada para esta pesquisa busca principalmente nos estudos relacionados à Bioclimatologia, conceitos iniciais até os atuais que ajudem na construção das bases do conhecimento necessário para conduzi-la .

Observando desde o período da chamada Revolução Industrial, nota-se que a questão ambiental não era tida como motivo de preocupação. A poluição não era foco da atenção da sociedade industrial e intelectual da época, pois os recursos naturais eram abundantes e a busca do desenvolvimento estava em primeiro plano.

Atualmente o conflito da sustentabilidade dos sistemas econômico e natural surge com a escassez dos recursos naturais, somado ao crescimento desordenado da população mundial e a intensidade dos impactos ambientais, fazendo do meio ambiente um tema literalmente estratégico e urgente. As reformulações das práticas ambientais exercidas pelo homem começaram ao se depararem com a impossibilidade de transformar as regras da natureza.

A humanidade está usando 20% a mais de recursos naturais do que o planeta é capaz de repor, e com isso está avançando sobre os estoques naturais da Terra, comprometendo as gerações atuais e futuras segundo o Relatório Planeta Vivo 2002, elaborado pelo WWF e lançado em Genebra.

Nos países industrializados cresce cada vez mais o consumo de recursos naturais provindos dos países em desenvolvimento - a ponto de aqueles países já responderem por mais de 80% do consumo total no mundo. Segundo VIEIRA (1998), 30% dos recursos naturais consumidos na Alemanha vêm de outros países; no Japão, 50%; nos países Baixos, 70%. O meio ambiente natural é o fundamento invisível das diferenças sócio econômicas entre países desenvolvidos e em desenvolvimento.

O grande desafio da humanidade é promover o desenvolvimento sustentável de forma rápida e eficiente. Este é o paradoxo: sabemos que o tempo está se esgotando, mas as ações não são suficientes para mudar as coisas antes que seja demasiadamente tarde.

## 2.2 CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA

As interações entre a atmosfera e toda a superfície terrestre formam o sistema que determina o clima no mundo. A complexa ligação desse conjunto pode ser estudada sob várias escalas e aspectos. Atualmente, o principal enfoque na área está voltado aos aspectos das mudanças climáticas, tanto na escala global quanto nas de menores dimensões. Porém para alcançar o entendimento das atuais ocorrências, necessita-se conhecer basicamente o funcionamento do conjunto das interações do sistema climático, interpretado de várias formas em muitos estudos existentes.

O estudo do clima 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).

Para MASCARÓ (1991), 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.

O clima é analisado de diversas formas por distintos autores. Através de ROMERO (2000) podem-se observar as atribuições de vários autores sobre o assunto.

GIVONI (1976) *apud* ROMERO (2000) diz que o clima de uma dada região é determinado pelo padrão das variações dos vários elementos e suas combinações,

destacando que os principais elementos que devem ser considerados no desenho dos edifícios e no conforto humano são: radiação solar, comprimento de onda da radiação, temperatura do ar, umidade, ventos e precipitações.

OLGYAY (1963) *apud* ROMERO (2000) diz que o tempo é um conjunto de todas as variáveis meteorológicas, em um dado momento, e que os elementos aparecem em combinação.

LYNCH (1980) *apud* ROMERO (2000) aponta a temperatura, umidade, precipitação, nebulosidade, velocidade e 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.

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 determina-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 atmosféricas.

Segundo ROMERO (2000), a diferenciação entre fatores e elementos está na atribuição de que os elementos climáticos definem e fornecem os componentes do clima num ponto restrito, dando origem ao microclima, enquanto que os fatores climáticos condicionam, determinam e dão origem ao clima nos seus aspectos macros e gerais.

De acordo com sua classificação, os fatores climáticos globais são; radiação solar, latitude, altitude, ventos e massas de água e terra; os fatores climáticos locais são a topografia, vegetação e superfície do solo; e os elementos climáticos são temperatura, umidade do ar, precipitações e movimento do ar, com foco nos aspectos gerais que caracterizam o clima das regiões tropicais.

---

OLGYAY, Victor. **Design with climate**. New Jersey, Princeton University, Princeton, 1963.

LYNCH, K. **Planificación del Sítio**. Barcelona, G. Gili, 1980

GOMES, R. J. **“Introdução à compreensão do clima”**. Brasília, Unb, 1980. Mimeo.

## 2.2.1 Fatores Climáticos Globais

### 2.2.1.1 Radiação Solar

O espectro de emissão eletromagnético do sol inicia-se com comprimento de onda de 220 a 4000 nanômetros, onde encontra-se 99% do espectro total.

Dentro do espectro de emissão solar a faixa compreendida entre 220 a 400 nanômetros é do ultravioleta, a faixa entre 400 até 700 nanômetros é a faixa do visível, que compreende os comprimentos de onda que impressionam a retina do olho humano, dando a sensação de visibilidade. A partir de 700 nm, os comprimentos de onda passam à faixa do infra-vermelho, chegando até 4000 nanômetros, como mostra a figura 1:

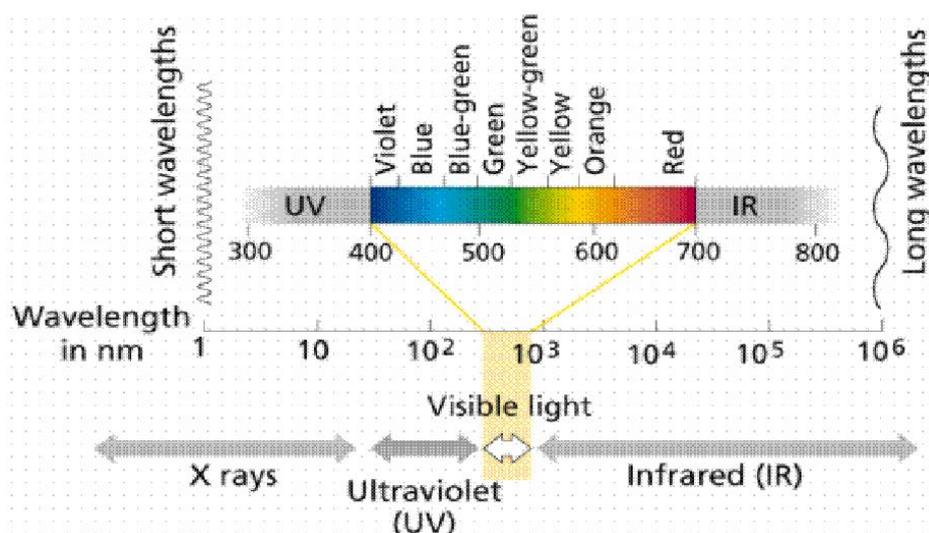


Figura 1 - Espectro de radiação.

Fonte: Disponível em: <<http://www.iag.usp.br/siae98/meteorologia/dinamica.htm>>

A energia solar que chega até a superfície terrestre é a radiação solar sob a forma de ondas magnéticas, que varia de intensidade à medida que penetra na atmosfera.

A energia solar que chega nas camadas mais altas da atmosfera contém certa quantidade de energia, que varia em função da distância da terra ao sol e das atividades solares, cuja média é igual a  $1,97 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{m}^{-1}$ , conhecida como constante solar.

A constante solar, se observando a incidência da radiação sob aspectos teóricos, é definida como sendo a quantidade de energia que incide perpendicularmente sobre uma superfície horizontal unitária na unidade de tempo, quando o raio vetor Terra-Sol (distância média da terra ao sol) é unitário e ausente da atmosfera. Como a distância Terra-Sol é variável, a constante solar oscila  $\pm 2\%$  de seu valor durante o ciclo anual, conforme OMETTO (1981).

O ângulo entre o zênite local e a posição do sol, que entre os trópicos somente em dois instantes no ano ocupa a posição de zênite, tem a incidência solar com inclinação segundo esse ângulo chamado ângulo zenital ( $Z$ ).

A energia que incide sobre uma superfície horizontal, tem sua intensidade decrescida de um valor proporcional ao cosseno do ângulo zenital, isto é, a relação da energia incidente ( $I$ ), sobre a energia que incidiria perpendicularmente ( $I_0$ ) é igual ao cosseno do ângulo zenital, conforme equação obtida em OMETTO (1981):

$$\frac{I}{I_0} = \cos Z \quad \text{Equação 1}$$

Logo:

$$I = I_0 \cdot \cos Z \quad \text{Equação 2}$$

Porém, nas equações acima o valor de  $I_0$  é dado pela constante solar, e de acordo com o valor do cosseno do ângulo do ângulo zenital, pode-se estimar energia incidente a cada instante, sobre qualquer superfície horizontal, considerando a atmosfera ausente.

Como o sol dificilmente ocupa a posição zenital, seus raios não atuam perpendicularmente à superfície horizontal, sendo sua incidência correlacionada com o cosseno do ângulo zenital, e a massa ótica deixa de ser unitária, mas com suas propriedades consideradas constantes.

Para isso, a expressão que possibilita estimar a radiação solar incidente em um instante qualquer, em qualquer local do globo, para qualquer dia do ano em uma

superfície horizontal desprezando-se a refração atmosférica, e considerando a atmosfera homogênea em seus componentes, ainda segundo OMETTO (1981):

$$I = I_0 \cdot \cos Z \cdot \tau^{\sec Z} \quad \text{Equação 3}$$

$I$  = energia solar incidente no solo

$I_0$  = constante solar ( $2,0 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ )

$\tau$  = transmissividade atmosférica

$\sec Z$  = secante do ângulo zenital

$\cos Z$  = coseno do ângulo zenital =  $\sin \psi \cdot \sin \delta + \cos \psi \cdot \cos \delta \cdot \cos h$

$\psi$  = latitude local (*ângulo formado entre a vertical do local e o plano do Equador, que varia de  $0^\circ$  a  $90^\circ$* ).

$\delta$  = declinação solar do dia (*ângulo entre o plano do Equador e o plano da eclíptica, que varia de  $+23^\circ 27'$  a  $-23^\circ 27'$  a cada dia durante todo o ano*).

$h$  = ângulo horário (*altura do sol ao longo do dia*)

O potencial máximo de radiação solar é o máximo possível de radiação solar incidente na superfície do solo, para um determinado dia e local, considerando a atmosfera presente e isenta de nuvens durante todo o dia. Esse parâmetro energético máximo é de grande valia para utilização de cálculos de demanda energética em sistemas solares de aquecimento, secagem, refrigeração, evaporação, evapotranspiração etc.

Segundo OMETTO (1981), o potencial máximo da radiação solar incidente calcula-se em função do valor teórico da radiação solar para aquele dia e local, e da radiação solar medida e calculada na passagem meridiana (valor instantâneo ao meio dia, onde ângulo horário =  $0^\circ$ ), como mostra a equação 4:

$$Q_{gm} = \frac{Q_0 \cdot I_{12}}{\frac{I_0}{R^2} \cdot \cos(\delta - \psi)} \quad \text{Equação 4}$$

$Q_{gm}$  = radiação solar máxima em determinado dia e local

$I_{12}$  = radiação solar incidente ao meio dia

$I_0$  = constante solar ( $2,0 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ )

$R^2$  = raio vetor Terra-Sol = 0,9915

$\psi$  = latitude local

$\delta$  = declinação solar do dia

$$Q_0 = \frac{916,7}{R^2} . \text{sen } \psi . \text{sen } \delta . \text{hp} + \cos \psi . \cos \delta . \text{sen } \text{hp} \quad \text{Equação 5}$$

sendo  $\cos \text{hp} = -(\text{tg } \psi . \text{tg } \delta)$

hp = valor do ângulo horário em radianos

VILLA NOVA (1977) *apud* OMETTO (1981) fez ainda uma tabela dos valores médios mensais estimados do Potencial Máximo de radiação solar incidente na superfície do solo em  $\text{cal. cm}^{-2} . \text{min}^{-1}$ , servindo de parâmetro para várias localidades do território brasileiro:

Local	Latit.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Méd.
Macapá (AP)	0010'N	705	740	744	702	648	617	627	669	720	732	720	702	694
Belém (PA)	1028'S	708	736	743	704	652	621	630	674	719	732	717	700	695
São Luis (MA)	2032'S	713	738	743	703	650	617	626	673	717	734	720	703	695
Manaus (AM)	3008'S	724	735	732	690	635	609	631	680	720	732	717	711	693
Fortaleza (CE)	3043'S	722	746	743	700	642	606	615	665	714	737	728	713	694
Marabá (PA)	5021'S	734	753	740	691	628	590	603	655	710	740	736	724	692
Morada Nova (CE)	6001'S	739	756	739	687	622	583	598	651	708	741	739	729	691
João Pessoa (PB)	7007'S	747	758	740	681	612	573	586	642	705	742	747	738	689
Curado (PE)	8003'S	754	760	740	676	604	565	576	635	703	743	754	745	688
Rio Branco (AC)	9058'S	764	767	736	664	587	542	557	622	693	745	763	761	683
Propriá (SE)	10012'S	766	767	736	663	585	540	555	620	693	745	764	763	683
Irecê (BA)	11018'S	774	770	733	656	575	530	545	612	690	746	769	771	681
Lençóis (BA)	12034'S	783	772	730	648	563	518	533	601	685	747	775	780	678
Salvador (BA)	13001'S	785	772	729	644	558	512	528	597	682	746	776	783	676
Ilhéus (BA)	14048'S	794	776	724	631	540	492	508	581	673	746	775	793	669
Brasília (DF)	15047'S	800	777	720	623	532	481	497	570	669	747	787	799	669
Montes Claros (MG)	16043'S	803	778	718	615	522	471	488	562	665	745	786	804	663
Caravelas (BA)	17044'S	806	777	716	607	511	460	477	554	660	741	793	810	659
Diamantina (MG)	18015'S	808	777	714	603	505	454	471	549	657	740	795	813	657
Belo Horizonte (MG)	19056'S	814	776	706	589	487	431	452	531	645	738	799	819	649
Viçosa (MG)	20045'S	816	775	701	583	479	423	442	525	639	737	801	822	645
Lavras (MG)	21014'S	818	775	697	580	474	418	436	520	636	736	803	823	643
Piracicaba (SP)	22042'S	823	774	689	565	455	399	417	505	623	732	805	829	635
Tietê (SP)	23007'S	824	773	687	562	451	395	414	502	621	731	806	830	633
Pariquera-Açu (SP)	24035'S	829	773	680	548	434	377	398	487	611	726	806	835	625
Curitiba (PR)	25026'S	831	772	674	539	425	367	387	477	605	724	807	839	620
Palmas (PR)	26029'S	833	771	668	529	413	354	374	465	598	720	807	843	614
Ijuí (RS)	28023'S	835	765	659	510	390	330	351	445	583	713	808	849	603
São Borja (RS)	28039'S	836	764	656	508	388	327	348	443	581	711	807	849	601
Farrópilha (RS)	29014'S	836	762	656	502	382	320	341	437	575	708	807	850	597
Encruzilhada do Sul (RS)	30033'S	838	760	640	489	367	303	324	422	563	700	806	853	589
Bagé (RS)	31020'S	839	759	635	481	357	294	315	413	555	696	805	854	583
Petrolini (RS)	32001'S	840	759	630	474	349	286	307	405	549	692	804	855	579

**Tabela 1** – Valores estimados do Potencial Máximo de Radiação Solar incidente na superfície  $\text{cal. cm}^{-2} . \text{min}^{-1}$  (VILLA NOVA, 1977).

Fonte: OMETTO (1981)

VILLA NOVA, N. A. & SALATI, E. Radiação Solar no Brasil. Anais. In: II Simpósio Anual da Academia de Ciências do estado de São Paulo, 1977.

A intensidade da radiação é reduzida ao penetrar na atmosfera porque o comprimento de onda dos raios solares é modificado pela absorção, reflexão e difusão dos componentes do ar ao longo da trajetória até a superfície.

Quando o solo recebe energia, essa energia é positiva, quando perde energia, é negativa. Essa somatória algébrica das energias que alcançam e deixam a superfície do solo é chamada de “Balanço de Energia”, e a energia resultante ao meio depois de todas as trocas radioativas se efetuarem, é conhecida como “Energia Líquida Disponível ao Meio”. A equação do balanço de energia segundo OMETTO (1981) pode ser expressa por:

$$RL_{(d)} = Boc - Bol \quad \text{Equação 6}$$

sendo *Boc*, a radiação solar que alcança o sistema terrestre e o termo *Bol*, a energia que é emitida pelo sistema.

A radiação líquida é geralmente positiva durante o dia e negativa durante a noite, em função da existência ou não de radiação solar.

Esse balanço também se explica através dos processos de perda de calor pela superfície do solo durante o dia e a noite.

Durante o dia, o solo recebe radiação solar (radiação solar direta + radiação solar difusa pela atmosfera) em forma de radiação de ondas curta, ou seja, de baixa amplitude e alta frequência. O solo aquecido irá emitir para o espaço radiação de ondas longas, ou seja, de grande amplitude e baixa frequência. Parte dessa radiação será absorvida pela atmosfera que reemitirá, em todas as direções e conseqüentemente voltando parte à superfície do solo em forma de radiação de onda (radiação atmosférica), ocorrendo então a perda de calor por radiação.

A superfície do solo aquecido também perde calor quando transfere energia para evaporação da água nele contida, essa energia desprende-se do solo na forma de calor latente de evaporação.

O solo aquecido vai transferindo energia da superfície para as camadas mais profundas, por condução de calor no solo, e a superfície para a camada de ar adjacente a ela, sendo essa energia transferida por difusão turbulenta do ar.

Durante a noite o solo não recebe radiação solar e continua perdendo a energia ganha durante o dia, passando a temperatura da superfície a ser menor que a temperatura do ar adjacente, e das camadas mais profundas do solo, fazendo do balanço de energia noturno um saldo negativo.

Segundo BARDOU (1980) *apud* ROMERO (2000), o balanço final, nulo em um ano, se estabelece em termos de somas pontuais, já que todos estes fenômenos de intercâmbios são sensíveis às condições locais: diferença entre Pólos e Equador; condições climáticas (nuvens, bruma), estado, natureza, cor e temperatura do solo terrestre. A quantidade de calor absorvido pela terra cada ano está em equilíbrio com as perdas de calor.

#### **2.2.1.2 *Latitude, Altitude e Longitude***

A posição de um ponto qualquer na superfície da Terra pode ser determinada através de três coordenadas: latitude, longitude e altitude.

A latitude é a referência de distância da linha do Equador, sendo a temperatura média do ar decrescida ao se distanciar em direção aos Pólos. Porém o esfriamento também é influenciado pela altitude, ventos, correntes marinhas e outros fatores do clima.

A diferença de capacidade de armazenamento de calor entre as massas de água e terra também são elementos que influenciam nos desvios do clima numa dada altitude. A água possui um calor específico alto, por isso a acumulação de temperatura é muito mais baixa que a da terra, dando a qualquer corpo d'água o efeito de reduzir as temperaturas externas diurnas sobre seu entorno.

A altitude tem referência quanto ao nível do mar. É um dos fatores que exerce maior influência sobre a temperatura, pois em elevadas altitudes o ar possui menos partículas sólidas e líquidas que absorvem as radiações solares. Por isso, o gradiente termométrico do ar cresce com a altitude proporcionalmente.

A longitude é utilizada apenas como ponto de localização geográfica, pois a variação de sua coordenada não influencia na mudança do clima.

O posicionamento geográfico influencia na variação do clima pela influência da incidência do ângulo em que os raios solares atingem a superfície. A determinação da direção da radiação pode ser determinada por meio de dois ângulos: azimute e altura do sol.

O azimute solar é o ângulo horizontal formado entre a projeção do sol no plano do horizonte e o Norte verdadeiro do zênite. Esse ângulo varia para cada dia do ano e pode ser determinado através da equação 7:

$$\text{Cos Azimute} = \frac{\text{sen } h \cdot \text{cos } \delta}{\text{sen } Z} \quad \text{Equação 7}$$

*sen h* = seno do ângulo horário

*sen Z* = seno do ângulo zenital

*cos δ* = coseno da declinação solar do dia

A altura angular do sol é o ângulo vertical formado entre o plano horizontal do zênite e o vetor Sol-Terra. É um ângulo complementar ao ângulo zenital (*Z*), por isso pode ser encontrado ao diminuir o ângulo zenital de 90° (90° - *Z*), sendo este variável durante todas as horas do dia, conforme posicionamento solar.

O conhecimento da geometria solar também pode ser utilizado em duas técnicas para avaliação da disponibilidade de insolação: Quadrante Solar (tridimensional) e Carta Solar (gráfica).

O Quadrante Solar é como uma maquete que simula a posição variável do sol e de sua sombra durante o dia e ao longo do ano. Podem ser utilizados para avaliar os efeitos das condições existentes no local, os impactos das alternativas de volumetria, o nível de penetração do sol nas edificações e a eficiência dos elementos de sombreamento.

A Carta Solar representa a trajetória do sol na abóbada celeste como se estivesse projetado sobre uma superfície horizontal. Tem a função de determinar os horários do dia e do ano no qual o sol estará presente em determinada localidade. Conforme a latitude, a posição do sol é determinada em termos de altura e azimute.

### 2.2.1.3 Ventos

O vento é o ar em movimento resultante da variação barométrica (pressão do ar) causada pela diferença de absorção e incidência de energia solar nos diferentes pontos da superfície terrestre. A superfície da Terra absorve a energia solar, aquece o ar próximo a sua superfície, e este pode ser transportado para as regiões mais altas da atmosfera pelo movimento vertical do ar (convecção) ou para regiões adjacentes através do transporte horizontal (advecção). Por isso, quando se estuda o vento em meteorologia costuma-se dividi-lo em suas componentes horizontais (nas direções leste/oeste e norte/sul), e vertical (movimento ascendente e descendente). Embora a componente horizontal do vento tenha maior intensidade de movimentação, a componente vertical se destaca quanto aos conhecimentos na formação de nuvens e precipitações.

O estudo das circulações atmosféricas é feito através do uso das “leis” da termodinâmica e da mecânica clássica desenvolvida desde a época de Isaac Newton (século XVII). Entretanto a aplicação dessas leis não é tão simples como no caso do estudo do movimento de pontos ou corpos sólidos, pois a atmosfera é um gás que pode sofrer variações de massa e de volume.

Existem basicamente duas classes de forças que afetam a atmosfera, aquelas que existem independentes do estado de movimento do ar e aquelas que aparecem somente após existir movimento. Na primeira categoria estão aquelas provocadas por “campos”, como por exemplo, a “força gravitacional” e a “força do campo de pressão”. Na segunda aparecem como uma reação ao movimento, como por exemplo: a “força de fricção” e a “força de Coriolis”.

A força da gravidade, que faz com que todos os corpos sobre a Terra sejam atraídos para o centro dela, atua sobre o movimento geral de circulação de ar modificando somente a componente vertical do vento. Sua intensidade, de acordo com a “Segunda Lei de Newton”, é proporcional à massa da parcela de ar, sendo que a constante de proporcionalidade é a aceleração da gravidade ( $g$ ). O sentido dessa força é sempre de cima para baixo.

A Força do Gradiente de Pressão surge devido às variações espaciais (o que chamamos de gradiente) no campo da pressão. O conceito de pressão atmosférica

vem da teoria cinética dos gases, e pode ser definida como sendo a força exercida pela colisão das moléculas do ar, em movimentos aleatórios, sobre uma superfície qualquer.

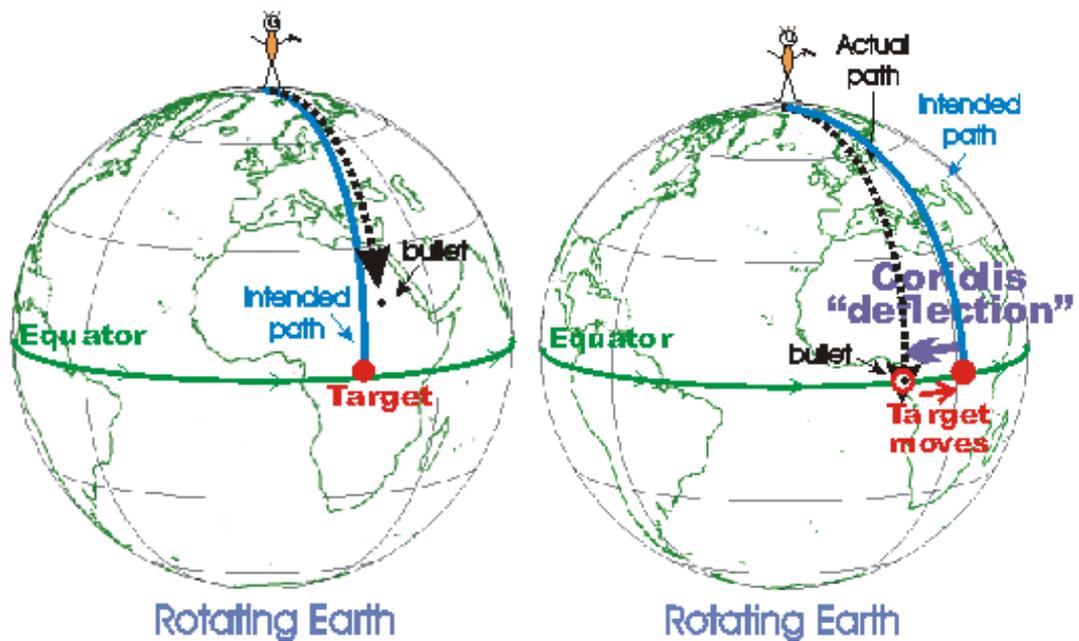
No caso da atmosfera a pressão é definida como o peso da coluna de ar sobre unidade de área. A força gravitacional faz com que as moléculas de ar se comprimam nos níveis mais próximos à superfície. A diminuição gradativa da massa do ar quando se vai para os níveis mais altos faz com que o peso, ou seja, a pressão diminua com a altura. A taxa de variação vertical da pressão, isto é, o gradiente vertical da pressão é bem maior que os gradientes horizontais normalmente observados. Entretanto, são esses pequenos gradientes horizontais uma das principais causas (ou força) que provoca o movimento do ar. Quanto maior o gradiente horizontal de pressão, maior será a força do gradiente de pressão e, por conseguinte, a aceleração.

A Força de Atrito aparece após o movimento das parcelas de ar. Essa força faz com que um corpo em movimento e em contato com uma superfície pare após certo tempo, através do atrito do corpo com as rugosidades da superfície. Esta força só é importante nas primeiras centenas de metros da atmosfera, próximo à superfície e depende da velocidade das parcelas de ar, das características da superfície (rugosidade), e do gradiente vertical de temperatura.

A força de Coriolis é uma força defletora resultante da rotação da terra. Os ventos não caminham em linha reta ao longo de um gradiente de pressão, mas são defletidos ou desviados em forma de curva devido à rotação da Terra.

Imaginando em um instante inicial uma bola é lançada do Pólo Norte na direção do Equador, conforme a bola avança o alvo vai se movendo também no sentido da rotação da Terra. Para um observador que tenha lançado a bola do Pólo Norte ou que esteja fora da Terra, a bola vai descrever uma trajetória perfeitamente retilínea, já que o observador está em um referencial inercial. Vale portanto, a primeira lei de Newton, que diz que para um corpo (parcela de ar) mudar seu estado de movimento, deve existir um desequilíbrio entre as forças que atuam sobre esse corpo. Por outro lado, se o observador estivesse fixo sobre o alvo (no Equador, um ponto referencial não inercial) ele veria a bola se desviar para a direita de sua direção de movimento, como se uma “força” estivesse agindo sobre o corpo. O mesmo

ocorre em uma parcela de ar movendo do Pólo Norte em direção ao Equador como mostra a figura 2:



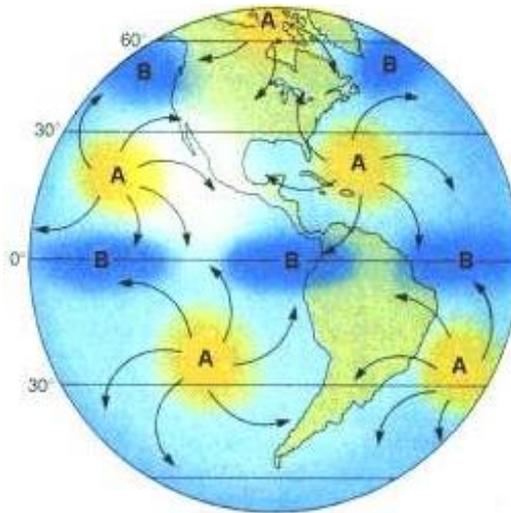
**Figura 2** - Deflexão de um objeto devido à Força de Coriolis.

**Fonte:** Disponível em <<http://www.atmosphere.mpg.de/>>. Acesso em 19/06/2006.

A força de Coriolis tem particular influência no movimento de objetos de grandes dimensões, como massa de ar, movendo-se durante longas distâncias. Pequenos objetos, como os navios no mar, são demasiado pequenos para experimentar deflexões significativas na direção do seu movimento devido à força de Coriolis.

Pode-se entender que a Força de Coriolis, no hemisfério Norte, que possui um giro no sentido horário, a Força de Coriolis age sempre no sentido de desviar o movimento para a direita.

No caso do hemisfério Sul, a Força de Coriolis age no sentido de desviar o movimento para a esquerda, como está representado na figura 3:



**Figura 3** - Representação do movimento de ar devido à distribuição dos continentes e da força de Coriolis (A = alta pressão, B = baixa pressão).

**Fonte:** Disponível em <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap8/cap8-2.html>>. Acesso em 09/06/2006.

A atmosfera gira com a terra, mas como seu peso é leve em relação à massa do planeta, ela se comporta como um fluido mantido contra a superfície terrestre pela gravidade e fricção. Como o sentido de rotação da terra é de Oeste a Leste, todo vento do Leste tem um efeito de freio sobre a superfície terrestre, enquanto todo vento do Oeste tem um efeito acelerante.

As cartas sinóticas que calculam a força do vento baseiam-se no balanço entre o gradiente de pressão e as forças decorrentes da rotação da Terra. Porém essa estimativa é válida apenas para os chamados ventos Geostróficos, que localizam-se entre 500 e 1.000 metros acima do solo.

Na camada mais próxima a superfície, até 100 metros acima do nível do solo, os efeitos da força de rotação da Terra podem ser desprezados, pois os fatores mais importantes são a fricção e a influência do gradiente de densidade.

Segundo OMETTO (1981), o vento de superfície é normalmente turbulento, devido à variabilidade da natureza da superfície que faz com que as camadas de ar em contato com o solo exibam grandes trocas diurnas em gradiente de densidade, os quais afetam de forma complexa as características do fluxo. Por isso, os ventos podem ser divididos em constantes (ventos alísios e contra-alísios) e periódicos (brisas, monções, variáveis ou irregulares e locais).

Na atmosfera podem-se encontrar circulações de ar de qualquer tamanho, desde o microscópico movimento molecular até oscilações com escalas da ordem do perímetro da Terra. Todos esses diferentes tamanhos, ou escalas de movimento são interdependentes. Assim, a escala de movimentos atmosféricos é dividida em:

- a) Macroescala: Os fenômenos dessa escala são os que mais afetam o dia-a-dia. Esses sistemas têm dimensões da ordem de algumas centenas de quilômetros e duração da ordem de um dia a meses. Nela se enquadram: furacões, frentes frias, ciclones e anticiclones.

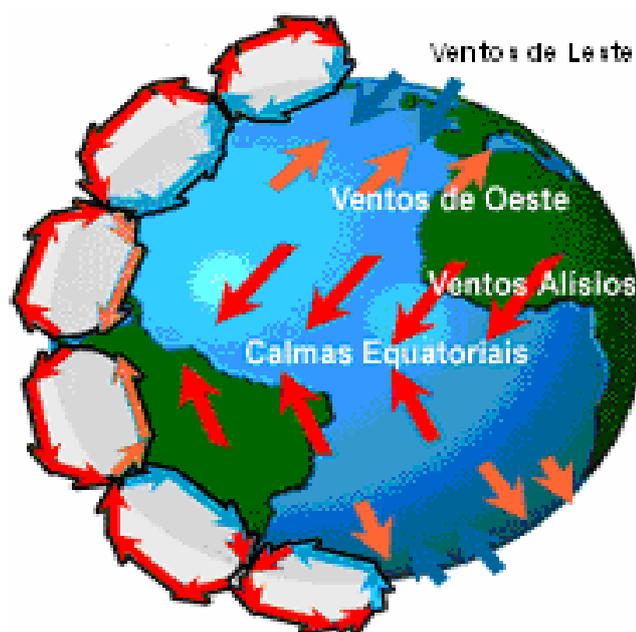
Esses fenômenos têm também um importante papel na determinação das características climáticas e sazonais nas diversas regiões do globo. Nessa escala, está envolvida a movimentação de grandes massas de ar, os ventos são associados à circulação geral da atmosfera em função dos gradientes de pressão entre grandes regiões.

Na região entre os Trópicos e o Equador, encontram-se os ventos denominados ALÍSIOS, que são fluxos de vento que saem das altas pressões subtropicais e se dirigem para Norte, em direção às baixas pressões equatoriais. Esses ventos acontecem a Norte e a Sul do Equador, Alísios de NE e Alísios de SE respectivamente.

Nas regiões entre os Trópicos e as regiões Sub-Polares, ocorrem os VENTOS DE OESTE, definidos como fluxos de vento que saem das altas pressões subtropicais e se dirigem para Norte, em direção às baixas pressões das regiões temperadas.

Nas regiões Polares, encontram-se os VENTOS DE LESTE, em fluxos que saem das altas pressões polares que se dirigem para Sul no Hemisfério Norte e para Norte no Hemisfério Sul.

Através da figura 4, pode-se observar a localização e o sentido de movimentação dos tipos de ventos descritos acima:



**Figura 4** - Localização dos tipos de vento distribuídos no globo terrestre.

**Fonte:** Disponível em <<http://www.eb23-gois.rcts.pt/estmeteo/livvent1.htm>> Acesso em: 13 de junho de 2006.

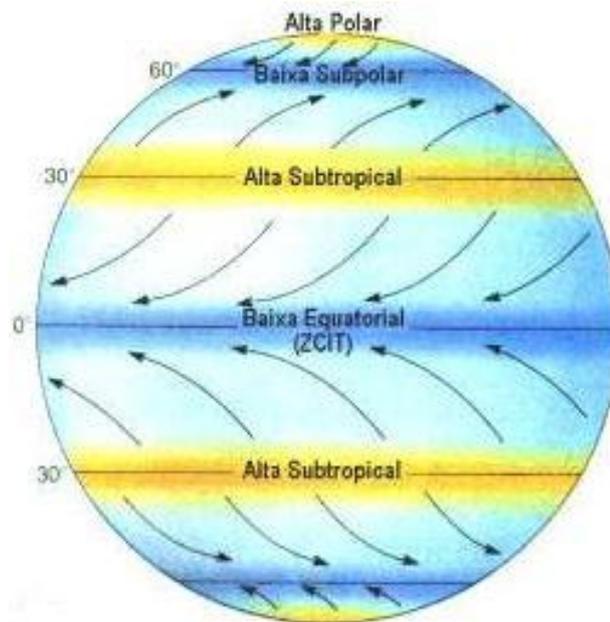
Numa faixa de aproximadamente 10° a 15°, centrada sobre a linha do Equador, estendendo-se ao redor do globo, a pressão atmosférica ao nível do mar é inferior a normal. Esta região é conhecida como ZONA DAS CALMARIAS EQUATORIAIS ou ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL (ZCIT), caracterizada por ventos fracos, nebulosidade, aguaceiros e trovoadas à tarde e umidade elevada.

Na região onde o ar se eleva, que corresponde à junção dos ventos do Norte e do Sul, forma-se uma frente tropical na região da zona de calmaria equatorial.

Nessa região, os ventos alísios são úmidos e provocam chuvas nas imediações do equador, onde ocorre o encontro dos ventos. Por essa razão, a zona equatorial é a região das calmaria equatorial chuvosas.

Os chamados contra-alísios são os ventos que sopram do equador para os trópicos, em altitudes elevadas. São ventos secos e responsáveis pelas calmaria tropical secas que geralmente ocorrem ao longo dos trópicos.

Com a figura 5, pode-se localizar as zonas de pressão e latitudes de formação dos ventos:



**Figura 5** - Zonas de pressão. (Alta = zona de alta pressão, Baixa = zona de baixa pressão).

**Fonte:** Disponível em <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap8/cap8-2.html>> Acesso em 09/06/2006.

- b) Mesoescala: Os fenômenos nessa escala têm dimensões da ordem de 1 km até cerca de 100 km. A duração característica é da ordem de 1 hora a 1 dia. Nessa categoria são enquadrados os fenômenos: tornados, linhas de instabilidade, tempestades isoladas, conjuntos ou sistemas de nuvens, ilhas de calor e brisas.

Os ventos oriundos da circulação geral modificam-se acentuadamente na escala de tempo e espaço devido ao aquecimento diferenciado, e conseqüente diferença de pressão entre áreas próximas. Contrastes nas interfaces entre continente e oceano, entre grandes lagos ou rios e as terras circundantes, originam ventos locais.

