

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

## **Projeto Bioclimático em Brasília: Estudo de Caso em Edifício de Escritórios**

autora:  
Alexandra Albuquerque Maciel

Dissertação apresentada ao curso de Pós Graduação em Engenharia Civil para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil

Orientador: Roberto Lamberts

Florianópolis  
Fevereiro de 2002

MACIEL, Alexandra A. *Projeto bioclimático em Brasília: Estudo de caso em edifício de escritórios*. Florianópolis, 2002. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Roberto Lamberts.  
Defesa 22/02/02

Através da caracterização do clima e análise bioclimática de Brasília este trabalho pretende ter contribuído para facilitar ao profissional de projeto a incorporação de princípios bioclimáticos ao projeto arquitetônico. O potencial das estratégias bioclimáticas de ventilação, resfriamento evaporativo e isolamento térmico da cobertura, identificado na análise realizada, foi avaliado no edifício da Câmara Legislativa do DF. As estratégias de resfriamento evaporativo e isolamento térmico da cobertura apresentaram o melhor desempenho, do ponto de vista do conforto térmico. É possível perceber que, para o clima de Brasília, a utilização de um projeto arquitetônico adequado e de sistemas passivos de resfriamento pode garantir a diminuição do consumo do ar condicionado, mesmo em edifícios com ganhos térmicos elevados.

# Projeto Bioclimático em Brasília: Estudo de Caso em Edifício de Escritórios

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA

Especialidade ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

-----  
Prof. Roberto Lamberts, PhD. (Orientador)

-----  
Prof. Jucilei Cordini (Coordenador do Curso)

COMISSÃO EXAMINADORA

-----  
Prof. Leonardo S. Bittencourt, PhD. (UFAL)

-----  
Prof. Fernando O. R. Pereira, PhD. (UFSC)

-----  
Prof. Dr. Saulo Guths(UFSC)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus **pais, Diva e Maciel**, que sempre me apoiaram em todas as etapas de minha formação, com dedicação, incentivo e carinho.

Agradeço ao **Gustavo**, meu companheiro de todas as horas e da vida inteira, pelo carinho, enorme ajuda e compreensão em todas as etapas.

Este trabalho também não seria possível sem o apoio das pessoas e instituições abaixo relacionadas:

- **Roberto Lamberts** - pela orientação do trabalho, sugestões e apoio.
- **Comissão examinadora (Leonardo S. Bittencourt, Fernando O. R. Pereira e Saulo Guths)**- por terem aceitado a participação na banca examinadora.
- **Meus colegas, amigos do LabEEE e LabCon (Ana Lígia, Joyce, Cacá, Roberta, César, Fernando, Adriano, Érika, Kelly e Isabel)** – por toda a ajuda e troca de conhecimento, amizade e companheirismo.
- **Administração e funcionários da Câmara Legislativa do DF** - que permitiram a pesquisa no edifício, com compreensão e paciência.
- **Jurandir e Zé Carlos (Empresa Vale Guariroba (Primetech))**, - pelo equipamento de resfriamento evaporativo cedido e por toda a ajuda e interesse no desenvolvimento da etapa de campo.
- **Francisco Pinheiro Flores (ISOBRÁS)**- pela aplicação do isolamento da cobertura e por todo apoio e aprendizado proporcionado na etapa de campo.
- **Funcionários do Banco de dados do INMET (Cristina e Rômulo)**- pelos dados cedidos para a implementação deste trabalho.
- **Meus irmãos (Marcela, Renata e Léo)**- por acreditarem em mim.
- **Márcia, Eneida, Juliana e Georgeana** - pelo incentivo, ajuda incondicional e amizade.
- **Frank Svensson** - por ter despertado em mim o interesse pela pesquisa.

**SUMÁRIO GERAL**

|  |           |
|--|-----------|
| Lista de Figuras.....  | III       |
| Lista de Tabelas.....  | IV        |
| Resumo.....  | V         |
| Abstract.....  | VI        |
| <b>Capítulo 1- Introdução</b> .....  | <b>1</b>  |
| 1.1 Clima, Arquitetura e Consumo energético- A situação em Brasília.....                 | 1         |
| 1.2 Objetivos.....   | 5         |
| 1.3 Estrutura da Dissertação.....  | 6         |
| <b>Capítulo 2- Revisão bibliográfica</b> .....   | <b>7</b>  |
| 2.1 A importância do projeto bioclimático.....   | 7         |
| 2.2 Primeira caracterização do clima de Brasília.....                                    | 8         |
| 2.3 Métodos de avaliação bioclimática mais adequados para Brasília.....                  | 12        |
| 2.3.1 O questionário como ferramenta auxiliar.....                                       | 18        |
| 2.4 Integração meio externo – edificação.....  | 19        |
| 2.4.1 Avaliações Experimentais de Estratégias de projeto em Edifícios de Escritório..... | 20        |
| 2.4.1.1 Edifícios com isolamento Térmico.....  | 21        |
| 2.4.1.2 Reflexão externa em edifícios.....   | 22        |
| 2.4.1.3 Avaliação da Ventilação em edifícios.....  | 22        |
| 2.4.1.4 Edifícios com Resfriamento Evaporativo.....                                      | 23        |
| 2.4.1.5 Orientação e proteção solares.....   | 24        |
| 2.4.1.6 Avaliação da inércia térmica em edifícios.....                                   | 25        |
| 2.4.1.7 Avaliação dos espaços externos à edificação.....                                 | 25        |
| 2.4.2 Importância da avaliação experimental para Brasília.....                           | 27        |
| <b>Capítulo 3 – Metodologia</b> .....  | <b>28</b> |
| 3.1 Clima e estratégias bioclimáticas para Brasília.....                                 | 28        |
| 3.1.1 Caracterização do clima.....   | 28        |
| 3.1.1.1 Temperatura de bulbo seco e Umidade relativa.....                                | 29        |
| 3.1.1.2 Ventos.....  | 31        |
| 3.1.1.3 Determinação do Ano climático de Referência(ACR).....                            | 31        |
| 3.1.2 Avaliação bioclimática.....  | 32        |
| 3.1.2.1 Carta bioclimática de Edificações.....   | 32        |
| 3.1.2.2 Tabelas de Mahoney.....  | 33        |
| 3.1.2.3 Diagrama Triângulos de Conforto.....   | 34        |
| 3.2 Estudo de Caso.....  | 35        |
| 3.2.1 Caracterização do edifício.....  | 35        |
| 3.2.2 Ambientes monitorados.....   | 40        |
| 3.2.3 Coleta e análise de dados.....   | 49        |
| 3.2.3.1 Variáveis humanas.....   | 49        |
| 3.2.3.2 Variáveis ambientais internas.....   | 50        |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Capítulo 4 - Resultados e Discussão</b> .....                                       | 54  |
| 4.1 Clima e estratégias bioclimáticas para Brasília.....                               | 54  |
| 4.1.1 Caracterização do clima.....   | 54  |
| 4.1.1.1 Temperatura de bulbo seco e Umidade relativa.....                              | 55  |
| 4.1.1.2 Ventos.....  | 60  |
| 4.1.1.3 Dados de insolação e precipitação.....   | 65  |
| 4.1.1.4 Ano climático de referência obtido.....  | 66  |
| 4.1.1.5 Evolução urbana e alterações climáticas.....                                   | 71  |
| 4.1.2 Análise bioclimática.....  | 73  |
| 4.1.2.1 Avaliação bioclimática através da Carta bioclimática de Edificações.....       | 73  |
| 4.1.2.2 Avaliação bioclimática através das Tabelas de Mahoney.....                     | 77  |
| 4.1.2.3 Avaliação bioclimática através dos Triângulos de Conforto.....                 | 77  |
| 4.2 Estudo de caso.....  | 78  |
| 4.2.1 Avaliação das variáveis humanas.....   | 78  |
| 4.2.2 Variáveis ambientais.....  | 84  |
| 4.2.2.1 Caracterização climática do período analisado.....                             | 84  |
| 4.2.2.2. Temperatura de bulbo seco e Umidade relativa internas.....                    | 88  |
| 4.2.2.2.1 Análise das Condições Gerais (Pátio Interno, Vegetação e<br>Orientação)..... | 88  |
| 4.2.2.2.2 Avaliação do Sistema de Resfriamento Evaporativo.....                        | 93  |
| 4.2.2.2.3 Avaliação das Aberturas p/Renovação do ar.....                               | 98  |
| 4.2.2.2.4 Avaliação da Ventilação Natural.....   | 100 |
| 4.2.2.2.5 Avaliação do Isolamento Térmico e Cor Branca na Cobertura.....               | 103 |
| 4.2.2.3 Graus hora de resfriamento e aquecimento.....                                  | 106 |
| 4.2.2.4 Ambientes analisados através da Carta bioclimática de Edificações.....         | 109 |
| 4.2.2.5 Verificação dos fluxos de ar internos.....                                     | 111 |
| <b>Capítulo 5 – Conclusões</b> .....   | 112 |
| 5.1 Avaliação bioclimática.....  | 112 |
| 5.2 Estudo de caso.....  | 113 |
| 5.3 Limitações Encontradas e Sugestões para trabalhos futuros.....                     | 116 |
| <b>Referências Bibliográficas</b> .....  | 117 |
| <b>Anexos</b> .....  | 122 |
| A- Modelo do questionário.....   | 122 |
| B- Frequência de ocorrência mensal de temperatura (1982 à 1997).....                   | 124 |
| C- Frequência de ocorrência anual de temperatura (1982-1997).....                      | 126 |
| D- Frequência de ocorrência horária dos ventos (direção e velocidade).....             | 128 |
| E- Tabela de Mahoney, dados climáticos de 1982 à 1997.....                             | 131 |