Na mesoescala há variação diária e sazonal na direção e na velocidade dos ventos, sendo que os principais são as brisas, que são ventos de pouca intensidade com velocidade variando de 6 a 38 km/h, conforme a Escala Beaufort de classificação da velocidade dos ventos. As brisas se diferenciam em brisa marítima e terrestre. Brisa marítima é o vento que

sopra de dia, do mar para terra. Durante o dia, a terra aquece mais rapidamente, originando em terra baixas pressões e no mar altas pressões. Brisa terrestre é o vento que sopra de noite, da terra para o mar. Durante a noite a terra arrefece mais rapidamente, formando altas pressões, enquanto a água arrefece mais lentamente, criando-se no mar baixas pressões. A representação esquemática da movimentação da massa de ar durante o dia e noite pode ser vista na figura 6:



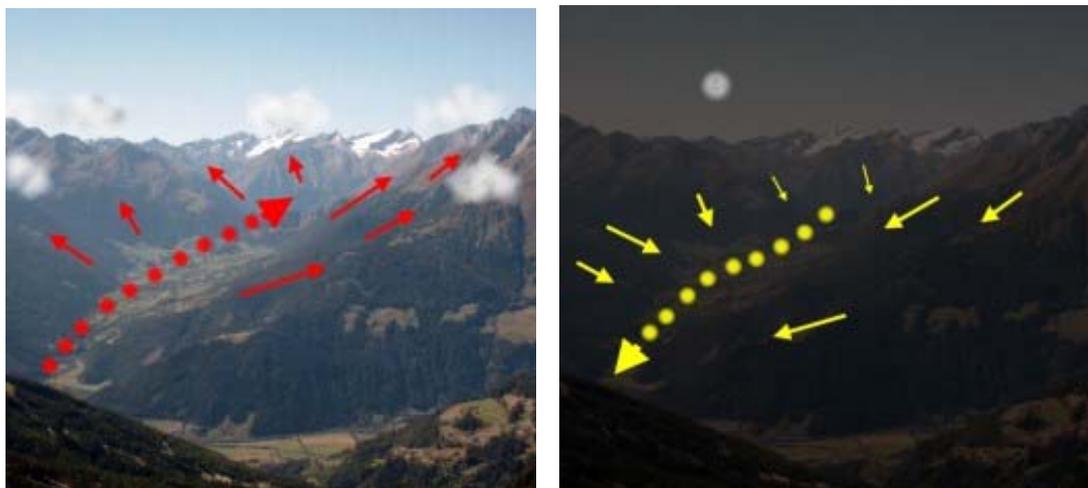
**Figura 6** - Brisa marítima e brisa terrestre, respectivamente.

**Fonte:** Disponível em <<http://gold.br.inter.net/luisinfo/tempesta.html>> Acesso: 14 de junho de 2006

Existem também as brisas de vale e brisas de montanha. A brisa de vale sopra de manhã do vale para a montanha porque os cumes da montanha aquecem primeiro que o vale, formando-se nos cumes baixas pressões.

Assim, durante o dia o ar sobe a encosta. Este processo é responsável pela formação de nuvens e ocorrência de precipitação sobre as montanhas com alguma frequência no verão e ao fim da tarde. A brisa de montanha aparece quando o vento fresco e moderado sopra à noite do cume da montanha para o vale. Isso ocorre porque à noite, os cumes arrefecem mais rapidamente, formando-se aí altas pressões e nos vales, com um arrefecimento mais lento, formam-se baixas pressões. Este ar frio desce a montanha por ação da gravidade. Assim, ao amanhecer, o ar mais frio pode ser encontrado no vale. Se o ar contiver humidade suficiente, pode formar-se nevoeiro no vale.

A figura 7 mostra a movimentação do ar nessa região de vale durante o dia e a noite:



**Figura 7** - Brisa de vale durante o dia e brisa de montanha durante a noite.  
Fotografia: Elmar Uherek.

**Fonte:** Disponível em: <<http://www.atmosphere.mpg.de>> Acesso em 19/06/2006.

- c) Microescala: é a menor escala que tem importância meteorológica. Os fenômenos que acontecem nessa escala têm dimensões da ordem de 1 metro a 1 km, e duração da ordem de 1 segundo até cerca de 1 hora. Nessa escala são enquadrados: processos de formação das gotas de chuva, dispersão de poluentes e interação no sistema solo-plantas e atmosfera. Exemplos desse tipo de contraste são:

1. Áreas ensolaradas e sombreadas;
2. Objetos com diferentes coeficientes de absorção de radiação solar;
3. Áreas irrigadas e não irrigadas;
4. Áreas cultivadas circundadas por terrenos sem vegetação.

Dados de ventilação coletados em aeroportos freqüentemente são utilizados para confecção de uma rosa-dos-ventos ou de uma carta de vento.

A rosa-dos-ventos fornece informações detalhadas da orientação e freqüência do vento em um mês ou um ano inteiro.

A carta de ventos dispõe de informações mais específicas do que a rosa-dos-ventos, tabulando para um período de uma ou três horas e para cada mês, a

velocidade dos ventos predominantes naquela velocidade e o percentual de horas que o vento sopra naquela direção.

Segundo BROWN & DEKAY (2004), muitas conclusões podem ser tiradas da carta de ventos. Sendo organizada por meses e horas, ela pode ser usada em conjunto com a carta bioclimática para antecipar a velocidade e a orientação dos ventos quando a temperatura e a umidade estiverem acima ou abaixo da zona de conforto.

As informações da carta de ventos e da rosa-dos-ventos freqüentemente vêm de um aeroporto, podendo apresentar padrões bastante diferentes de locais próximos. Por isso, os princípios do movimento do ar podem ser utilizados para adaptar os dados de ventilação coletados em aeroportos ao nível aproximado de ventilação em determinado local. Os princípios de movimento do ar que podem ser usados com essa finalidade são:

*“O primeiro dos três princípios é que, como resultado da fricção, a velocidade do vento é menor próxima à superfície da terra do que nas partes mais altas da atmosfera”.*

*O segundo princípio é que, como resultado da inércia, o ar tende a continuar movendo-se na mesma direção quando encontra um obstáculo.*

*Em terceiro, o ar flui de áreas de alta pressão a áreas de baixa pressão.” (BROWN & DEKAY, 2004)*

Ainda segundo esses mesmos autores, o vento pode ser utilizado em conjunto com a carta bioclimática para expandir sua zona de conforto térmico, ao se admitir ou bloquear o vento e o sol em níveis adequados de temperatura e umidade relativa. Esse método de permutação da admissão ou bloqueio do sol e do vento pode ser utilizado antes ou após a construção da edificação, para observação dos locais favoráveis ou dos microclimas criados em torno dos prédios, e com isso as condições são:

- a) SOL+BARLAVENTO = a condição na qual o sol e o vento são admitidos.

- b) SOMBRA+BARLAVENTO = a condição na qual o sol é bloqueado, mas o vento é admitido.
- c) SOL+SOTAVENTO = a condição na qual o sol é admitido, mas o vento é bloqueado.
- d) SOMBRA+SOTAVENTO = a condição na qual tanto o sol quanto o vento são bloqueados.

Um exemplo seria a condição SOL+SOTAVENTO (admite-se o sol - mas o vento é bloqueado) tem uma aplicação apropriada para uma área externa se a temperatura estiver abaixo da zona de conforto padrão. Porém, a exemplo de um clima frio, admitir-se um recurso desejável (radiação) é mais importante do que bloquear um recurso indesejável (vento), caso este último não seja possível.

Deve-se salientar que no decorrer do ano, o diagrama global de ventos muda de Norte a Sul e vice-versa. Essas mudanças são estacionais (conforme estação do ano em cada hemisfério) não somente na temperatura, mas também na direção do vento e das precipitações.

#### ***2.2.1.4 Massas de Água e Terra***

A proporção entre as massas de terra e os corpos de água num dado território produz um impacto característico no clima. Grandes variações climáticas e grandes extremos estacionais são freqüentes nas massas continentais de terra ao longo de uma mesma latitude. As penínsulas e baías tendem a possuir climas fortemente influenciados pelos corpos de água adjacentes. No entanto, as ilhas apresentam climas mais estáveis e desvios mínimos referentes às características das suas latitudes.

A diferença na capacidade de armazenagem de calor entre as massas de água e de terra pode ser a principal razão para que estes fenômenos se manifestem. Enquanto a água possui o mais alto calor específico (quantidade de calor necessário para aquecer uma unidade de massa de uma substância, medida em cal/g °C), a acumulação de calor é muito menor na água que na terra.

As massas de terra possuem grandes diferenças de armazenagem de calor, devido particularmente às características físicas do solo. As camadas do solo diferem entre si pela cobertura, topografia, coloração, textura, etc. De acordo com a textura e estrutura, o solo absorve maior ou menor quantidade de energia. Essa absorção limita-se aos primeiros milímetros de sua superfície, tornando-se mais energética quanto maior a energia absorvida. Para a transferência de energia junto a superfície do solo é necessário o aparecimento de fluxos de calor, vapor d'água, CO<sub>2</sub>, etc.

A beira-mar, a areia tendo calor sensível muito menor que o da água, se aquece mais rapidamente que a água durante o dia e resfria mais rapidamente durante a noite. Durante o dia, o ar próximo da areia fica mais quente que o restante e sobe, dando lugar a uma corrente de ar que vem do mar para a terra, chamada brisa marítima. Durante a noite, o ar próximo da superfície da água se resfria menos. Com isto ele fica mais quente que o restante e sobe, dando lugar a uma corrente de ar da terra para o mar, denominada brisa terrestre, como já visto na figura 6.

### **2.2.2 Fatores Climáticos Locais**

Os fatores climáticos locais são aqueles que condicionam, determinam e dão origem ao microclima, isto é, ao clima num determinado ponto (cidade, bairro, rua, etc.) ainda conforme classificação de ROMERO (2000):

#### **2.2.2.1 Topografia**

A topografia é o resultado de processos geológicos e orgânicos. A formação superficial terrestre é capaz de afetar particularmente o microclima. Pequenas mudanças de altitude e na orientação podem gerar variações climáticas significativas para a zona de conforto térmico, entre locais separados por pequenas distâncias.

Declividade, orientação, exposição e elevação das ondulações da superfície da terra são características topográficas que devem ser observadas na caracterização do clima local.

A movimentação das massas de ar sofre bastante influência da topografia. Exemplos de influência em fluxos de ar podem ser visto pela canalização ou desvios pelas ondulações da superfície terrestre, que fazem massas de ar descendente (com pouca probabilidade de precipitação), alterar as características pluviométricas de um local situado a barlavento ou sotavento de uma montanha.

Em regiões a barlavento da montanha, onde o vento sopra, a ocorrência de chuvas orográficas é frequente. O processo deve-se ao movimento advectivo que as massas de ar quente e úmida sofrem ao se depararem com a montanha e são forçadas a se elevar. A ascensão gera rápido resfriamento, pelo processo de convecção adiabática, estabelecendo a formação de nuvens cumulus, com chuvas moderadas às intensas. No mesmo instante, a região a sotavento da montanha o ar permanece calmo e sem formação de nuvens.

A redução da densidade do ar com a variação da altitude é capaz de diminuir a capacidade de armazenamento da radiação emitida tanto pelo Sol como pelo solo. Assim, a influência da latitude nas condições climáticas pode ser alterada em função da altitude, a exemplo de Cuiabá e Chapada dos Guimarães.

A cidade de Cuiabá, a 180 m de altitude e Chapada dos Guimarães, com 800 m de altitude, apesar de se situarem em latitudes semelhantes e distarem-se apenas 67 km, apresentam diferentes condições térmicas e de pluviosidade devido às diferenças de altitude e às condições de ventilação.

Segundo MORENO et al. (2005), a temperatura em Chapada dos Guimarães chega a ser 5°C mais baixa se comparada a Cuiabá, devido à diferença de altitude e condições de ventilação. Em Cuiabá a velocidade média anual do vento é de 1,5 metros por segundo, enquanto que em Chapada dos Guimarães a velocidade média do vento anual é de 3,5 m/s.

Como pode ser observada na figura 8 seguinte, a cidade de Cuiabá localiza-se na província geomorfológica denominada Depressão Cuiabana que é caracterizada como uma peneplanície de erosão, com predominância de relevos de baixa amplitude. De forma simplificada, sua localização em uma região de baixa altitude com relevos que circundam a localidade são elementos visíveis das dificuldades encontradas para uma melhor circulação de ar:



### 2.2.2.2 *Vegetação*

As plantas funcionam como reguladoras das condições climáticas através da relação de seus processos vitais com a atmosfera, segundo MORENO et al. (2005).

O processo de evapotranspiração é um importante regulador do clima. Os parâmetros meteorológicos que estabelecem esse fenômeno são expressos pela temperatura do ar, umidade absoluta do ar, radiação solar, insolação e precipitação. Esses parâmetros interagem com elementos do meio, estimulando a transpiração vegetal e a evaporação do solo. O total de água perdida pela superfície do solo e das plantas, no processo conjunto de evaporação e transpiração é a própria evapotranspiração.

No processo de transpiração da planta, a água é retirada do solo e é depositada no ar pela abertura dos estômatos para troca com o meio, influenciando no microclima através da umidificação do ar.

No processo de fotossíntese, as plantas retiram gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) da atmosfera e devolvem oxigênio ( $\text{O}_2$ ), contribuindo então com a renovação do ar.

Em ambos os processos, transpiração e fotossíntese, a planta necessita de energia para a realização dos mesmos, com isso, pode-se dizer que a vegetação diminui a temperatura do ar ao absorver para si a energia da radiação líquida disponível ao meio, e sobrando menos para o aquecimento do ar.

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).

A utilização de paisagismo, áreas verdes, áreas de preservação, praças, bosques e parques são elementos urbanísticos de grande importância para as cidades, principalmente na contribuição do conforto térmico daquelas situadas em regiões de clima quente.

Segundo ROMERO (2000), um espaço gramado é capaz de absorver maior quantidade de radiação solar e de irradiar uma menor quantidade de calor que qualquer outro tipo de superfície construída, que ocorre porque parte dessa energia absorvida pela planta é utilizada em seu processo metabólico.

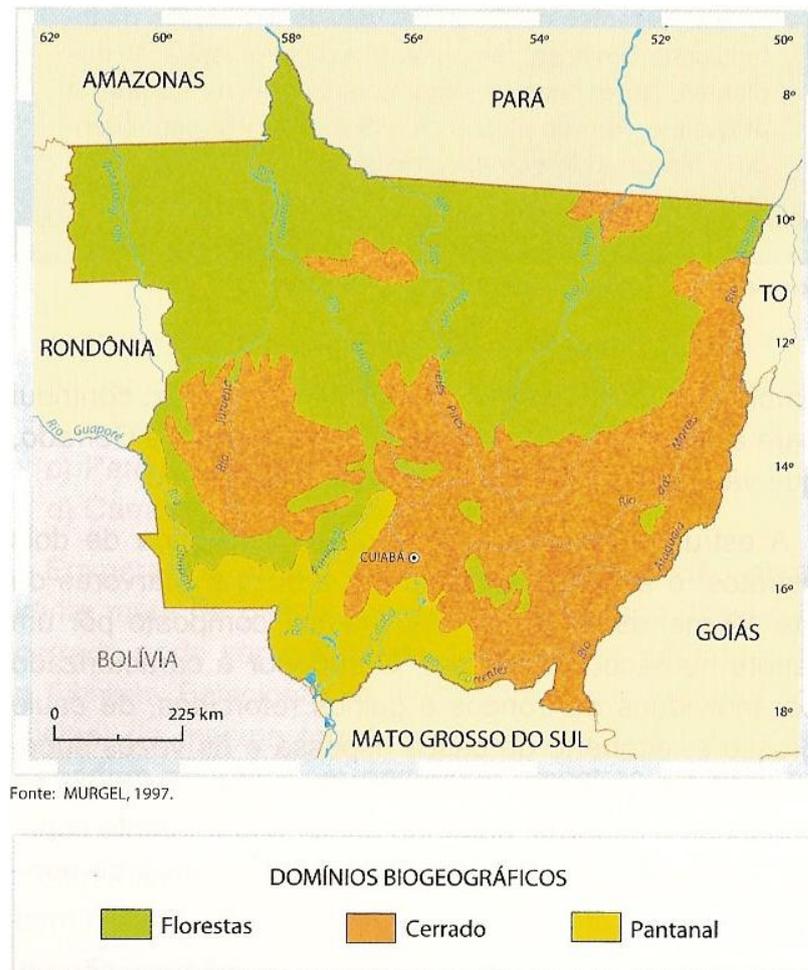
As plantas também atuam na interceptação da radiação solar, minimizando o aquecimento através do sombreamento, diminui os efeitos das chuvas fortes sobre o solo, diminui os efeitos da velocidade do vento próximos à superfície através da fricção. Assim, a vegetação é capaz de produzir variados microclimas específicos, conforme sua distribuição e quantidade num certo meio.

Segundo LEITÃO (2005), as primeiras tentativas de classificação de zonas de vegetação foram baseadas em parâmetros climáticos, e ainda atualmente numa abordagem aos ecossistemas, incorpora-se o clima como um dos principais componentes da sua classificação. Dentre as classificações climáticas usadas na classificação da vegetação, a proposta por Köppen (1923) tem sido a mais utilizada. Köppen, numa abordagem bioclimática, teve em conta as condições do clima necessárias ao crescimento de vários grupos de plantas, e relaciona as variações da vegetação com a temperatura e a precipitação de cada clima. A sua classificação distingue no mundo todo, cinco grandes tipos de clima: A (Clima Tropical); B (Clima Seco); C (Clima Mesotérmico); D (Clima Microtérmico); E (Clima Polar). Por sua vez, cada um destes tipos foi sub-dividido, resultando em sub-unidades de clima mais homogêneas.

Um sistema alternativo, baseado na precipitação efetiva, foi proposto por Thornthwaite em 1931, mais tarde substituído por um segundo sistema de classificação baseado na Evapotranspiração Potencial. Este, ao contrário de Köppen, não utiliza fronteiras da vegetação para definir áreas climáticas. Thornthwaite relaciona o solo com a atmosfera, fatores que segundo ele determinam o tipo de vegetação numa dada área.

Segundo MORENO et al. (2005), a classificação da vegetação matogrossense, assim como em todo Brasil, foi adotado o critério morfoclimático, que reúne informações geomorfológicas (relevo), pedológicas (solos), climáticas, hidrológicas, botânicas e a dimensão temporal proposta por Ab'Saber em 1977 e adotada pelo Projeto RadamBrasil. Logo, nos limites territoriais de Mato Grosso estão contidos: Cerrados, Florestas e o Pantanal, que são domínios biogeográficos inseridos na região de clima tropical e equatorial como mostra a figura 9 abaixo. Esses domínios biogeográficos são características morfoclimáticas e fitogeográficas (domínios vegetais) que predominam em uma área do espaço geográfico. Porém,

outras feições morfológicas ou condições ecológicas podem ocorrer em um mesmo domínio, formando subsistemas que integram e interagem com os demais componentes da natureza:



**Figura 9** - Domínios Biogeográficos em Mato Grosso: Cerrado, Florestas e Pantanal.

Fonte: MORENO et al., 2005.

### 2.2.2.3 Superfície do solo

A influência da superfície do solo no clima deve ser vista de duas formas distintas, se o solo apresenta-se natural ou construído.

Quanto ao solo natural, são aspectos influentes no clima o potencial hídrico, capacidade de drenagem e infiltração, erosões e capacidade térmica. A análise parte da utilização desses índices para verificar a reflexão e absorção da superfície do solo.

O albedo, índice que mostra a proporção entre a luz do sol recebida e refletida por uma superfície, indicando seu poder difusor.

Segundo LYNCH (1980) *apud* ROMERO (2000) se o solo possui um albedo baixo e uma condutibilidade alta, o microclima resultante é suave e estável, uma vez que o excesso de calor é absorvido e armazenado rapidamente e, quando as temperaturas diminuem, é rapidamente devolvido. Os materiais de superfície com alto albedo e baixa condutibilidade contribuem para criar um microclima de extremos, já que não auxiliam para equilibrar os contrastes. O mar, os vales e os solos úmidos em geral tendem a equilibrar as temperaturas, enquanto a areia, a neve ou pavimentos não atuam da mesma maneira, sendo quentes durante o dia e frios durante a noite.

Quanto ao solo construído, pode-se dizer que o processo de urbanização, que ao substituir por construções e ruas pavimentadas a cobertura vegetal, altera o equilíbrio do microambiente.

Como exemplo, pode-se citar a pesquisa da Nasa (Agência espacial norte-americana) publicada em PESQUISA FAPESP (2006:33), que indica duas medidas que podem ajudar a diluir as ilhas de calor em megalópoles como Nova York e São Paulo. Segundo Stuart Gaffin, pesquisador da Universidade de Colúmbia, Estados Unidos e co-autor do estudo, uma medida é plantar árvores para reduzir a temperatura, a outra medida que mostrou-se efetiva é pintar os telhados de branco ou cores brilhantes, para refletir a luz do Sol, e portanto o calor.

Para DETWYLER (1974) *apud* ROMERO (2000), as alterações climáticas provocadas pela urbanização são três:

- a) mudança da superfície física da terra, pela densa construção e pavimentação, fazendo com que a superfície fique impermeável, aumentando sua capacidade térmica e rugosidade, e ao mesmo tempo, alterando o movimento do ar;
- b) aumento da capacidade armazenadora de calor com a diminuição do albedo;
- c) emissão de contaminantes, que aumentam as precipitações e modificam a transparência da atmosfera.

Segundo esse autor, estas três alterações resultantes da urbanização, aliadas ao fluxo material de energia, produzem um balanço térmico especial nos centros urbanos, que é visível em muitas cidades: o domo urbano. Este domo contém uma circulação de ar típica, fazendo com que a cidade se pareça com uma ilha quente rodeada por um entorno mais frio. Daí o efeito ser conhecido como “ilha de calor”.

As massas construídas geram considerável energia térmica nas grandes áreas centrais através dos mecanismos de absorção e trocas de calor, que produz diferentes campos de pressão e conseqüentemente uma ventilação própria, capaz de alterar o movimento de ar regional.

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.

O estado de Mato Grosso que à partir da segunda metade da década de 1960 passou a ser considerado “Portal da Amazônia” pelo processo de capitalização em direção à Amazônia, logo passou a receber um grande fluxo migratório, aumentando então a demanda populacional e conseqüentemente a ocupação de sua área urbana. Na década de 1980, a taxa de crescimento populacional chegou a 136,25%, com expansão do seu sítio urbano sobre as áreas periféricas e rápido crescimento vertical MORENO et al. (2005).

## **2.2.3 Elementos Climáticos**

### **2.2.3.1 Temperatura**

A temperatura do ar expressa a energia contida no meio. Essa energia vai se propagando em processo de difusão turbulenta continuamente na busca de equilíbrio.

Desde o nascer do sol a superfície do solo recebe energia gradualmente. A medida que o sol vai alterando sua posição no espaço, seus raios vão se tornando a cada instante mais próximos da perpendicularidade para aquele local. O sol tem seus raios mais próximos à perpendicular de um local, no instante do meio do dia. Segundo OMETTO (1981), neste momento a energia incidente no solo é a máxima para aquele dia, mas devido ao processo de difusão turbulenta, que se caracteriza por uma pseudo-condução e o instrumento que mede a temperatura do ar estar no abrigo termométrico a 1,50m da superfície do solo, o valor da temperatura máxima para aquele dia ocorre em torno das 14 às 15 horas.

Quando o sol se põe, a energia incidente no solo é zero. O solo então passa a perder energia, ou seja, se resfriando. Pouco antes do sol nascer o solo se encontra com a menor energia possível, ou seja, com a temperatura mínima, a qual no mesmo instante também é registrada a temperatura mínima do ar no abrigo termométrico.

Dessa maneira, no decorrer de um dia a temperatura mínima ocorre antes do sol nascer, e a máxima entre 2 e 3 horas após ao meio do dia. A energia disponível ao meio ambiente oscila entre esses dois valores.

Da radiação líquida disponível a superfície do solo, uma parcela sofre o processo de transferência de energia por pseudo-condução em direção à atmosfera, utilizando-se das moléculas que constituem o ar atmosférico, aquecendo-o de baixo para cima, isto é, da superfície do solo para as grandes altitudes. Essa energia que se propaga utilizando-se das moléculas constituintes do meio é chamada de calor sensível.

Os ganhos de calor pela superfície durante o dia são transferidos às camadas de ar próximas à superfície pelo processo de condução. Ao aquecer, o ar fica mais leve e sobe, gerando movimentação vertical de ar pelo processo convectivo, assim as camadas inferiores ficam instáveis e misturando-se constantemente com as camadas de ar mais altas.

A diferença de distribuição da energia solar, gerando o aparecimento dos movimentos de ar e água e as trocas de matéria e energia entre o ar, o mar e a terra (ciclo hidrológico e ciclo do carbono, por exemplo), faz com que a temperatura nas camadas mais próximas da superfície da terra ou que o perfil da temperatura numa dada região mude conforme o tempo.

A temperatura varia conforme a altitude. A taxa de esfriamento próximo ao solo é de cerca de 0,8 °C para cada 100 m de altitude. As altas altitudes são mais frias do que baixas e o ar que desce será, portanto, mais frio do que aquele que ele deslocará e vice versa, GIVONI (1998) *apud* BROWN & DEKAY (2004).

No estado de Mato Grosso, o seu posicionamento geográfico distante da costa litorânea bloqueia a atuação moderadora dos oceanos.

As temperaturas mais elevadas ocorrem no período de primavera-verão, sendo que setembro e outubro são os meses mais quentes do ano, atingindo muitas vezes temperaturas superiores a 35°C, chegando à máxima de 42°C em cidades como Cuiabá. Este fato ocorre porque o Sol, em sua trajetória aparente, está sobre os paralelos da região Centro-oeste nesta época do ano, fazendo com que os raios solares incidam mais perpendicularmente sobre a superfície.

Os meses de junho e julho apresentam os valores de temperatura mais baixos devido a influencia da Frente Polar que atua na região nesse período. As amplitudes térmicas são elevadas pela reduzida presença de vapor d'água no ar, que possibilita maior insolação durante o dia e maior perda de calor à noite, segundo MORENO et al. (2005).

A distribuição espacial da temperatura em todo o Estado é influenciada pela latitude (região tropical), continentalidade, extensão territorial, variações do relevo e circulação atmosférica. Mas interferências ao clima regional geradas por atividades humanas também devem ser levadas em consideração. Nos últimos anos foram crescentes as taxas de queimadas, desmatamentos e urbanização em regiões diversas.

### **2.2.3.2 Umidade do Ar**

O vapor d'água é um dos constituintes variáveis do ar atmosférico. Seu volume é determinado pela temperatura do ambiente, pois a “capacidade de contenção do vapor d'água na atmosfera é função da temperatura do ar” (ROMERO, 2000).

O vapor d'água é oriundo da superfície do solo, a sua concentração máxima é próxima a ele e diminui a medida que se afasta da superfície. A umidade também

origina-se da evaporação natural da água, da evapotranspiração dos vegetais e de outros processos que tornam a umidade um elemento importante de estudo na área da bioclimatologia.

A distribuição do vapor sobre a terra não é uniforme, sendo em média maior nas zonas equatoriais e menores nos pólos, acompanhando os padrões anuais de radiação e temperatura.

A quantidade e a proporção de vapor d'água na atmosfera podem ser expressos de várias maneiras, dentre as quais temos umidade absoluta, umidade específica, pressão de vapor, umidade relativa e razão de mistura. A umidade absoluta expressa o peso de vapor d'água por unidade de volume de ar ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) e a umidade específica, é a relação entre massa de vapor d'água e a massa de ar úmido (massa de vapor d'água mais massa de ar seco), expresso em ( $\text{g}/\text{Kg}$ ). A pressão de vapor do ar é a parte da pressão atmosférica global que é devida ao vapor d'água nela contida ( $\text{mm}/\text{Hg}$ ). Quando o ar contém todo vapor d'água se diz que o ar está saturado e que a umidade relativa é de 100%. Quando o vapor contido é menor que o conteúdo potencial na mesma temperatura a umidade relativa é menor que 100%. A razão de mistura é uma relação entre a massa de vapor d'água e a massa do ar seco.

A pressão de vapor e a umidade absoluta variam segundo o lugar e estão sujeitas também às mudanças das estações, sendo maiores no verão que no inverno.

A altitude produz modificações na pressão de vapor. Segundo GIVONI (1976), a concentração de vapor d'água diminui à medida que aumenta a altura: o conteúdo de vapor nas camadas superiores de ar é menor que nas camadas próximas da terra.

Nas massas de terra que não contam com brisas marítimas, a pressão de vapor alcança seu mais alto nível antes da noite, quando fortes correntes convectivas surgem provocando movimentos ascendentes, e a pressão de vapor próxima do solo é reduzida. Com o término destas correntes à tarde, a pressão de vapor começa a crescer novamente (GIVONI, 1976).

A umidade relativa varia nas diferentes horas do dia e épocas do ano, mesmo quando a pressão de vapor permanece constante. Isto é devido às mudanças diurnas e anuais na temperatura do ar, que determinam a capacidade potencial do ar em conter determinada quantidade de vapor d'água.

Nas regiões em que são grandes as variações diárias de temperatura (regiões secas e semi-secas), encontram-se também grandes variações na umidade relativa e valores muito baixos no início da tarde, quando a temperatura está alta, e valores mais altos de umidade à noite, podendo o ar ficar saturado, mesmo quando a pressão de vapor for baixa, especialmente quando a temperatura do ar cai muito.

Em função das estações, a umidade absoluta do ar (quantidade de vapor de água/volume) diminui, em geral, na estação fria e aumenta na estação quente. A umidade relativa, ao contrário, diminui com o aumento da temperatura, pois para o ar quente o ponto de saturação é mais alto, isto é, a tensão máxima de vapor é maior.

Quanto às interações físicas, pode-se dizer que a maneira como se agrupam os átomos na molécula do vapor d'água, possibilita compor uma estrutura capaz de interagir fortemente com radiações eletromagnéticas emitidas por corpos que se encontram a temperatura do meio ambiente. Essa propriedade faz com que o vapor d'água seja um armazenador de energia e, sua condição de encontrar-se dissociado no ar atmosférico possibilita sua movimentação juntamente com a deslocação do ar. Por isso o vapor d'água é um equalizador da energia do meio, amenizando as trocas de energia.

O vapor d'água na atmosfera sofre um resfriamento por um processo qualquer, libera uma quantidade de energia intrínseca a ele, na forma de calor latente de condensação passando ao estado líquido, estado esse que vai dar origem aos diferentes gêneros de nuvens. Na passagem ao estado líquido, o vapor d'água necessita de uma superfície de contacto, e no caso de uma parcela de ar úmido livre na atmosfera, a superfície de contato utilizada para efeito de condensação é chamada de núcleo de condensação. Estes núcleos são impurezas sólidas, higroscópicas ou não, que se encontra em suspensão no ar atmosférico, exercendo influência primordial no processo de condensação na atmosfera.

As condições meteorológicas que fornecem estados de saturação são responsáveis pela condensação na atmosfera, desde que existam núcleos em torno dos quais se inicie o processo. O estado de saturação pode ser conseguido de duas maneiras:

- a) Pelo aumento da tensão de vapor d'água na atmosfera, até um valor de saturação nas condições reinantes de pressão e temperatura (aumento da quantidade de vapor d'água no ar).
- b) Pelo resfriamento do ar úmido até a temperatura do ponto de orvalho, mantendo a tensão de vapor d'água no ar constante. Esse resfriamento pode ocorrer de quatro formas diferentes, sendo que cada processo forma um tipo de condensação característico: resfriamento por condução de calor, resfriamento devido à radiação, resfriamento pela mistura de massas de ar saturado e resfriamento por expansão adiabática. Este último é considerado o mais importante dos processos, pois é capaz de resfriar o ar de um modo rápido, a fim de produzir precipitação moderada ou intensa.

### **2.2.3.3 Precipitações**

O processo de condensação na atmosfera possibilita a formação de gotículas de pequeno diâmetro, cerca de 100 micras, as quais possuem uma capacidade de sustentação maior que a ação da gravidade. Essa característica permite a elas permanecerem em sustentação, e essas gotículas recebem o nome de elementos de nuvens, por isso as nuvens se sustentam no ar.

Para que haja precipitação, deve haver elementos de precipitação, que não devem ser formados apenas por processos de condensação. Existe a necessidade da ação de outros processos físicos. O processo de condensação gera uma alta concentração de pequeninas gotas (micras). O processo de precipitação deve converter esta quantidade de pequeninas gotas em um número menor de elementos maiores. O tamanho das gotículas é que define a diferença entre elementos de nuvem e elementos de precipitação.

As nuvens têm a tendência constante de se auto-destruir, devido às forças que promovem a coalescência, ou seja, a união de suas gotículas formadoras. Essa tendência para coalescer é chamada de instabilidade coloidal, que leva a formação de

grandes gotas, as quais a tensão de suporte é menor que a ação da gravidade, ocorrendo então o fenômeno da precipitação.

As massas de ar quando impulsionadas a subir, produzem três tipos de precipitações, segundo GIVONI (1976): convencional, orográfica e convergente.

A precipitação convencional começa a partir das massas carregadas de umidade ascendentes que foram aquecidas pelo contato com superfícies quentes. O calor latente liberado quando começa a condensação reduz a taxa de esfriamento com velocidade ascendente. Esta precipitação acontece principalmente nas zonas tropicais, durante as tardes das estações quentes. Também pode ser provocada pelas massas de ar de origem marítimas, levadas pelo vento para a terra, que fica mais aquecida durante o dia que as superfícies do mar.

A chuva convencional usualmente se precipita em pesados chuviscos de curta duração.

A precipitação orográfica se origina em massas de ar que foram impulsionadas a elevar-se sobre as declividades das montanhas pelo gradiente de pressão. A precipitação é maior no barlavento da montanha e diminui na declividade oposta, a partir da cumeeira, afetando desta forma a vegetação do lugar. Assim, a cumeeira de uma montanha pode delimitar a divisão entre diferentes tipos de clima.

A precipitação convergente acontece quando a elevação das massas de ar se dirige para as zonas de baixa pressão ou frentes: numa frente tropical, duas frentes de ar convergente têm características similares, e sua ascensão simultânea e rápida dá origem à chuva.

A chuva é medida através de coletores que ficam fixos a uma altura de 1,5 m da superfície, em aparelhos denominado pluviômetros ou pluviógrafos. Nestes recipientes a água da chuva entra e fica depositada, com cuidados para não derramar ou evaporar, e posteriormente obtém-se através do volume do recipiente e a superfície por onde a chuva passou, a altura da precipitação. A unidade de medida é dada sempre em milímetros (mm), sendo que 1 mm de chuva equivale a 1 litro de água derramada em 1 metro quadrado de superfície.

Anualmente, o total pluviométrico no Estado de Mato Grosso varia entre 2.700 a 1.200 mm, variando sua distribuição no território matogrossense conforme sistema regional de circulação atmosférica e aspectos de relevo.

A pluviosidade é caracterizada por ter maior concentração no período de primavera-verão (setembro a março), e diminui no período outono-inverno (abril-agosto). Porém, segundo MORENO et al. (2005), pode ocorrer ausência de chuvas nos meses de janeiro e fevereiro, que são os chamados “veranicos”.

#### 2.2.3.4 *Movimento do ar*

O movimento do ar se faz tanto no sentido horizontal quanto vertical. O movimento horizontal é originário das diferenças térmicas num sentido global do planeta e num sentido local das diferenças de temperatura em terra firme: vale/montanha, cidade/campo.

O deslocamento vertical se dá dentro da troposfera (camada inferior da atmosfera) em função do perfil de temperatura que se processa. O ar quente que sobe na faixa do equador caminha para os pólos, resfria-se e tende a descer.

Do ponto de vista aerodinâmico, a superfície da terra é coberta de uma densa formação de corpos, através das quais flui uma série de fluxos turbulentos. A força resultante da necessidade do equilíbrio das diferentes densidades do ar atmosférico estabelece variações na pressão atmosférica, gerando gradientes de pressão de características horizontais. Quanto maior o gradiente de pressão, maior é a quantidade de movimento (*Momentum*) na massa de ar.

O movimento do ar como qualquer outro corpo em movimento tem inércia, ou seja, uma vez em movimento tende a continuar na mesma direção, até ser desviado por algum obstáculo. A quantidade de movimento que pode ser transferido ao obstáculo que se interpõe na trajetória, provoca danos de intensidade proporcional ao “*Momentum*” transferido.

Segundo VILLAS BOAS (1983) *apud* ROMERO (2000), a fricção produzida pelo ar em movimento, quando em contato com obstáculos, faz com que sua velocidade de deslocamento inicial seja reduzida, devido à perda de energia no atrito, e seu modelo de circulação seja alterado. O fluxo de ar, ou o vento, nas

---

VILLAS BOAS, M. “**Ventilação em arquitetura**”. UnB, 1983. Mimeo.

camadas mais baixas da atmosfera, tem sua velocidade reduzida devido ao atrito com o solo. Quanto mais rugoso é o solo, maior o atrito e menor a velocidade do ar.

Segundo KOENIGSBERGER (1977), se a superfície do solo é irregular, o aumento de velocidade do ar com a altura é muito maior do que se esta fosse constituída por uma superfície contínua e lisa. Estes fenômenos se verificam num espaço chamado camada-limite da atmosfera. Logo, a altura da camada-limite aumenta com o incremento da rugosidade do solo e as velocidades do ar aumentam com a altitude, até a camada-limite. A partir desta, o ar permanece com velocidade constante. Para este mesmo autor, a altura da camada-limite da atmosfera varia de 100 a 274 m em campo aberto, de 100 a 396 m na periferia e de 100 a 518 m no centro urbano.

O estudo da camada-limite junto ao clima de uma região torna-se importante ao observar os fatores afetados pela turbulência na caracterização da dinâmica de ventos num dado local.