**CAPÍTULO 1**

|  |   |
|--|---|
| 1.1 Setor comercial norte.....         | 2 |
| 1.2 Clínica Daher.....                 | 4 |
| 1.3 EMATER-DF.....                     | 4 |
| 1.4 Restaurante universitário UnB..... | 5 |
| 1.5 Reitoria UnB.....                  | 5 |

**CAPÍTULO 2**

|  |    |
|--|----|
| 2.1- Mapa climático do DF.....                               | 9  |
| 2.2- Carta bioclimática de edificações de GIVONI (1992)..... | 16 |
| 2.3 – Esquemas de ventilação. WATSON e LABS (1983).....      | 23 |

**CAPÍTULO 3**

|   |    |
|---|----|
| 3.1 Localização da Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional de Brasília .....       | 29 |
| 3.2 Fotografia fachada principal do edifício da Câmara legislativa do Distrito Federal..... | 35 |
| 3.3 Planta baixa Plano Piloto.....  | 35 |
| 3.4 Implantação e orientação do edifício.....   | 36 |
| 3.5 Zoneamento do edifício.....   | 36 |
| 3.6 Materiais das vedações verticais.....   | 37 |
| 3.7 Materiais cobertura.....  | 37 |
| 3.8 Corte esquemático do bloco Administrativo. Sistema de renovação de ar interno.....      | 38 |
| 3.9 Detalhe da entrada de ar.....   | 38 |
| 3.10 Vista da Fachada Principal Norte.....  | 38 |
| 3.11 Máscara de Sombra Beiral Fachada Norte.....  | 39 |
| 3.12 Máscara de Sombra Beiral Fachada Sul.....  | 39 |
| 3.13 Corte Esquemático, ângulos de incidência solar.....                                    | 39 |
| 3.14 Trecho ala leste do edifício. Identificação da vegetação.....                          | 40 |
| 3.15 Vista do Pátio Interno.....  | 40 |
| 3.16 Pavimento Térreo Salas analisadas (A à F).....   | 41 |
| 3.17 1º.Pavimento Salas analisadas (G à O).....   | 42 |
| 3.18 sala D.....  | 42 |
| 3.19 sala I.....  | 43 |
| 3.20 sala L.....  | 43 |
| 3.21 sala O.....  | 43 |
| 3.22 sala A.....  | 43 |
| 3.23 sala F.....  | 44 |
| 3.24 sala H.....  | 44 |
| 3.25 sala N.....  | 44 |
| 3.26 Detalhe do bico aspersor.....  | 44 |
| 3.27 Painel gerenciador.....  | 44 |
| 3.28 Sensor de temperatura do ar e umidade relativa, sala N.....                            | 45 |
| 3.29 Desenho esquemático da instalação do sistema de resfriamento evaporativo.....          | 46 |
| 3.30 Vista sistema de resfriamento evaporativo instalado.....                               | 46 |
| 3.31 sala G.....  | 46 |
| 3.32 Isolamento térmico sobre laje da sala G.....   | 47 |
| 3.33 Telha pintada de branco sobre a cobertura da sala G.....                               | 47 |
| 3.34 sala B.....  | 47 |
| 3.35 sala C.....  | 48 |

|  |    |
|--|----|
| 3.36 sala E.....   | 48 |
| 3.37 sala J.....   | 48 |
| 3.38 sala M.....   | 49 |
| 3.39 Localização dos sensores.....   | 50 |
| 3.40 Localização dos sensores externos.....                                  | 51 |
| 3.41 Vista da localização do data logger na fachada sul.....                 | 51 |
| 3.42 Desenho esquemático da maquete para proteção dos sensores externos..... | 51 |
| 3.43 Termômetro de superfície.....   | 53 |

## CAPÍTULO 4

|  |    |
|--|----|
| 4.1- Valores médios de TBS e UR.....                                 | 56 |
| 4.2- TBS máx. absoluta.....  | 56 |
| 4.3- TBS média das máximas.....                                      | 56 |
| 4.4- TBS médias das médias.....                                      | 57 |
| 4.5- TBS média das mínimas.....                                      | 57 |
| 4.6- Temperatura média diária- 82-97.....                            | 58 |
| 4.7- Amplitude térmica média mensal.....                             | 58 |
| 4.8- Umidade Relativa Média Mensal.....                              | 58 |
| 4.9- Direção dos ventos, período quente e úmido.....                 | 61 |
| 4.10- Direção dos ventos, período seco.....                          | 62 |
| 4.11- Frequência de velocidade dos ventos %.....                     | 62 |
| 4.12- Temperatura de bulbo seco horária- 1987.....                   | 67 |
| 4.13- Umidade relativa horária- 1987.....                            | 68 |
| 4.14 Direção dos ventos- Período quente úmido 1987.....              | 68 |
| 4.15- Direção dos ventos período seco- 1987.....                     | 69 |
| 4.16- Velocidades do ar, janeiro.....                                | 69 |
| 4.17- Velocidades do ar, fevereiro.....                              | 69 |
| 4.18- Velocidades do ar, março.....                                  | 70 |
| 4.19- Velocidades do ar, abril.....                                  | 70 |
| 4.20- Velocidades do ar, maio.....                                   | 70 |
| 4.21- Velocidades do ar, junho.....                                  | 70 |
| 4.22- Velocidades do ar, julho.....                                  | 70 |
| 4.23- Velocidades do ar, agosto.....                                 | 70 |
| 4.24- Velocidades do ar, setembro.....                               | 70 |
| 4.25- Velocidades do ar, outubro.....                                | 70 |
| 4.26- Velocidades do ar, novembro.....                               | 71 |
| 4.27- Velocidades do ar, dezembro.....                               | 71 |
| 4.28- Mapas ilustrativos do crescimento populacional por década..... | 71 |
| 4.29- Área Urbana 1984 –1995.....                                    | 72 |
| 4.30- Carta bioclimática- TRY (1987).....                            | 73 |
| 4.31- Diagrama Triângulos de conforto.....                           | 78 |
| 4.32- Gráfico de sensação térmica e temperatura, manhã.....          | 81 |
| 4.33- Gráfico de preferência térmica e temperatura, manhã.....       | 82 |
| 4.34 Gráfico de sensação térmica e temperatura, tarde.....           | 82 |
| 4.35 Gráfico de preferência térmica e temperatura, tarde.....        | 82 |
| 4.36- Dados horários de TBS e UR do período.....                     | 84 |
| 4.37- TBS e UR média mensal do período.....                          | 84 |
| 4.38- Temperaturas máximas, médias e mínimas diárias.....            | 85 |
| 4.39- U.R. máximas, médias e mínimas diárias.....                    | 85 |
| 4.40 Amplitude térmica diária.....                                   | 86 |
| 4.41 Amplitude térmica média mensal.....                             | 86 |

|   |            |
|---|------------|
| 4.42- Rosa dos ventos p/ frequência mensal de direção dos ventos.....                 | 86         |
| 4.43- velocidades por direção mês de fevereiro.....                                   | 87         |
| 4.44- velocidades por direção, mês de março.....                                      | 87         |
| 4.45- velocidades por direção, mês de abril.....                                      | 87         |
| 4.46- velocidades por direção, mês de maio.....                                       | 87         |
| 4.47- velocidades por direção, mês de junho.....                                      | 87         |
| 4.48- Temperatura média das máx. e mín.- térreo norte.....                            | 89         |
| 4.49- Temperatura média das máx. e mín.- 1º andar norte.....                          | 89         |
| 4.50- Temperaturas máx. e mín. diárias-fev. térreo.....                               | 90         |
| 4.51- Temperaturas máx. e mín. diárias-fevereiro 1 andar.....                         | 90         |
| 4.52- Temperaturas médias- Térreo norte, mês de junho.....                            | 91         |
| 4.53- Temperaturas máx. e mín. diárias-junho terreo.....                              | 91         |
| 4.54- Temperaturas máx. e mín. diárias-junho 1 andar.....                             | 92         |
| 4.55- UR área externa ao prédio, do INMET e TBS interno (térreo norte).....           | 92         |
| 4.56- Comportamento da temperatura interna antes do funcionamento do sistema .....    | 93         |
| 4.57- Temperatura interna após o funcionamento do sistema.....                        | 94         |
| 4.58- Temperatura interna no fim de semana.....                                       | 94         |
| 4.59- Temperatura interna com sistema ligado.....                                     | 94         |
| 4.60- Temperaturas máx. e mín. diárias. Térreo sul.....                               | 95         |
| 4.61- Temperaturas máx. e mín. diárias. 1º andar sul.....                             | 95         |
| 4.62-TBS média das máx. e mín. mensal, 1º andar sul.....                              | 96         |
| 4.63- TBS média das máx. e mín. mensal, salas com resfriamento.....                   | 96         |
| 4.64- Elevação da Umidade Relativa, com sistema funcionando.....                      | 97         |
| 4.65- Umidade Relativa. Intervalo 14 a 21 de maio.....                                | 97         |
| 4.66 Umidade relativa média, térreo.....  | 98         |
| 4.67 Umidade relativa média, primeiro andar.....                                      | 98         |
| 4.68- TBS. Salas antes da vedação das aberturas p/ renovação de ar.....               | 99         |
| 4.69- Sala E após vedação das aberturas existentes, (dia 02/03 à tarde).....          | 99         |
| 4.70- TBS. Vedação das aberturas p/ renovação de ar, sala B.....                      | 99         |
| 4.71- TBS. Vedação das aberturas p/ renovação de ar, sala C.....                      | 100        |
| 4.72- Vedação da sala J.....  | 100        |
| 4.73- Efeito da ventilação noturna na sala M.....                                     | 101        |
| 4.74 – Janelas fechadas à noite, a partir do dia 14/03.....                           | 101        |
| 4.75- Efeito da ventilação natural em sala desocupada.....                            | 102        |
| 4.76- Efeito da ventilação noturna no mês de dezembro.....                            | 102        |
| 4.77- Temperatura da sala após o isolamento da laje, 19/02.....                       | 103        |
| 4.78- Diferença da temperatura interna nos fins de semana.....                        | 103        |
| 4.79- Temperaturas da sala G durante expediente.....                                  | 104        |
| 4.80- Temperaturas da sala G durante expediente, após pintura das telhas.....         | 104        |
| 4.81- Alteração das temperaturas internas sala G com isolamento e pintura branca..... | 105        |
| 4.82- Temperaturas médias, sala G.....  | 105        |
| 4.83- U.R. Salas da fachada sul, primeiro andar.....                                  | 106        |
| 4.84- Graus hora p/ resfriamento. Temperatura base 26°C.....                          | 107        |
| 4.85- Graus hora p/ aquecimento. Temperatura base 23°C.....                           | 107        |
| 4.86- Fluxos de ar, aberturas no piso, norte.....                                     | 111        |
| 4.87- Fluxos de ar, aberturas no piso, sul.....                                       | 111        |
| <b>ANEXOS.....</b>  | <b>122</b> |
| <b>ANEXO- B</b>   |            |
| <b>B-1</b> Frequência de temperatura, janeiro.....                                    | <b>124</b> |

|  |     |
|--|-----|
| <b>B-2</b> Freqüência de temperatura, fevereiro..... | 124 |
| <b>B-3</b> Freqüência de temperatura, março.....     | 124 |
| <b>B-4</b> Freqüência de temperatura, abril.....     | 124 |
| <b>B-5</b> Freqüência de temperatura, maio.....      | 124 |
| <b>B-6</b> Freqüência de temperatura, junho.....     | 124 |
| <b>B-7</b> Freqüência de temperatura, julho.....     | 125 |
| <b>B-8</b> Freqüência de temperatura, agosto.....    | 125 |
| <b>B-9</b> Freqüência de temperatura, setembro.....  | 125 |
| <b>B-10</b> Freqüência de temperatura, outubro.....  | 125 |
| <b>B-11</b> Freqüência de temperatura, novembro..... | 125 |
| <b>B-12</b> Freqüência de temperatura, dezembro..... | 125 |

**ANEXO- C**

|  |     |
|--|-----|
| <b>C-1-</b> Freqüência de ocorrência de temperatura 1982.....  | 126 |
| <b>C-2-</b> Freqüência de ocorrência de temperatura 1983.....  | 126 |
| <b>C-3-</b> Freqüência de ocorrência de temperatura 1984.....  | 126 |
| <b>C-4-</b> Freqüência de ocorrência de temperatura 1985.....  | 126 |
| <b>C-5-</b> Freqüência de ocorrência de temperatura 1986.....  | 126 |
| <b>C-6-</b> Freqüência de ocorrência de temperatura 1987.....  | 126 |
| <b>C-7-</b> Freqüência de ocorrência de temperatura 1988.....  | 126 |
| <b>C-8-</b> Freqüência de ocorrência de temperatura 1989.....  | 126 |
| <b>C-9-</b> Freqüência de ocorrência de temperatura 1990.....  | 127 |
| <b>C-10-</b> Freqüência de ocorrência de temperatura 1991..... | 127 |
| <b>C-11-</b> Freqüência de ocorrência de temperatura 1992..... | 127 |
| <b>C-12-</b> Freqüência de ocorrência de temperatura 1993..... | 127 |
| <b>C-13-</b> Freqüência de ocorrência de temperatura 1994..... | 127 |
| <b>C-14-</b> Freqüência de ocorrência de temperatura 1995..... | 127 |
| <b>C-15-</b> Freqüência de ocorrência de temperatura 1996..... | 127 |
| <b>C-16-</b> Freqüência de ocorrência de temperatura 1997..... | 127 |

**ANEXO-D**

|   |     |
|---|-----|
| <b>D-1</b> Freqüência de direção- janeiro.....      | 128 |
| <b>D-2</b> Freqüência de velocidade- janeiro.....   | 128 |
| <b>D-3</b> Freqüência de direção- fevereiro.....    | 128 |
| <b>D-4</b> Freqüência de velocidade- fevereiro..... | 128 |
| <b>D-5</b> Freqüência de direção- março.....        | 128 |
| <b>D-6</b> Freqüência de velocidade- março.....     | 128 |
| <b>D-7</b> Freqüência de direção- abril.....        | 128 |
| <b>D-8</b> Freqüência de velocidade- abril.....     | 128 |
| <b>D-9</b> Freqüência de direção- maio.....         | 129 |
| <b>D-10</b> Freqüência de velocidade- maio.....     | 129 |
| <b>D-11</b> Freqüência de direção- junho.....       | 129 |
| <b>D-12</b> Freqüência de velocidade- junho.....    | 129 |
| <b>D-13</b> Freqüência de direção- julho.....       | 129 |
| <b>D-14</b> Freqüência de velocidade- julho.....    | 129 |
| <b>D-15</b> Freqüência de direção- agosto.....      | 129 |
| <b>D-16</b> Freqüência de velocidade- agosto.....   | 129 |
| <b>D-17</b> Freqüência de direção- setembro.....    | 130 |
| <b>D-18</b> Freqüência de velocidade- setembro..... | 130 |
| <b>D-19</b> Freqüência de direção- outubro.....     | 130 |
| <b>D-20</b> Freqüência de velocidade- outubro.....  | 130 |
| <b>D-21</b> Freqüência de direção- novembro.....    | 130 |

---

|   |     |
|---|-----|
| <b>D-22</b> Freqüência de velocidade- novembro..... | 130 |
| <b>D-23</b> Freqüência de direção- dezembro.....    | 130 |
| <b>D-24</b> Freqüência de velocidade- dezembro..... | 130 |

**CAPÍTULO 2**

|  |    |
|--|----|
| 2.1 Principais limites de temperatura e umidade..... | 15 |
|--|----|

**CAPÍTULO 4**

|  |     |
|--|-----|
| 4.1 Comparação de duas médias.....   | 54  |
| 4.2 Parcela de dados ausentes do intervalo de dados analisado.....               | 55  |
| 4.3 Análise climática das freqüências mensais de TBS.....                        | 59  |
| 4.4 Dados ausentes por ano.....  | 60  |
| 4.5 Percentual mensal de vento ausente.....                                      | 61  |
| 4.6 Percentual mensal para ausência de vento.....                                | 62  |
| 4.7 Caracterização dos ventos por horário.....                                   | 63  |
| 4.8 Direção dos ventos.....  | 65  |
| 4.9 Velocidade dos ventos.....   | 65  |
| 4.10 Dados de precipitação e insolação Normais climatológicas (1960 à 1990)..... | 65  |
| 4.11 Dados de precipitação e insolação anual.....                                | 66  |
| 4.12 Temperaturas médias mensais do período de 1982 à 1997.....                  | 66  |
| 4.13 Tabela de classificação mensal (1º).....                                    | 66  |
| 4.14 Tabela de classificação mensal (2º).....                                    | 67  |
| 4.15 Eliminação dos anos com temperaturas mensais extremas.....                  | 67  |
| 4.16 Taxa médias de crescimento anual.....                                       | 72  |
| 4.17 Estratégias bioclimáticas (%).....  | 74  |
| 4.18 Percentual de desconforto por período do dia.....                           | 74  |
| 4.19 Características climáticas por intervalo de temperatura.....                | 77  |
| 4.20 Percentual mensal de vento ausente.....                                     | 86  |
| 4.21 FEVEREIRO.....  | 88  |
| 4.22 MARÇO.....  | 88  |
| 4.23 ABRIL.....  | 88  |
| 4.24 MAIO.....   | 88  |
| 4.25 JUNHO.....  | 88  |
| 4.26 Percentuais de conforto no nível térreo.....                                | 109 |
| 4.27 Percentuais de conforto no primeiro pavimento.....                          | 110 |
| 4.28 Percentuais de conforto no primeiro pavimento.....                          | 110 |

**RESUMO**

A cidade de Brasília, situada no Planalto Central do Brasil, é caracterizada pelo clima Tropical de Altitude, de acordo com a classificação de Köppen, onde são identificadas duas estações nitidamente distintas: quente e úmida (outubro a abril) e seca (maio a setembro).