A localização, a movimentação e as características das massas de ar que atuam numa região permitem realizar a previsão do tempo. Por isso são conhecidas as Massas de Ar que têm influência na região centro-oeste:



**Figura 10** - Representação da área e direção de atuação da massa tropical continental, no país.

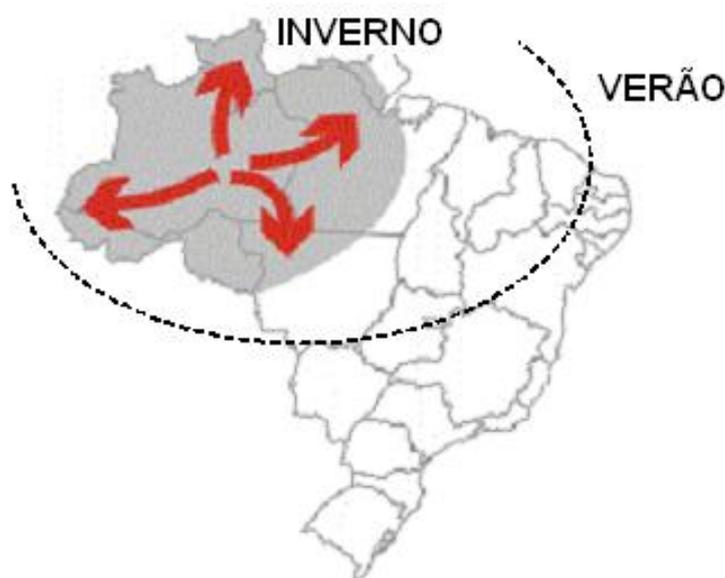
**Fonte:** Disponível em <<http://www.climabrasileiro.hpg.ig.com.br/massasbr.htm>>

Esta massa de ar chamada de massa tropical continental é também conhecida como bloqueio atmosférico e tem sua origem no interior do continente, na baixa pressão da região do Chaco, centro-sul da América do Sul.

A ocorrência maior é durante os meses de primavera, começo do outono e final do inverno.

A massa de ar tem como característica ser seca e quente, bastante instável e com intensa atividade convectiva. É conhecida como bloqueio atmosférico em função de bloquear a entrada de frentes frias e nuvens de instabilidades responsáveis por chuvas quando sua intensidade é forte.

Ela tem grande atuação na parte central do país e atinge o sudeste, centro-oeste, parte do nordeste, pequena área da região norte e parte da região sul.



**Figura 11** - Representação a área e direção de atuação da massa equatorial continental, no país.

**Fonte:** Disponível em <<http://www.climabrasileiro.hpg.ig.com.br/massasbr.htm>>

Esta massa de ar é originada na Amazônia central.

O encontro dos ventos alísios do hemisfério norte com os alísios do hemisfério sul se dá na zona de convergência intertropical (ZCIT) onde há a formação de instabilidades associadas a nuvens convectivas (grande desenvolvimento vertical).

O alto calor, outro importante fator que a produz, associado à alta umidade da região provoca o surgimento de nuvens de instabilidade que associadas às instabilidades geradas da ZCIT provoca uma grande área de nebulosidade e alta temperatura, que é a massa equatorial continental.

Sua atuação é constante na região norte, porém durante os meses de verão pode atingir o centro-oeste, parte do nordeste e sudeste além de uma pequena área mais ao noroeste da região sul. A massa de ar provoca valores elevados de precipitação acumulada, principalmente sobre a região norte.

A terceira massa de ar mais atuante na região centro-oeste e também nas demais áreas do país é a massa Polar Antártica. Esta origina-se no pólo sul e avança pelo sul do continente até perder intensidade.

## **2.3 BIOCLIMATOLOGIA**

### **2.3.1 Princípios e Análise Cronológica**

A associação entre clima e ambiente construído tem sido notada desde a arquitetura antiga. O sol e a latitude foram as bases dos primeiros estudos. No primeiro século antes de Cristo, Vitruvius escreveu a obra clássica traduzida por POLIÃO (1999), onde ele aponta as necessidades climáticas no seguinte comentário:

*“Parece ser necessário desenvolver tipos de edificações de um jeito no Egito, de outra forma na Hispânia, ainda diferentemente em Pontus, bem como em Roma e assim por diante de acordo com as propriedades distintas de outras terras e regiões. Isto devido a que em uma parte do mundo a Terra é superaquecida pela ação do sol, enquanto em outra se situa bem distante dele, assim como em uma outra parte ela se situa em uma distância intermediária, (POLIÃO, 1999).”*

Em 1974, Jean Dollfus afirmava que os estilos das edificações são definidos menos pelas fronteiras nacionais que pelas zonas climáticas, e que as aberturas são definidas mais com base na psicologia popular do que no clima e materiais usados.

No entanto foi provavelmente Olgyay, em 1963 que delimitou a relação entre clima e projeto arquitetônico, escrevendo um manual para projeto bioclimático, com particular referência à carta bioclimática. A carta foi a primeira representação gráfica a mostrar a conexão entre clima e o conforto humano. Ela simplesmente relacionava a temperatura de bulbo seco com a umidade relativa. Baseada nesta relação, os irmãos Olgyay propuseram uma zona de conforto e sugere medidas corretivas para se atingir conforto quando o ponto em estudo estiver fora da zona de conforto. Essas medidas poderiam ser passivas ou ativas, dependendo dos parâmetros climáticos.

Cinco anos depois, Givoni, desenvolvendo a idéia de Olgyay, propõe uma carta bioclimática para edificações, baseada na carta psicrométrica, que inclui, além da temperatura de bulbo seco e da umidade relativa, a pressão de vapor e a temperatura de bulbo úmido. Ela vem sendo usada até os dias de hoje, tendo recebido alguns aperfeiçoamento de vários pesquisadores, incluindo o próprio Givoni.

O Bioclimatismo representa de alguma forma, uma superação. É como uma etapa atual deste movimento que tem preocupações com o meio ambiente.

### **2.3.2 Estudos Bioclimáticos e Aquecimento Global**

Durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92), os representantes dos 170 países presentes, consolidaram um novo conceito de desenvolvimento, como diretriz para a mudança de rumos no desenvolvimento global. Este novo conceito se fundamenta na utilização racional dos recursos naturais, de maneira que possam estar disponíveis para as futuras gerações, garantindo também a construção de uma sociedade justa, do ponto de vista econômico, social e ambiental. Os compromissos assumidos pelos governos, nessa ocasião, compõem a Agenda 21, cuja implementação pressupõe a tomada de consciência sobre o papel ambiental, econômico, social e político que cada cidadão desempenha na sua comunidade, exigindo a integração de toda a sociedade no processo de construção do futuro (NOVAES, 2000).

Dentro destes princípios, a Agenda 21 apresenta um cronograma de ações, a serem implementadas progressivamente, segundo metas estabelecidas, buscando a economia de energia e recursos naturais; preservação e conservação do meio

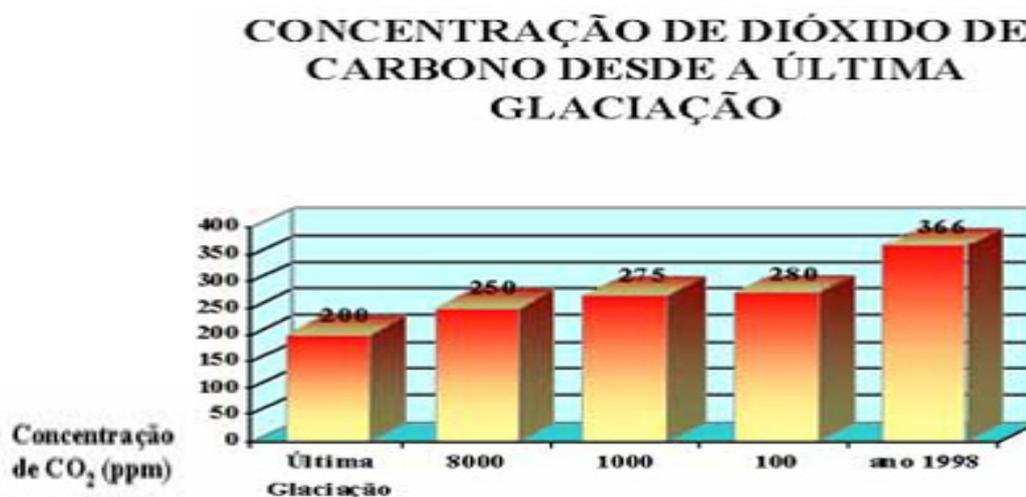
ambiente e da biodiversidade; diminuição dos níveis de emissão de carbono para a atmosfera; gestão dos recursos hídricos; produção sustentável e eliminação progressiva da poluição e exploração predatória do meio ambiente. No campo social, as propostas apresentadas objetivam uma maior distribuição de renda e um maior esforço dos governos em apoiar as iniciativas de organizações populares, visando a sua autodeterminação e sustentabilidade econômica, pautadas em programas de desenvolvimento local, economia solidária, cooperativismo, associativismo e democratização do conhecimento técnico, científico e cultural.

As alterações do clima são acontecimentos naturais que sempre ocorreram. Durante o último século, contudo, as alterações registradas têm sido mais pronunciadas do que em qualquer período registrado até ao momento. Uma das conclusões do relatório do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) de 1995 indica que estas alterações é o resultado de intensas intervenções humanas sobre o meio natural com repercussões no clima e que se refletem a uma escala regional e global. Este organismo prevê que as temperaturas médias globais aumentem entre 1°C e 3.5°C até 2100 e que o nível médio das águas do mar aumente entre 15 e 95 cm.

O aumento da concentração dos gases de estufa na atmosfera, principalmente o dióxido de carbono, tem sido apontado como uma das principais causas destas alterações no clima, que terão impactos diretos negativos sobre os ecossistemas terrestres, nos diversos setores socioeconômicos mundiais, na saúde pública e na qualidade de vida das pessoas em geral. A camada protetora da Terra, constituída por vapor de água e gases de estufa como o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e principalmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), refletem a radiação infravermelha emitida pela superfície da terra impedindo que parte desta seja perdida para o espaço, tal como uma parede de vidro numa estufa. Como consequência dá-se o aquecimento da superfície da troposfera.

Sendo um processo essencial para a manutenção de vida no planeta, o efeito de estufa é um processo natural do sistema atmosférico. Este fenômeno é importante, pois tem a função de impedir que a superfície da Terra se torne excessivamente fria (cerca de 30°C mais fria), mantendo uma temperatura média capaz de manter a sobrevivência dos seres existentes no planeta.

O aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico tem ocorrido de forma gradual desde a última glaciação, mas os fluxos de carbono após a revolução industrial têm vindo a aumentar a uma taxa nunca antes presenciada durante os últimos mil anos. A evolução da concentração do gás na atmosfera pode ser visto na figura 12:



**Figura 12** - Concentração de Dióxido de Carbono desde a Última Glaciação.

**Fonte:** Disponível em: <<http://www.naturlink.pt/canais/Artigo/Ciclo>>

O CO<sub>2</sub> resulta da queima de matéria orgânica e da respiração dos animais e plantas. O grande aumento de CO<sub>2</sub> na atmosfera resulta do fato das emissões deste gás resultante das atividades humanas (por exemplo, a queima de combustíveis fósseis - petróleo, carvão) não serem totalmente compensadas pela assimilação fotossintética do carbono na biosfera.

O protocolo de Quioto surgiu de uma reunião conhecida oficialmente pela Terceira Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas, de 2 a 11 de Dezembro de 1997 em Quioto no Japão. Esta conferência, onde participaram cerca de 125 entidades governamentais de todo o mundo, teve como principal objetivo a adoção de um protocolo legalmente vinculativo em que 39 países industrializados, se comprometeram a limitar durante o período de 2008-2012 as suas emissões de gases com efeito de estufa na atmosfera. Em termos globais, a redução deverá ser de cerca 5%. Calcula-se, porém, que seria necessária uma redução imediata da ordem dos 60% para evitar alterações climáticas

claramente atribuíveis ao aumento da concentração dos gases de estufa na atmosfera em resultado da atividade humana.

As negociações são de uma extrema complexidade já que a economia mundial está fortemente alicerçada no consumo de combustíveis fósseis. Para que muitos países se comprometam a cumprir o estabelecido no protocolo, muito provavelmente terão que suportar reduções mais ou menos acentuadas do respectivo Produto Interno Bruto, tornando muito complicada a aprovação interna do protocolo. Este é o caso ocorrido nos Estados Unidos da América. Para ultrapassar esta situação seria necessário que houvesse um esforço de consciencialização global sobre a importância do problema.

O aumento das emissões de gases de estufa e conseqüências sobre as alterações globais do clima são questões recentes que preocupam a sociedade e a comunidade científica. Predominam incertezas associadas à modelação do sistema climático, na definição de padrões de alteração no espaço e no tempo. Há poucas dúvidas quanto à ocorrência de alterações climáticas. Os modelos climáticos que existem atualmente só conseguem prever padrões de alteração à escala continental. As conseqüências práticas do aquecimento global para um país ou região em particular ainda permanecem uma incógnita.

### **2.3.3 Arquitetura Bioclimática**

No início da década de 50, um movimento ecológico contrário ao estilo internacional se inicia com sucessivos estudos que posteriormente se convencionou chamar de arquitetura bioclimática.

Um dos precursores deste modo de abordagem bioclimática foi Victor Olgyay, que no seu livro *Arquitetura e Clima*, introduziu o termo *bioclimatic approach* (abordagem bioclimática) na arquitetura.

Para VIGGIANO (2001), este termo, extremamente apropriado, expressa a relação do ser humano, ao nível de suas necessidades biológicas de conforto, ao clima, considerando suas benéncias e seus rigores, passando pela arquitetura que é o abrigo, a interface, o meio pela qual esta relação dependente pode ser concretizada.

A pressuposição de que a arquitetura contemporânea deve ser universal opõem-se às últimas tendências que conduzem exatamente a uma regionalização, produto amadurecido da arquitetura bioclimática revigorada nas universidades nas últimas décadas. As adjetivações *bioclimática* e *funcional*, utilizadas independentemente, não são mais utilizadas para qualificar uma arquitetura, que deve ser funcional e bioclimática simultaneamente.

A arquitetura é dita universal por exigir do arquiteto uma visão abrangente e multidisciplinar do seu papel de resolver problemas com o poder de sua imaginação. Encarar as exigências do clima como fator limitante de sua liberdade criativa, é um engano. Para muitos, a partir do momento em que o arquiteto descobre ao regionalizar seu projeto, que encontrou nessas exigências uma nova fonte de inspiração, surgem soluções estéticas sim, mas inadequadas não.

Segundo HERTZ (1998), a arquitetura necessita de profundo conhecimento do contexto físico e climático dentro do qual vão ter de atuar. Uma das principais funções de uma construção é a de atenuar as condições negativas e aproveitar os aspectos positivos oferecidos pela localização e pelo clima, neutralizando as condições climáticas desfavoráveis e potencializar as favoráveis, em busca do maior conforto dos usuários.

Ao fazer explanações sobre a arquitetura bioclimática, ROMERO (2001) comenta:

*Os estudos bioclimáticos visam harmonizar as construções ao clima e características locais, pensando no homem que habitará ou trabalhará nelas, e tirando partido da energia solar, através de correntes convectivas naturais e de microclimas criados por vegetação apropriada. É a adoção de soluções arquitetônicas e urbanísticas adaptadas às condições específicas (clima e hábitos de consumo) de cada lugar, utilizando, para isso, a energia que pode ser diretamente obtida das condições locais, (ROMERO, 2001).*

Para LAMBERTS (1997), uma boa arquitetura deve contemplar tanto ao programa de necessidades quanto uma análise climática para que possa atender tanto à eficiência energética como as necessidades de conforto.

Para SERRA (1989) *apud* ROMERO (2001), arquitetura bioclimática é aquela que otimiza, no seu próprio desenho arquitetônico, suas relações energéticas com o entorno e o meio ambiente. Aproveita o sol no inverno e evita-o no verão, utiliza os benefícios da ventilação para combater a umidade e para extrair o ar quente, vale-se do isolamento para reduzir as trocas térmicas com o exterior, especialmente as perdas de calor em épocas frias.

Na visão de ROMERO (2001), a arquitetura bioclimática, uma etapa atual do movimento climático-energético, é uma forma de desenho lógico que reconhece a persistência do existente, é culturalmente adequada ao lugar e aos materiais locais e utiliza a própria concepção arquitetônica como mediadora entre o homem e o meio.

Ainda conforme mesmo autor, a arquitetura bioclimática não se restringe as características arquitetônicas adequadas. Preocupa-se, também, com o desenvolvimento de equipamentos e sistemas que são necessários ao uso da edificação (aquecimento de água, circulação de ar e de água, iluminação, conservação de alimentos, etc.) de forma que o consumo energético seja eficiente.

Diante das afirmações constatadas, pode-se dizer que, atualmente a bioclimatologia é uma nova vertente que indica novos rumos à arquitetura. Não são afazeres que buscam uma arquitetura diferente, mas que dão continuidade ao seu papel de criar recursos construtivos que atendam às necessidades do homem, porém com novas visões frente ao atual movimento climático-energético, e que buscam maior integração com o meio ambiente.

As soluções arquitetônicas encontradas para adaptação da edificação ao clima, que antes eram vistas como limitações de projeto, são hoje tidas como inspirações e desafios a serem ultrapassados. É um instrumento que nas mãos de cada profissional passível de tal conhecimento, é capaz de gerar resultados autênticos diante da subjetividade de cada indivíduo aplicada às diretrizes bioclimáticas existentes para cada clima.

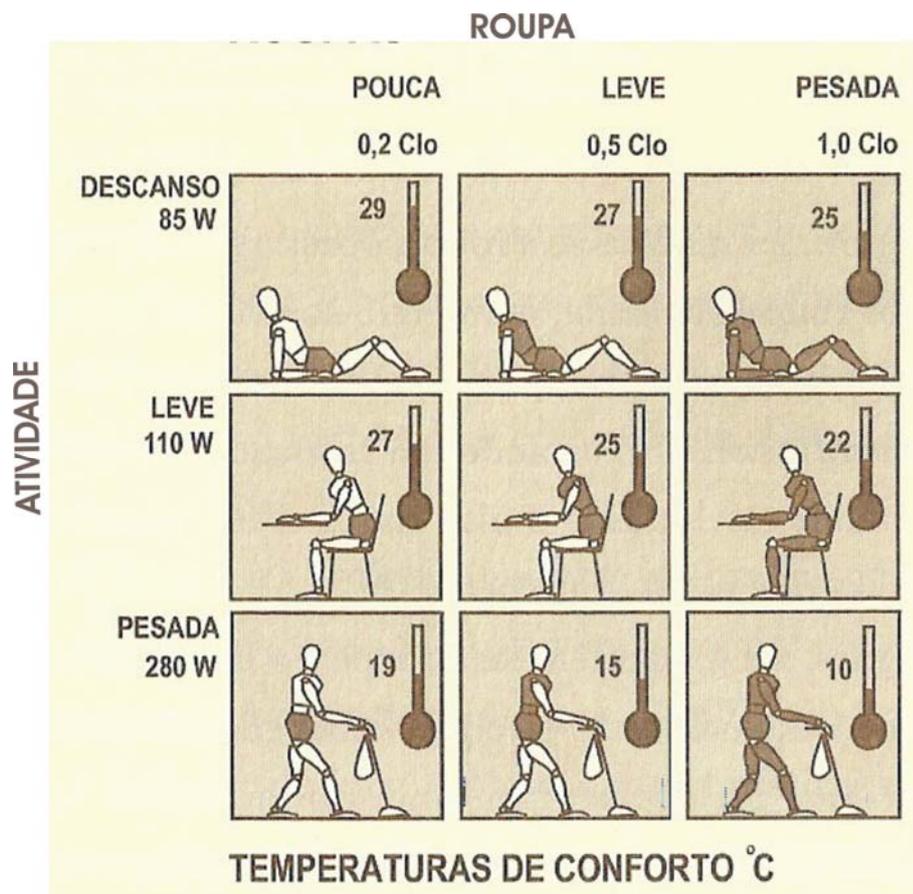
#### **2.3.4 Escalas e Índices de Conforto**

As escalas de conforto térmico são montadas em termos de sensações subjetivas graduadas por conforto e desconforto térmico, que são 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.

Para melhor entendimento da variação das sensações de conforto e desconforto com a atuação das variáveis climáticas, CORBELLA & YANNAS (2003) discutem os efeitos produzidos por pares de variáveis e parâmetros fixos, em diferentes tipos de atividades humanas.

Na primeira simulação, são apresentados dados de temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) para uma pessoa se sentir em conforto, durante três níveis de atividades, medidas em watts (W): em *descanso*, quando sentada; *leve*, ao escrever e *pesada* ao trabalhar. Neste caso então, variou-se a atividade e a roupa, medida em *Clo* (unidade de medida da resistência térmica da roupa), e determinaram-se fixos a umidade relativa de 60% e sem movimento de ar, como mostra a figura 13:

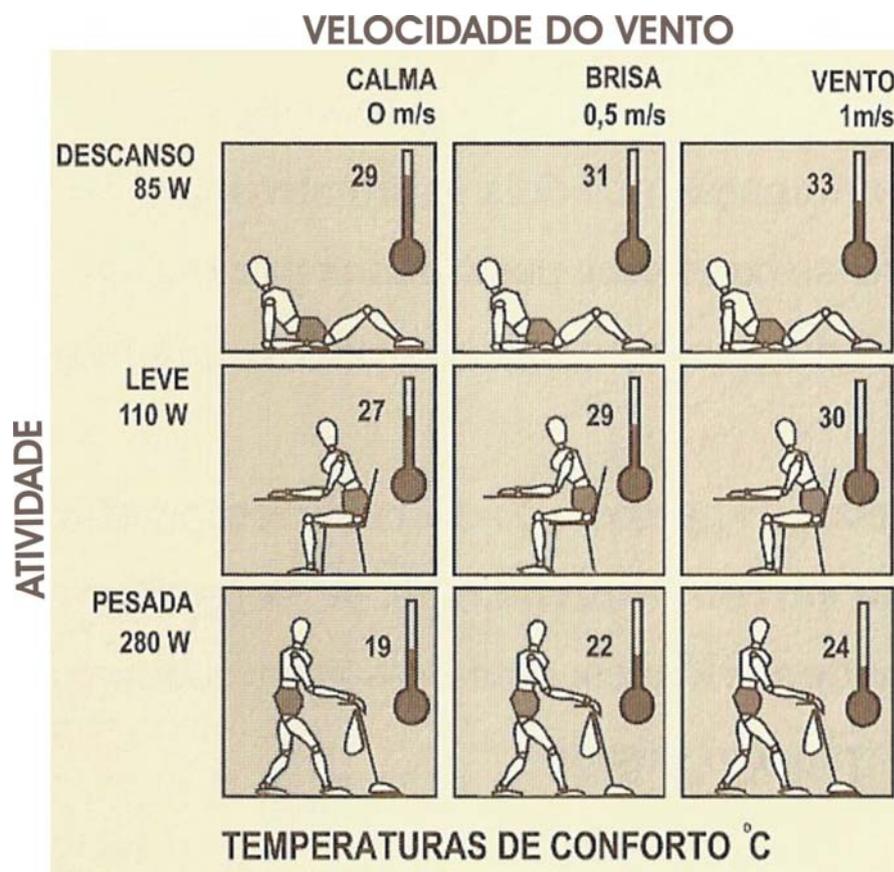


**Figura 13** - Simulação dos efeitos das variáveis climáticas para diferentes atividades e tipos de roupa.

**Fontes:** CORBELLA & YANNAS (2003)

Para esta situação, observou-se que o intervalo de variação das temperaturas de conforto é muito grande, variando de 29°C, estando a pessoa em repouso e com pouca roupa a 10°C para que uma pessoa com atividade pesada e com muita roupa sintasse confortável termicamente.

Em outra situação, variou-se a atividade e a velocidade do vento, mantendo fixa a umidade relativa de 60% e a roupa de 0,2 *Clo*, como mostra a figura 14:



**Figura 14** - Simulação dos efeitos das variáveis climáticas nas diferentes atividades e velocidade do ar.

**Fontes:** CORBELLA & YANNAS (2003).

Neste caso a variação da temperatura para que se esteja em conforto é menor, entre 19°C e 33°C, demonstrando que a presença de vento é significativa para a sensação de conforto. Na mesma condição de atividade física e vestimenta, uma pessoa pode sentir-se confortável termicamente apenas combinando as condições de

temperatura e umidade existentes com vento de 1 m/s, variando a temperatura de 24°C para 19°C.

Sendo comum para regiões de clima quente, que pessoas utilizem roupas leves (0,2 *clo*) equivalente a uma pessoa com camiseta, bermuda e sandálias e que a presença de ventos a velocidade de 1 m/s seja uma situação não muito difícil, fica clara na demonstração quais os parâmetros adotados (temperatura, umidade, vento, roupas e atividade) nos estudos que buscavam redefinir os limites de conforto térmico para pessoas que vivem em países de clima quente.

Os primeiros estudos para o estabelecimento de índices de conforto térmico surgiram nos Estados Unidos da América, no período de 1913 a 1923. Desde então e até hoje esse assunto vem sendo estudado em diferentes partes do mundo, e surgem vários métodos para avaliação de conforto térmico.

Quanto a este assunto, os estudos de Fanger são importantes ao avaliar a relação sensitiva do ser humano diante do meio em que vivem. Segundo FANGER (1970), o conforto térmico define como sendo:

***"... uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico, (FANGER, 1970)".***

O Predicted Mean Vote (PMV) ou Voto Médio Estimado (VME), método mais conhecido e amplamente aceito, foi desenvolvido pelo professor dinamarquês Povl Ole Fanger.

FANGER (1970) usou dados obtidos em experiências de laboratório, com mais de 1300 pessoas de diferentes nacionalidades, idades e sexos, 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.

Fanger derivou a equação geral de conforto para calcular a combinação das variáveis: temperatura radiante e do ar, velocidade do ar, umidade relativa, atividade física e vestimenta. Avaliando pessoas obteve o voto médio predito (PMV – predicted mean vote), que coletava valores numéricos para traduzir a sensação de frio e calor para determinadas condições ambientais, a fim de conhecer a quantidade de pessoas termicamente descontentes com um ambiente.

Relacionando esses valores de sensibilidade humana (VME) com a porcentagem de pessoas insatisfeitas, que não sentiam-se confortáveis, obteve-se uma escala capaz de identificar a reação das pessoas às condições ambientais, como mostra a figura 15:

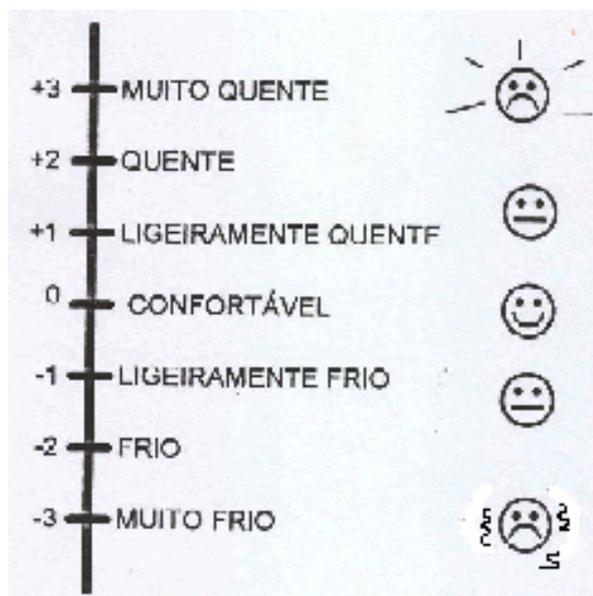


Figura 15 - Escala de conforto de Fanger.

**Fonte:** Disponível em [http://www.usp.br/fau/disciplinas/paginas/arquivos/aut\\_0268\\_aula2.pdf](http://www.usp.br/fau/disciplinas/paginas/arquivos/aut_0268_aula2.pdf)  
Acesso em 05/07/2006.

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.

A norma ISO 7730 indica PPD (PPI – porcentagem de pessoas insatisfeitas) < 10% o que corresponde a uma faixa de PMV de - 0,5 a + 0,5 para ambientes de ocupação humana termicamente moderada. Para edifícios não condicionados é indicado PPI = 20% e 10% para os condicionados.

### 2.3.5 Métodos de Tratamento de Dados Climáticos

O objetivo básico de se apresentar dados meteorológicos para projetistas de edificações é possibilitar o entendimento físico dos vários processos climáticos relacionados à construção. Assim, melhores decisões poderão ser tomadas ainda na

fase de projeto. Entretanto esses dados nem sempre estão direcionados para a solução dos projetos de edificações. Como resultado, os aspectos climáticos do projeto pouco têm sido levados em conta, mesmo em lugares onde os dados básicos estão disponíveis (GOULART et al., 1993). Surge então a necessidade de se tratarem dados climáticos.

Os dados climáticos, mais comumente utilizados na avaliação do desempenho térmico de edificações são:

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

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 (STAMPER, 1997).

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;

- b) ***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.

No procedimento descrito por SATLLER (1989) recomenda-se que para cada um dos dias do período de dados horários disponíveis, é calculada 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 é determinada a partir da verificação das datas limites dos conjuntos. Os dias incluídos no período quente, denominam-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 et al., (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;

- c) ***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 a média de todas as 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 de 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%.

- d) ***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 ( $T_b$ ).

- e) **Normais Climáticas:** Designa-se por normal climatológica de um elemento climático em determinado local o valor médio correspondente a um número de anos suficiente para se poder admitir que ele represente o valor predominante daquele elemento no local considerado. A Organização Meteorológica Mundial (OMM) fixou para este fim 30 anos começando no primeiro ano de cada década (1901-1930), por exemplo.

Os apuramentos estatísticos referentes a estes intervalos são geralmente designados por Normais Climatológicas (sendo, nomeadamente as normais de 1931-1960 e 1961-1990 consideradas as normais de referência).

As Normais Climatológicas disponibilizadas fornecem, para a estação climatológica selecionada, os valores mensais e os valores anuais de alguns dos principais parâmetros climáticos sob a forma de gráficos e tabelas: valores médios da temperatura máxima e mínima do ar; precipitação; insolação; vento e valores extremos da temperatura máxima e mínima do ar.

No Brasil, somente a partir de 1910 a atividade de observação meteorológica passou a ser feita de forma sistemática, o primeiro período padrão possível de ser calculado foi o de 1931 a 1960. Porém através de um esforço o INMET, conseguiu compilar um período de 30 (trinta) anos, onde foram calculadas as médias para o período de 1912 a 1942, para algumas estações meteorológicas que possuíam dados deste período.

### 2.3.6 Carta Bioclimática

Se os estudos oferecem um ponto onde o conforto humano é alcançado, definido como zona de conforto, este torna-se um parâmetro para condicionar os ambientes de ocupação humana diante das variações climáticas.

Segundo BROWN & DEKAY (2004), a carta bioclimática determina as respostas climáticas apropriadas para alcançar o conforto térmico em um clima. Com

o registro da temperatura e umidade relativa, é possível afirmar se a condição do meio é de conforto (dentro da zona de conforto), se é muito frio (abaixo da zona de conforto), ou se é de muito calor (acima da zona de conforto).

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.

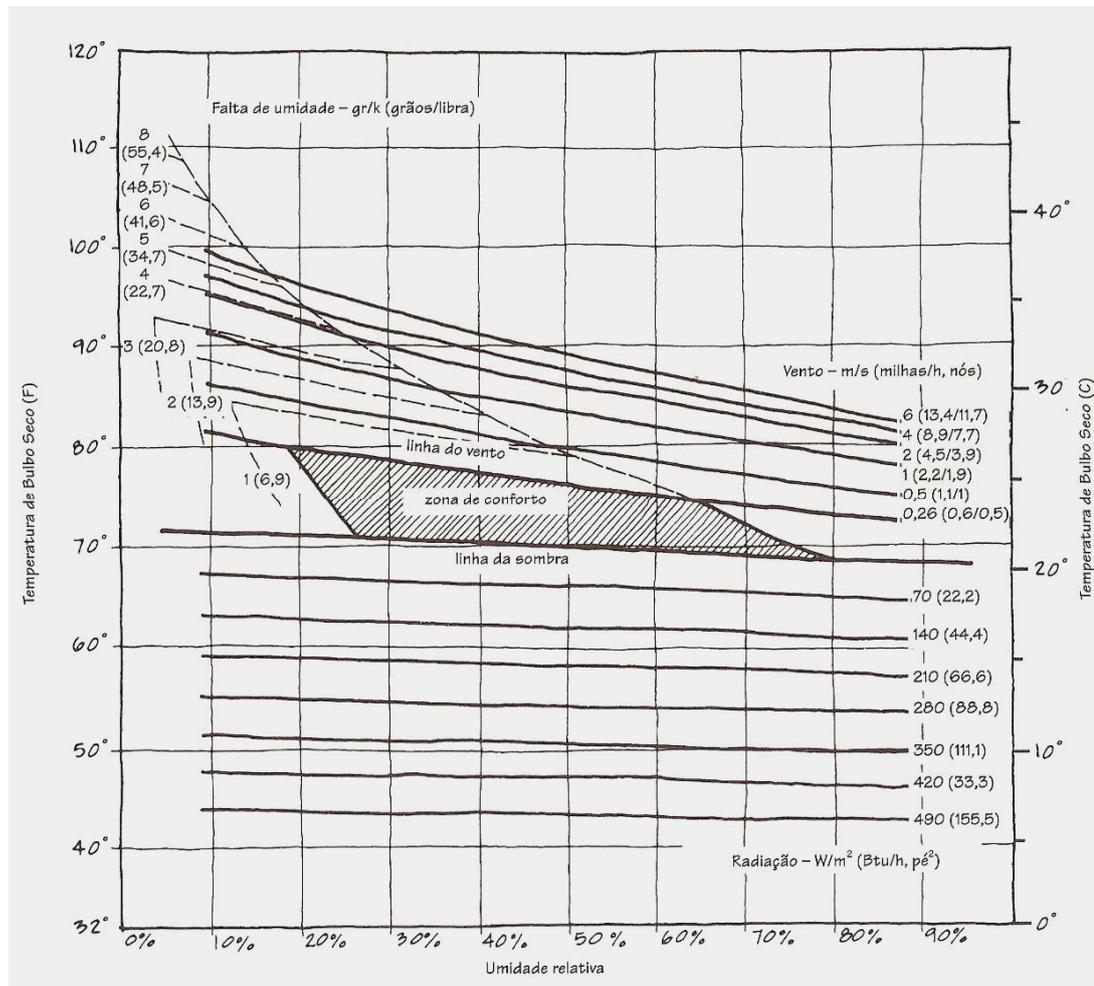
Existem alguns tipos de cartas bioclimáticas já criadas por diferentes autores:

### **2.3.6.1 Diagrama Bioclimático de Olgyay**

Em seus estudos o arquiteto húngaro Victor Olgyay desenvolveu a primeira carta bioclimática tentando associar dados climáticos com a sensação de conforto.

OLGYAY (1963), ao confeccioná-la, baseou-se na temperatura efetiva (TE\*) para determinar a zona de conforto, considerando atividade sedentária e vestimenta de 1 *clo*. A carta resultante apresenta extensões da zona de conforto ao associar variáveis climáticas que definem zona de resfriamento evaporativo, zona de ventilação, zona de irradiação solar e zona de sombreamento.

O diagrama de Olgyay é desenhado entre dois eixos, sendo o eixo vertical o das temperaturas de bulbo seco e o eixo horizontal o das umidades relativas, como mostra a figura 16, uma ilustração representativa da carta semelhante à confeccionada por Olgyay:



**Figura 16** - Interpretação de uma Carta Bioclimática segundo BROWN & DEKAY (2004).

**Fonte:** BROWN & DEKAY (2004).

Na combinação de temperatura e umidade, se o ponto estiver abaixo da linha da sombra, pressupõe-se que haja sombreamento impedindo condições de conforto. Se na combinação o ponto estiver abaixo da linha de vento, indica a ausência de ventos e o ponto acima indica a necessidade de vento.

As linhas horizontais abaixo da sombra indicam a necessidade de radiação solar incidente para compensar as temperaturas internas do ar mais baixas, buscando atingir maior conforto. As linhas tracejadas indicam a quantidade de evaporação necessária por quilo de ar seco, para que o resfriamento leve as condições ambientais para dentro da zona de conforto.

Na metodologia desenvolvida por OLGYAY (1963), a carta definida por linhas e manchas, limita e define as necessidades dominantes de maior

sombreamento, irradiação, ventilação ou proteção dos mesmos. A metodologia permite definir orientações favoráveis quanto à lay-out do projeto e implantação da edificação, tipo de edificação e alguns aspectos da envoltória como cor, tipo de aberturas, telhados e tipos de materiais.

Essa primeira carta é apropriada para regiões com menos de 300 m de altitude, latitude de aproximadamente 40 graus, em zonas de clima moderado.

Olgay 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.

Diante desses primeiros estudos, muitas revisões foram feitas, inclusive pelo próprio autor. Foram criticadas a falta de uma estratégia referente à massa da envoltória e a adequação da carta para regiões de clima quente.