Identifica-se, em Brasília, uma dificuldade na incorporação dos princípios bioclimáticos desde as etapas iniciais de projeto e um dos obstáculos é a carência de dados climáticos atualizados voltados para o projeto bioclimático. Dessa forma, foi realizada a caracterização do clima da cidade, com base em dados atualizados de um período de dezesseis anos, e a análise bioclimática dos dados obtidos, como forma de oferecer subsídios à concepção arquitetônica, acrescentando a seus objetivos a busca pelo conforto térmico e melhor desempenho energético das edificações. Através da análise bioclimática foram identificadas as estratégias bioclimáticas mais adequadas às solicitações do clima, para edificações em Brasília. Podemos citar a ventilação, a inércia térmica, o resfriamento evaporativo e a redução dos ganhos de calor através do sombreamento e da reflexão, para a situação de calor, e a inércia térmica com aquecimento solar passivo, para a situação de frio.

Procurou-se avaliar o potencial de algumas das estratégias bioclimáticas identificadas, para edifícios de escritório, buscando alternativas que contribuíssem de forma efetiva para o conforto térmico dos usuários e que tornassem possível a aplicação de sistemas passivos e mais econômicos de climatização. Dessa forma, realizou-se a avaliação do edifício da Câmara Legislativa do Distrito Federal, entre fevereiro e junho de 2001, que demonstra, na proposta arquitetônica empregada, clara intenção de adaptação ao clima local. A arquitetura do edifício promove a circulação e renovação do ar interno através de divisórias duplas, com entrada de ar pelo piso e saída pela área central da cobertura. Além de utilizar “cortinas” de vegetação nas fachadas e pátio interno, e grandes beirais para proteção da fachada contra radiação solar direta.

Foram implementadas no edifício as estratégias de resfriamento evaporativo por microaspersão, o isolamento térmico da cobertura, o uso de cor branca na cobertura e a alteração do sistema de renovação do ar. Para verificação do potencial destas estratégias na manutenção do conforto térmico no edifício foi feita uma análise comparativa de dados de temperatura e umidade medidos entre salas sujeitas a diferentes sistemas e situações. Através da análise comparativa entre salas modificadas e não modificadas foi possível verificar a eficiência das soluções empregadas na proposta arquitetônica do prédio e a melhor resposta obtida com os sistemas de resfriamento evaporativo e de isolamento térmico, para a minimização do desconforto por calor.

Essas constatações demonstram que, para o clima de Brasília, mesmo em edifício com ganhos internos relativamente elevados, é possível garantir baixos percentuais de desconforto através de um projeto adequado e do uso de sistemas passivos de baixo consumo.

**ABSTRACT**

Brasilia is located in the center of Brazil. Its climate is classified as Tropical upland (Köppen classification) and it is characterized by two defined seasons: hot and humid (October to April) and dry (May to September).

There are many problems to incorporate bioclimatic issues to building design in Brasilia. One of these problems is the lack of appropriate and recent climate data. So, the first step of this research is a detailed Brasilia's climate characterization to building design. This feature was done with a recent climate data of a sixteen years period and include a bioclimatic analysis .

The more appropriate bioclimatic strategies identified to hot conditions in this analysis were the ventilation, the thermal inertia and the evaporative cooling. The thermal inertia with solar gains was the more indicated strategy to cold conditions.

In this context, the other step of this research was the experimental evaluation of passive cooling strategies indicated to Brasilia in an office building. Measurements of dry bulb temperature and relative humidity data were carried out in the Federal District Legislative Chamber building in February to June of 2001. The building characteristics demonstrate clear concern to the local climate. The architectural design promotes the circulation and renewal of internal air. The building also presents a "curtain" of vegetation on the facades and an extended overhang to protect the facades from direct radiation.

The passive strategies applied at the building were a direct evaporative cooling system, the roof thermal insulation, the white color sheet and the renewal of air openings modification. The internal climate data were compared to verify the potential of these strategies. This comparison between no modified rooms and modified rooms showed that the building design is appropriate to thermal comfort conditions. The evaporative cooling system and the roof thermal insulation with white color showed the best results to reduce hot discomfort at the building.

This results show that it is possible to achieve favorable internal conditions through passive systems with less energy consumption in Brasilia climate, even in a building with high internal gains.

# CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

## **CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO**

### **1.1 CLIMA, ARQUITETURA E CONSUMO ENERGÉTICO - A SITUAÇÃO EM BRASÍLIA.**

A cidade de Brasília apresenta características bastante peculiares advindas do fato de ser uma cidade totalmente planejada inclusive no que diz respeito a sua localização.

A idéia da mudança da Capital brasileira para o interior remonta ao período colonial. Uma das motivações era a segurança, já que a posição do Rio de Janeiro, como porto, tornava-a muito vulnerável a uma invasão marítima. Além desta razão havia também a necessidade de promover o desenvolvimento para o interior do país. Em maio de 1892, foi efetivada a escolha da área destinada a futura capital, e para isso foi constituída uma comissão com a finalidade de demarcar os 14.400 km<sup>2</sup> estabelecidos na Constituição de 1891. Denominada "Comissão Exploradora do Planalto Central do Brasil", sua chefia foi confiada a Luiz Cruls, diretor do Observatório Astronômico do Rio de Janeiro, (COMISSÃO LUIS CRULS, 1998). Posteriormente em 1954 uma nova comissão ficou responsável por delimitar o local exato do local de construção da cidade dentro da área já delimitada, (ROMERO, 2000).

Uma das particularidades na escolha do local, para a qual se chama a atenção, foi a consideração das condições climáticas locais como critério de seleção. Em trecho do relatório elaborado pela missão Cruls relata-se "nutrimos, pois a convicção de que a zona demarcada apresenta a maior soma de condições favoráveis possíveis de se realizar, e próprias para nela edificar-se uma grande Capital, que gozará de um clima temperado e sadio, abastecida com águas potáveis abundantes,..." "... região situada no triângulo formado pelas três lagoas - Formosa, Feia e Mestra d'Armas, com chapadões elevados a mais de 1.000 metros, como nesta paragem requer, para a melhoria do clima a menor latitude, favorecidos com algumas serras mais altas da banda do norte, que não só os protegem de alguns ventos menos frescos deste lado, como lhes fornecerão, mediante a conveniente despesa, os necessários mananciais".(COMISSÃO LUIS CRULS, 1998).

As condições climáticas favoráveis observadas pela missão Cruls vêm-se confirmadas em trabalho apresentado por GOULART et al (1997), no qual verifica-se que a cidade de Brasília apresenta o maior percentual de horas de conforto em relação a outras 13 cidades estudadas de diferentes regiões brasileiras.

Quanto à questão urbanística e arquitetônica não se percebe que houve a mesma preocupação em relação às condições climáticas.

Nota-se a predominância de critérios estéticos formais sobre os aspectos funcionais e bioclimáticos na concepção desta cidade modernista, construída como forma de dar confiança e representatividade ao desenvolvimento do país no governo de Juscelino Kubitschek. No relatório do Plano Piloto, COSTA (1995) argumenta que é necessário "conferir ao conjunto projetado o desejável caráter monumental". Como consequência desta busca pela monumentalidade os edifícios comerciais e públicos, como os localizados no Eixo monumental, apresentam um resultado bastante plástico e escultural, mas descompromissado com as especificidades do clima local. Um dos indicativos desta inadequação, além da predominância da fachada de vidro, é a orientação desfavorável, leste-oeste, da maioria dos edifícios ao longo deste eixo.

Porém, no setor residencial do Plano Piloto a solução urbanística proposta por Lúcio Costa das chamadas superquadras demonstra um resultado bastante satisfatório do ponto de vista bioclimático. "A

continuidade da trama urbana é assegurada pela cuidada vegetação dentro das superquadras, transformando os edifícios em ilhas na vegetação“, (ROMERO, 1999).

Ao longo dos anos, a linguagem das novas edificações construídas em Brasília foi sendo modificada com a apropriação de novas tendências. Porém, ainda observa-se, na maioria dos casos, a continuidade da cultura do desperdício energético. Soluções padronizadas, resultado de um processo de globalização, provocam a proliferação das “torres de vidro” no cenário mundial como ícones da era moderna. O Brasil não é uma exceção e o processo de cópia de paradigmas internacionais vem se mantendo independente das realidades culturais e climáticas locais.

Hoje em Brasília, a “torre de vidro” vem se tornando parte integrante da paisagem de setores inteiros de Brasília, como o Setor Comercial Norte (figura 1.1), ou os novos tribunais do Eixo Monumental. A ampla utilização de superfícies de vidro em uma cidade como Brasília, cujo céu claro característico dos períodos seco e de inverno caracteriza uma elevada radiação solar sobre as superfícies pode ser totalmente inadequado do ponto de vista energético e do conforto térmico. A transmissão da radiação solar provoca o efeito estufa, o que aumenta a necessidade do emprego de sistemas de resfriamento artificial de elevado consumo. Além disso, a utilização de envelopes completamente vedados obriga o uso integral do ar condicionado, gerando não só gastos energéticos exagerados, como ambientes insalubres.