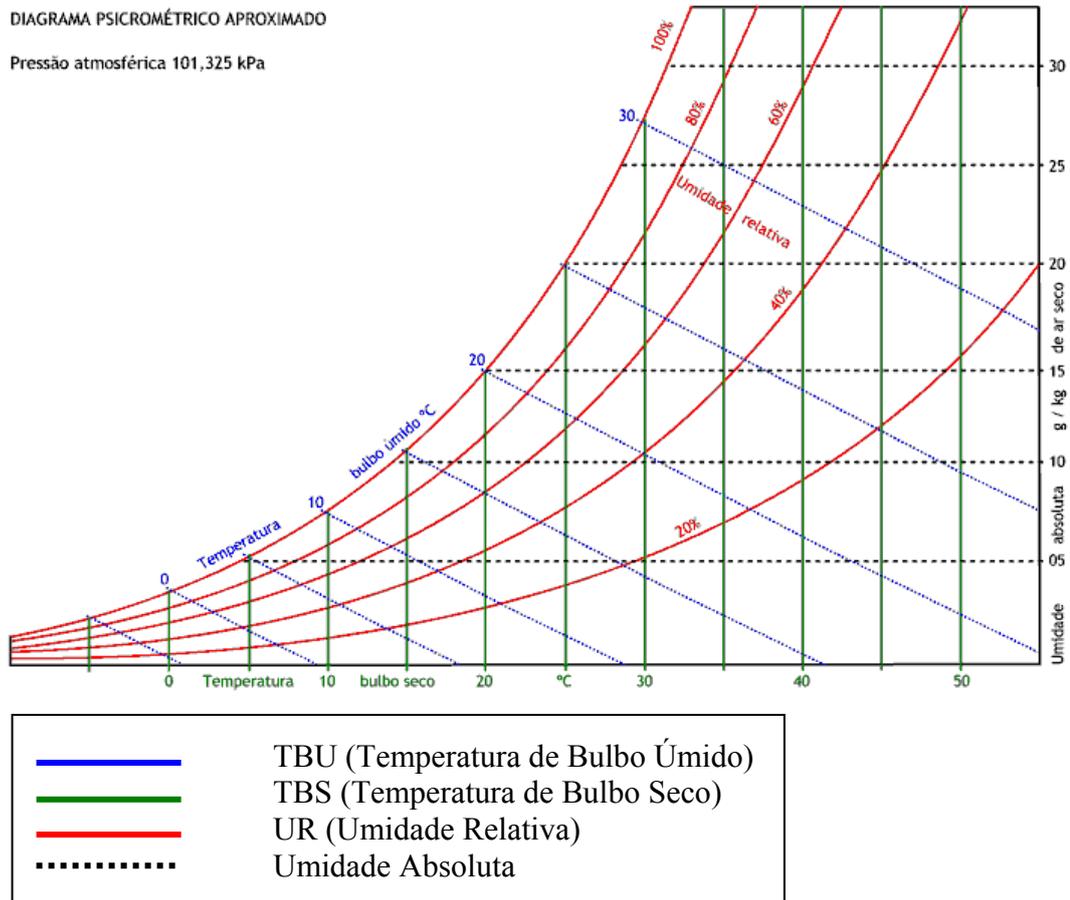
Em 1968, Olgay procurou adaptar sua carta para regiões de clima quente através de trabalhos para Colômbia, considerando a aclimação das pessoas e adotando novos parâmetros para definição da nova zona de conforto, a partir da temperatura média de verão. Os novos limites adotados foram de 20 a 80% de umidade relativa e temperatura de bulbo seco limitada entre 18,3°C e 29,5°C.

Entretanto o diagrama de Olgay manteve-se limitado ao tratar os efeitos da radiação independente da inércia térmica, pois a carta não apresenta diretamente estratégias de massa térmica para correção do clima externo, tornando sua aplicação estritamente para as condições externas (GIVONI, 1992).

### ***2.3.6.2 Carta Bioclimática de Edificações 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 Olgay. Segundo BARBOSA (1997), a principal diferença entre esses dois sistemas deve-se ao fato de que o diagrama de Olgay é desenhado entre dois eixos (temperaturas secas e umidades relativas), enquanto que a carta de Givoni é traçada sobre uma carta psicrométrica convencional e utiliza-se da umidade absoluta como referência.

Um diagrama psicrométrico cruza informações de temperatura de bulbo seco e úmido e umidades absoluta e relativa sobre uma determinada condição de pressão de vapor, como exemplifica a figura 17:



**Figura 17** - Diagrama psicrométrico aproximado considerando pressão de vapor normal.

**Fonte:** Disponível em <http://www.mspc.eng.br/> Acesso em: 05/07/06.

Em sua carta original, Givoni utilizou-se do modelo biofísico de troca de calor entre o corpo e o meio ambiente, chamado Índice de Stress Térmico (ITS). Este modelo calcula o índice através das variáveis de temperatura do ar, umidade (pressão de vapor), movimento de ar, radiação solar, taxa metabólica e vestimentas.

Na carta de GIVONI (1992) os limites originais de conforto foram determinados com base em pesquisas conduzidas nos Estados Unidos, Europa e Israel. Entretanto, considerando estudos realizados em países quentes e apoiando-se

no fato de que devido seus costumes, as pessoas que moram em países em desenvolvimento com clima quente e úmido aceitam limites máximos superiores de temperatura e umidade, a atualização sugere a expansão desses limites para a aplicação em tais regiões.

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 novas opções de estratégias apresentadas 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. As 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 2 g /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 ANSI/ASHRAE 55 (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) 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, por isso busca-se em seus estudos maior inércia ao clima externo.

As condições internas de conforto são alcançadas relacionando as alterações climáticas externas com princípios básicos de projeto da edificação e suas propriedades de envoltória.

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 17 g/kg e 80% de umidade relativa.

### **2.3.6.3 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.

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 ANSI/ASHRAE 55 (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 ANSI/ASHRAE 55 (1981), as altas velocidades de ar não afetam o limite máximo aceitável para umidade.

O diagrama ANSI/ASHRAE 55 (1992) 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 ANSI/ASHRAE 55 (1981) são definidas a partir de temperaturas efetivas (TE\*):

- 1) No verão: (23°C TE\* a 26°C TE\*), nas seguintes condições:
  - a) vestimenta igual a 0,5 *clo*;
  - b) metabolismo menor ou igual a 1,2 met;
  - c) velocidade do ar menor ou igual a 0,15 m/s;
  - d) PPD (porcentagem de pessoas insatisfeitas) igual a 10%.
  
- 2) No inverno: (20°C TE\* a 23,5°C TE\*), nas seguintes condições:
  - a) vestimenta igual a 0,9 *clo*;
  - b) metabolismo menor ou igual a 1,2 met;
  - c) velocidade do ar menor ou igual a 0,15 m/s
  - d) PPD (porcentagem de pessoas insatisfeitas) igual a 10%.

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.

#### **2.3.6.4 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 são de 18,5°C a 28,5°C na zona de conforto do método CPZ (Zona Potencial de Controle), para análise de clima e projeto, onde os dados são calculados e transferidos para uma carta psicrométrica. A zona de conforto é calculada a partir da temperatura neutra (Tn), que é variável com o clima e está relacionada com a temperatura média externa.

As médias das máximas e máximas mensais são as bases 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 12 g/kg e 4 g/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) são utilizadas para definição de índices ao relacioná-las com o somatório total dos comprimentos das linhas dentro de cada zona estabelecida. Com esses índices são definidas as estratégias mais hábeis para criar condições de conforto.

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

É um método flexível e de fácil aplicabilidade, onde as zonas são definidas de acordo com parâmetros de cada clima. Porém apesar de ser um método abrangente ao ampliar as zonas de conforto para verão e inverno, a praticidade é ausente ao tentar aplicá-lo diretamente para obtenção das estratégias recomendadas.

#### **2.3.6.5 Metodologia de WATSON e LABS**

Em 1983, WATSON e LABS buscaram criar uma metodologia que englobasse o trabalho de vários autores, dentre eles os já acima citados.

Uma nova carta bioclimática foi confeccionada ao adotarem novos parâmetros para a zona de conforto, da qual originou-se as zonas de estratégias climáticas.

As zonas de controle climático apresentadas são semelhantes às de GIVONI (1969), porém acrescidas de recomendações quanto ao incremento ou bloqueio de certas estratégias de acordo com a estação do ano a ser analisada. Foram desenvolvidas 17 sub-zonas através da associação das várias necessidades de controle climático já estabelecido na Carta Bioclimática para Edificações de Givoni, tais como: resfriamento evaporativo, ventilação, desumidificação, restrição à condução (inércia térmica), resfriamento mecânico, resfriamento radiante e aquecimento solar.

Assim a metodologia desenvolvida busca tornar a indicação de cada estratégia mais detalhada ao quantificá-las frente aos diferentes climas.

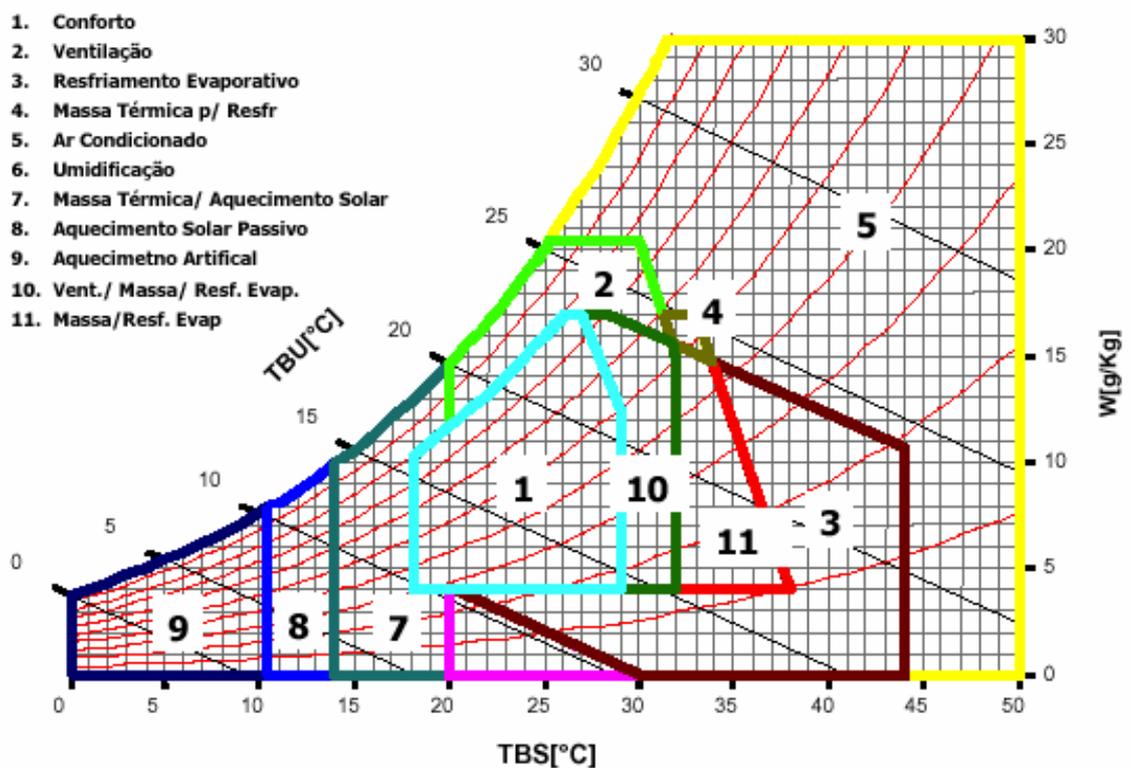
O método foi desenvolvido e aplicado nos Estados Unidos, com dados climáticos horários (8.760horas) de cada região introduzidos na carta bioclimática de edificações adaptada depois de Givoni. Assim, uma menor fração percentual (0,1%), que equivale a 8,7 horas, são contabilizados dentro de cada zona bioclimática para quantificar o percentual da necessidade de cada estratégia a ser adotada.

Este método desenvolvido por WATSON & LABS (1983) foi primeiro a conseguir melhor precisão na quantificação das estratégias. Para isso, utilizaram-se na plotagem dos dados horários na carta, softwares especializados para a função.

### **2.3.7 Estratégias Bioclimáticas**

Diante dos resultados obtidos com o estudo das condições climáticas de um determinado local, estas podem ser utilizadas para favorecer as condições de conforto em ambientes internos através de recursos arquitetônicos. De modo geral, a edificação funciona como um anteparo entre o usuário e o meio, dotado de mecanismos estratégicos projetados por profissionais, baseado nas variáveis oferecidas pelo clima. Esses mecanismos são criados para suprir as exigências das diretrizes bioclimáticas, sugeridas genericamente de acordo com os elementos e fatores climáticos apresentados.

A carta bioclimática de Baruch Givoni, adaptada para países de clima quente e em desenvolvimento, portanto adotada para o Brasil segundo LAMBERTS (1997), sintetiza num diagrama psicrométrico os tipos de estratégias que devem ser utilizados. Essas são determinadas a partir da distribuição dos pontos de convergência da temperatura de bulbo seco (TBS) e umidade relativa sobre as zonas estabelecidas como mostra a figura 18:



**Figura 18** - Carta Bioclimática de Baruch Givoni adotada para o Brasil.

**Fonte:** Disponível em:

[http://www.usp.br/faudisciplinaspaginasarquivosaut\\_0264\\_aula3\\_arquitetura\\_clima.pdf](http://www.usp.br/faudisciplinaspaginasarquivosaut_0264_aula3_arquitetura_clima.pdf)

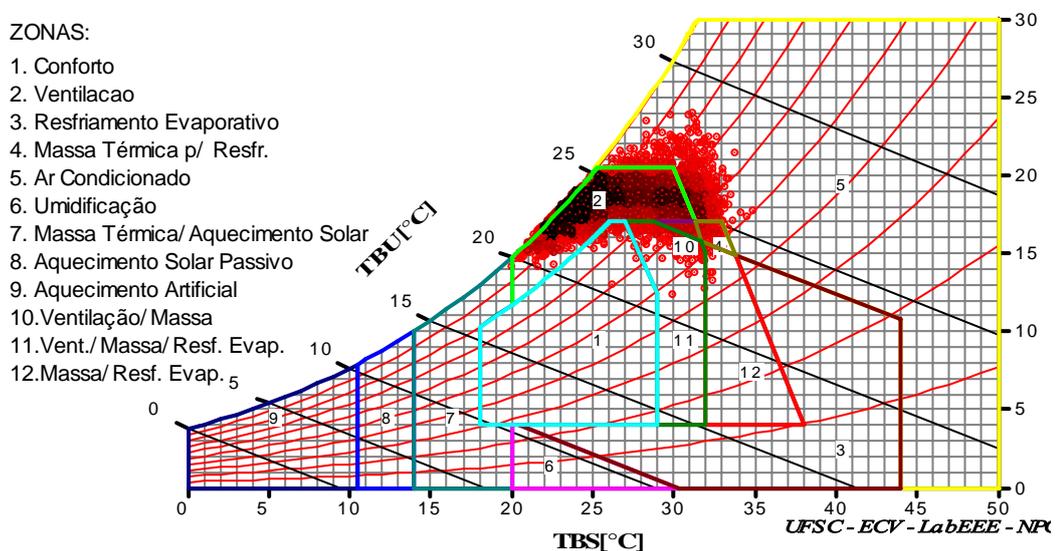
Nesta carta, representada na figura 18, devem registrar-se as ocorrências dos estados do ar (em termos de temperatura e umidade) verificados no exterior.

Existem dois tipos de dados climáticos que podem ser plotados na carta para observação climática de um local, durante um ano inteiro: dados climáticos horários,

para todas as horas do ano do TRY e dados das médias mensais de um período de 30 anos, obtidos através das Normais Climatológicas.

Para os dados horários, cada par de dados de TBS e umidade relativa formam um ponto a ser marcado, e as diferentes localizações dessas ocorrências na carta assumem geralmente a forma de uma mancha, sendo essa localização indicadora do tipo de clima do local e conseqüentemente o tipo de estratégias mais adequadas ao bom desempenho do edifício.

A figura 19 mostra uma Carta Bioclimática confeccionada com dados horários para a cidade de Belém/Pará:

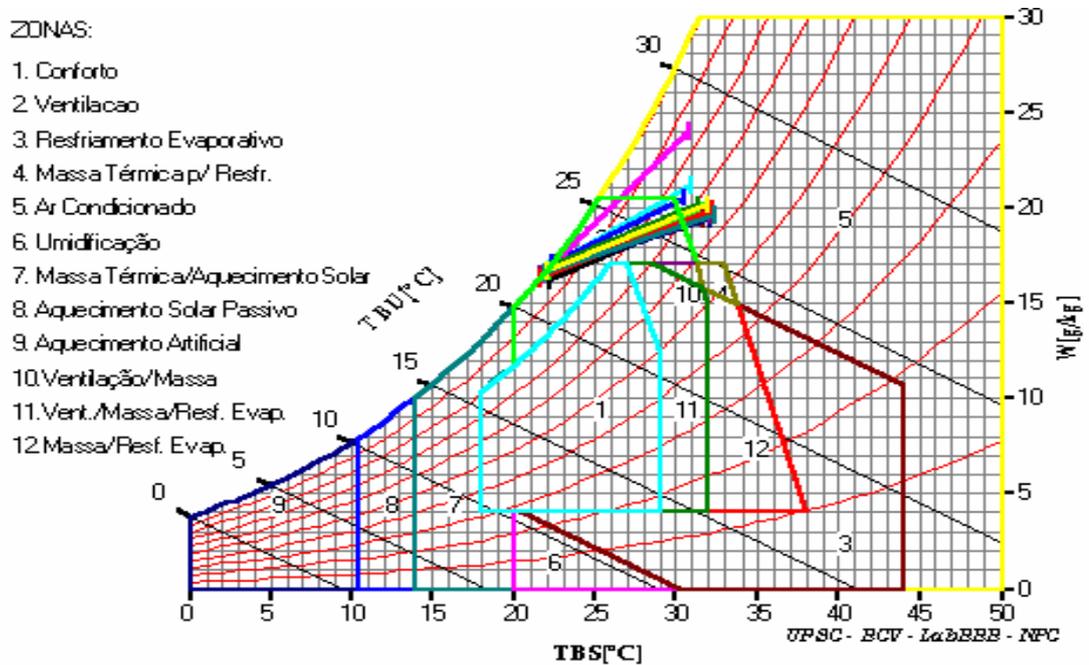


**Figura 19** - Representação de uma Carta Bioclimática com dados horários.

**Fonte:** Disponível em: <[www.labee.ufsc.br](http://www.labee.ufsc.br)> Acesso em 08/07/2006.

Para a confecção de uma carta com dados horários, utilizam-se softwares especializados em análise climática, que exigem uma formatação própria na geração dos dados de entrada. Dois exemplos são o *Analysis*, da Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC e o *Climaticus 1.0*, da Universidade de São Paulo/USP. Ambos fazem a plotagem das 8.760 horas de um ano e oferecem um relatório da porcentagem de cada estratégia necessária, o que não seria um procedimento nem prático e nem preciso se feito manualmente.

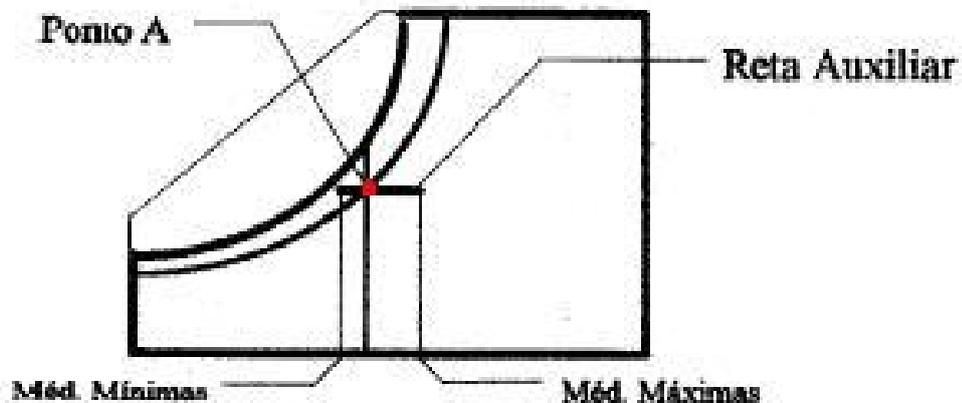
Na utilização das Normais Climáticas, são plotadas retas na Carta Bioclimática, e cada reta corresponde a um mês do ano, como mostra a figura abaixo:



**Figura 20** - Representação de uma Carta Bioclimática com Normais Climáticas.

**Fonte:** Disponível em: <[www.labee.ufsc.br](http://www.labee.ufsc.br)> Acesso em 08/07/2006.

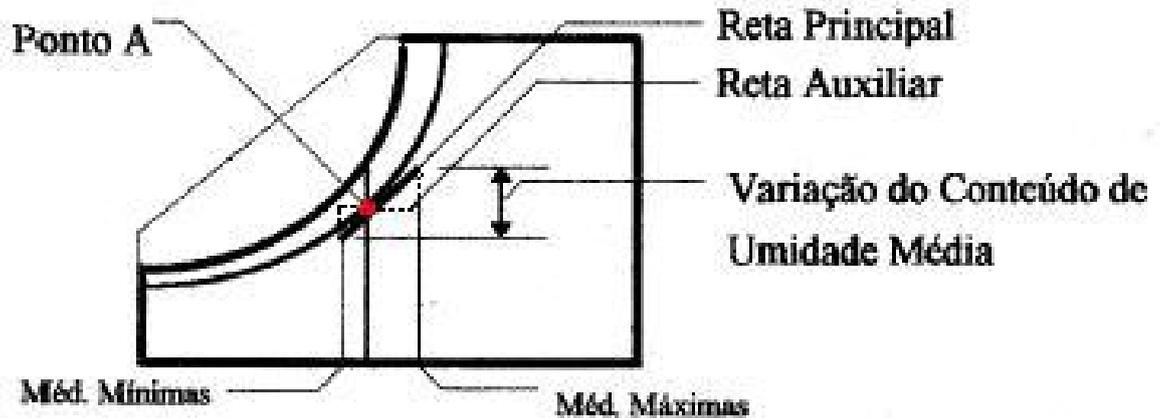
Para a obtenção das retas segundo FIRMINO et al. (1997), lança-se o valor da média mensal de TBS e a umidade relativa média mensal para encontrar o ponto A, por onde passará a reta auxiliar do relativo mês, como mostra a figura seguinte:



**Figura 21** - Elaboração do ponto A na plotagem das Normais Climáticas.

**Fontes:** FIRMINO (1997)

De acordo com GOULART et al. (1993), existe uma variação de 3,0 a 4,0 g/kg no conteúdo de umidade diário. Considerando a variação do conteúdo de umidade, a linha correspondente à quantidade de vapor é considerada inclinada, acompanhando a variação média do mês, obtendo-se então a reta principal, como mostra a figura seguinte:



**Figura 22** - Elaboração da reta na plotagem das Normais Climáticas.

Fontes: FIRMINO et al. (1997).

Após plotar as 12 retas correspondentes de cada mês, fazem-se o cálculo das porcentagens de ocorrência em cada zona correspondente às estratégias de projeto. Mede-se o comprimento total das linhas em qualquer escala, que equivalem a 100%. Em seguida mede-se o tamanho da linha entre as temperaturas limites de cada zona e calcula-se o valor percentual desse comprimento em relação ao total. Esses valores representam a frequência de ocorrência da estratégia de projeto obtidas para aquele clima.

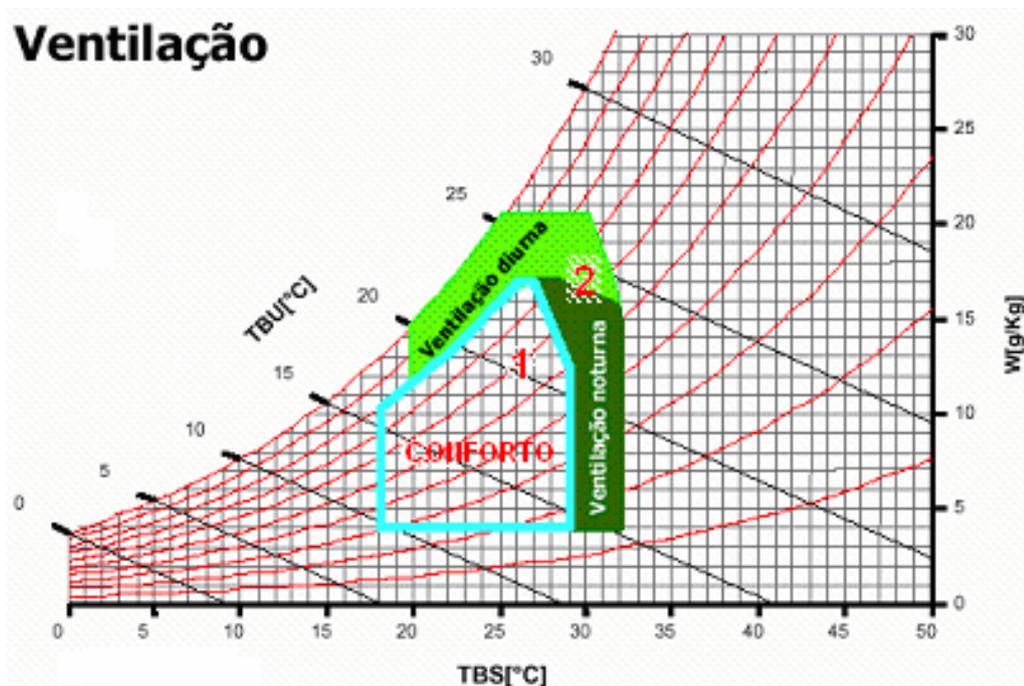
As zonas bioclimáticas estabelecidas na carta indicam o tipo de estratégias bioclimáticas recomendada para aquele clima. A quantificação dessas estratégias indicadas nos relatórios de saída dos softwares especializados, aliados aos recursos arquitetônicos projetados para atender diretrizes de projeto ou adequação posterior, indicam soluções de projeto baseados em parâmetros de exequibilidade e relação custo/benefício.

As estratégias naturais de aquecimento, resfriamento e iluminação são conhecidas como estratégias passivas, já o uso de sistemas de climatização e iluminação artificial são conhecidos como estratégias ativas.

Na zona 1 encontra-se a Zona de Conforto, na qual os valores de temperatura entre 18°C e 29°C e umidade relativa entre 20% e 80%, ou umidade absoluta entre 4 e 17 g/kg, estabelecem grande probabilidade de que as pessoas se sintam em conforto térmico em um ambiente com tais condições. Em países em desenvolvimento, Givoni considera que as pessoas sentem-se confortáveis termicamente próximo aos 29 °C por vestirem roupas leves e estarem submetidas a pequena quantidade de ventilação, sendo estes costumes responsáveis pela aclimação das pessoas.

A zona 2 corresponde a ventilação, que deve ser utilizada quando a temperatura interior ultrapassar os 29 °C ou a umidade relativa for superior a 80%.

Existe a zona de ventilação diurna e a de ventilação noturna. Em regiões onde a temperatura diurna é maior que 29 °C e a umidade relativa inferior a 60%, o resfriamento convectivo noturno é mais adequado, evitando o ar quente diurno e aproveitando o ar fresco noturno para resfriar o interior da edificação. A figura 23 mostra a zona de ventilação diurna e noturna na carta bioclimática:



**Figura 23** - Representação da Zona Bioclimática 2 – Ventilação.

**Fonte:** Disponível em: < [www.labee.ufsc.br](http://www.labee.ufsc.br) > Acesso em 10/07/2006.

São várias as estratégias de projeto que utilizam a ventilação: ventilação cruzada, ventilação por efeito chaminé, coletores de vento e outros.

Na ventilação cruzada, a mais simples de ser adotada, a taxa na qual o ar flui, retirando o calor daquele ambiente está relacionada com a área de entrada e saída de ar. A ventilação cruzada mais eficaz ocorre quando a entrada de ar está na área de alta pressão (onde recebe ventos diretamente) e a saída de ar na área de sucção (oposta a entrada de ar), e para ventilação máxima, quando as tomadas de entrada e saída de ar forem grandes e perpendiculares às esquadrias.

A ventilação por efeito chaminé se dá quando o ar quente de um recinto sobe e é dissipado por uma abertura alta enquanto o ar externo de menor temperatura entra por uma abertura mais baixa.

A velocidade do ar em movimento dentro do ambiente e a quantidade de calor retirado variam em função da distância vertical entre as tomadas e saídas de ar, de seu tamanho e da diferença de temperatura dentro e fora da edificação.

Algumas das vantagens dessa estratégia estão na independência com a orientação e por não necessitar de grande volume de vento para que o ar circule pela edificação. Ventiladores instalados nos dutos podem auxiliar a circulação quando a ventilação natural não for suficiente.

Os coletores de vento são torres com a função de capturar as brisas acima do nível da cobertura nas edificações cujas janelas têm pouco acesso à ventilação. Dessa forma, é possível coletar ventos com temperatura inferior e direcioná-los para o interior das edificações.

Essa estratégia também soluciona conflitos existentes na orientação para uma insolação ou proteção solar ideal em contraste com uma orientação adequada para uma boa ventilação, pois as torres podem ser direcionadas para coletar ventos de qualquer direção.

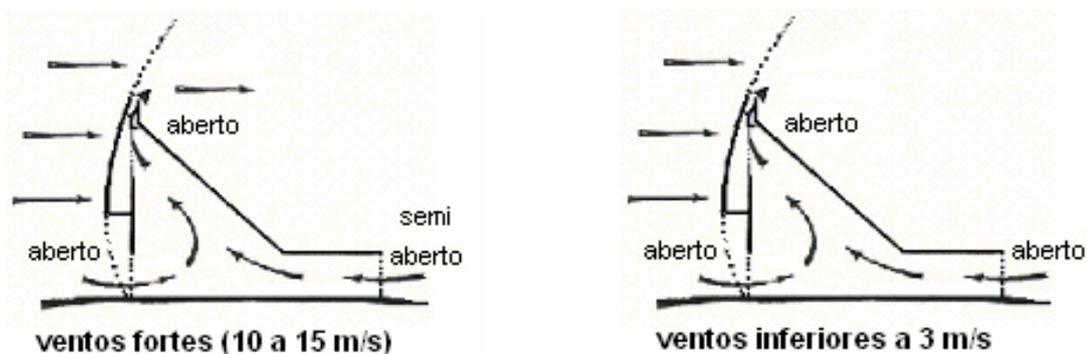
Um exemplo da aplicação de estratégias que se utilizam da ventilação local para definir o partido arquitetônico, mas de forma funcional na edificação pode ser vista na obra do arquiteto italiano Renzo Piano nas figuras 24 e 25 seguintes:



**Figura 24** - Centro Cultural Jean-Marie Tjibaou, em Nouméa – Nova Caledônia. Arq. Renzo Piano.

**Fonte:** Disponível em:

[http://www.usp.br/faudisciplinaspaginasarquivosaut\\_0264\\_aula3\\_arquitetura\\_clima.pdf/](http://www.usp.br/faudisciplinaspaginasarquivosaut_0264_aula3_arquitetura_clima.pdf/) Acesso em 10/07/2006



**Figura 25** - Corte esquemático da edificação, com aberturas controladas para ventos fortes e suaves existentes na região.

**Fonte:** Disponível em:

[http://www.usp.br/faudisciplinaspaginasarquivosaut\\_0264\\_aula3\\_arquitetura\\_clima.pdf](http://www.usp.br/faudisciplinaspaginasarquivosaut_0264_aula3_arquitetura_clima.pdf)

Na arquitetura demonstrada, a o partido diferenciado é resultado da integração da forma e função. O estudo estratégico que buscou utilizar as condições

de vento do local de forma racional e funcional, fazendo surgir uma edificação harmonizada entre a estética e a função desempenhada.

No caso, as estratégias de ventilação cruzada e efeito chaminé são utilizados conjuntamente, tanto para que o edifício tenha benefícios com a ventilação, mas também para funcionar como um mecanismo protetor de seus efeitos quando apresentado com grande intensidade. Neste caso, a preocupação com a turbulência do ar foi amenizada com semi aberturas no lado de pressão negativa.

Na Zona Bioclimática 3, encontra-se a Zona de Resfriamento Evaporativo. A evaporação da água pode reduzir a temperatura e aumentar a umidade relativa de um ambiente. Isso ocorre porque parte da radiação líquida disponível é utilizada para transformar água líquida em vapor d'água, sobrando menos energia para aquecer o ambiente.

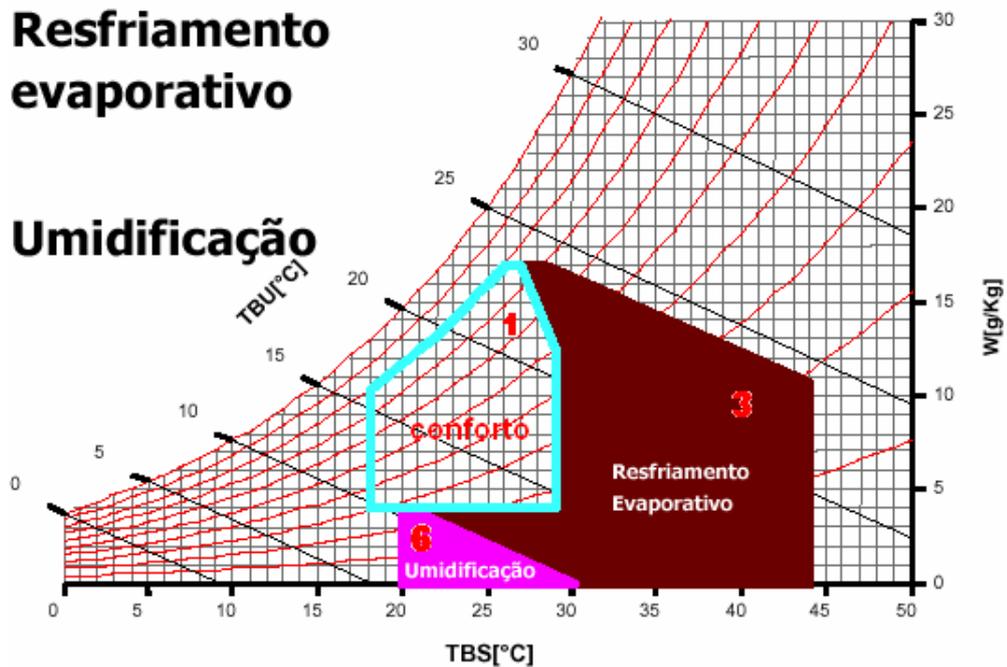
Por isso as fontes, espelhos d'água, cascatas, aspersores de jatos d'água, borrifos de água com tubulação encanada por sobre coberturas de telhas cerâmicas são elementos que auxiliam a reduzir a temperatura pelo processo evaporativo e aumentam a umidade relativa.

Porém esse recurso é aconselhável para climas em que a temperatura de bulbo úmido (TBU) máxima não exceda 24 °C e a temperatura de bulbo seco (TBS) máxima não ultrapasse os 44 °C para que não haja acúmulo de vapor de água. A ventilação é um recurso apropriado para que não ocorra esse acúmulo.

O excesso de umidade no ar é uma condição desfavorável às condições de conforto ao ser humano.

Quando a temperatura for inferior a 27°C e a umidade relativa muito baixa, o ar seco também causa sensação de desconforto, sendo recomendável a umidificação do ambiente, porém com cuidado para que não ocorra desconforto térmico no resfriamento do ambiente pelo processo evaporativo.

A figura 26 mostra a zona de Resfriamento Evaporativo e Umidificação na Carta Bioclimática:



**Figura 26** - Representação da Zona Bioclimática 3 e 6 – Resfriamento Evaporativo e Umidificação.

Fonte: Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/>>

Alguns exemplos da aplicação dessa estratégia nas edificações são: aspersores de água, coberturas de água sombreadas e uso de vegetação.

Os aspersores de água são jatos d'água sob intensa pressão para que sejam aspergidos gotas pequenas que são espalhadas por ventilação forçada ou natural.

O sistema de cobertura de água sombreada no telhado é útil para locais de baixa latitude com climas de céu aberto. São tanques de água instalados sob o telhado, que inicialmente a temperatura da água é igual ao do interior, com a evaporação a temperatura da água diminui e conseqüentemente a temperatura radiante da cobertura, ou seja, o ganho de calor pela cobertura é reduzido.