**FIGURA 1.1-** Setor comercial norte.

As instalações de ar condicionado são uma das grandes responsáveis pelo consumo de energia elétrica em edifícios. Segundo a ELETROBRÁS (1999), “o condicionamento ambiental de edificações (refrigeração, aquecimento, iluminação de ambientes) participa com 3% no consumo de energia elétrica global do país, mas somente os aparelhos de ar condicionado representam 20% do consumo comercial”. O condicionamento artificial em edifícios nos últimos anos passou a ser o uso final mais representativo no consumo de energia elétrica devido ao aumento das exigências de conforto dos usuários e a ineficiência dos edifícios.

De 1988 a 1992 houve um aumento da participação da energia elétrica no consumo total de energia. No setor comercial o consumo cresceu de 70,1%, em 1988, para 89,7%, em 1993, segundo dados do BEN (1999). O setor comercial é um segmento de grande potencial no combate ao desperdício energético. Em 1988, de acordo o Programa Nacional de Conservação de energia elétrica - PROCEL (1999), o setor comercial respondia à 14% do consumo total de energia elétrica do país, dos quais 4%

são relativos aos prédios públicos. Segundo os cenários de demanda e investimentos em energia para o ano 2000 no estado de São Paulo, da parcela de consumo relativa ao setor comercial, 26% vêm dos grandes edifícios, 21% de edifícios de escritório e 17 % depósitos. O consumo, relativo aos edifícios de escritório e grandes estabelecimentos, está relacionado quase que exclusivamente com os aspectos de arquitetura, pois os usos finais mais relevantes (iluminação=50% e ar condicionado=34% do consumo total de eletricidade) estão diretamente relacionados ao tipo de arquitetura e ocupação dos espaços.

Em relação aos usos finais neste setor, segundo dados resultantes de avaliação de desempenho térmico realizada por ROMÉRO (1998), observou-se que houve uma inversão nos últimos anos nos percentuais de consumo por uso final em edifícios comerciais, onde o condicionamento de ar passa a ser o uso final mais representativo. Uma das razões estaria no fato de que há 15 ou 20 anos atrás a iluminação artificial utilizava sistemas muito mais ineficientes e o condicionamento ambiental não era utilizado com a freqüência com que é utilizado hoje.

Em avaliação pós-ocupacional de edifício de 28 andares, em Belo Horizonte, RHEINGANTZ (1995) observa que a constituição do edifício, todo em concreto e vidro, amplia as oscilações de temperatura interna pelos ganhos solares através das superfícies envidraçadas e das persianas metálicas de cor preta, obrigando o superdimensionamento do sistema de refrigeração.

Para diminuição do consumo energético, a adequação do padrão arquitetônico é o item que exige menores investimentos, e proporciona uma das maiores economias de energia. Segundo o BEN - Balanço Energético Nacional de 1990, para a adequação arquitetônica o investimento exigido é de apenas 5% do total e proporciona uma das maiores economias de energia (23%). O rendimento é de 3 a 9 vezes superior ao dos outros investimentos, como a redução do desperdício, sistemas de controle e melhoria do rendimento de iluminação e ar condicionado.

Para uma modificação deste cenário de consumo energético exagerado provocado por uma arquitetura totalmente desvinculada da bioclimatologia é preciso primeiramente entender melhor o clima e suas variáveis influentes sobre o conforto humano e comportamento térmico das edificações. Em Brasília, FERREIRA (1965) realiza estudo pioneiro de caracterização do clima visando o projeto de arquitetura. Este trabalho é utilizado com fonte de informação em grande parte das pesquisas na área da bioclimatologia em Brasília. Porém, devido ao processo de urbanização da cidade e a conseqüente modificação da paisagem natural exercendo influência sobre o clima, observa-se a necessidade de uma nova caracterização do clima a partir de uma base de dados atualizada. Tornando-a acessível não só aos pesquisadores da área como para os profissionais de projeto.

Os processos de interação do clima com a edificação podem ser explorados pelo projetista, através de estratégias bioclimáticas, proporcionando melhores condições de conforto térmico nos ambientes e menores gastos energéticos. Aplicando corretamente estratégias passivas para o clima de Brasília, como ventilação, massa térmica ou resfriamento evaporativo, segundo GOULART et al (1997), é possível, em determinados casos, substituir o uso do ar condicionado. Nos setores comerciais e públicos a utilização de sistemas naturais de condicionamento é uma alternativa para a economia de energia. Como a geração interna de calor nos edifícios deste setor é geralmente muito grande (pessoas, iluminação, equipamentos), provavelmente o aproveitamento dos recursos naturais pode não atender integralmente às necessidades de conforto. Mas a adequação do projeto ao clima, balanceando os recursos naturais e os sistemas artificiais, minimiza a dependência exclusiva destes últimos.

Existem vários trabalhos de avaliação de edifícios tendo em vista a aplicação de sistemas naturais de climatização em concordância com sistemas artificiais otimizados. Em muitos deles fica explícita a importância do emprego de estratégias e tecnologias passivas no projeto arquitetônico, desde sua concepção, para a diminuição do consumo de energia. Porém, a maioria dos estudos existentes na área está voltada para edifícios condicionados. Além disso, as pesquisas têm-se baseado principalmente em resultados de simulação computacional. O estudo experimental da performance térmica de diferentes estratégias bioclimáticas é extremamente importante para indicar e validar alternativas ao crescimento do consumo de energia em edifícios comerciais.

Dessa forma, para avaliação da adequação de soluções arquitetônicas e sistemas passivos de climatização em edifícios na cidade de Brasília, optou-se por uma avaliação experimental de edifício não condicionado com características apropriadas ao clima Tropical de Altitude e que demonstra potencial para implementação de outros sistemas passivos.

Apesar das tipologias arquitetônicas dos edifícios construídos atualmente em Brasília não apresentarem relação com as características climáticas em sua maioria, é possível citar bons exemplos de arquitetura adaptada ao clima. Entre eles, os edifícios da Clínica Daher no Lago Sul, do Edifício da Emater - DF, do Restaurante Universitário ou do projeto inicial da Reitoria da Universidade de Brasília, apresentados nas figuras 1.2 a 1.5.



**FIGURA 1.2** Clínica Daher



**FIGURA 1.3-** EMATER-DF



**FIGURA 1.4** Restaurante universitário- UnB



**FIGURA 1.5-** Reitoria UnB.

Foi selecionado como objeto de estudo o edifício da Câmara Legislativa do Distrito Federal de autoria dos arquitetos Mário Willian Del Sarto e Gilson M. Carias. Este edifício, um dos poucos não condicionados, apresenta características arquitetônicas que vão ao encontro das estratégias indicadas pelas cartas bioclimáticas mais apropriadas à região, como a carta de GIVONI (1992). Além disso este foi um dos poucos edifícios não condicionados em que não houve obstáculos burocráticos à implementação do presente estudo.

## 1.2 OBJETIVOS

- Caracterização detalhada e precisa do clima local voltada para projeto, incluindo a determinação do ano climático de referência e avaliação bioclimática. Permitindo a utilização de dados climáticos atualizados na aplicação de métodos de avaliação de desempenho térmico e na determinação de estratégias de projeto apropriadas na concepção arquitetônica.

- Estudo de caso em edifício de escritórios não condicionado no sentido de verificar o potencial das estratégias de projeto mais adequadas ao clima de Brasília em situação real de uso. Através dessa avaliação pretende-se oferecer alternativas para adoção de sistemas passivos ou de baixo consumo para climatização do ar, contribuindo para diminuição do emprego do sistema de ar condicionado em edifícios públicos e comerciais.

### 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho, no esforço de auxiliar o profissional de projeto visando uma maior integração do edifício com o meio externo, consistem em dois procedimentos principais. O primeiro é uma caracterização do clima de Brasília a partir de base de dados atualizada, como ferramenta de auxílio no projeto bioclimático. E o segundo é a avaliação da adequação de soluções arquitetônicas e sistemas passivos de climatização indicados para edificações no clima Tropical de altitude através de estudo de caso em edifício não condicionado.

Após uma **introdução** expondo a realidade da arquitetura de Brasília frente ao cenário de crise energética brasileira faz-se um resumo dos objetivos principais da pesquisa. No **segundo capítulo** coloca-se a importância do projeto bioclimático para o conforto térmico e minimização do consumo energético em edificações e os mecanismos necessários para a concretização de um projeto que ofereça tais condições. Portanto, segue-se a definição dos elementos e fatores climáticos decisivos na caracterização do clima e das variáveis e elementos do clima influentes no conforto térmico humano e no desempenho térmico da edificação. Procede-se também a avaliação das cartas bioclimáticas e métodos mais apropriados à realidade brasileira e ao clima tropical de altitude, como forma de melhor identificar as estratégias bioclimáticas mais adequadas. O capítulo encerra-se com a exposição das principais estratégias bioclimáticas indicadas para o clima tropical de altitude.