O uso de vegetação no entorno ou em jardins internos contribui para amenizar a temperatura pelo processo de resfriamento evaporativo através da evapotranspiração, evaporação do solo e transpiração das plantas. A figura 27 mostra um exemplo de aplicação dessas estratégias:



**Figura 27** - Estação Ferroviária Atocha em Madrid, Espanha.

**Fonte:** Disponível em:

[http://www.usp.br/faudisciplinaspaginasarquivosaut\\_0264\\_aula3\\_arquitetura\\_clima.pdf/](http://www.usp.br/faudisciplinaspaginasarquivosaut_0264_aula3_arquitetura_clima.pdf/)

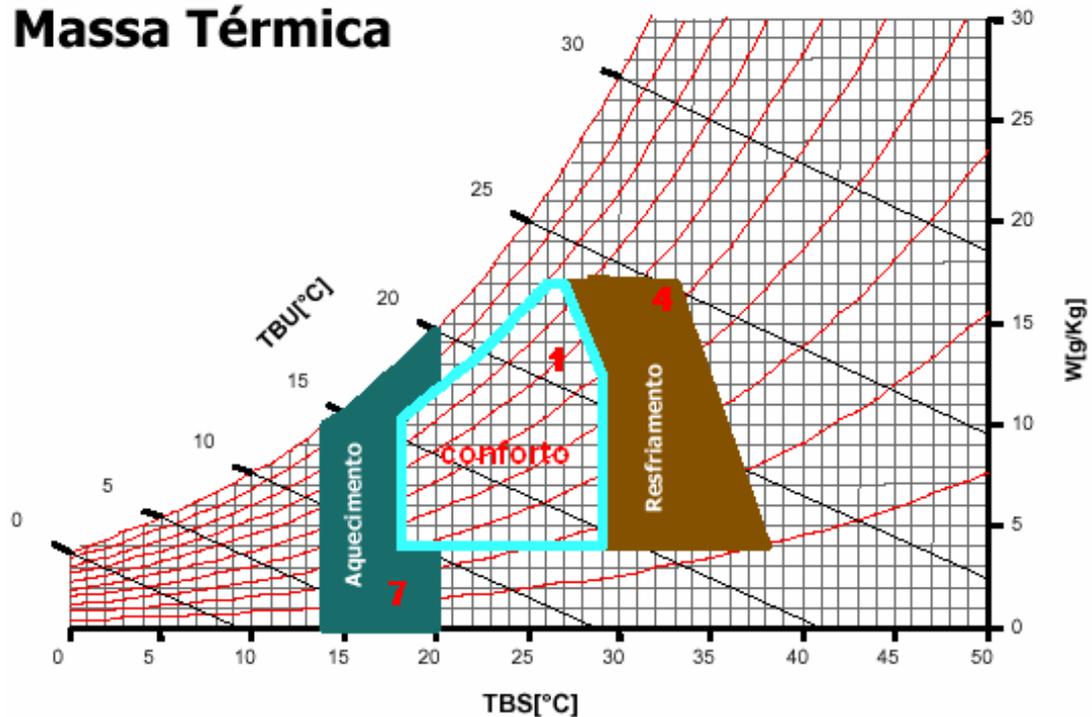
Na figura acima é demonstrada a utilização conjunta de vegetação e aspersores para amenizar o microclima interno na Estação Ferroviária de Atocha, durante o verão na cidade de Madrid. A construção antiga foi restaurada e recebeu uma nova configuração interna para adaptações ao planejamento bioclimático.

Na Zona Bioclimática 4 encontra-se a Zona de Massa Térmica para Resfriamento e a Zona Bioclimática 7 equivale a Zona de Massa térmica para Aquecimento.

A Massa Térmica para Resfriamento é indicada para locais com temperatura do ar (TBS) superior a 29°C e umidade absoluta entre 4 e 17 g/kg.

O uso da inércia térmica, ou seja, da transmissão de calor através de um corpo, no caso referido como massa, pode ser usado para bloquear ou permitir a passagem de calor pela parede da edificação ao receber radiação solar. A figura 28 mostra as zonas bioclimáticas 4 e 7 na carta bioclimática:

## Massa Térmica



**Figura 28** - Representação da Zona Bioclimática 4 e 7 – Massa Térmica para Resfriamento e Aquecimento, respectivamente.

Fonte: Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/>>

Na intenção de resfriamento do ambiente interno, a massa deve ser espessa para que a transmissão de calor de fora para dentro seja retardada, ou seja, para que a parede tenha maior atraso térmico.

Durante o dia, a radiação incidente demora para atravessar a parede, e durante a noite, quando não há mais incidência de radiação nas paredes, o fluxo de calor percorre no sentido contrário, de dentro para fora. O ideal é que o atraso térmico seja suficiente para bloquear o fluxo de calor durante todo o pico de insolação do dia até o pôr-do-sol, para que no período noturno seja dissipado todo o calor retido na parede. Dessa maneira, o atraso deve ser capaz de impedir que o calor seja transferido para o ambiente interno nas horas mais críticas de insolação, pois durante a noite o calor é perdido para o meio pelo processo de resfriamento convectivo noturno (ventilação noturna). Também deve-se observar que a inércia térmica é associada ao tipo de material empregado, e não somente com a espessura da massa. A figura seguinte mostra exemplos da arquitetura vernacular em Cuiabá com paredes espessas de adobe:



**Figura 29** – Arquitetura Vernacular em Cuiabá.

**Fonte:** Disponível em: <[www.mtvirtual.com.br](http://www.mtvirtual.com.br)>

Os antigos casarões cuiabanos utilizavam essa técnica da inércia térmica quando construía suas casas com espessas paredes de adobe e pé direito alto para que os ganhos de calor fossem reduzidos, assim são descritas essas edificações como “frescas” por todos os seus usuários.

O uso da massa térmica para aquecimento deve permitir a passagem da radiação por isso está combinada com o aquecimento solar passivo, e no caso os materiais translúcidos são os mais indicados. Pode ser utilizada para regiões com temperatura (TBS) entre 14°C e 20°C. A figura 30 mostra um exemplo da aplicação dessas estratégias:



**Figura 30** - “Casa Cascata” do arquiteto Frank Loyd Wright, interiores.

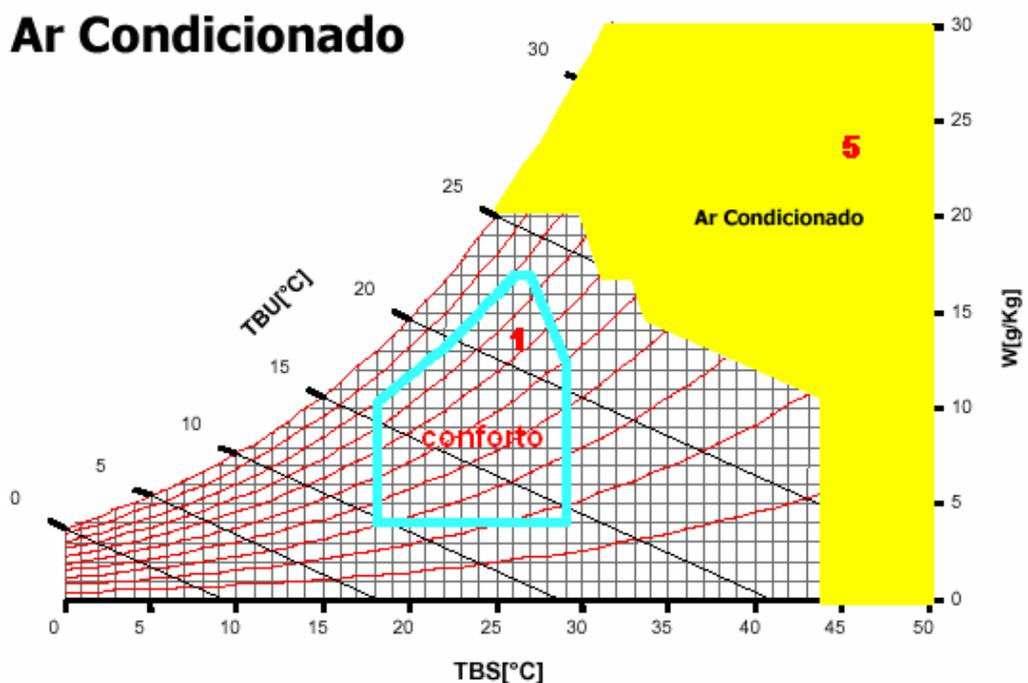
**Fonte:** Disponível em:

<[http://www.usp.br/faudisciplinaspaginasarquivosaut\\_0264\\_aula3\\_arquitetura\\_clima.pdf](http://www.usp.br/faudisciplinaspaginasarquivosaut_0264_aula3_arquitetura_clima.pdf)>

O recurso consiste no ganho e armazenamento de calor solar para compensar a diferença de temperatura durante o período mais frio, à noite. Paredes de pedra e materiais compactos são indicados para o armazenamento de calor ganhos durante o dia.

Como pôde ser visto, são utilizadas paredes de pedra e amplas esquadrias de vidro para captação da radiação solar através dos vidros e armazenamento nos elementos que utilizam pedra.

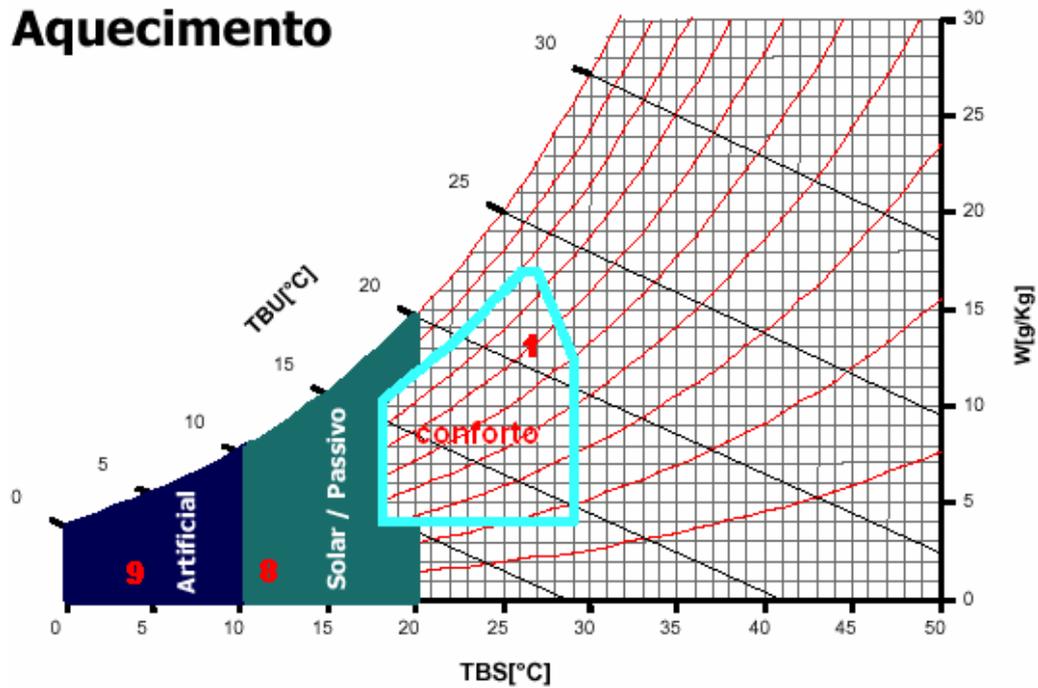
A Zona Bioclimática 5 é a Zona de Ar Condicionado, indicada para regiões de clima com temperaturas elevadas, com TBS superior a 44°C e TBU superior a 24°C, o uso de sistema passivos não é suficiente para resfriamento, então recomenda-se o condicionamento de ar refrigerado para climatização dos ambientes internos. Porém, o uso exclusivo desse sistema não é apropriado, visto no elevado consumo de energia da edificação. Por isso ele deve ser sempre utilizado em conjunto com outros sistemas passivos de refrigeração já citados, visando a redução do tempo de consumo energético. A figura 31 mostra a delimitação da área de ar condicionado na carta bioclimática:



**Figura 31** - Representação da Zona Bioclimática 5 – Ar Condicionado.

Fonte: Disponível em <http://www.labee.ufsc.br/>

As Zonas bioclimáticas 8 e 9 são respectivamente, Zona de Aquecimento Solar Passivo e Aquecimento Artificial, como mostra a figura 32 seguinte:



**Figura 32** - Representação da Zona Bioclimática 8 e 9 – Zona de Aquecimento Solar Passivo e Aquecimento Artificial.

Fonte: Disponível em <<http://www.labeec.ufsc.br/>>

O aquecimento solar passivo é indicado para climas com temperaturas entre 10,5°C a 14°C. O uso do aquecimento solar passivo propõe que os ganhos de calor solar garantam equilíbrio com as perdas térmicas, por isso necessita-se que certa quantidade de calor seja acumulada durante o dia para uso à noite. Segundo BROWN & DEKAY (2004), a radiação que pode ser coletada é função da quantidade de vidraças orientadas ao Sol e da radiação disponibilizada pelo clima, enquanto que a quantidade de perda térmica é função do nível de isolamento dos fechamentos e da severidade do clima.

São vários os recursos arquitetônicos que utilizam-se do aquecimento solar passivo como: placas coletoras de calor no telhado, parede Trombe e o conhecido jardim-de-inverno.

Com o uso de placas coletoras de energia solar instaladas no telhado em geral são utilizados para o aquecimento de água para banho e atividades domésticas,

contribuindo bastante na redução do consumo de energia da rede. Esse sistema baseia-se em placas que coletam a radiação solar, que é armazenada na forma de energia para aquecimento.

O uso da parede Tromble ou parede de água é um sistema indireto de ganho solar que localiza a massa de acumulação térmica entre o espaço a ser aquecido e as vidraças com orientação ao sol. O sol atravessa as vidraças, que aquece a parede de acúmulo térmico que aquece o ambiente interno. A transferência térmica através da parede depende dos materiais e da espessura da parede.

Os jardins-de-inverno são utilizados para coletar o calor, acumulá-lo em um local central e distribuí-lo a outros recintos. Esse recinto sofre grandes oscilações diárias de temperatura e nem sempre é confortável. Para melhor armazenagem térmica, os jardins-de-inverno necessitam de massa adicional, tanto na forma de água ou um tanque de pedras sob o piso. Porém, no verão esses jardins devem estar protegidos do sol e ser bem ventilado, evitando ganhos térmicos excessivos. Segue na figura abaixo um exemplo da utilização de aquecimento solar na arquitetura:



**Figura 33** - Pannel fotovoltaico na fachada da sede do Building Research Energy, em Londres: uso de a luz solar.

**Fonte:** Disponível em:

<[www.usp.br/faudisciplinaspaginasarquivosaut\\_0264\\_aula3\\_arquitetura\\_clima.pdf](http://www.usp.br/faudisciplinaspaginasarquivosaut_0264_aula3_arquitetura_clima.pdf)>

Em regiões onde o clima é bastante severo, com temperaturas inferiores a 10°C o aquecimento solar pode não ser suficiente, necessitando então de aquecimento artificial, com o uso de aparelhos de calefação. Porém, sempre visando o menor consumo de energia, o sistema artificial deve ser alternado com o sistema passivo de aquecimento solar.

As Zonas Bioclimáticas 10 e 11 foram criadas a partir das interseções existentes nas zonas de ventilação, resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento, sendo que as estratégias podem ser aplicadas separadamente ou em conjunto.

Em resumo, as orientações de caráter geral que podem referir nos campos do aquecimento e do arrefecimento de forma natural são:

A. Estratégias de aquecimento:

1. Restringir as perdas por condução – aplicação de materiais isolantes nos elementos construtivos (paredes, coberturas, pavimentos e envidraçados);
2. Restringir as perdas por infiltração e restringir a ventilação no exterior do edifício – caixilharias de janelas com uma vedação eficiente, proteção dos ventos dominantes com vegetação e escolha de uma boa localização para o edifício;
3. Promover os Ganhos Solares.

B. Estratégias de arrefecimento:

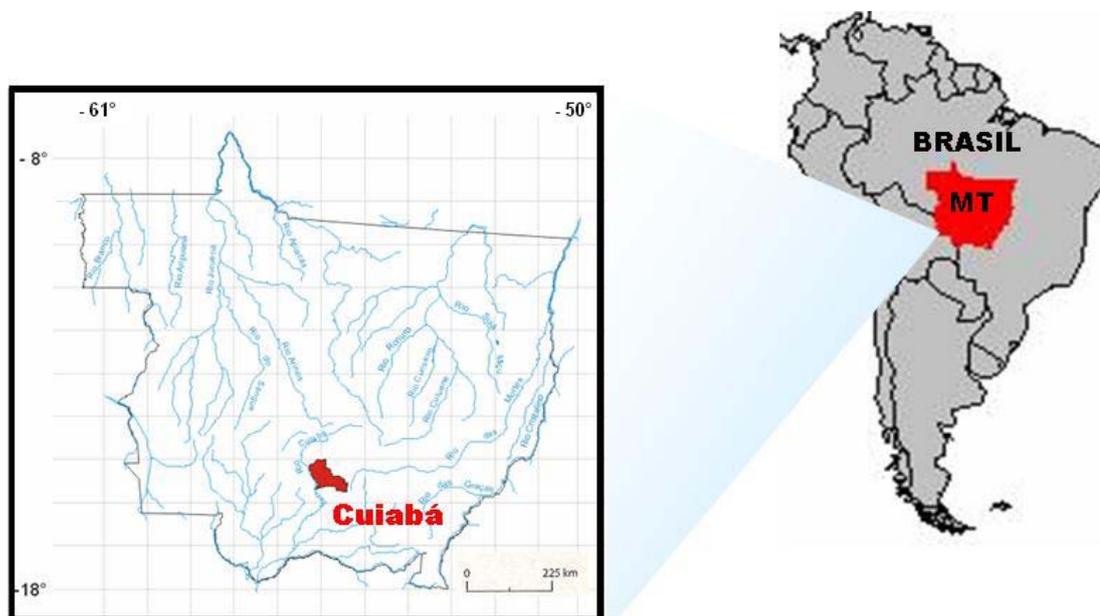
1. Promover ventilação natural;
2. Restringir ganhos solares;
3. Promover o arrefecimento por evaporação.

Enfim, esses foram alguns conceitos necessários ao conhecimento básico para aplicação nos projetos bioclimáticos junto ao conhecimento do clima local de atuação, como será apresentado nos itens a seguir.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS REGIONAIS E LOCAIS

Para caracterizar o objeto de estudo, a cidade de Cuiabá, a figura seguinte mostra a localização da área urbana em uma escala local e regional. O estado de Mato Grosso está situado na parte central da América do Sul e que por sua vez, tem o município de Cuiabá localizado na parte centro-sul do estado.



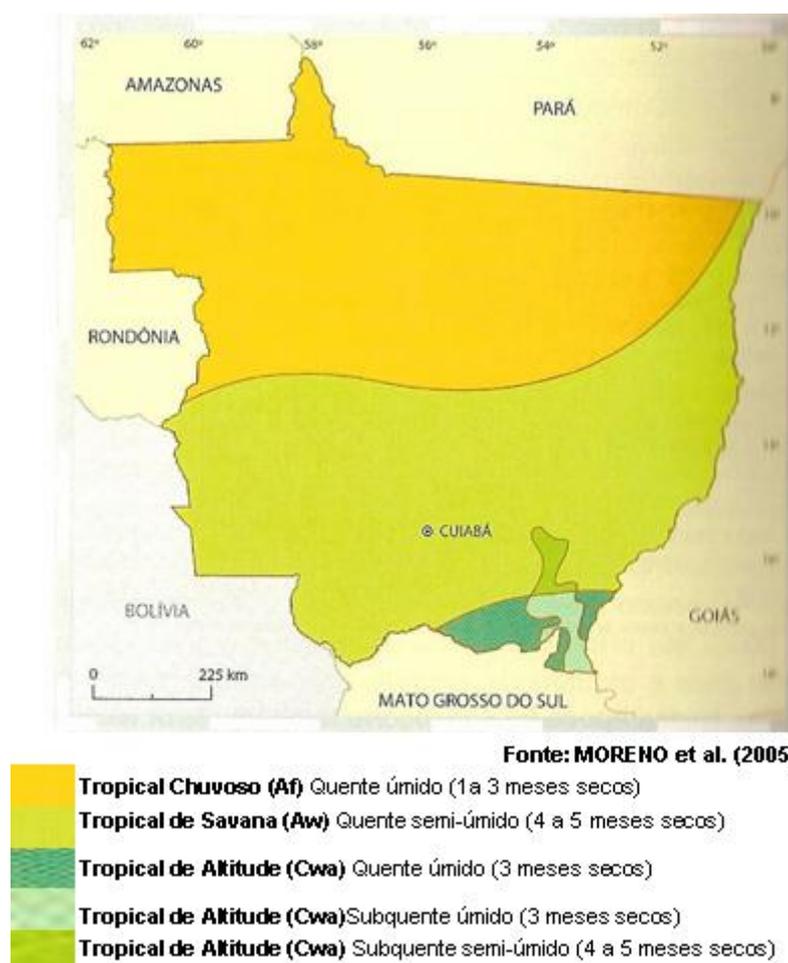
**Figura 34** – Mapa da Localização Geográfica de Cuiabá/MT e região Centro-oeste.

A análise do objeto de estudo deve ser feita em várias escalas para que as variáveis climáticas sejam observadas com os vários elementos que às influenciam, tais como relevos, massas de ar e água, vegetação, situação geográfica e muitos outros.

Segundo classificação de Wladimir Köppen, existem cinco grupos climáticos principais em todo o mundo, baseados principalmente na temperatura e precipitação:

- A Climas tropicais chuvosos
- B Climas secos
- C Climas temperados chuvosos e moderadamente quentes
- D Climas frios com neve
- E Climas polares

Em MORENO et al. (2005), segundo uma adaptação da classificação de Köppen, considerando as chuvas e a temperatura e relacionado ao tipo de vegetação regional, Mato Grosso apresenta os seguintes tipos de clima conforme figura abaixo:



**Figura 35** – Classificação climática de Mato Grosso segundo adaptação da proposta de Köppen.

Fonte: MORENO et al., (2005).

- a) **Clima Tropical Chuvoso de Floresta (Af):** clima tropical com temperaturas médias superiores a 18 °C em todos os meses. A precipitação anual é abundante e maior que a evaporação, como ocorre nas áreas de florestas, região setentrional do Estado.
- b) **Clima de Savana (Aw):** clima tropical, com estação seca, no outono/inverno, e estação chuvosa, na primavera/verão. Ocorre na região centro-sul do Estado de Mato Grosso e em partes do Pantanal.
- c) **Clima Tropical de Altitude (Cwa):** clima chuvoso, com inverno seco, onde as temperaturas do mês mais quente são acima de 22 °C. Ocorre no sul do Estado em áreas com altitudes de 800 m.

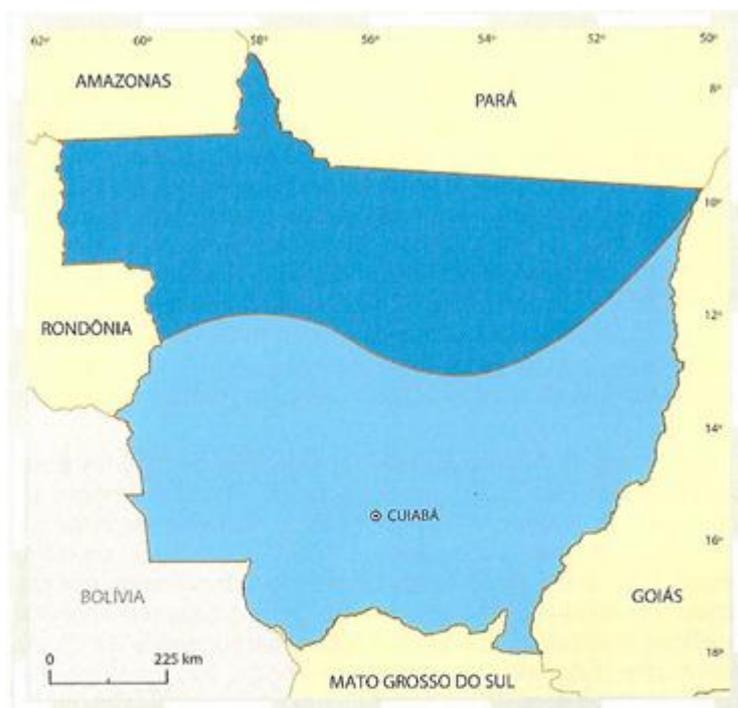
Segundo a classificação de Köppen, Cuiabá está inserida na região onde o clima é classificado como Tropical de Savana (Aw), quente semi-úmido com 4 a 5 meses seco.

Já segundo a classificação de Arthur Strahler, o clima no mundo divide-se em quatro grupos principais: climas de latitudes baixas, de latitudes médias, de latitudes altas e de terras altas, considerando as massas de ar dominantes e a precipitação para classificação.

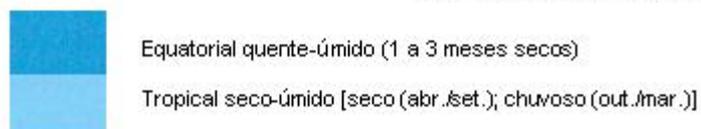
Pela posição latitudinal e extensão territorial, Mato Grosso apresenta os climas Equatorial e Tropical, classificados em:

- a) **Clima Equatorial Quente-úmido:** dominado pela massa equatorial continental, com 1 a 3 meses secos, ocorrendo no extremo norte do Estado.
- b) **Clima Tropical Seco-úmido:** dominado pela massa tropical continental, que ocorre no restante do Estado.

Segundo esta última classificação, Cuiabá possui clima Tropical Seco-úmido, com período seco de abril a setembro, enquanto que o período chuvoso vai de outubro a março como mostra a figura abaixo:



Fonte: MORENO et al. (2005)



**Figura 36** – Classificação climática de Mato Grosso segundo adaptação da proposta de Strahler.

Fonte: MORENO et al., (2005).

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).

A figura 37 abaixo mostra os limites de municípios em Cuiabá:



**Figura 37** – Mapa de Limite de Municípios de Cuiabá.

Fonte: IPDU/CUIABA/MT.

No processo de crescimento da cidade deu-se a conurbação com o município adjacente, Várzea Grande, formando o Aglomerado Urbano Cuiabá - Várzea Grande, sendo sua criação estabelecida pela Lei Complementar Estadual n.º 28/93 e disposta pela Lei Complementar Estadual n.º 83/2001.

Desde a década de 60, recebendo grande fluxo migratório até a década de 80, com elevadas taxas de crescimento populacional, Cuiabá expandiu rapidamente seu sítio urbano.

Somente em 24 de dezembro de 1992 foi aprovada a Lei Complementar Municipal n.º 003, Lei do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Cuiabá, que visa ordenar o crescimento da cidade, estabelecendo diretrizes para um desenvolvimento social integrado e ecologicamente sustentável. Juntamente com a Lei do Plano Diretor aprovou-se também a Lei Complementar Municipal n.º 004 — Lei de Gerenciamento Urbano, que institui o Código Sanitário e de Posturas do

Município, o Código de Defesa do Meio Ambiente e Recursos Naturais e o Código de Obras e Edificações.

O 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) 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.

Nos últimos anos a verticalização também é crescentemente, sendo hoje uma das cidades médias brasileiras que mais se expande, e conseqüentemente, modifica sua paisagem. A figura 38 seguinte mostra o perfil da paisagem urbana de Cuiabá atualmente:



**Figura 38** – Vista da Paisagem Urbana de Cuiabá.

Fonte: Disponível em: <[www.mtvirtual.com.br](http://www.mtvirtual.com.br)>

“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.”

Cuiabá está a uma altitude de 165 metros acima do nível do mar, variando em sua área urbana de 146 a 250 metros. Situa-se na província geomorfológica denominada Depressão Cuiabana que consiste numa peneplanície de erosão, onde predominam relevos de baixas amplitudes. Na área urbana e seu entorno, assinala sete unidades distintas segundo o modelo do relevo: canal fluvial, dique marginal, planície de inundação, área alagadiça, área aplainada, colinas e morrotes, que apresentam características próprias e comportamento específico quanto às diversas formas de uso e ocupação do solo, (CUIABÁ, 2004).

Os ventos predominantes em Cuiabá são norte e noroeste, (CUIABÁ, 2004).

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).

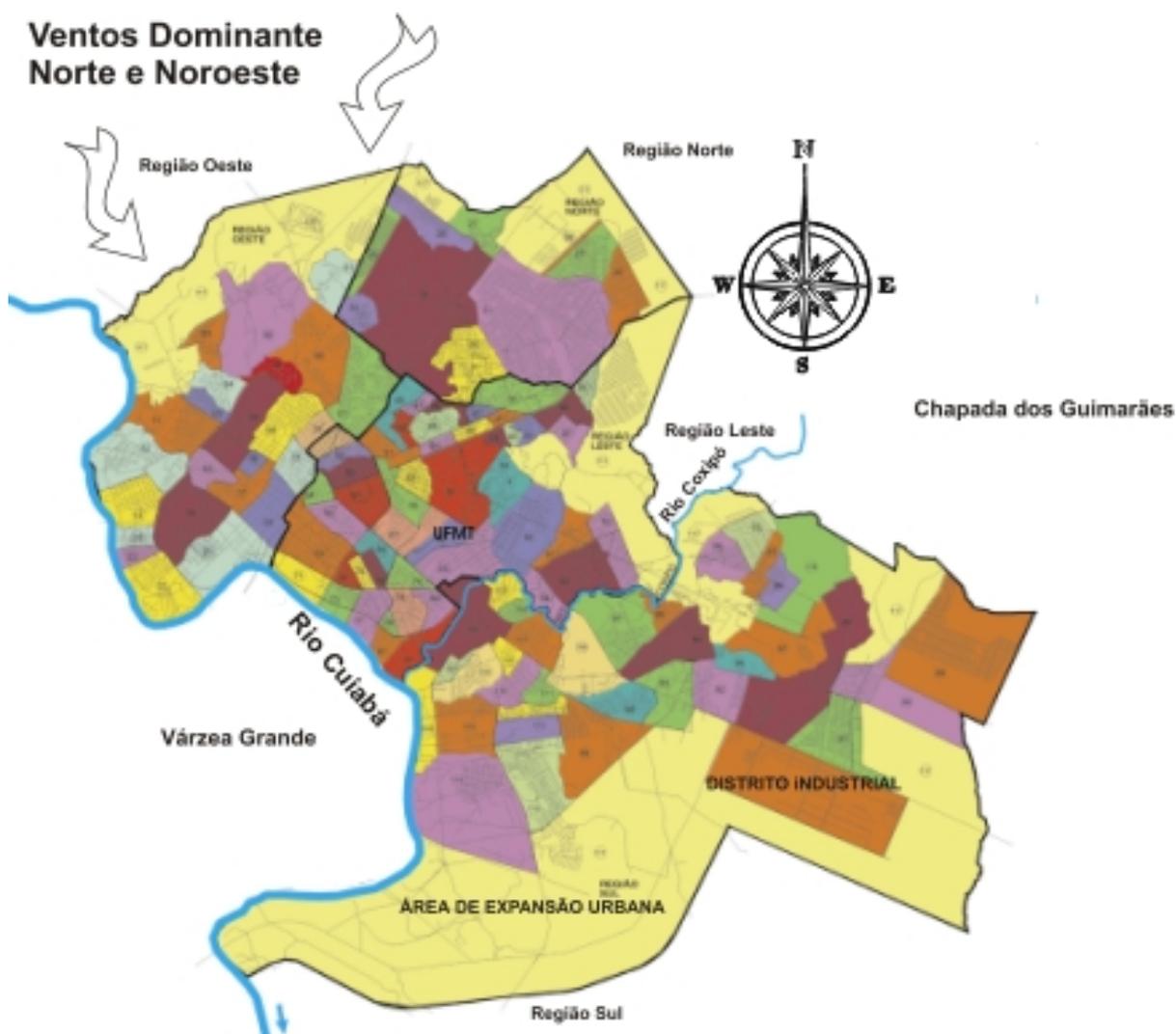
As condições de ventilação do local onde a cidade está posicionada são em grande parte influenciadas pelas características do relevo que a circunda como mostra a figura 39:



**Figura 39** – Corte Esquemático do Mapa Físico de Mato Grosso.

Fonte: MORENO *et al.*, 2005.

Na figura 40 também pode ser observada a posição e influência da movimentação de ar na área urbana:



**Figura 40** – Mapa Urbano de Cuiabá e Direção do Vento Dominante.

Fonte: IPDU/CUIABA/MT.

De acordo com estudos científicos na área do desenvolvimento e expansão do território urbano, indicam a região norte como zona de expansão urbana destinada ao uso residencial e de baixo impacto ambiental, e localizando a zona industrial na direção oposta. Com isso, pretende-se evitar que os poluentes emitidos no ar sejam espalhados na direção do aglomerado urbano e que tenham contato com a população.

A precipitação média anual é de 1.750 mm, com intensidade máxima em dezembro, janeiro e fevereiro e período seco no inverno, (CUIABÁ, 2004).

Segundo Instituto Nacional de Meteorologia, INMET (2003), 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 das máximas de 42°C e média das mínimas de 15°C, umidade relativa do ar média de 78% e insolação total média de 2.179 horas.

Esta é então a caracterização do objeto de estudo, a cidade de Cuiabá. Através destes serão analisados e comparados as variáveis climáticas obtidas a partir do método escolhido para eleição do ano climático de referência.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com as normas da ASHRAE (1993), dados do ano climático são utilizados para cálculo de energia e podem ser definidos em dois formatos diferentes: o *Test Reference Year* (TRY), preparado pelo National Climatic Center e o *Typical Meteorological Year* (TMY), pelo Sandia Laboratories na cidade de Albuquerque.

Segundo GOULART et al. (1997), um arquivo climático TRY, *Test Reference Year*, é formado através de uma metodologia baseada na eliminação de anos cujos dados contêm temperaturas médias mensais extremas (altas e baixas) até que se obtenha apenas um ano de dados médios. O TMY, *Typical Meteorological Year*, é uma compilação de meses sem extremos de temperatura provenientes de diferentes anos, gerando um ano climático que nunca existiu, mas que apresenta temperaturas sem extremos para cada mês.

Para o presente estudo optou-se pela determinação do TRY, que consta da presença de dados horários de um ano típico e real, possuindo então uma seqüência cronológica de dados mais próxima ao ocorrido e de mais fácil acesso diante da escassez de dados climáticos antigos coletados a cada hora do dia.

Segundo CARVALHO et al. (2002), o TRY considera um período de no mínimo 10 anos consecutivos de séries de dados climáticos para que um ano típico representativo de um lugar geográfico seja consistente. Para tanto, foram utilizados dados de médias mensais de temperatura do ar para um período de 15 anos (1990 – 2004), coletados no 9º Distrito Nacional de Meteorologia de Cuiabá.

Os dados climáticos obtidos foram tratados com o processo de interpolação dos dados inválidos ou inexistentes e analisados a partir da tendência dos existentes com auxílio de rotinas desenvolvidas em planilha eletrônica.

Em seguida, a determinação do TRY foi feita baseando-se na metodologia utilizada por GOULART et al. (1997), que se baseia na eliminação de anos de dados,

classificando os meses segundo sua importância para cálculo de energia e eliminação dos extremos.

A seqüência utilizada no processo de eliminação e determinação do TRY é dada por:

- a) Dispor em seqüência cronológica as médias mensais de TBS para o período de anos consecutivos disponíveis e obter as médias das médias mensais (Ver Tabela 2);
- b) Identificar e classificar os meses mais quentes e mais frios, intercalando em seqüência o 1º mês mais quente, em seguida o 1º mês mais frio, o 2º mês mais quente, o 2º mês mais frio, e prosseguir até o décimo segundo mês mais frio (Ver Tabelas 2 e 3);
- c) Prosseguir a tabela de seqüência de eliminação dos meses de forma inversa, identificando no 1º mês mais quente encontrado anteriormente (outubro), a média mensal de menor valor. Neste caso, o mês de outubro com média mensal de temperatura de menor valor ocorreu no ano de 1991, então deve-se eliminar este ano (Ver Tabela 4);
- d) Para esta seqüência de 15 anos, todos os anos foram eliminados antes do final da análise. Portanto, o último ano foi considerado como um ano representativo do clima local, com características mais amenas diante dos outros anos analisado. O ano de 1994 foi eleito como o TRY de Cuiabá, ou Ano Climático de Referência.

Segue logo abaixo as tabelas utilizadas no processo de determinação do TRY:

**Tabela 2** - Temperaturas médias mensais dos anos de 1990 a 2004.

<b>A N O</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OUT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEZ</b>
<b>1 9 9 0</b>	26,80	26,50	27,20	26,60	24,20	23,70	21,50	25,30	24,80	28,20	27,20	27,20
<b>1 9 9 1</b>	27,20	27,20	26,20	26,30	25,70	24,00	22,80	24,50	27,50	27,10	27,50	27,60
<b>1 9 9 2</b>	26,90	26,70	26,70	26,50	26,10	25,00	21,20	24,40	24,80	26,90	26,60	27,30
<b>1 9 9 3</b>	27,20	25,90	26,60	26,90	24,70	23,30	22,20	23,60	27,30	28,30	28,30	27,60
<b>1 9 9 4</b>	27,30	26,80	27,10	26,60	25,80	24,00	22,80	24,80	27,50	28,60	28,40	26,70
<b>1 9 9 5</b>	26,80	26,70	27,10	25,70	24,60	23,70	24,40	25,30	27,10	28,00	27,50	26,50
<b>1 9 9 6</b>	26,30	27,00	27,10	26,70	25,30	21,10	23,20	27,30	26,60	27,00	27,00	27,90
<b>1 9 9 7</b>	26,50	26,60	26,90	25,90	24,40	24,40	24,50	25,10	27,10	29,10	28,90	27,90
<b>1 9 9 8</b>	28,50	27,80	27,90	27,30	24,30	23,50	24,90	26,10	21,90	28,10	27,50	27,20
<b>1 9 9 9</b>	27,10	27,30	26,20	26,20	24,70	23,70	23,40	24,70	28,00	28,70	27,00	27,50
<b>2 0 0 0</b>	28,30	27,00	26,70	26,50	25,80	24,50	22,80	27,50	26,40	28,30	27,50	27,30
<b>2 0 0 1</b>	27,00	27,30	26,60	27,20	25,10	22,00	24,80	26,70	27,80	27,60	27,10	26,30
<b>2 0 0 2</b>	26,90	26,50	26,10	27,00	24,90	23,00	24,20	26,80	27,30	29,40	28,70	28,00
<b>2 0 0 3</b>	26,90	25,40	26,30	25,90	24,70	24,20	23,00	24,50	27,10	27,40	26,50	28,00
<b>2 0 0 4</b>	27,20	27,40	27,70	27,00	23,20	23,90	23,40	25,20	27,20	28,20	27,10	27,90
<b>MÉDIAS</b>	26,98	26,55	26,74	26,54	25,00	23,48	23,16	25,10	26,26	27,86	27,41	27,21
	3 <sup>o</sup> +Q	6 <sup>o</sup> +F	6 <sup>o</sup> +Q	5 <sup>o</sup> +F	3 <sup>o</sup> +F	2 <sup>o</sup> +F	1 <sup>o</sup> +F	4 <sup>o</sup> +F	5 <sup>o</sup> +Q	1 <sup>o</sup> +Q	2 <sup>o</sup> +Q	4 <sup>o</sup> +Q

\*(+Q=mês mais quente/ +F=mês mais frio)

**Tabela 3** - Seqüência de eliminação dos meses.

<b>SEQÜÊNCIA DE ELIMINAÇÃO</b>			
1	OUTUBRO +Q	13	OUTUBRO +F
2	JULHO + F	14	JULHO + Q
3	NOVEMBRO + Q	15	NOVEMBRO + F
4	JUNHO + F	16	JUNHO + Q
5	JANEIRO + Q	17	JANEIRO + F
6	MAIO +F	18	MAIO +Q
7	DEZEMBRO +Q	19	DEZEMBRO +F
8	AGOSTO +F	20	AGOSTO +Q
9	SETEMBRO +Q	21	SETEMBRO +F
10	ABRIL +F	22	ABRIL +Q
11	MARÇO +Q	23	MARÇO +F
12	FEVEREIRO +F	24	FEVEREIRO +Q

**Tabela 4** - Seqüência de eliminação dos anos.

<b>Ordem de Eliminação</b>	<b>Classificação</b>	<b>TBS</b>	<b>Mês e Ano</b>
1	+Q	29.4	Out/2002
2	+F	21.2	Jul/1992
3	+Q	28.9	Nov/1997
4	+F	21.1	Jun/1996
5	+Q	28.0	Dez/2003
6	+F	23.2	Mai/2004
7	+Q	28.5	Jan/1998
8	+F	23.6	Ago/1993
9	+Q	27.2	Mar/1990
10	+F	26.2	Abr/1999
11	+Q	27.3	Fev/2001
12	+F	26.4	Set/2000
13	+F	27.1	Out/1991
14	+Q	24.4	Jul/1995
15	+F	28.4	Nov/1994

A eleição do ano climático como 1994 foi analisado teoricamente em LEÃO et al. (2006), para avaliar a aplicação do método de determinação do TRY no clima local, diante de suas características específicas frente a variedade de climas existentes em toda extensão do território nacional. Nesse estudo também foi verificada a representatividade do ano eleito em consequência do período consecutivo de anos, analisados segundo as médias mensais extremas. Constatou-se que a seqüência de 15 anos é relevante para aplicação da metodologia utilizada por GOULART et al. (1997) para determinação de um ano típico para Cuiabá.

Porém, durante a execução do método observou-se que um período de 25 anos seria mais apropriado. Para a dupla eliminação de extremos, média mensal mais

alta e mais baixa em todos os meses de um ano, seria necessário que a seqüência fosse composta de 24 anos, e no final sobraria um, o 25º (vigésimo quinto ano) com temperaturas médias a ser eleito como TRY.

Detalhadamente, é importante não confundir um arquivo com extensão try (\*.try) com um arquivo TRY (Test Reference Year). Segundo CARLO & LAMBERTS (2005), o TRY é então uma série de dados climáticos tratados segundo uma metodologia e representa uma situação referencial do clima do local em questão, enquanto o arquivo com extensão try é um formato para uso específico em um programa computacional de difícil visualização.

Para a confecção da Carta Bioclimática e das estratégias indicadas para o clima de Cuiabá, a análise estatística do Ano Climático de Referência torna-se essencial para verificar a coerência da caracterização climática da cidade através do ano típico.

O estudo estatístico foi aplicado nos dados das médias diárias de todos os meses de 1994, coletados também na EMS - Estação Meteorológica de Superfície de Cuiabá, localizado no Aeroporto Marechal Rondon, disponibilizados em um arquivo formado pelas variáveis: média, máxima e mínima diária de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido (°C), umidade relativa (%), direção e velocidade do vento (nós) e total de nuvens (0-10).

As variáveis climáticas tratadas no item a seguir servem para descrição representativa do clima de Cuiabá durante um ano, e para complementação auxiliar na utilização das estratégias indicadas como apropriadas nos relatórios.

## **4.1 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS**

### **4.1.1 Temperatura de Bulbo Seco**

Após análise dos 15 anos (1990 – 2004), a temperatura mínima absoluta registrada nas 8.760 horas do TRY foi de 7,1°C e a máxima absoluta de 39,2°C.

A probabilidade de ocorrência das temperaturas de bulbo seco, para valores iguais ou menores, é determinada por percentagens mostradas na tabela 5:

**Tabela 5** – Probabilidade de Ocorrência de Temperatura de Bulbo Seco (valores iguais ou menores) para as 8.760 horas do TRY de Cuiabá.

Percentagem	Temperatura Bulbo Seco
1%	15°C
5%	19,6°C
10%	22°C
90%	33,2°C
95%	34,4°C
99%	37°C

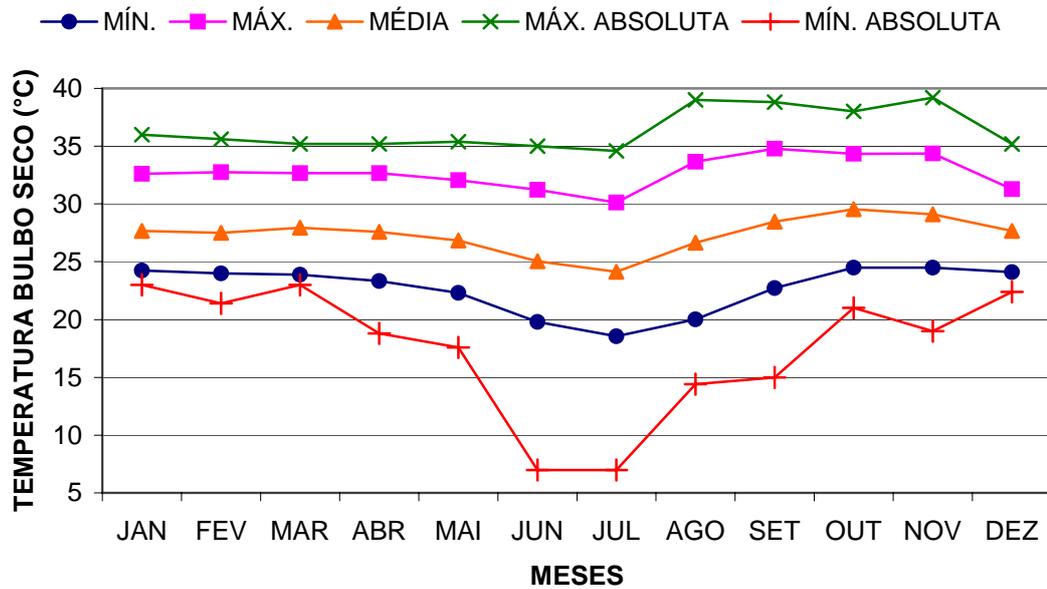
Na tabela é demonstrado o limite de ocorrência das temperaturas ao longo do ano, ou seja, de acordo com o clima de Cuiabá, têm-se mais chances de que ocorram temperaturas em torno dos 37°C que temperaturas próximas a 15°C.

Na análise do comportamento das temperaturas do ar em cada mês, como mostra a figura abaixo, o mês de outubro apresentou maior média de temperatura do ar com 29,53°C, porém o mês de novembro apresentou o máximo valor absoluto, e em média, no mês de setembro os valores máximos estavam concentrados.

No mês de julho concentraram-se as menores temperaturas médias, e junto ao mês de junho, abrigou menores valores de TBS, tornando-se em média o mês mais frio do ano, com 24,14°C.

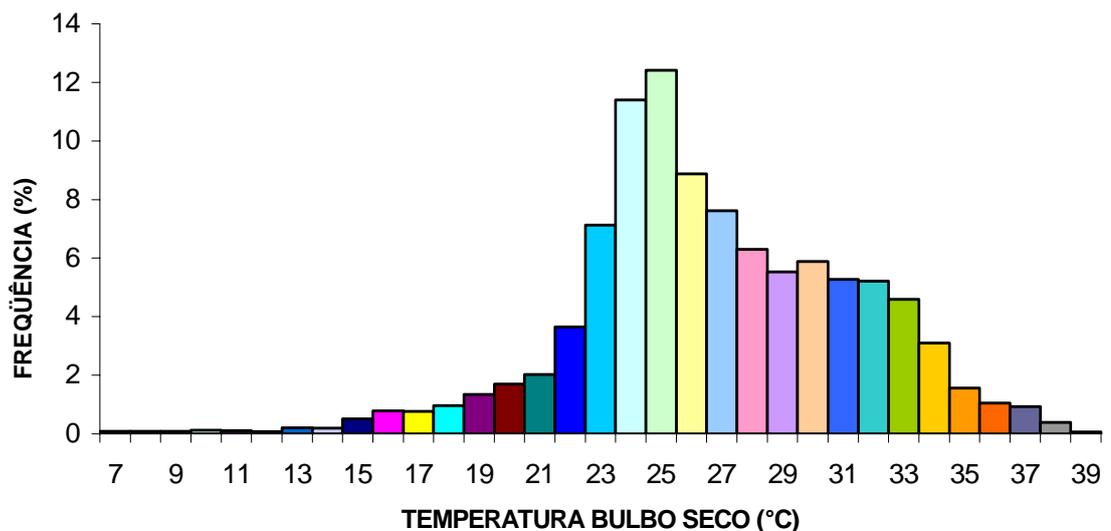
Sendo a média anual do TRY de 27,34°C, o mês de julho apresentou maior desvio padrão, enquanto que o mês de fevereiro esteve mais próximo da média.

Seguem na figura abaixo as médias mensais, média das máximas e média das mínimas e temperaturas absolutas de TBS do TRY de Cuiabá:



**Figura 41** - Temperaturas de Bulbo Seco Mensais do TRY de Cuiabá.

As temperaturas de maior frequência estão na faixa de 25°C. As temperaturas do ar na faixa de 18°C a 29°C que delimitam a zona de conforto na carta bioclimática de Givoni, ocorrem 68,94% ao longo do ano, e 3,01% para valores menores que 18°C e 28,05% para temperaturas maiores que 29°C, como mostra a figura seguinte:



**Figura 42** - Frequência de temperaturas de bulbo seco horárias no TRY de Cuiabá.

Segundo a caracterização macroclimática de Cuiabá a partir de uma seqüência de 20 anos de dados (1970-1989) em CAMPELO JR. et al. (1991), a média das médias mensais de TBS com o valor de 25,8°C foi acrescida em 0,1°C para a seqüência de 15 anos (1990-2004) proposta neste estudo.

Segundo esse mesmo autor, a característica marcante do clima em Cuiabá é:

*“... a ocorrência de períodos de curta duração com temperatura baixa alternando-se a temperaturas moderadas ou elevadas durante o período do inverno, bem como a existência de períodos de elevadas temperaturas durante os meses de outubro e novembro (CAMPELO JR. et al., 1991).”*

Observando o ocorrido durante um ano típico representativo (TRY) de um período de 15 anos e comparando com essas descrições feitas para um período de 20 anos nas décadas de 70 e 80, nota-se que as repetições consecutivas de temperatura do ar são semelhantes em ambos os estudos.

Em MAITELLI (1994), o estudo de três períodos distintos de seqüência de dados: (1920-1940); (1941-1966) e (1970-1992) faz uma abordagem do clima urbano de Cuiabá. Os dados foram coletados em diferentes locais, sendo o primeiro período com coletas no Colégio São Gonçalo, em um local gramado no pátio, o segundo período, no mesmo colégio, porém com os instrumentos instalados a 1,5 m da superfície de um terraço cimentado 2,0 m acima do telhado, e o terceiro com dados coletados no 9º Distrito de Meteorologia de Cuiabá, em local gramado e na área urbana.

De acordo com esse estudo, os maiores e menores valores médios mensais da temperatura do ar ocorreram nos meses de outubro e julho. Para os períodos de 1920-1940 e 1970-1992, as médias em outubro e julho foram de 27,4°C e 23,1°C e 28,5°C e 24,2°C, respectivamente. No período de 1941 a 1966, julho apresentou a menor média mensal, com 24,6°C, e o mês de setembro com a maior média mensal de 28,9°C.

Para o presente estudo, também os meses de julho e outubro obtiveram a menor e maior média mensal com 23,27°C e 28,06°C respectivamente, para o período de 1990 a 2004.

Durante todo o ano climático de referência, a amplitude diária de temperatura do ar pôde ser encontrada com a diferença das temperaturas máximas e mínimas.

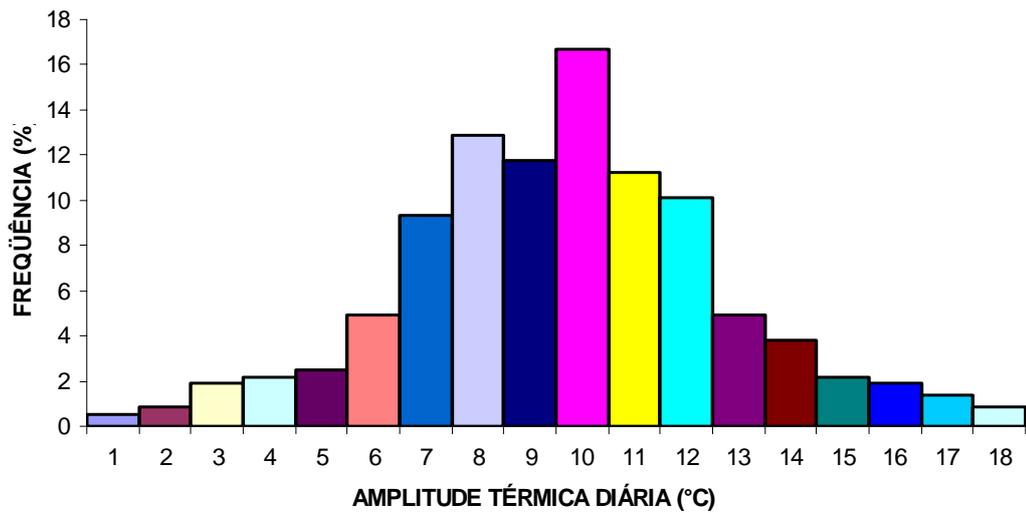
As probabilidades de ocorrência das amplitudes diárias de TBS são determinadas pelas percentagens, para valores iguais ou menores, como mostradas na tabela seguinte:

**Tabela 6** - Probabilidade de Ocorrência de Amplitudes Diárias de Temperatura de Bulbo Seco (valores iguais ou menores) em 365 dias do TRY de Cuiabá.

Percentagem	Amplitude Térmica
1%	2,4°C
5%	4,4°C
10%	6,4°C
90%	14°C
95%	15,4°C
99%	17,6°C

Na tabela nota-se que a maior probabilidade de ocorrência apresenta elevado valor de amplitudes.

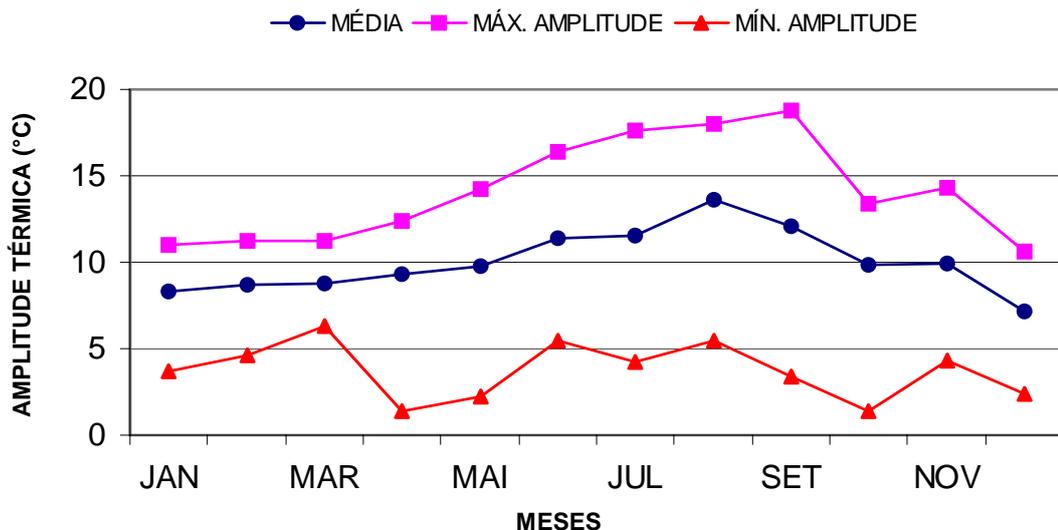
Observando o gráfico de frequência das amplitudes diárias representado pela figura 43, a amplitude de 10°C é a mais freqüente. Porém, a ocorrência de amplitudes menores que 10 °C é maior (46,85%) que amplitudes maiores que 10°C (36,44%). Os desvios padrão da média das máximas e médias das mínimas são semelhantes e de baixa proporção, assim como já observado como característica do clima de Cuiabá, onde as amplitudes térmicas da cidade são pequenas, exceto em fenômenos de friagem.



**Figura 43** - Frequência da amplitude de TBS diária no TRY de Cuiabá.

A figura 44 abaixo mostra que setembro possui o maior valor de amplitude diária, porém agosto é em média o mês com maiores amplitudes, com 13,64°C. O mês de dezembro possui a menor média de amplitude diária com 7,17°C.

O menor valor de amplitude foi de 1,4°C no mês de abril e outubro e a maior variação de temperatura do ar em um mesmo dia foi de 18,8°C, no mês de setembro.



**Figura 44** - Amplitudes de Temperatura de Bulbo Seco horárias do TRY de Cuiabá.

A média do desvio padrão das amplitudes máximas é de 4,03 enquanto que a média do desvio padrão das mínimas é de 6,3. Esta situação também pode ser vista na figura, onde as amplitudes térmicas são maiores durante o inverno (abril a outubro), que no verão (novembro a março).

Nota-se também que as amplitudes mínimas não possuem uma progressão constante no decorrer do ano como ocorre com as amplitudes máximas.

Para que mais constatações sejam feitas necessitam-se comparações com outras variáveis como umidade relativa e nebulosidade, a serem observados nos próximos itens.

#### 4.1.2 Umidade Relativa

As probabilidades de ocorrência de umidade relativa durante todo o ano de 1994 foram determinadas pelas percentagens, para valores iguais ou menores, como mostradas na tabela seguinte:

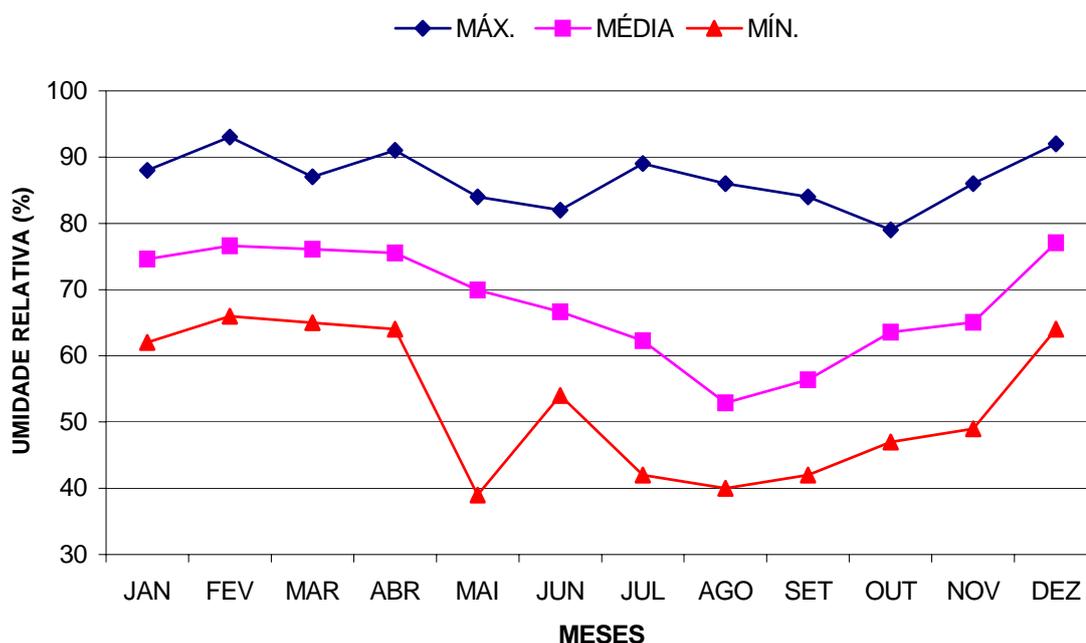
**Tabela 7** – Probabilidade de Ocorrência de Umidade Relativa (valores iguais ou menores) em 365 dias do TRY de Cuiabá.

Percentagem	Umidade Relativa
1%	41%
5%	44%
10%	50%
90%	83%
95%	86%
99%	91%

A umidade relativa média anual do TRY é de 68,04%. A variação da umidade relativa no ano não é ampla, sendo a máxima umidade relativa de 93% em fevereiro e mínima de 39% em maio.

A figura abaixo mostra a variação mensal de umidade relativa, onde o mês de dezembro apresentou maior média de umidade relativa, com o valor de 77,06%. O mês de agosto obteve em média os menores valores de umidade no ar, com 52,87%.

No período de inverno os valores de umidade relativa são menores e o ar é mais seco, já no verão os valores de umidade relativa são os mais elevados, como pode ser visto na figura 45:



**Figura 45** - Umidade Relativa média mensal do TRY de Cuiabá.

Segundo MAITELLI (1994), a média anual de umidade relativa para o período de 1970 a 1992 foi de 74%. Pela análise das médias horárias de umidade relativa do ar no mesmo período, os meses mais secos são junho, julho e agosto, e no horário das 14 horas frequentemente a umidade relativa esteve abaixo de 40%.

Em Cuiabá as ilhas de calor estão associadas ao que a autora define por “ilhas secas”, onde o ar das áreas centrais muitas vezes era até 22% mais seco que nos arredores, principalmente à noite e na estação seca.

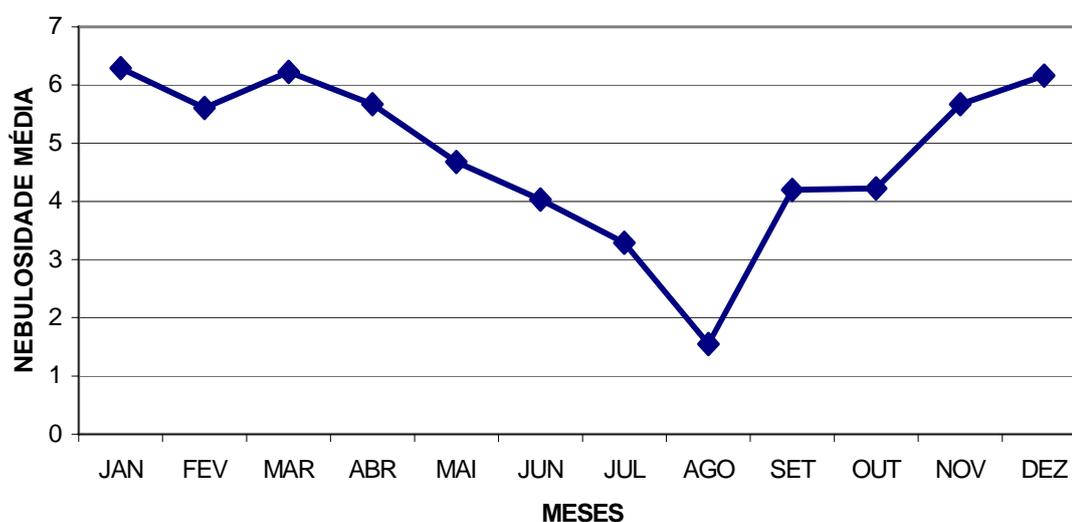
Se a zona de conforto que tem os valores de limites de 20% a 80%, os valores de umidade relativa do TRY de Cuiabá podem ser considerados elevados, com a média das máximas de 86,75% e média das mínimas de 52,83%. A incoerente

representatividade desse ano típico pode gerar uma subestimativa para as estratégias de umidificação e resfriamento evaporativo e superestimar estratégias de ventilação e aquecimento solar frente às reais necessidades das características climáticas de Cuiabá.

### 4.1.3 Nebulosidade

A nebulosidade média do TRY foi de 4,8. Sendo a escala de 0-10 utilizada para verificar a parcela do céu coberta por nuvens, a média anual está abaixo de 50%.

De acordo com a figura abaixo, a nebulosidade média mais baixa ocorreu no mês de agosto com 1,55 e o mês de janeiro apresentou média mais elevada com 6,9.



**Figura 46** - Nebulosidade média mensal do TRY de Cuiabá.

Os meses de maio a outubro apresentaram média de nebulosidade menor que 5, ou seja, o céu esteve mais limpo. Esta situação compatível com características do período de inverno seco em Cuiabá. No verão, período chuvoso na região, a média da nebulosidade esteve acima de 50%.

#### 4.1.4 Direção e Velocidade do Vento

As probabilidades de ocorrência das velocidades do vento, para valores iguais ou menores, são determinadas pelas percentagens mostradas na tabela seguinte:

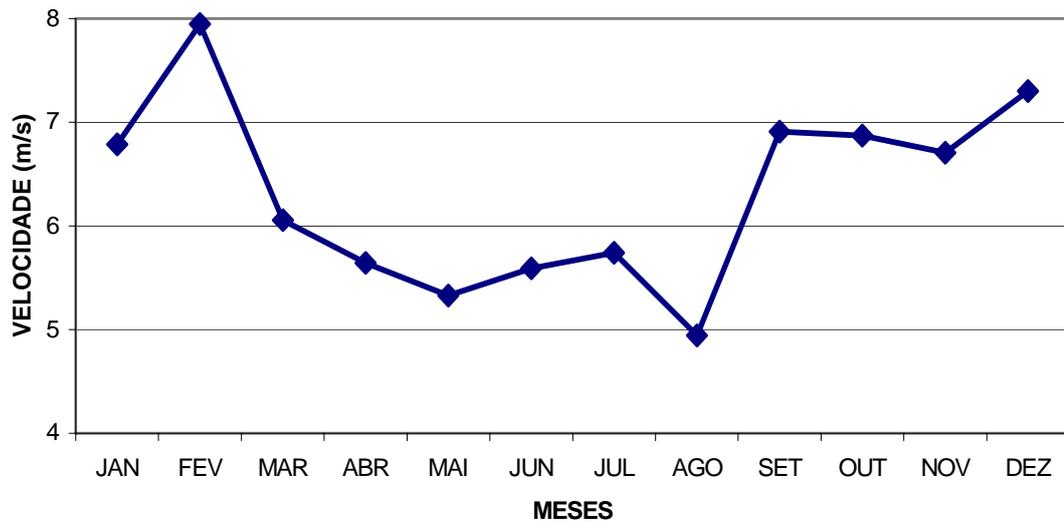
**Tabela 8** - Probabilidade de Ocorrência de Velocidade do Vento (valores iguais ou menores) nos 365 dias do TRY de Cuiabá.

Percentagem	Velocidade do Vento (m/s)
1%	2,06
5%	3,09
10%	4,12
90%	9,26
95%	10,29
99%	12,86

A tabela 8 demonstra que existem 99% de probabilidade que ocorram ventos de menor intensidade que 12,86 m/s.

A velocidade média anual do vento é de 6,28 m/s. Setembro abrigou a maior média diária de velocidade do vento, com 20,58 m/s, e o mês de outubro com 1,03 m/s.

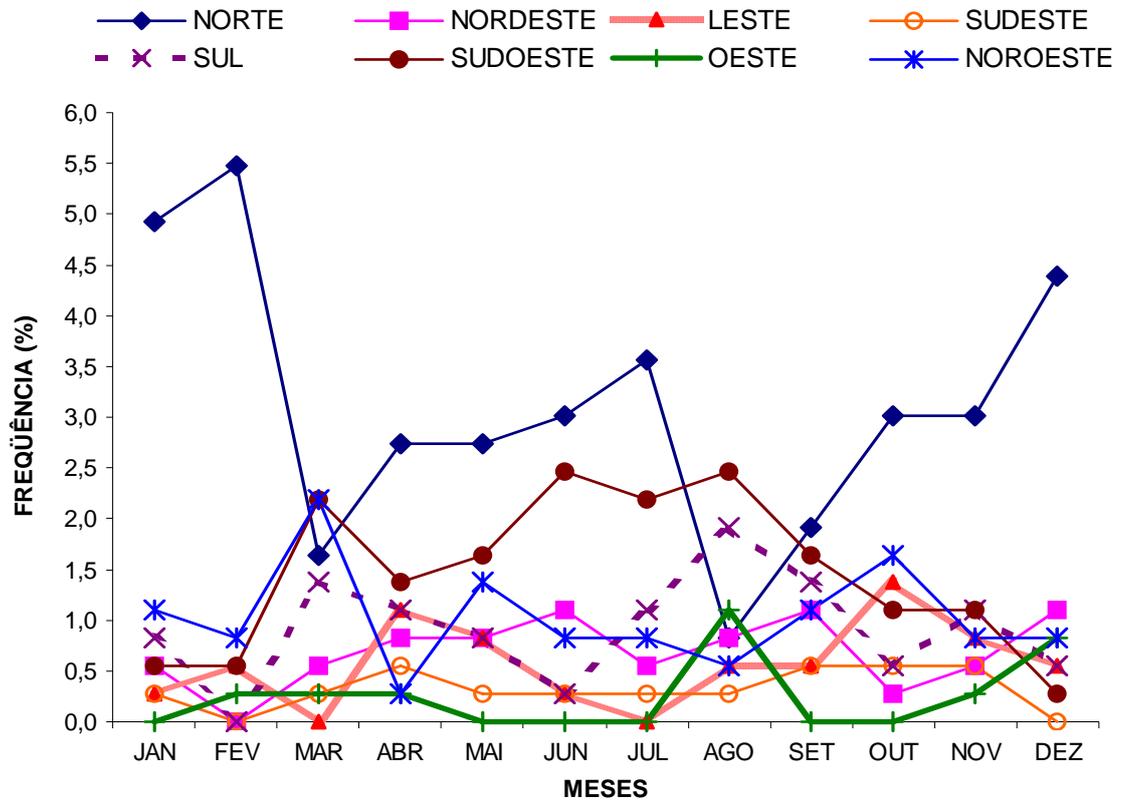
Em uma avaliação mensal, dos meses que compreendem o período de inverno, agosto foi o mês com os menores valores de velocidade do vento em média, enquanto que no verão, o mês de fevereiro obteve o maior valor médio, como mostra a figura 47:



**Figura 47** - Média Mensal de Velocidade do Vento do TRY de Cuiabá.

Os ventos de todas as direções possuem valores de velocidade do vento próximos da média. O vento Norte apresenta maior valor de velocidade média, com 6,96 m/s e é o mais freqüente durante o ano, confirmando então sua predominância na região. A direção do vento com menor média de velocidade e freqüência é a Oeste, sendo ainda sol poente, portanto a pior opção para orientação de aberturas, tanto por ganhos solares quanto pela falta de ventilação.

A freqüência mensal de direção do vento durante todo o ano climático de referência pode ser vista na figura 48:



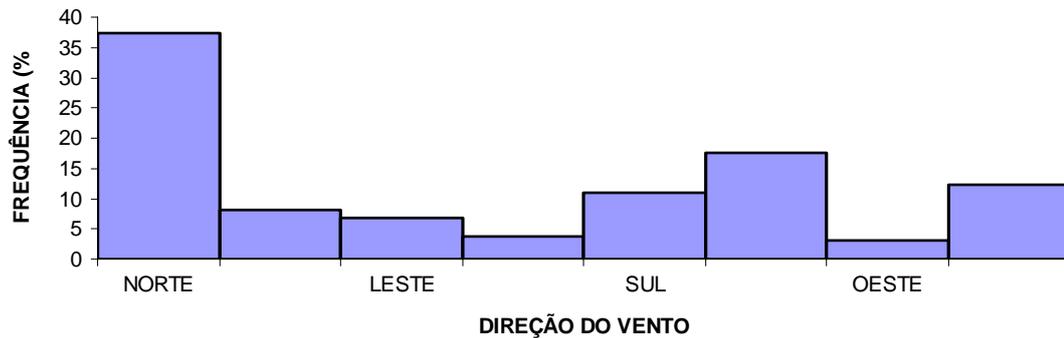
**Figura 48** - Frequência Mensal da Direção do Vento do TRY de Cuiabá.

Em uma segunda análise de frequência das direções do vento atuante, o ano de referência apresentou o vento sudoeste com segundo lugar em ocorrência, ao contrário das bibliografias existentes afirmam. Como já citado, CAMPELO JR et al. (1991); MORENO et al. (2005) afirmam que os ventos dominantes em Cuiabá são primeiramente Norte e Noroeste.

Porém, por se tratar de um ano típico, esse detalhe não pode ser descartado. Observando a figura anterior, nota-se que o vento noroeste é dominante nos meses de verão e o vento sudoeste é sobressalente durante o inverno.

Na região, deve-se considerar também os ventos vindos da direção Leste, provenientes da Chapada dos Guimarães, que devido a altitude, é uma região dispersora de ventos.

Na figura 49 é demonstrado a frequência anual das direções do vento:



**Figura 49** - Frequência Anual da Direção do Vento do TRY de Cuiabá.

Após determinação do ano climático de referência, foram coletados dados horários de temperatura de bulbo seco (TBS) e temperatura de bulbo úmido (TBU), na EMS - Estação Meteorológica de Superfície de Cuiabá, localizado no Aeroporto Marechal Rondon, para as 8.760 horas do ano de 1994.

Esse arquivo climático foi utilizado como base de entrada no software *Analysis Bio*, desenvolvido pelo LABEEE-UFSC. Através desse programa, os dados de temperatura e umidade das 8.760 horas do TRY foram plotados sobre a Carta Bioclimática para Edificações de Givoni combinada com o método de Watson e Labs (1983), para visualização do comportamento climático da cidade ao longo do ano de referência.

O programa *Analysis Bio* foi acessado através de download na página eletrônica do Laboratório de Eficiência Energética/LABEEE. Para a utilização dos dados no programa, foi necessária a confecção de um arquivo como “dados de entrada” e alguns procedimentos:

- a) Os dados de TBS e TBU foram digitados em duas colunas distintas para cada variável, sem vírgula ou ponto ( $22,3^{\circ}\text{C} = 223$ ), e cada hora era uma linha da planilha do programa Excel/Office. No total o arquivo contava com 8760 linhas e duas colunas.
- b) A utilização da planilha Excel serviu para tratamento e análise dos dados inválidos ou inexistentes. Foram aplicados fórmulas para atingir a

tendência dos dados e testes lógicos para identificação de falhas de digitação. Neste caso, a lógica buscava identificar células com dados de TBS>TBU, se caso contrário a situação era falsa. Também foram limitados valores entre as temperaturas absolutas máximas e mínimas de cada variável para identificação de erros na digitação.

- c) Em seguida os dados foram transportados para o programa Bloco de Notas/Office, para formação de um arquivo de extensão texto (\*.txt) separado por tabulações. Em geral, o procedimento utilizou-se das funções “recortar” e “colar” diretamente do arquivo (CBA. xls) para (CBA. txt).
- d) Com o arquivo CBA. txt foi gerado o arquivo CBA.TRY já no programa *Analysis Bio*. Utilizou-se o caminho (FERRAMENTAS / GERAR TRY). O arquivo CBA. TRY foi salvo na pasta dos arquivos de programa do software.
- e) Posteriormente utilizou-se o caminho (ANÁLISE BIOCLIMÁTICA / CBA. TRY). Com a carta aberta foi informada em (OPÇÕES / PRESSÃO), a altitude de 182 metros do aeroporto de Cuiabá, local de coleta dos dados.
- f) Em seguida, em (OPÇÕES / ANO TODO) a carta bioclimática foi plotada.