O capítulo seguinte (**terceiro capítulo**) trata da metodologia adotada tanto para o tratamento dos dados climáticos obtidos para a caracterização do clima quanto para o estudo de caso no edifício da Câmara legislativa do Distrito Federal.

No **quarto capítulo** apresentam-se os resultados e discussão relativa à caracterização do clima e os resultados do desempenho das soluções arquitetônicas do edifício e sistemas implementados em relação aos dados de temperatura do ar e umidade relativa medidos.

O **quinto** e último **capítulo** trata das conclusões, destacando sua contribuição e possíveis questões conflitantes. E ainda recomendações para trabalhos futuros, chamando atenção para a necessidade da pesquisa em arquitetura bioclimática voltada para a região de Brasília.

# CAPÍTULO 2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## **CAPÍTULO 2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1- A IMPORTÂNCIA DO PROJETO BIOCLIMÁTICO.**

Durante algum tempo a evolução da tecnologia, com novos sistemas artificiais de iluminação e condicionamento de ar, e a disponibilidade de energia barata, permitiu ao arquiteto que ignorasse as características climáticas de cada região. A crise de energia da década de setenta e o abrupto impacto ambiental que o homem vem causando à natureza ao longo dos anos trouxeram a necessidade de uma mudança de atitude por parte dos profissionais de projeto. Foi na década de setenta que surgiu pela primeira vez o termo “projeto bioclimático” abordado pelos irmãos OLGAY (1973), que estendem a aplicação da climatologia aplicada à arquitetura às condições de conforto térmico humano. Porém, ainda existe um longo caminho a percorrer até que os princípios bioclimáticos sejam totalmente aceitos e incorporados ao projeto.

A incorporação desses princípios de uma forma compreensível e completa é expressa por uma arquitetura que, segundo TOMBAZIS (1995), é sensível ao local, a sustentabilidade, ao clima, às lições da simplicidade e beleza aprendidas com as lições do senso comum do vernacular, e às necessidades e aspirações dos seres humanos.

É hora do arquiteto ampliar seus horizontes, “...permitindo que as especificidades de cada local aflorem como condicionantes a serem respeitados em uma linguagem arquitetônica adequada, e enriquecendo a arquitetura brasileira com tipologias diferenciadas e próprias” (LAMBERTS et al, 1997).

A incorporação dos princípios bioclimáticos ao processo de projeto desde sua concepção permite a implantação de sistemas passivos, procurando exaurir todas as possibilidades que esses sistemas oferecem. Os sistemas passivos de resfriamento, segundo GIVONI (1994), consistem em técnicas simples para a diminuição da temperatura interna através do uso de fontes de energia naturais.

Em avaliação, baseada em simulações no programa ESP-r, de 4 edifícios climatizados em São Paulo, ROMÉRO (1998) demonstra a grande possibilidade de até 12,1% de conservação de energia na etapa de projeto entre os edifícios pesquisados. Segundo a ELETROBRÁS (1999), “com a implantação de medidas para redução do consumo de energia em prédios já existentes (retrofit), o consumo pode ser reduzido em aproximadamente 30%. Em prédios já projetados dentro do conceito de eficiência energética, a economia pode chegar a 50%”. A redução do consumo se dá principalmente pela minimização do consumo de energia para condicionamento de ar, uma vez que, um projeto arquitetônico adequado pode, segundo GIVONI (1994), minimizar a elevação da temperatura média total de temperatura diurna pelos ganhos solares diretos ou indiretos.

Dessa maneira a arquitetura deve assumir o papel que sempre teve, que é o de minimizar os efeitos climáticos e não de intensificá-los e agravá-los, como vem acontecendo em tão larga escala na arquitetura contemporânea.

Entendendo melhor o clima da região é possível evitar, ou pelo menos minimizar aspectos ambientais indesejáveis, como ventos fortes, altas temperaturas, poluição do ar e outros. Para tanto, é necessária a compreensão das variáveis que compõem o clima e do grau de influência de cada uma delas sobre o ambiente construído.

## 2. 2- PRIMEIRA CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA DE BRASÍLIA

Na climatologia interessa-se particularmente pelas aplicações práticas dos dados climáticos, utilizando os mesmos dados básicos da meteorologia, mas com intenção de descobrir, explicar e explorar o comportamento normal dos fenômenos atmosféricos, visando beneficiar o homem. Segundo VIANELLO e ALVES (1991), denomina-se bioclimatologia quando se refere à relação destes elementos climáticos com os seres vivos, por isso está subdividida em bioclimatologia humana, animal e vegetal.

Segundo GRISOLET, H. et al (1962) apud FERREIRA (1965) “o clima é o conjunto de elementos que, em sua sucessão habitual, no curso de um período determinado, caracterizam a atmosfera e concorrem para dar a cada ponto da terra sua individualidade”.

Do ponto de vista meteorológico e geográfico, o clima é definido pela combinação de uma série de elementos climáticos, tais como, temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitações, ventos e radiação solar incidente. Estes variam sob a ação de fatores regionais como latitude, altitude, relevo, vegetação, massas de ar, entre outros.

A temperatura do ar, por exemplo, é mais elevada quando mais próximo o local da linha do equador (latitude 0°) e apresentará maiores variações quanto mais distante do oceano. A altitude também exerce influência sobre as amplitudes térmicas, pois com o aumento da altitude, o ar se torna mais rarefeito, com menor capacidade de absorção da radiação solar.

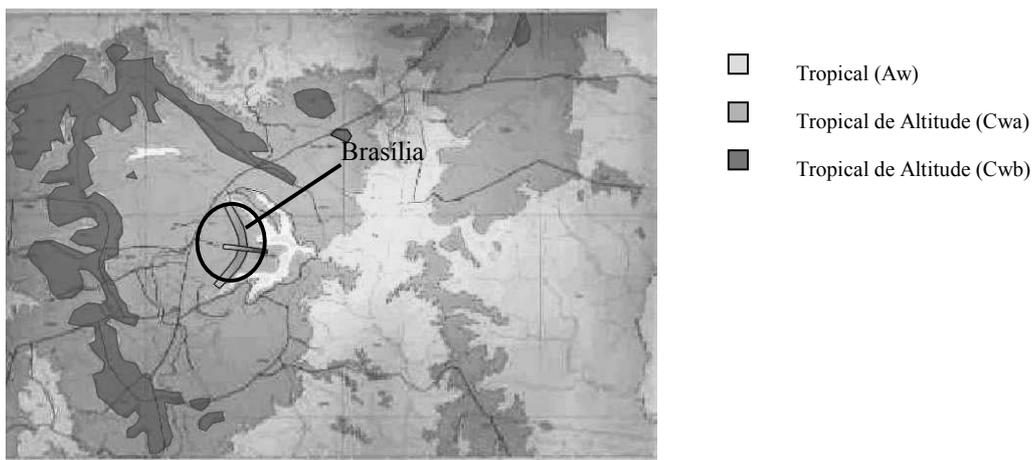
Dessa forma, é possível perceber que, como cada região apresenta características diferenciadas em relação a esses fatores de acordo com sua localização geográfica, acontecerão também diferentes manifestações e combinações dos elementos climáticos. Por isso uma classificação mais precisa dos tipos de clima torna-se muito complexa. Na análise bioclimática de uma região, tendo em vista o conforto humano no ambiente construído, geralmente aceita-se uma classificação mais geral da distribuição dos climas, que procure distinguir unicamente os tipos mais representativos como as classificações de Koppen (aceita universalmente) e Thornthwaite. De acordo com KOENIGSBERGER et al (1980), como os parâmetros para o clima local são os mesmos para uma região, é possível iniciar a caracterização do clima com um resumo dos dados regionais e subsequente examinar quais parâmetros serão afetados por fatores locais específicos e qual costuma ser a extensão mais comum desses desvios.

De acordo com grande parte das classificações tradicionais identificam-se dentro da faixa tropical (entre os trópicos de câncer e capricórnio) três tipos climáticos básicos principais, o quente seco, o quente e úmido e o composto ou de monções. FERREIRA (1965) e KOENIGSBERGER (1980) citam a classificação de ATKINSON (1953) cujas três zonas climáticas principais estão subdivididas ainda em três subgrupos. Dessa forma, o clima quente e seco apresenta o subgrupo quente e seco marítimo de deserto, no clima quente úmido identifica-se o subgrupo quente úmido de ilha e no clima composto, o subgrupo tropical de altitude.

Segundo FERREIRA (1965) e a Companhia de Desenvolvimento e Planejamento do Distrito Federal - CODEPLAN (1984), o clima de Brasília pode ser classificado como Tropical de Altitude. Como é possível observar nos climas compostos, verificam-se condições muito semelhantes ao clima tropical úmido, durante o período de chuvas, e semelhantes ao clima tropical seco no período de seca, embora não demonstrem a consistência e os extremos que lhes são característicos. Observa-se ainda uma terceira estação dentro do período seco, com dias ensolarados, de baixa umidade relativa, e noites frias desconfortáveis, à qual se refere como fria e seca.