Junto à carta, o programa oferece também um relatório com o cálculo da percentagem de horas do ano dentro e fora da zona de conforto e percentagem necessária de cada estratégia bioclimática, em (OPÇÕES / RELATÓRIO).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado da pesquisa, segue o relatório de saída e na figura seguinte a Carta Bioclimática de Cuiabá e para todo o ano climático de referência, ano de 1994, obtidos no programa *Analysis Bio*:

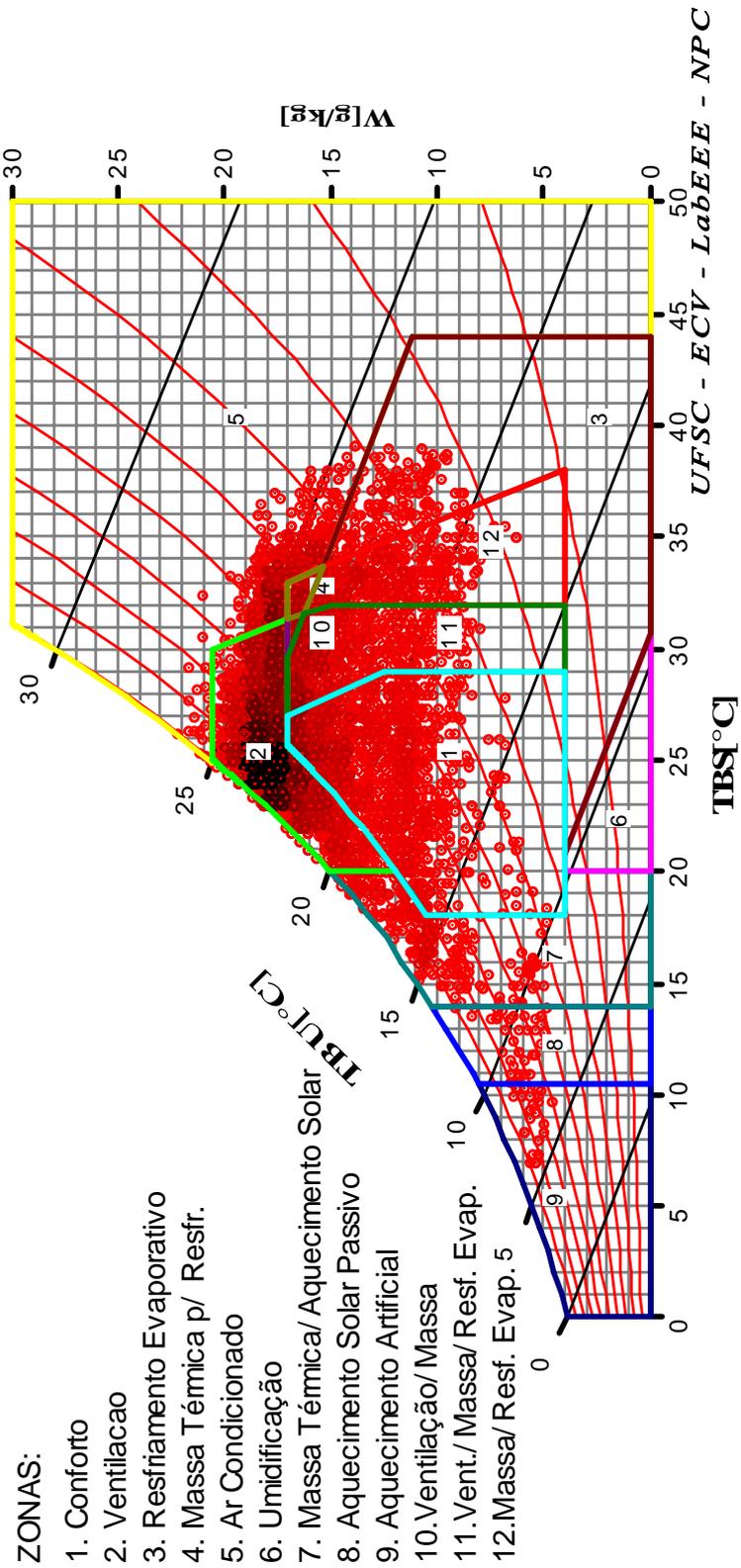
**Quadro 1** - Relatório de saída do programa *Analysis Bio*

ANO: 1994 ou 59				
Dia e Mês Inicial: 01/01			Dia e Mês Final: 31/12	
Total de Horas: 8760			Pressão: 99.158 KPa	
Conforto:				19.5%
Desconforto:	Frio	Massa Térmica/Aquecimento Solar: 3.78%	4.54%	80.5%
		Aquecimento Solar Passivo: 0.411% Aquecimento Artificial: 0.354% Umidificação: 0%		
	Calor	Ventilação: 56.2% Massa p/ Resfr. : 19.6% Resfr. Evap. : 20.2% Ar Condicionado: 8.55%	75.9%	
Sombreamento				94.7 %

De acordo com o relatório elaborado com dados horários do TRY, a percentagem de horas de conforto é de 19.5%, com 1708.2 horas ou 71 dias do ano climático. A quantidade de desconforto anual de 80.5% totaliza 7051.8 horas ou 294 dias.

Do total de horas de desconforto, 75.9% devem-se ao calor, com 5352.3 horas ou 294 dias do ano climático, e a percentagem de 4.54%, 1699.5 horas ou 17 dias deve-se ao desconforto por frio.

Segue na figura 50 a Carta Bioclimática de Cuiabá conforme configuração climática do TRY de Cuiabá:



**Figura 50** – Carta Bioclimática de Cuiabá, com 8760 horas do TRY.

A tabela 9 mostra a quantificação de cada zona bioclimática. Através da plotagem da carta, a quantidade de pontos incidentes em cada região da área delimitada é contabilizada. Nota-se então que o total de percentagem de uma estratégia pode ser dividido ou em conjunto, dependendo da zona bioclimática indicada para aquele clima:

**Tabela 9** - Estratégias Bioclimáticas por Zonas em todas as horas do TRY de Cuiabá.

<b>Estratégias Bioclimáticas</b>	<b>Percentagem</b>
1. Conforto	19.5%
2. Ventilação	45%
3. Resfriamento Evaporativo	2.81%
4. Massa Térmica p/ Resfriamento	1.7%
5. Ar Condicionado	8.55%
6. Umidificação	0%
7. Massa Térmica/Aquecimento Solar	3.78%
8. Aquecimento Solar Passivo	0.411%
9. Aquecimento Artificial	0.354%
10. Ventilação/Massa	0.445%
11. Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo	10.7%
12. Massa/Resfriamento Evaporativo	6.68%

Das estratégias indicadas para a correção do calor, a ventilação é proposta em maior quantidade, com 56.2%. Com a insuficiência de ventilação, de acordo com a revisão bibliográfica e a baixa média anual de velocidade do vento do ano típico, agravada ainda pela redução dos ventos dominantes na rugosidade da superfície urbana, outras estratégias podem suprir essa falta.

As estratégias que podem ser utilizadas em conjunto são resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento, indicadas em proporções quase equivalentes, com 20.2% e 19.6% respectivamente. De acordo com o relatório, a insuficiência das estratégias passivas para o clima de Cuiabá deve ser suprida em 8.55% das horas de desconforto com ar condicionado.

Para o desconforto por frio, a massa térmica (inércia térmica) também é indicada para aquecimento junto ao aquecimento solar, em 3.78%. Com a

rigoriedade das baixas temperaturas, o aquecimento solar passivo e o aquecimento artificial em acréscimo podem ser utilizados em 0.411% e 0.354% respectivamente.

O despreparo das edificações locais ao frio pode ser notado quando após o período de “friagem”, os interiores das residências permanecem por alguns dias com temperaturas mais baixas.

A alta inércia térmica em geral é a grande responsável pela lenta resposta da edificação às intempéries externas, porém essa é uma estratégia essencial para amenizar os ganhos de calor durante maior parte do tempo. Logo, pode-se avaliar que apesar de indicadas em pequena proporção, as estratégias de aquecimento solar passivo ou aquecimento artificial devem ser consideradas.

De acordo com o relatório final, a estratégia de umidificação do ar não deve ser usada para amenizar o desconforto por frio. Isso ocorre porque o clima de Cuiabá não apresenta temperaturas inferiores a 27°C associadas à umidade relativa inferior a 20%, sendo este o limite para sua indicação.

O sombreamento é indicado em 94.7% das horas do ano climático, totalizando 8295.7 horas ou 346 dias.

Para avaliar o comportamento do clima sazonalmente, a carta bioclimática foi plotada nas 4 estações do ano: verão, outono, inverno e primavera.

Durante o verão, foram plotados os dados de 22/12 a 22/03, num total de 2182 horas ou 90 dias. Foram contabilizados 2.89% de conforto, cerca de 3 dias. O desconforto por calor totalizou 97% ou 87 dias.

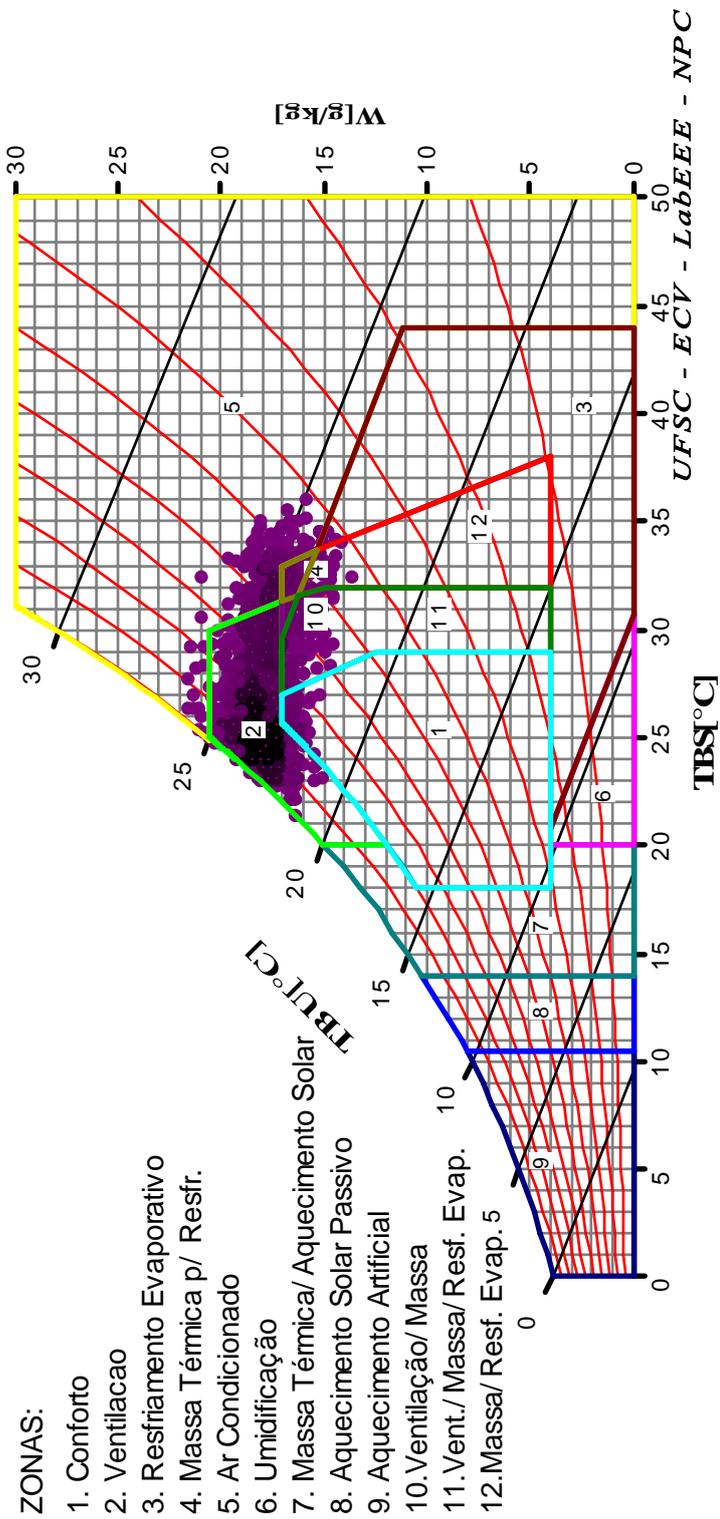
As estratégias para amenizar o calor foram: 79.6% de Ventilação; 8.85% de Massa p/ Resfriamento; 6.1% para Resfriamento Evaporativo e 13.1% de Ar Condicionado. O sombreamento foi indicado em 100% do período.

A tabela 10 mostra a percentagem das estratégias divididas por zonas:

**Tabela 10** - Estratégias Bioclimáticas por Zonas durante o Verão do TRY de Cuiabá

<b>Estratégias Bioclimáticas</b>	<b>Percentagem</b>
1. Conforto	2.89%
2. Ventilação	74.7%
3. Resfriamento Evaporativo	0.367%
4. Massa Térmica p/ Resfriamento	2.57%
5. Ar Condicionado	13.1%
6. Umidificação	0%
7. Massa Térmica/Aquecimento Solar	0%
8. Aquecimento Solar Passivo	0%
9. Aquecimento Artificial	0%
10. Ventilação/Massa	0.55%
11. Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo	4.35%
12. Massa/Resfriamento Evaporativo	1.37%

A figura 51 mostra a Carta Bioclimática no período de Verão do TRY de Cuiabá:



**Figura 51** – Carta Bioclimática no período de Verão do TRY de Cuiabá.

No outono, o período analisado esteve entre 23/03 e 22/06, num total de 2208 horas ou 92 dias. A percentagem de conforto chegou a 16.1%, equivalente há 15 dias, enquanto que o desconforto totalizou 83.8%, 14 dias de desconforto por frio e 63 dias por calor.

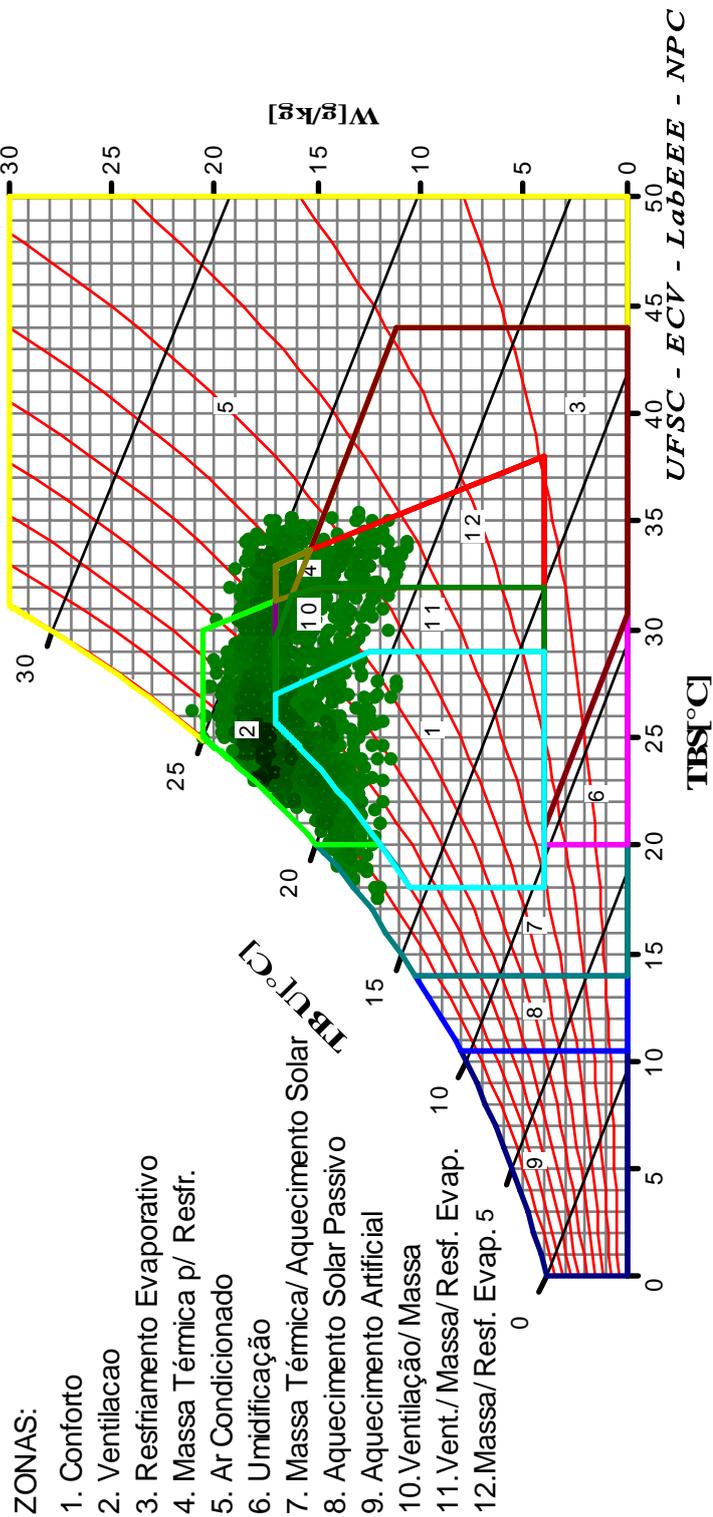
Nessa estação, as estratégias bioclimáticas para o calor foram: Ventilação em 64.4%; Massa p/ Resfriamento em 18.5%; Resfriamento Evaporativo de 16.5% e Ar Condicionado com 9.1%. Para o frio, as estratégias indicadas estiveram na zona de Massa Térmica/Aquecimento Solar com 1.81%. O sombreamento é indicado em 98.2% do período.

A tabela 11 mostra as estratégias divididas nas zonas bioclimáticas:

**Tabela 11** - Estratégias Bioclimáticas por Zonas no Outono do TRY de Cuiabá

<b>Estratégias Bioclimáticas</b>	<b>Percentagem</b>
1. Conforto	16.1%
2. Ventilação	54%
3. Resfriamento Evaporativo	0.362%
4. Massa Térmica p/ Resfriamento	1.86%
5. Ar Condicionado	9.1%
6. Umidificação	0%
7. Massa Térmica/Aquecimento Solar	1.81%
8. Aquecimento Solar Passivo	0%
9. Aquecimento Artificial	0%
10. Ventilação/Massa	0.543%
11. Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo	9.87%
12. Massa/Resfriamento Evaporativo	6.25%

A figura 52 mostra a Carta Bioclimática no período de Outono do TRY de Cuiabá:



**Figura 52** - Carta Bioclimática no período de Outono do TRY de Cuiabá.

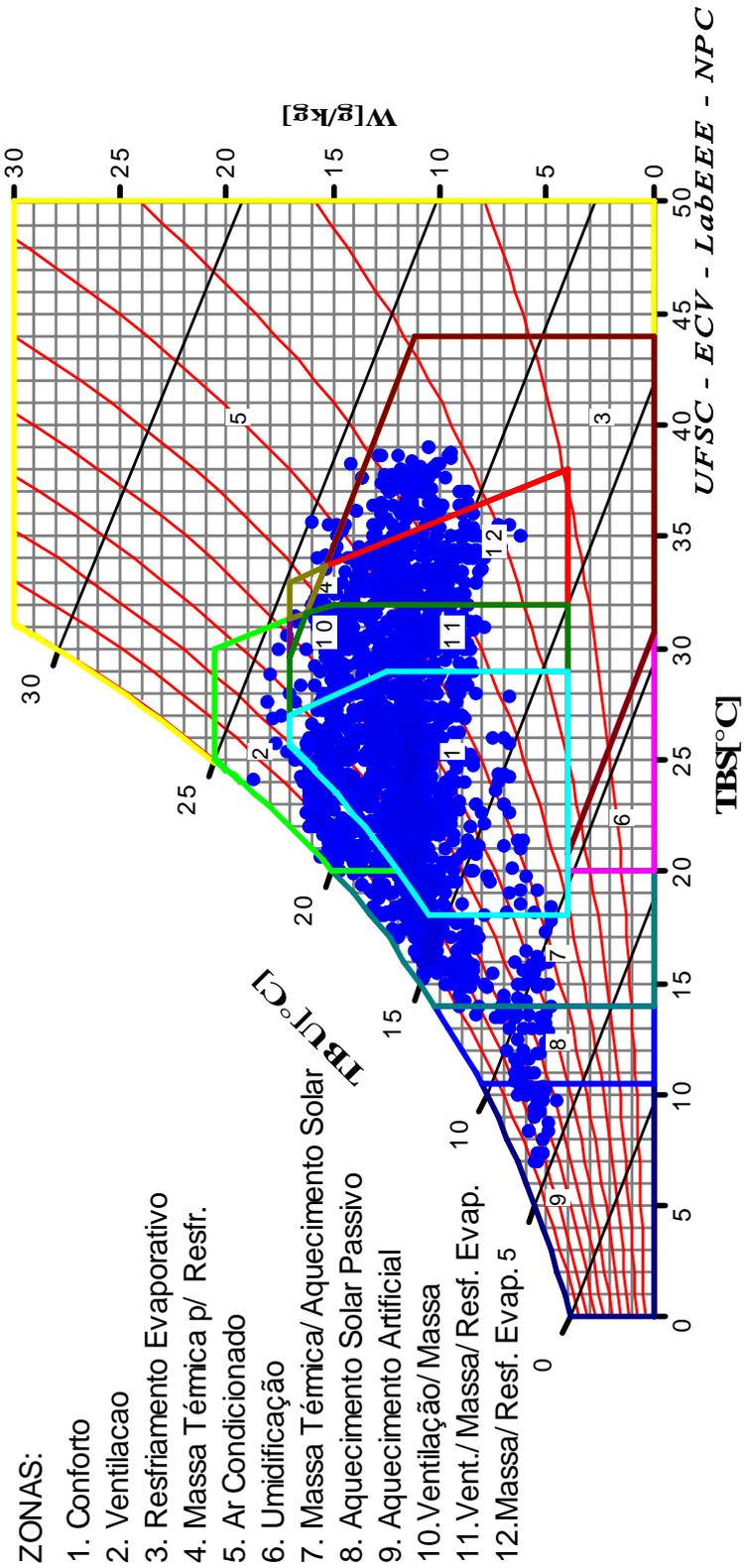
Para o inverno, de 23/06 a 22/09, foram plotados 2208 horas do ano típico ou 92 dias. Houve conforto em 45% do período e 55% de desconforto, dividido em 15.9% por frio e 39.1% por calor.

As estratégias para o calor foram: Ventilação em 19.2%; Massa p/ Resfriamento em 25.9%; Resfriamento Evaporativo em 31.7% e Ar Condicionado com 0.317% Para o frio de inverno do clima de Cuiabá foram indicados: Massa Térmica/Aquecimento Solar com 12.9%; Aquecimento Solar Passivo em 1.63% e Aquecimento Artificial em 1.4%. Sombreamento indicado em 81% do período. A tabela 12 mostra a quantificação das estratégias:

**Tabela 12** - Estratégias Bioclimáticas por Zonas no Inverno do TRY de Cuiabá

<b>Estratégias Bioclimáticas</b>	<b>Porcentagem</b>
1. Conforto	45%
2. Ventilação	6.88%
3. Resfriamento Evaporativo	6.02%
4. Massa Térmica p/ Resfriamento	0.0453%
5. Ar Condicionado	0.317%
6. Umidificação	0%
7. Massa Térmica/Aquecimento Solar	12.9%
8. Aquecimento Solar Passivo	1.63%
9. Aquecimento Artificial	0%
10. Ventilação/Massa	0.0906%
11. Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo	12.3%
12. Massa/Resfriamento Evaporativo	13.5%

A figura 53 mostra a Carta Bioclimática no período de Inverno do TRY de Cuiabá:



**Figura 53** - Carta Bioclimática no período de Inverno do TRY de Cuiabá.

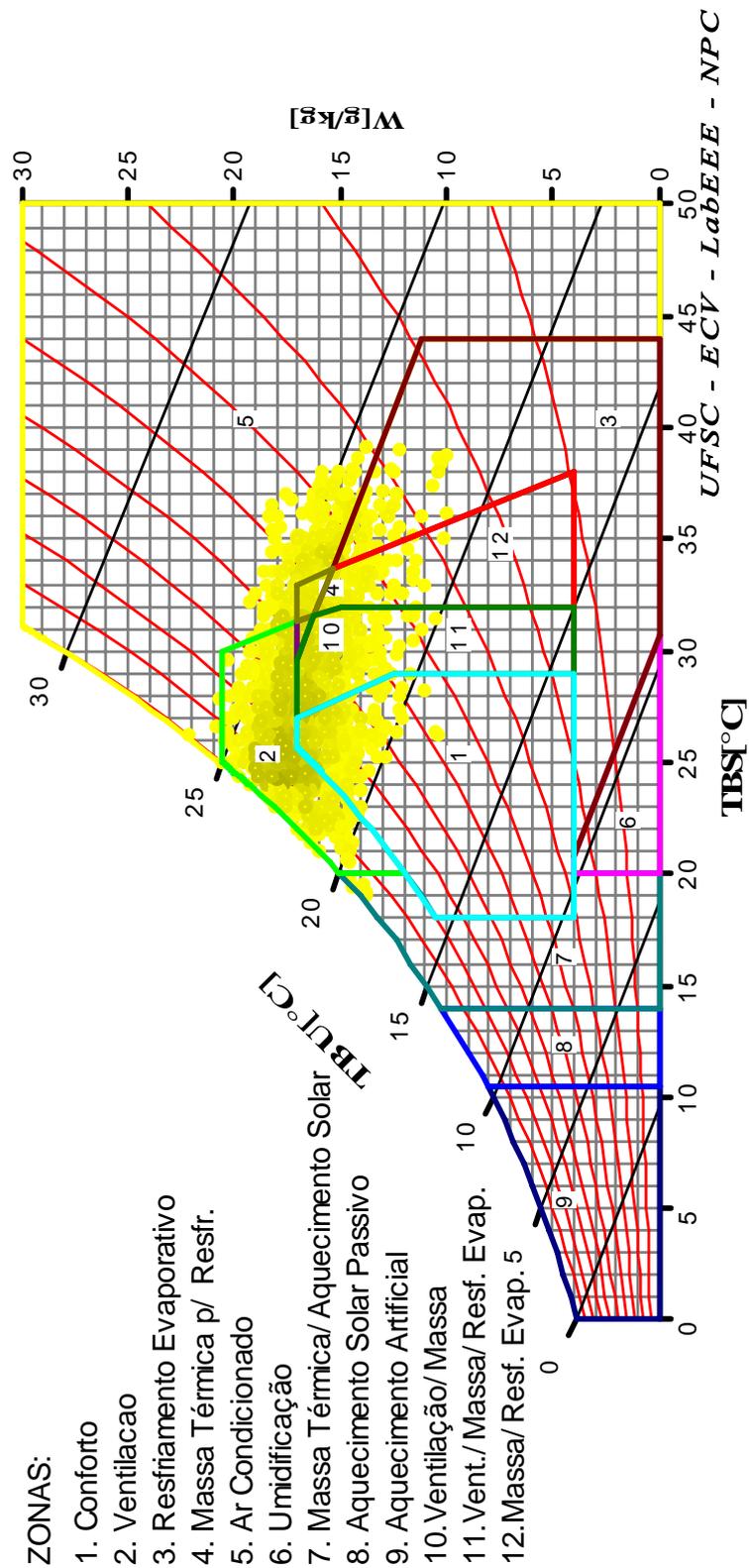
No período de 23/09 a 21/12, referente à primavera, foram observados 2160 horas do ano climático, 90 dias. O conforto esteve presente em 13.8% e o desconforto em 86.2% do período, sendo que 2.2% por frio e 85.9% por calor.

As estratégias de Ventilação 61.7%; Massa p/ Resfriamento 25%; Resfriamento Evaporativo 26.5% e Ar Condicionado 11.8% foram indicadas para a correção do calor. Para o frio foram indicados nesse período de primavera Massa Térmica/Aquecimento Solar com 0.278%. O sombreamento foi indicado em 99.7%. A tabela 13 mostra a quantificação das estratégias:

**Tabela 13** - Estratégias Bioclimáticas por Zonas na Primavera do TRY de Cuiabá

<b>Estratégias Bioclimáticas</b>	<b>Porcentagem</b>
1. Conforto	13.8%
2. Ventilação	44.6%
3. Resfriamento Evaporativo	4.54%
4. Massa Térmica p/ Resfriamento	2.36%
5. Ar Condicionado	11.8%
6. Umidificação	0%
7. Massa Térmica/Aquecimento Solar	0.278%
8. Aquecimento Solar Passivo	0%
9. Aquecimento Artificial	0%
10. Ventilação/Massa	0.602%
11. Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo	16.5%
12. Massa/Resfriamento Evaporativo	5.51%

A figura 54 mostra a Carta Bioclimática no período de Primavera do TRY de Cuiabá:



**Figura 54** - Carta Bioclimática no período de Primavera do TRY de Cuiabá.

Com a plotagem da carta no decorrer das estações verificou-se que as estratégias de Ventilação, Massa p/ Resfriamento, Resfriamento Evaporativo e Ar Condicionado foram indicadas em todos os períodos, inclusive para o inverno.

As estratégias de controle do desconforto por frio foram indicadas no outono, inverno e primavera, com Massa Térmica/Aquecimento Solar e Aquecimento Solar Passivo, porém o Aquecimento Artificial foi indicado somente no inverno, correspondente a 1 dia. Assim, em uma abordagem mais restrita, confirma-se que o aquecimento artificial para o clima de Cuiabá torna-se irrelevante quando ao custo benefício, mas o uso passivo do aquecimento solar deve ser considerado para o controle da inércia térmica no período de inverno, pois esta é uma estratégia útil para ambas as funções, aquecimento e resfriamento.

A ventilação é a estratégia mais considerada para o controle do clima, porém nota-se que pela altitude e características físicas do relevo da região, essa é uma variável escassa quanto ao volume necessário para a eficiência da estratégia passiva.

Comparando a plotagem da carta bioclimática com o TRY e com as Normais Climáticas, notam-se diferenças na quantificação das estratégias indicadas durante o ano.

Com as Normais Climáticas, a percentagem de conforto apresentada foi de 29.11%, para o desconforto por calor de 55.64% e por frio, de 4.01% do total de horas de um ano.

As estratégias indicadas para a correção do calor foram: Ventilação 32.09%; Massa p/ Resfriamento 0.03% e Resfriamento Evaporativo 0.13%, Ar Condicionado 10.42%. A percentagem de sombreamento não é indicada no relatório.

Para o frio, a Massa Térmica/Aquecimento Solar são indicados em 4.01%.

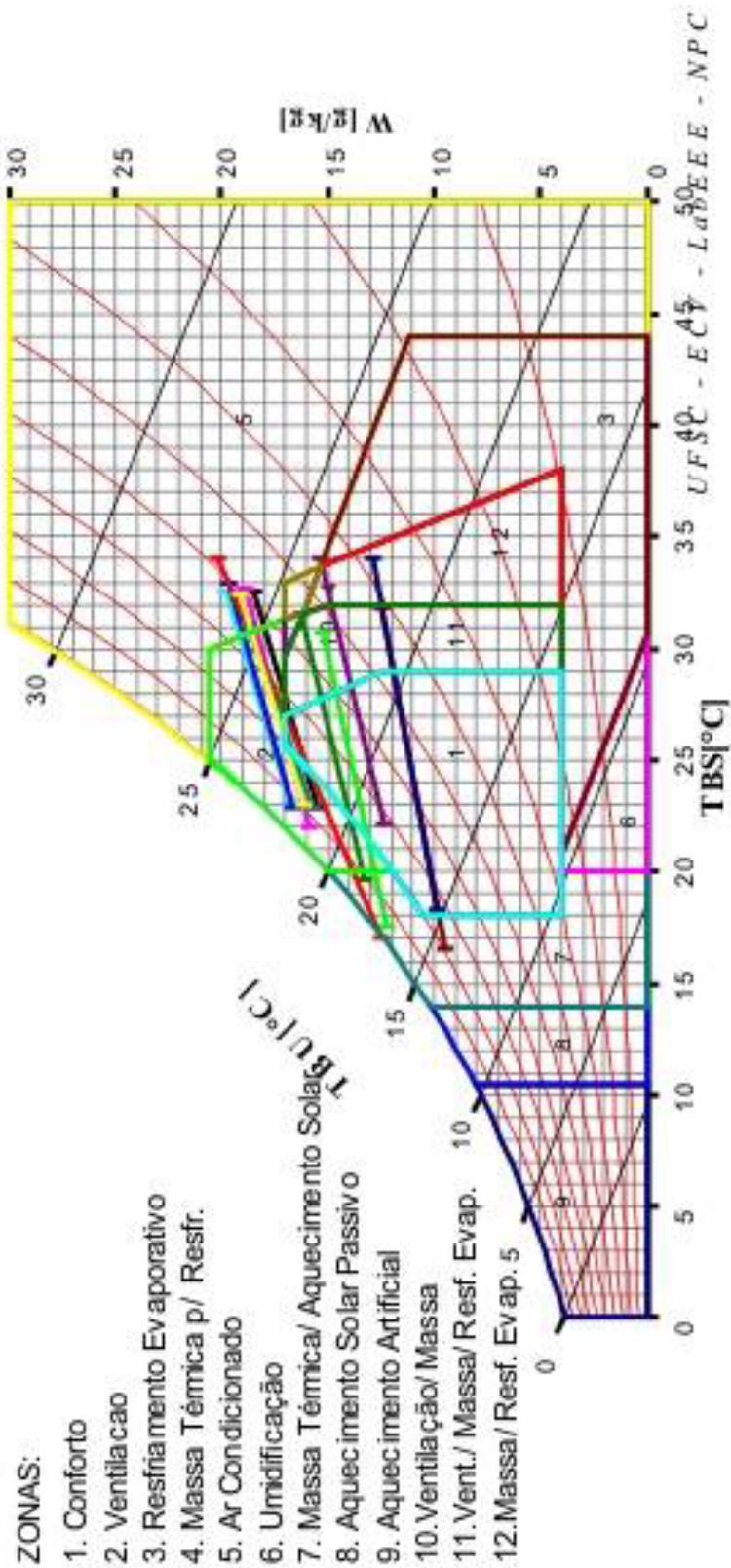
No relatório da Carta Bioclimática com as Normais, a percentagem de cada estratégia é quantificada mês a mês. Portanto, para a comparação com o TRY, as percentagens de cada estratégia foram convertidos em uma proporção horária do mês equivalente e somados para uma totalização anual.

Segue na tabela 14 a percentagem de cada estratégia necessária durante um ano:

**Tabela 14** - Estratégias Bioclimáticas por Zonas para as Normais Climáticas de Cuiabá.

<b>Estratégias Bioclimáticas</b>	<b>Percentagem</b>
1. Conforto	29.11%
2. Ventilação	32.09%
3. Resfriamento Evaporativo	0.13%
4. Massa Térmica p/ Resfriamento	0.03%
5. Ar Condicionado	10.42%
6. Umidificação	0%
7. Massa Térmica/Aquecimento Solar	4.01%
8. Aquecimento Solar Passivo	0%
9. Aquecimento Artificial	0%
10. Ventilação/Massa	0.03%
11. Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo	10.63%
12. Massa/Resfriamento Evaporativo	2.29%

A figura 55 mostra a Carta Bioclimática com as Normais climáticas de Cuiabá:



**Figura 55** - Carta Bioclimática com as Normas Climáticas de Cuiabá.

Conforme revisão bibliográfica, o clima de Cuiabá é bem definido em duas estações principais: verão úmido e inverno seco. Porém a quantificação de meses para cada período não é comum entre os autores, logo optou-se pela análise bioclimática do ano climático segundo períodos equivalentes (6 meses para cada) de verão chuvoso e inverno seco.

Os seis meses correspondentes ao verão úmido do TRY de Cuiabá totalizaram 4367 horas, de 01/10 a 31/03.

O período obteve 7.1% de conforto e 92.8% de horas de desconforto. O desconforto por frio esteve em apenas 0.114% das horas, enquanto que em maior parte, o desconforto por calor totalizou 92.7%.

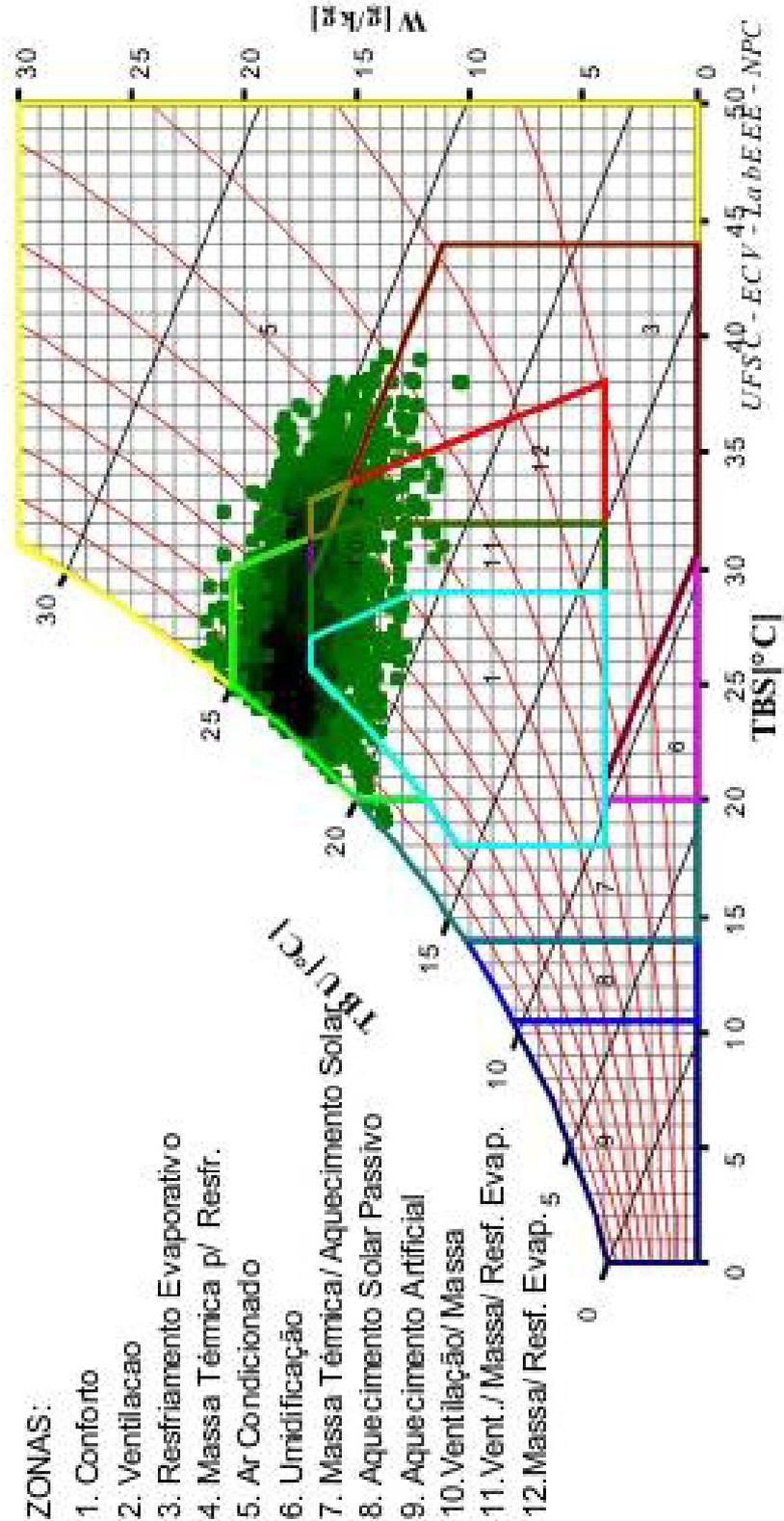
Nesse período, as estratégias para o desconforto por calor foram: 72.5% de ventilação, 16.3% de massa para resfriamento, 15% de resfriamento evaporativo e 12.8% de ar condicionado.

O desconforto por frio, em muito pouca proporção foi indicado 0.114% de massa térmica/aquecimento solar. O sombreamento foi indicado em 99.9% do período.

**Tabela 15** - Estratégias Bioclimáticas por Zonas para o período de Verão Úmido do TRY de Cuiabá:

<b>Estratégias Bioclimáticas</b>	<b>Porcentagem</b>
1. Conforto	7.1%
2. Ventilação	61.7%
3. Resfriamento Evaporativo	1.85%
4. Massa Térmica p/ Resfriamento	2.54%
5. Ar Condicionado	12.8%
6. Umidificação	0%
7. Massa Térmica/Aquecimento Solar	0.114%
8. Aquecimento Solar Passivo	0%
9. Aquecimento Artificial	0%
10. Ventilação/Massa	0.664%
11. Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo	10.1%
12. Massa/Resfriamento Evaporativo	3%

A figura 56 mostra a Carta Bioclimática para o período de Verão Úmido do TRY de Cuiabá:



**Figura 56** - Carta Bioclimática para o período de Verão Úmido do TRY de Cuiabá.

A plotagem do período de inverno seco corresponde a seis meses, num total de 4392 horas, que inicia em 01/04 até 30/09.

O período contou com um total de 31.9% de conforto. O desconforto totalizou 68.1%, sendo 8.95% por frio e 59.2% por calor.

Para o desconforto por calor foram indicados: 39.9% de ventilação, 22.8% de massa para resfriamento, 25.5% de resfriamento evaporativo e 4.28% de ar condicionado.

Para o desconforto por frio, foram indicados: 7.42% de massa térmica/aquecimento solar, 0.82% de aquecimento solar passivo e 0.706% de aquecimento artificial. O sombreamento foi indicado em 89.5% do período.

**Tabela 16** - Estratégias Bioclimáticas por Zonas para o período de Inverno Seco do TRY de Cuiabá:

<b>Estratégias Bioclimáticas</b>		<b>Porcentagem</b>
1.	Conforto	31.9%
2.	Ventilação	28.3%
3.	Resfriamento Evaporativo	3.78%
4.	Massa Térmica p/ Resfriamento	0.865%
5.	Ar Condicionado	4.28%
6.	Umidificação	0%
7.	Massa Térmica/Aquecimento Solar	7.42%
8.	Aquecimento Solar Passivo	0.82%
9.	Aquecimento Artificial	0.706%
10.	Ventilação/Massa	0.228%
11.	Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo	11.4%
12.	Massa/Resfriamento Evaporativo	10.3%

A figura 57 mostra a Carta Bioclimática para o período de Inverno Seco do TRY de Cuiabá:

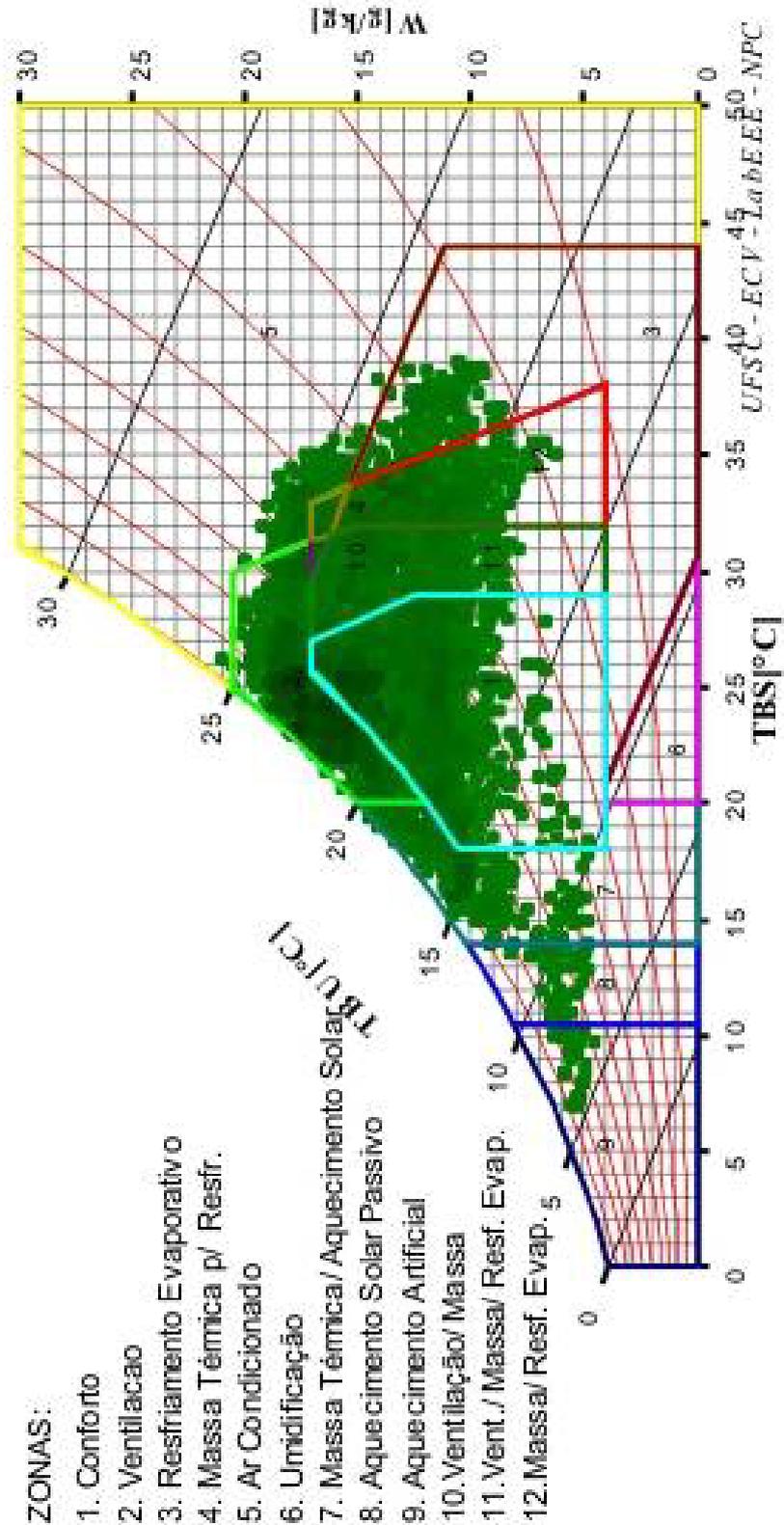


Figura 57 - Carta Bioclimática para o período de Inverno Seco do TRY de Cuiabá

Para melhor avaliação dos dados obtidos, o quadro 2 seguinte traz um resumo das percentagens das estratégias para o TRY, para as Normais Climáticas e para as duas estações existentes para o clima de Cuiabá:

**Quadro 2** - Quadro comparativo dos relatórios das estratégias por zonas bioclimática indicadas por período analisado:

<b>Estratégias/Período</b>	<b>TRY</b>	<b>Normais Climáticas</b>	<b>Inverno Seco</b>	<b>Verão Úmido</b>
Conforto	19.5%	29.11%	31.9%	7.1%
Ventilação	45%	32.09%	28.3%	61.7%
Resfriamento Evaporativo	2.81%	0.13%	3.78%	1.85%
Massa Térmica p/ Resfriamento	1.7%	0.03%	0.865%	2.54%
Ar Condicionado	8.55%	10.42%	4.28%	12.8%
Umidificação	0%	0%	0%	0%
Massa Térmica/Aquecimento Solar	3.78%	4.01%	7.42%	0.114%
Aquecimento Solar Passivo	0.411%	0%	0.82%	0%
Aquecimento Artificial	0.354%	0%	0.706%	0%
Ventilação/Massa	0.445%	0.03%	0.228%	0.664%
Ventilação/Massa/Resfriamento Evaporativo	10.7%	10.63%	11.4%	10.1%
Massa/Resfriamento Evaporativo	6.68%	2.29%	10.3%	3%

Na comparação das percentagens obtidas para o TRY e as Normais Climáticas de Cuiabá, observa-se que não houve diferenças extremas, confirmando mais uma vez a coerência do ano típico eleito. Porém, a precisão dos dados horária é evidenciada na quantificação das estratégias para o aquecimento. Sendo estes em pequena proporção, tornam-se ainda mais diluídos em meio a uma avaliação média de uma seqüência de 30 anos, como ocorre com as Normais Climáticas.

Para melhor avaliação do comportamento climático a ser efetivamente utilizado em um projeto bioclimático para Cuiabá, observar as diferenças nas duas estações distintas ao longo do ano torna-se mais enriquecida.

Nesta comparação, observa-se que o conforto existente durante o ano concentra-se em maior parte no período de inverno, apesar do desconforto pela falta de umidade no ar.

Como podem ser visto na carta que utilizou através da metodologia de Watson e Labs os conceitos bioclimáticos, as zonas sobrepostas são cotadas em maior quantidade que as estratégias isoladas. Por isso serão discutidas a aplicação de cada estratégia diante de suas restrições e ampliações no conjunto do projeto:

**Ventilação:**

Segundo GIVONI (1991) *apud* ANDRADE (1996), existem dois tipos de ventilação: Ventilação de Conforto, obtida com a entrada de ventos pelas janelas e aumento da velocidade do vento interno. Atua de forma direta no conforto e é caracterizada pela ventilação diária efetiva. O outro tipo de ventilação é feito através do Resfriamento Convectivo Noturno, que de forma indireta promove o conforto com o resfriamento da massa da edificação através da ventilação noturna.

Essa diferenciação ocorre devido às condições apresentadas pelos elementos do clima. O tipo de ventilação a ser aplicada depende das condições aceitáveis de temperatura e umidade, sendo que para a ventilação efetiva promover resfriamento pela troca de calor por convecção na superfície da pele, a temperatura externa deve estar menor que a temperatura do corpo, cerca de 37 °C.

Na ventilação noturna, como a temperatura do ar atinge menores valores, o vento é mais fresco que a massa da edificação, promovendo a troca convectiva de calor na superfície da parede.

Em regiões de clima quente úmido, a ventilação é necessária, pois a amplitude térmica é menor, porém a presença de umidade causa desconforto fisiológico.

Segundo GIVONI (1991) *apud* ANDRADE (1996), a ventilação de conforto é indicada para regiões com temperatura-limite máxima entre 28°C e 32°C e amplitude térmica pequena, menor que 10°C, próprios de clima quente e úmido. Para climas quentes e secos, a ventilação diária deve ser restringida para que não haja ganhos de calor interno e para o favorecimento da evaporação, mesmo sem movimentação do ar.

Segundo mesmo autor, o resfriamento convectivo noturno é mais efetivo para climas quentes e secos, com temperaturas externas diárias entre 30°C e 36°C, temperaturas mínimas noturnas abaixo de 20°C no verão e amplitudes térmicas acima de 15°C.

Para o clima de Cuiabá, que apresenta as duas estações bem definidas, úmida e seca, porém sempre com elevados valores de temperatura, exceto pelos curtos períodos de friagem, a utilização de ambas as estratégias de ventilação devem ser conjugadas no mesmo projeto bioclimático.

Durante o verão úmido, novembro a abril, o TRY de Cuiabá apresentou média das máximas maiores que 32°C, máximas absolutas em torno de 35°C, somente novembro com valores maiores que 37°C (temperatura do corpo humano), amplitude térmica menor que 10°C e umidade relativa média mensal menor que 80% em todos os meses do ano.

Para o inverno seco, 50% do período apresentou máximas absolutas maiores que 37°C e amplitude térmica sempre maior que 10°C.

Sendo assim, para o clima de Cuiabá, a ventilação diária efetiva tanto no período de verão úmido quanto inverno seco deve ser muito bem planejada. Mesmo no verão, apesar de atender aos parâmetros de pequena amplitude térmica e razoáveis índices de umidade, os elevados valores de temperatura do ar implicam em um prévio tratamento do vento antes de penetrar a edificação. Isto indica que as aberturas devem ser grandes para permitir que o vento cruze a edificação, porém não devem permitir a entrada de radiação direta, portanto devem ser sombreadas com árvores, grandes beirais e/ou varandas, assim o ar que circunda a edificação possui menor temperatura que a externa, para então adentrar o interior com o efeito de resfriamento.

Em contraste, no período de inverno, as esquadrias devem ser pequenas para evitar que o ar quente aqueça o interior, principalmente entre os meses de agosto a novembro. A falta de umidade também reforça a necessidade de bloquear a ventilação diária. Por isso, recomenda-se a restrição da ventilação diária através de esquadrias de tamanho mínimo necessário, apenas para iluminação do ambiente.

Com essa análise mais detalhada e observando as esquadrias das edificações da arquitetura vernacular de Cuiabá, vemos que os peitoris altos eram próprios de um conhecimento empírico aplicado nas construções. A ventilação era feita através de grandes esquadrias que permitiam que o ar circulasse a um nível elevado do corpo do usuário. A circulação do ar no sentido vertical também era feita através das frestas do telhado sem forro. Assim, a ventilação efetiva era sempre utilizada de forma a

remover o ar quente em ascensão no interior da edificação, do que para promover a troca convectiva de calor com a superfície da pele dos usuários. Essa troca convectiva era propícia quando os mesmos, após o pôr-do-sol, buscavam o ar fresco nas calçadas frontais ou quintais, transformando esses locais de temperatura mais amena em verdadeiras salas de estar, acompanhados com suas cadeiras de fio.

### **Massa para Resfriamento:**

Cuiabá possui insolação total média anual de 2.179 horas e média do potencial máximo de radiação solar incidente na superfície em  $(\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1})$  na faixa entre 660 a 670  $\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ , conforme sua latitude de  $15^{\circ}35'56''$ . Ou seja, a radiação solar disponível é abundante e intensa como na maior parte do território nacional.

A massa térmica indicada deve estar relacionada com a amplitude térmica, pois esta tem a função de tornar a edificação mais inerte às grandes variações térmicas externas.

Segundo AROZTEGUI (1995) *apud* ANDRADE (1996), para climas com amplitudes de  $10^{\circ}\text{C}$  o uso de massa como estratégia para resfriamento é dispensável, sendo então o seu efeito consistente somente para variações diárias superiores a  $10^{\circ}\text{C}$ .

Segundo bibliografias consultadas, a amplitude térmica em Cuiabá é pequena, porém com temperaturas elevadas.

Conforme o TRY de Cuiabá, a ocorrência de amplitudes menores que  $10^{\circ}\text{C}$  é maior (46,85%) que amplitudes maiores que  $10^{\circ}\text{C}$  (36,44%), o que equivale a 5 e 4 meses respectivamente, nos demais meses a amplitude de exatos  $10^{\circ}\text{C}$  predomina.

Considerando a ambigüidade do clima local e o relevante período em que as amplitudes diárias são elevadas, o uso de massa térmica em projetos bioclimáticos em Cuiabá é de grande valia.

Segundo ANDRADE (1996), para regiões de clima quente e seco, recomenda-se maior massa térmica e sempre associada à ventilação noturna para eliminar o calor absorvido pela massa durante o dia. Apesar da recomendação para uso dessa estratégia bioclimática estar voltada para o contraste de variação da temperatura, para o clima de Cuiabá o uso da massa térmica é imprescindível, mas a

aplicação isolada essa estratégia não é tão eficiente quanto a sua união às estratégias de ventilação convectiva noturna e ao sombreamento.

Como forma de amenizar a taxa de aquecimento diário da massa e conseqüente aquecimento do ambiente interno por radiação, nas faces de envoltória voltadas para a direção oeste torna-se mais importante o uso da resistência térmica que a capacidade térmica.

Isso ocorre porque enquanto as outras faces já estão dissipando o calor acumulado, a parede de face oeste permanece com incidência solar até os últimos minutos do dia. Logo, se esta possui um material adequado ao tempo de retardo necessário para a quantidade de radiação incidente, porém leve (com ar) para que a dissipação do calor seja rápida, sua atuação térmica no ambiente interno no período noturno será minimizada.

#### **Resfriamento Evaporativo:**

O resfriamento evaporativo pode ocorrer de forma direta ou indireta. O resfriamento evaporativo direto natural ocorre quando há fluxo de ar úmido através das esquadrias das edificações. O ar também pode ser induzido para o interior por sistema mecânico, ou, em outra situação, o ar externo pode ser resfriado por evaporação de água e induzido para dentro. Neste último caso, a temperatura é reduzida, porém a umidade aumenta, sendo então recomendado apenas para o período seco.

O resfriamento evaporativo de forma indireta ocorre quando são utilizados, por exemplo, borrifos de água sobre o telhado com telhas cerâmicas ou quando a cobertura é isolada com tanques de água. É uma estratégia indireta porque não aumenta a umidade relativa do ambiente interno e age com resfriamento radiante, no sentido da laje para o ambiente interno, e resfriamento convectivo na superfície da água (no caso dos tanques) ou da superfície umedecida.

A eficiência da aplicação dessa estratégia é limitada pela presença de umidade no meio. Segundo GIVONI (1991), a redução da temperatura obtida encontra-se em torno de 70 a 80% da diferença entre a TBS e TBU. Por isso, sua aplicação em climas quente e úmido é relativa quanto à relevância da quantidade de temperatura reduzida.

Segundo GIVONI (1992) *apud* ANDRADE (1996), os limites superiores para utilização do Resfriamento Evaporativo direto em países em desenvolvimento, com clima quente e úmido seriam de 24°C de TBU e 44°C de TBS, para a média das máximas.

Para o TRY de Cuiabá, a média anual de TBU é de 22,32°C e a média anual de TBS de 27,34°C. Porém, no período de verão úmido, as médias mensais das máximas de TBU são em torno de 25°C e a média das máximas de TBS variam de 32°C a 34°C.

Para os meses de dezembro e janeiro do TRY de Cuiabá, a diferença entre a média das máximas de TBS e TBU é de 6,2°C e 7,35°C respectivamente, sendo este o período de maior concentração de umidade no meio, ou seja, com menor diferença entre as variáveis. Na aplicação do resfriamento evaporativo direto nesse período mais úmido, seria alcançada uma redução de 4°C a 5°C na média das máximas. Mas como as temperaturas máximas ocorrem com menor frequência, a análise também deve ser feita com as médias mensais de TBS e TBU.

Para os meses de janeiro e fevereiro do TRY de Cuiabá, a diferença entre as médias mensais de TBS e TBU é de 3,28°C e 3,53°C respectivamente. Na aplicação do resfriamento evaporativo direto nesse período, seria alcançada uma redução de 2°C nas médias, que não é uma quantidade representativa.

Dessa forma, durante o período de verão úmido em Cuiabá (outubro/maio) o resfriamento evaporativo seria aconselhável apenas para o período mais crítico quando ocorrem as temperaturas máximas do dia, entre 12 h e 14 h. A percentagem de 1.85% de resfriamento evaporativo conforme indicação da Carta Bioclimática para o período de Verão Úmido de Cuiabá certamente são destinado para os meses de outubro e novembro, referente a resquícios do final do período seco.

Para os 3.78% dessa estratégia indicados na Carta Bioclimática para o período de Inverno Seco em Cuiabá, estes devem ser distribuídos igualmente durante os 6 meses que compõem o intervalo. Ou seja, 3.78% de horas de 6 (seis) meses equivalem a 165,56 horas, que distribuídos totalizam 0,90 horas por dia, ou seja, 54 minutos por dia de resfriamento evaporativo direto.

Para o clima de Cuiabá, que consta de dois períodos distintos quanto à presença de umidade no meio, estação seca e úmida, num mesmo projeto

bioclimático o uso da estratégia de resfriamento evaporativo indireto é o mais indicado por ser funcional em ambos os períodos. Porém, por ser uma estratégia que gera custos ao empreendimento, o projeto para a aplicação deste sistema na edificação deve ser bem planejado e dimensionado, sendo ainda um objeto de estudos futuros de grande importância.

### **Aquecimento Solar Passivo:**

O uso dessa estratégia torna-se necessário para atender a contrastes das condições climáticas. Em Cuiabá, os fenômenos de friagens são raros e de pouca duração, porém, a variação de temperatura é intensa, e devido à alta inércia da massa para bloqueio do calor, a massa fria que esfria o ambiente interno também demora a se dissipar.

A massa térmica recomendada é válida tanto para resfriamento quanto ao aquecimento. Porém, no controle do frio o uso estratégico deve conjugar a inércia térmica com aquecimento solar passivo de ganho de calor de tipo direto, como por exemplo, através de janelas com vidro ou clarabóias. Este último, no entanto, através de um sistema móvel para que não se torne conflitante com a massa térmica para resfriamento.

O uso de aquecimento através de clarabóias é válido apenas para o período de friagem, devendo ser vedado de luz e ventilação nos demais períodos. Mas a sua aplicação em um projeto bioclimático em Cuiabá deve ser empregada para suprir a necessidade das esquadrias sombreadas e protegidas com varandas, que são essenciais para evitar o ganho de radiação direta no interior da edificação durante todo o ano.

Em Cuiabá, nenhum momento é propício para o uso de aquecimento solar passivo das massas de envoltória (paredes e coberturas). Ainda na estação de inverno seco, a intensidade de radiação incidente é abundante, o que mantém as médias de temperaturas acima da zona de conforto.

Sendo o objetivo de um projeto bioclimático a redução de consumo de energia elétrica pela edificação e seus componentes, o uso de aquecimento solar no

aquecimento de água para banho também deve ser observado, apesar de não constar no relatório oferecido.

### **Sombreamento:**

O sombreamento é uma estratégia necessária em ambos os períodos distintos. Seu efeito diante do clima de Cuiabá é benéfico tanto na aplicação isolada como em conjunto com as demais.

A aplicação de sombreamento na edificação deve ser feita de maneira a formar barreiras que controle a recepção de radiação solar. Para isso o estudo prévio com auxílio de diagramas solares próprios para a latitude local no posicionamento de fachadas, lay-out e até demarcações de loteamentos devem ser utilizados quando baseados nos conceitos de um projeto bioclimático.

O sombreamento recomendado deve-se preocupar em permitir o mínimo necessário para a iluminação da edificação e com o bloqueio de ventilação, que já é escassa. Árvores de folhagens densas e anteparos arquitetônicos não devem obstruir a ventilação predominante local, optando então por vegetação rasteira e elementos com água.

### **Ar condicionado:**

O ar condicionado não é uma estratégia relacionada com as preocupações de um projeto bioclimático, porém deve ser empregada quando as condições climáticas não são atendidas por nenhuma estratégia de resfriamento natural ou ausência de ventos.

Na busca de tornar o ambiente interno dentro da zona de conforto, o uso de sistemas mecânicos pode ser recomendado, mas em conjunto com estratégias passivas, o tempo de operação e sobrecarga do equipamento são minimizados.

Quanto ao levantamento de dados, observou-se a dificuldade na obtenção dos mesmos, e ainda a recente utilização e destinação de dados climatológicos para estudo do clima urbano. Por isso, assim como em todo Brasil, a coleta de dados existe ou em sítios afastados dos centros urbano, destinados aos estudos agrometeorológico, ou em aeroportos.

Dessa forma, os arquivos existentes são formados de dados que diferem em pequena proporção da real situação microclimática dos centros urbano, pois não sofrem influência das ilhas de calor, das alterações de cobertura do solo, da modificação causada pela rugosidade dos prédios na dinâmica de ventilação local, da retirada da vegetação e emissão de poluentes no ar.

Recentemente ocorreram modificações na administração de órgãos como o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) que atualmente em conjunto com o CPTEC (Centro de Previsões do Tempo e Estudos Climáticos), trabalham com sistemas automáticos de coleta de dados e disponibilidade via Internet. Porém, são dados recentes, que apesar de grande melhoria na área de pesquisas científicas e para trabalhos futuros, apresentou limitações ao presente estudo.

Na busca de dados horários de temperatura de bulbo seco (TBS) e temperatura de bulbo úmido (TBU), para as 8.760 horas do ano de 1994, a EMS - Estação Meteorológica de Superfície de Cuiabá, localizado no Aeroporto Marechal Rondon foi a única fonte detentora de tais dados, arquivados no 1º Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo – CINDACTA1, em Brasília/DF. Como as escolhas dos caminhos a serem tomados são determinadas por vários fatores, a limitação do período de 1990 a 2004 fez-se mediante a disponibilidade dos dados horários de TBS e TBU.

Devidas questões internas da instituição detentora dos arquivos e ao volume de dados, apenas duas variáveis, foram disponibilizadas em intervalos horários. Apesar de suficientes para a plotagem da carta bioclimática, demais variáveis podem ser úteis para futuros trabalhos na formatação do arquivo CBA. try (\*.try), para programas de simulação de edificações.

Junto ao 9º Distrito de Meteorologia de Cuiabá, foram encontradas apenas três medições ao dia. Na página eletrônica do CPTEC (Centro de Previsões do Tempo e Estudos Climáticos), existe a disponibilidade de dados com intervalos de 3 horas, sendo a coleta mais antiga iniciada no ano 2000.

De acordo com a seqüência de eliminação de meses, outubro é o mês mais quente. Esta situação se confirma ao comparar com a descrição de MORENO et al. (2005), ao afirmar que nesta região as temperaturas máximas absolutas coincidem com o final da estação seca (setembro e outubro). Isso ocorre porque o Sol, em sua

trajetória aparente conhecida como declinação solar, está sobre os paralelos da região Centro-oeste, causando intensa radiação solar.

Os meses de junho e julho possuem os valores de temperatura mais baixos. Isso ocorre devido influência da massa de ar Polar Antártica (mPa), que ao formar a Frente Fria no sul do Brasil, avança pelo continente, chegando até ao sul da Amazônia, passando pelo território mato-grossense e sendo responsável por queda brusca de temperatura, conhecida como fenômeno de “friagem”.

Segundo bibliografia consultada, a cidade de Cuiabá possui temperatura média anual de 26,8°C, com média máxima de 42°C e média mínima de 15°C.

Para o período selecionado, a média anual de temperatura do ar para todos os anos foi de 26,17°C, sendo que a média de maior valor foi de 26,57°C no ano de 2002 e a média de menor valor foi de 25,76°C no ano de 1992, portanto próximos aos valores reconhecidos para o clima de Cuiabá.

Observando a mancha formada na carta bioclimática com os dados horários de TBS e TBU do TRY, nota-se que os altos valores de temperatura do ar junto a elevados índices de umidade relativa são a maioria fora da zona de conforto.

O ano climático de referência que apresentou umidade relativa média anual de 68,04%. Apesar da existência de focos de calor na região urbana com picos mínimos de umidade no ar, situação esta prejudicial à salubridade humana, foram identificados no período de anos analisados. Porém estes não eram existentes no arquivo de dados utilizado na plotagem. Nota-se então que com a elevada temperatura do ar, que determina baixas taxas de umidade relativa na região, faz da falta de ventilação um fator ainda mais agravante.

Essa situação pode ser vista refletida na plotagem da carta bioclimática quando indica, em percentagem, mais que o dobro de ventilação que resfriamento evaporativo. Apenas no período de inverno seco as taxas de ambas as estratégias são próximas, 6.88% e 6.02% respectivamente.

A recente preocupação com a otimização energética tem levado à utilização crescente de ferramentas de simulação de transferência de calor em edifícios. Este tipo de ferramenta informática permite prever temperaturas interiores (ar e superfícies), cargas térmicas, consumos de energia, níveis de iluminação, caudais de infiltração e ventilação natural, etc. Estas previsões, normalmente efetuadas para um

ano típico de clima local, revelam-se muitas vezes fundamentais nas decisões de projeto, particularmente na fase inicial do trabalho.

De entre os múltiplos possíveis benefícios da utilização de ferramentas de simulação em projeto de sistemas de climatização destacam-se os seguintes:

- a) Maior precisão na previsão de cargas de climatização;
- b) Previsão de consumo energético anual;
- c) Possibilidade de quantificação dos efeitos, nos parâmetros referidos acima, de diferentes opções de projeto (free-cooling, sombreamento, isolamento térmico, tipo de vidro, acabamentos interiores, ventilação natural);
- d) Previsão de temperaturas de superfícies;
- e) Previsão de conforto térmico (modelo Fanger).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do estudo teórico e estatístico do Ano Climático de Referência para determinação e confirmação do TRY através da metodologia aplicada, pode-se afirmar que o ano de 1994 é representativo para a caracterização do clima de Cuiabá. Portanto, o mesmo foi utilizado na confecção da Carta Bioclimática de Cuiabá com segurança na obtenção de resultados compatíveis com o clima local.

Através das estratégias bioclimáticas recomendadas pelo relatório final, conclui-se que a falta de ventilação na região é um dos fatores agravantes da falta de conforto.

Por isso, recomendam-se maiores cuidados com as taxas de adensamento e zonas de expansão na legislação urbana municipal, como uma forma de evitar que mais barreiras físicas sejam criadas na direção do vento dominante (Norte e Noroeste), incrementando de forma negativa a situação de insuficiência de ventos na camada limite da superfície urbana. Deve-se lembrar ainda que os dados avaliados foram coletados no aeroporto Marechal Rondon, região de maior altitude e menor presença de barreiras circundantes que a região central da cidade, esta, portanto, em situação mais crítica.

A falta desse recurso natural não deve ser entendido como razão para o uso de sistema mecânico. No planejamento bioclimático de edificações que buscam amenizar o clima de Cuiabá, o uso da vegetação e da água em projetos de sistemas de resfriamento evaporativo é essencial.

Sinteticamente, apesar da rigurosidade do clima de Cuiabá, é possível torná-lo mais ameno em até 71.6% das horas de desconforto existentes no clima, com o uso de sistemas passivos, ou seja, sem o consumo de energia elétrica, mas se utilizando a energia disponível ao meio e dos sistemas naturais de troca de calor. Por isso são

elencados os sistemas estratégicos bioclimático que podem ser aplicados nos projetos de edificações em Cuiabá para correção do clima:

1) Para o calor:

- a) Propiciar a formação de microclima no entorno da edificação para o prévio resfriamento do ar que cruzará a edificação;
- b) Bloquear a entrada de radiação solar direta através das aberturas, para isso, fazer uso de brises, varandas, vegetação e etc;
- c) Favorecer a ventilação efetiva cruzada no sentido Norte ou Noroeste;
- d) Favorecer a ventilação convectiva noturna, principalmente nas faces com maior incidência de radiação solar;
- e) Envoltória com alta inércia térmica associada à ventilação convectiva noturna e ao sombreamento;
- f) Parede voltada para oeste com maior resistência térmica que capacidade térmica;
- g) Distribuir ambientes voltados para áreas de maior insolação conforme o tipo de uso e permanência;
- h) A utilização de aspersores de água tanto em conjunto com ventilação forçada ou em borrifos em telhados com telhas cerâmicas é praticável em todo o período de inverno seco (abril a setembro) e nos meses de outubro e novembro somente entre 12 h e 14 h, nos demais meses deve ser vedado o uso dessa estratégia;
- i) Coberturas de tanques de água sombreadas no átrio das edificação;
- j) Fontes e espelhos d'água;
- k) Vegetação, nos ambientes internos, e externos para sombreamento.

2) Para o frio:

- a) Clarabóia envidraçada com sistema de abertura no inverno e vedação de radiação no verão.

## RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS:

- a) Ainda que já exista um arquivo climático para simulação computacional para Cuiabá, feito a partir de um arquivo TMY pelo U.S. Departamento de Energia (DOE), um arquivo CBA. try seria de grande valia para comparação e avaliação do método.
- b) Estudo de caso com aplicação das estratégias bioclimáticas indicadas para o clima de Cuiabá.
- c) Simulação computacional para quantificação da eficiência das estratégias indicadas para o clima de Cuiabá.

## 7 BIBLIOGRAFIAS

### 7.1 BIBLIOGRAFIAS CITADAS

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

ASHRAE. **Energy Estimating Methods**. In: ASHRAE Handbook - Fundamentals, New York, 1993. cap. 28.

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.

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

CAMPELO, JR. J.H.; CASEIRO, F. T.; FILHO, N. P.; BELLO, G. A. C.; MAITELLI, G. T.; ZANPARONI, C. A. G. P. Caracterização macroclimática de Cuiabá. In. 3º Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente. Londrina, 1991. **Anais**. Londrina, v. 1, Comunicações, p. 542-552.

CARLO, J.; LAMBERTS, R. **Relatório Técnico LABEEE 2005/04 – Processamento de Arquivos Climáticos para Simulação do Desempenho Energético de Edificações**. Florianópolis: LABEEE/UFSC, 2005. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/downloads/downloadaclim.html>. Acesso em 20/05/2006

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

CUIABÁ. Prefeitura Municipal de Cuiabá. Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano. **Perfil socioeconômico de Cuiabá**. Vol.II - Cuiabá: IPDU/AS&M/Central de Texto, 2004. 405 p.

EVANS, M. **Housing, Climate and Comfort**. ed. The Architectural Press. London, 1980.

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

FIRMINO, S.; GOULART, S.; LAMBERTS, R. **Análise Bioclimática – Uma Comparação entre Dados Climáticos de TRY e Normais**. In: I Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Canela, 1997. Disponível em: [www.labeee.ufsc.br](http://www.labeee.ufsc.br). Acessado em 05/05/06.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. London, Elsevier, 1969.

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

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

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, 1993.

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

HERTZ, J. **Ecotécnicas em Arquitetura: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil**. Pioneira: São Paulo, 1998.

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 7730: Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort**. [S.I], 1984.

KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T. G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S. V. **Manual of tropical housing and building**. London, Longman, 1977.

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

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

LEITÃO, N. **O clima e a vegetação**. 2005. Disponível em: <http://www.naturlink.pt/canais/Artigo.asp?iArtigo=1827&iLingua=1>. Acesso em 02/07/2006.

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.

MORENO, G.; HIGA, T. C. S., (orgs.); colaboradora MAITELLI, G. T. **Geografia de Mato Grosso: território, sociedade, ambiente.** Cuiabá: Entrelinha, 2005. pg. 238-287.

NOVAES, Washington, et al. **Agenda 21 Brasileira: Bases para discussão.** Brasília, MMA/PNUD, 2000. 196 p.

OLGYAY, V. **Design with Climate.** Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. 1963. 4th ed. Princeton, New Jersey. U. S. A.: Princeton University Press.

OMETTO, José Carlos. **Bioclimatologia Vegetal.** São Paulo. Ed. Agronômica Ceres. 1981.

POLIÃO, M. V. **Da Arquitetura.** São Paulo. Hucitec, Annablume, 1999. Tradução de: Vitruvii de Arquitetura Libri Decem.

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

ROMERO, MARTA A. B. **Arquitetura Bioclimática dos Espaços Públicos.** Editora UNB, Brasília, 2001.

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

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

SZOKOLAY, Steven V. **Bioclimatic Design: Strategy to Detail.** Anais do III Encontro Nacional, I Encontro Latino Americano, Gramado, 1995.

VIEIRA, P. F. et al. (Organizadores). **Desenvolvimento e Meio Ambiente – A Contribuição de Ignacy Sachs.** Ed. Pallotti. Porto Alegre. Florianópolis. 1998. 448 pg.

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

## 7.2 BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

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.

AYOADE, J. O. **Introdução a Climatologia para os Trópicos**. Rio de Janeiro. Ed. Bertrand Brasil S.A. 1991.

BITTENCOURT, L. S. Ventilation as a cooling resource for warm-humid climates: An investigation on perforated block wall geometry to improve ventilation inside low-rise buildings. **Environment and Energy Studies Programme**. London, Architectural Association Graduate School: 314, 1993.

CBEE. **Centro Brasileiro de Energia Eólica**. Disponível em <http://www.eolica.com.br/anemogr.html>. Acesso em: 13 de junho de 2005.

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.

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; LOUREIRO, K; CARLO, J. **Estudos de Estratégias Bioclimáticas para a Cidade de Manaus**. Florianópolis: NPC/UFSC, 2002. (Trabalho apresentado ao ENTAC/2002 – IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído).

LEAO, E. F. T. B.; LEÃO, M. ; NOGUEIRA, M. C. J. A. ; NOGUEIRA, J. S. ; SAMPAIO, M. M. A. **Estudo Teórico do Ano Climático para determinação do Try (Test Reference Year) para cidade de Cuiabá-MT**. In: VII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2006, Rondonópolis-MT. VII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica - Os Climas e a Produção do Espaço no Brasil. Cuiabá-MT: Edufimt, 2006. v. 1. P. 70-70.

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.