O Distrito Federal está localizado na região Centro-Oeste do Brasil, ocupando o centro-leste de Goiás. A cidade de Brasília está localizada na parte centro oeste do Distrito Federal situada aproximadamente à 16° de latitude sul, apresentando altitude média de 1100 metros. A cidade está situada em um sítio convexo e de acordo com a CODEPLAN (1984) “este sítio caracteriza-se por estar aberto a toda influência dos ventos predominantes, e durante os períodos de calmaria, tem uma topografia ideal para promover a drenagem do ar através do sítio da cidade. O ar se move desde o Planalto alto e seco através da cidade e drena-se dentro do vale arborizado do rio São Bartolomeu. A área do sítio é bem drenada, condição esta que reduzirá a umidade a um mínimo”.

Assim como declara NIMER (1979), o relatório da CODEPLAN (1984) ressalta que como as variações locais da precipitação não são relevantes, as variações de temperatura constituem o caráter predominante do regime térmico. Por isso a diferença entre as condições de primavera (estação mais quente) e inverno (estação mais fria) é verificada pelas diferenças entre as máximas e as mínimas diárias. Dessa forma, na classificação climática do Distrito Federal, realizada pela CODEPLAN (1984), apresentada na figura 2.1, distinguem-se ainda duas variedades de clima levando em conta o maior ou menor grau de temperatura. Considera-se que, uma vez que não há variação significativa decorrente da continentalidade, nem da latitude, a variação da temperatura está relacionada apenas às variações altimétricas locais.



**FIGURA 2.1-** mapa climático do DF, segundo classificação da CODEPLAN baseada na classificação de Köppen. Atlas do Distrito Federal- 1984

Os três tipos climáticos observados foram diferenciados quanto ao regime de umidade, existência ou inexistência da seca e regime e duração dos períodos secos. Nas bacias hidrográficas dos rios São Bartolomeu, Preto, Descoberto/Corumbá, São Marcos e Maranhão, com cotas altimétricas abaixo de 100m é identificado o clima Tropical, com temperatura média para o mês mais frio superior a 18°C. O clima tropical de altitude, da área que compreende o pediplano de Brasília, entre 1000 e 1200 metros de altitude, apresenta temperatura média, para o mês mais frio, inferior a 18°C, com média superior a 22° no mês mais quente. Acima de 1200 metros, na região do pediplano de Contagem e Rodeador, também é caracterizado o clima tropical de altitude, porém com temperatura média, para o mês mais frio, inferior a 18°C, com média inferior a 22° no mês mais quente.

Para o entendimento detalhado da influência do clima sobre as edificações e a escolha correta das estratégias bioclimáticas a serem utilizadas leva-se em conta a ação de seus elementos e fatores sobre os edifícios a partir dos dados disponíveis. Para a edificação, de acordo com FROTA e SCHIFFER (1988), os elementos climáticos mais significativos são os relativos às variações diárias e anuais, da

temperatura do ar e os índices médios de umidade relativa e precipitações atmosféricas e, quando disponível, a quantidade de radiação solar.

Segundo NIMER (1979), na região do Distrito Federal, raramente ocorrem temperaturas negativas. Em compensação, a elevada altitude impede temperaturas muito altas mesmo no verão.

De acordo com a CODEPLAN (1984) e os dados das Normais Climatológicas de 1960-1990, Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (1992), o período mais chuvoso corresponde aos meses de novembro a janeiro, e o período seco ocorre no inverno, especialmente nos meses de junho a agosto. Na região oriental de Goiás, da qual o DF faz parte, mais de 70% do total de chuvas acontece de novembro a março. O inverno é extremamente seco, as chuvas são raras e em pelo menos um mês não há registro de nenhum dia de chuva. O período seco dura de 4 a 5 meses. Não somente o trimestre de inverno (junho, julho e agosto) é seco, mas também o mês que o antecede (maio) e o que o sucede (setembro). Segundo dados do INMET (1992) observa-se que o regime pluviométrico anual é de 1552 mm e dezembro é o mês mais chuvoso com cerca de 248mm.

De acordo com COELHO (1995), existem algumas massas de ar que influenciam o clima da região. No verão, sofre influência da massa equatorial continental. No inverno, acontece o encontro da Massa Tropical Atlântica com a massa Polar Atlântica. Segundo NIMER (1979) podem ocorrer mudanças bruscas de temperatura durante o inverno quando, sob a ação do anticiclone polar, as temperaturas mínimas descem a níveis muito baixos. As modificações provocadas pelas massas de ar são as responsáveis pela existência e distinção dos períodos quente e úmido e seco. Segundo FERREIRA (1965), o período quente e úmido, de outubro a abril, apresenta uma temperatura média de mais de 22°C, e o período seco, de maio a setembro, apresenta temperatura média de cerca de 19°C, que aumenta ao longo do período e chega a setembro com média de 23°C e média das máximas de 34°C. A temperatura média para o mês mais frio é superior aos dados apresentados pela CODEPLAN (1984).

O vento predominante é o vento Leste durante quase todo o ano, de acordo com FERREIRA (1965) e GOULART et al (1997), e a velocidade média é baixa, entre 2 e 3 m/s predominantemente. A insolação anual é de cerca de 2370 horas de acordo com os dados do INMET (1992).

O conhecimento e avaliação destas variáveis climáticas, de acordo com as condições desejáveis de conforto, são importantes ferramentas no processo de projeto de uma edificação. Dessa forma, é possível evitar desde o início do projeto possíveis problemas ocasionados pela desconsideração das condições climáticas.

Entretanto, segundo BITAN (1988), na maioria dos casos a informação climatológica é escassa e não processada para os propósitos do planejamento climático e a extensão das medições da estação não responde às necessidades da climatologia aplicada. Sendo necessário um tratamento adequado dos dados disponibilizados pelas estações.

FERREIRA (1965) foi uma das primeiras pesquisadoras a realizar uma caracterização do clima de Brasília voltada para o projeto bioclimático, a partir do tratamento dos dados meteorológicos disponíveis. Este trabalho é utilizado até os dias atuais como referência para várias pesquisas na área da bioclimatologia em Brasília, como AMORIM (1998), ROMERO (1988, 1999, 2000), PINHEIRO (1999), entre outros. Este trabalho de FERREIRA (1965), além de oferecer informações gerais sobre o clima e a possibilidade de verificar em detalhe a distribuição dos dados climáticos ao longo do ano, também sugere estratégias de projeto para o melhor aproveitamento das características climáticas locais.

Porém os dados de FERREIRA (1965) de ventos, insolação e precipitações são retirados do Atlas climatológico de SERRA (1955), que oferece apenas valores aproximados e referentes à período anterior à fundação da cidade de Brasília. Além disso, os dados meteorológicos restantes (temperatura do ar e umidade relativa do ar) são referentes ao período inicial de urbanização da cidade (1961-1965), podendo, portanto, não retratar de maneira atualizada o clima da região. Com o crescimento urbano e a conseqüente alteração da superfície (através da pavimentação e área construída) pode haver alteração do clima urbano. Segundo KOENIGSBERGER et al (1980), a temperatura do ar em uma cidade pode ser 8°C maior que no entorno e a umidade relativa pode ser reduzida em 5 a 10% devido às áreas pavimentadas que eliminam a água rapidamente, a ausência de vegetação e as altas temperaturas.

Dessa forma, ocorre à mesma situação com os dados de NIMER (1979) para a região centro-oeste que são referentes a período anterior a 1979, assim como a CODEPLAN (1984) que se baseia em valores médios fornecidos pelo INMET abrangendo o período de 1963 à 1980.

Mais recentemente GOULART et al (1997) reuniram dados climáticos para projeto para diversas cidades brasileiras, incluindo Brasília. Este trabalho apresenta dados formatados para projeto e p/ avaliação de desempenho energético em edificações como dados de dia-típico para projeto, de temperatura de projeto, ano climático de referência, graus dia e graus hora, entre outros. Definindo-se um ano climático de referência este tipo de avaliação torna-se mais prático e possibilita a avaliação de dados horários. Segundo STAMPER (1977), o ano climático de referência, test reference year-TRY é utilizado como base para verificação do comportamento climático para um determinado local ao longo do ano. Os dados utilizados por GOULART et al (1997), porém, são retirados do período de 1961- 1970, período no qual a cidade possuía menos da metade de sua população e ocupação urbana atual.

Em trabalho realizado por RIBEIRO (2000) foi utilizado um período mais recente de dados climáticos, de 1989 à 1999, voltado para a identificação de possíveis alterações climáticas decorrentes do processo de urbanização da cidade de Brasília, não havendo o tratamento dos dados no intuito de disponibilizá-los para projeto. Este trabalho analisa dados de temperatura e umidade e evidencia um possível aquecimento ao longo do período estudado, com uma elevação da temperatura principalmente na temperatura média das máximas. Porém, para afirmar a ocorrência desta elevação, seria necessária uma comparação dos seus resultados com períodos anteriores, uma vez que, as alterações percebidas dentro de um período de pouco mais de dez anos podem estar somente acompanhando um ciclo de variação climática. Vale salientar que apesar destas observações, este trabalho indica claramente, através das medições realizadas em vários pontos da cidade, a elevação nas temperaturas nas áreas mais pavimentadas e densamente povoadas.

As Normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET são os dados climáticos mais difundidos no Brasil e trabalham com períodos de 30 anos de observação meteorológica. Os dados das Normais climatológicas existentes para Brasília (1960-1990), apesar de serem relativos a um período maior de dados, abrangendo a década de 80, restringe-se a valores médios, o que os tornam limitados por não representarem a variabilidade meteorológica diária e sua distribuição anual. Além disso, não apresentam dados de ventos e amplitudes térmicas, duas importantes variáveis para a definição de estratégias de controle na edificação.

Para uma caracterização mais detalhada e precisa do clima local é necessário conhecer a distribuição ao longo do ano dos dados climáticos relevantes para a edificação, a temperatura, a umidade, a insolação, direção e velocidade dos ventos e precipitações. Através do conhecimento

detalhado destas variáveis ao longo do ano torna-se possível prever percentuais para as estratégias bioclimáticas mais adequadas aquela situação climática. Dessa forma, é possível trabalhar os dados climáticos para a cidade de Brasília e juntamente com a utilização de meios gráficos que sintetizem o resultado das observações, caracterizar o clima voltado para o projeto bioclimático.

Além disso, o tratamento de um período mais recente de dados daria condições a uma análise comparativa e uma caracterização do clima da região considerando toda a evolução climática em relação à evolução urbana da cidade. Em trabalho realizado por GOULART (1993) foi possível uma avaliação da evolução climática local através da comparação dos dados das Normais Climatológicas registradas pelo INMET (período 1931-1960 e 1961-1990) em Florianópolis com as mesmas variáveis calculadas a partir do período disponível de 1961 a 1970.

### **2.3- MÉTODOS DE AVALIAÇÃO BIOCLIMÁTICA MAIS ADEQUADOS PARA BRASÍLIA.**

O tratamento de dados climáticos atualizados voltados para o propósito de projeto é fundamental para a identificação de estratégias bioclimáticas adequadas às características climáticas da cidade de Brasília. Através da escolha e utilização correta destas estratégias é possível proporcionar melhores condições de conforto e minimizar gastos energéticos.

Para a análise de dados climáticos objetivando formular diretrizes de projeto bioclimático segundo GIVONI (1992), geralmente são utilizados modelos anuais dos principais fatores climáticos que afetam o conforto humano e a performance térmica de edifícios. Além dos modelos gráficos mensais de temperatura, umidade, velocidade do ar, nebulosidade, etc, também são utilizadas cartas bioclimáticas.

O conforto térmico segundo definição da American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc.- ASHRAE (1992), “é a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”. Os principais fatores que afetam o conforto térmico são as variáveis humanas como, atividade desenvolvida pelo indivíduo, sua vestimenta, e as variáveis ambientais que proporcionam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente. As trocas térmicas garantem a regulação térmica do organismo humano, proporcionando o equilíbrio térmico.

As variáveis ambientais que influenciam a sensação de conforto são a temperatura do ar, a temperatura radiante média, a velocidade do ar e a pressão parcial do vapor d’água no ar ambiente. Esses mecanismos influem na evaporação que retira calor do corpo. Diferentes combinações dessas variáveis podem produzir a mesma sensação térmica. Segundo FERREIRA (1965), “um ambiente será confortável termicamente quando apresentar condições para que as trocas térmicas entre ele próprio e o meio se processem de tal forma a manter este último a uma temperatura normal às suas atividades”.

Na carta bioclimática, delimitam-se a zona de conforto e limites dentro dos quais algumas estratégias de projeto poderiam garantir conforto, além de apresentar informações a respeito do comportamento climático do entorno. A maioria das cartas bioclimáticas está relacionada a condições externas à edificação. “Para os períodos situados dentro da zona de conforto seria interessante procurar manter no interior da edificação condições semelhantes às indicadas em seu exterior. Assim a solução de projeto é conduzida para melhor aproveitamento das condições externas favoráveis”, (FERREIRA, 1965).

De acordo com FERREIRA (1965) e EVANS (2000) geralmente representa-se, sobre um mesmo diagrama, a variação anual simultânea de dois elementos distintos escolhidos pelo papel preponderante sobre o fenômeno estudado (tal como temperatura e umidade para fenômeno fisiológico). Além das

diferentes variáveis consideradas por cada método, os limites e zonas de conforto também variam de acordo com os índices de conforto térmico considerados.

Esses índices procuram englobar em um só parâmetro, o efeito conjunto das variáveis ambientais e humanas, determinando um valor no qual existe a mesma resposta térmica para diferentes combinações e proporções destas variáveis. Em geral, esses índices são desenvolvidos fixando um tipo de atividade e a vestimenta utilizada pelo indivíduo. A maioria das pesquisas na busca de um índice de conforto térmico se iniciou e foi motivada por organismos militares após a primeira guerra mundial na tentativa de identificar situações de estresse térmico vividas pelos soldados. VILLAS BOAS (1984) classifica estes índices em meteorológicos e fisiológicos. Os meteorológicos seriam expressos por elementos climáticos onde todas as variáveis do modelo são referentes às características destes elementos. Os índices fisiológicos integram ao modelo as respostas fisiológicas dos indivíduos submetidos a diferentes situações climáticas.

Embora os índices sejam uma ferramenta importante como forma de quantificar o comportamento humano em relação ao ambiente térmico, KOENIGSBERGER et al (1980) observam que nenhum índice pode ser substituto de informações detalhadas relacionando cada uma das variáveis climáticas.

Dessa forma, é preciso avaliar quais seriam os métodos de avaliação bioclimática mais adequados para à realidade climática da cidade de Brasília e nível de aclimatização de seus habitantes.

OLGYAY (1973) foi o primeiro a desenvolver um diagrama bioclimático, em 1963, chamado de Carta Bio-climática. Este método relaciona as variáveis de temperatura de bulbo seco e umidade relativa e sugere diretrizes para ventilação e uso da radiação para inverno. É aplicável somente para condições externas e em condições moderadas de ar, a 40° de latitude, com vestimenta comum em trabalho sedentário ou ligeiramente físico. O próprio autor sugere a adaptação da carta para regiões mais quentes ao desenvolver trabalho para a Universidade del Valle em Cali na Colômbia (OLGYAY, 1968) considerando a aclimatização dos habitantes desta região. São feitas indicações para a ampliação do gráfico a outras latitudes, mas não prevê alterações para diferentes altitudes. IZARD e GUYOT (1980) consideram que o método embora pioneiro, apresenta poucos recursos para a intervenção no edifício e está obsoleto tendo sido desenvolvido com técnicas ultrapassadas. O método de OLGAY baseia-se no índice de temperatura efetiva.

Em relatório realizado por GOULART et al (1994) foram verificados os limites das zonas de conforto elaboradas por diversos autores através da equação de FANGER (1970) que calcula a combinação das variáveis ambientais incluindo a temperatura média radiante, a velocidade do ar e a umidade relativa com o nível de atividades e vestimenta. O índice determinado através desta equação é chamado Voto médio estimado ou predicted mean vote – PMV, e foi incorporado desde 1984 pela norma internacional ISO 7730 (1994), para avaliação de conforto térmico do ambiente. Utiliza uma escala psicofísica baseada no balanço de calor do corpo humano com o ambiente.

Através dessa verificação, com o auxílio da equação de FANGER, identificou-se a metodologia bioclimática mais apropriada ao clima tropical e que melhor traduzisse as necessidades de controle do clima interno nas edificações neste tipo de clima.

Abaixo segue tabela 2.1, quadro resultante com a exposição dos limites de temperatura e umidade das zonas de conforto das metodologias estudadas pelo grupo:

**TABELA 2.1-** Principais limites, de conforto térmico, de temperatura e umidade.

Fonte: GOULART et al. Relatório interno- NPC-UFSC. 1994.

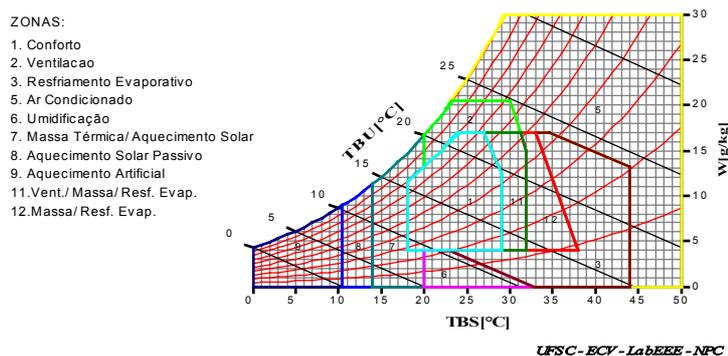
| Metodologia                          | OBS.                            | TEMPERATURA   |               | UMIDADE         |                |
|--------------------------------------|---------------------------------|---------------|---------------|-----------------|----------------|
|                                      |                                 | Limite mínimo | Limite máximo | Limite mínimo   | Limite máximo  |
| Olgay (EUA)                          | Verão                           | 21,1°C        | 27,7°C        | 30%             | 65%            |
|                                      | inverno                         | 20°C          | 24,4°C        |                 |                |
| Olgay (Trópicos)                     | Verão                           | 23,9°C        | 29,5°C        | 20%             | 80%            |
|                                      | inverno                         | 18,3°C        | 23,9°C        |                 |                |
| ASHRAE 55-74                         |                                 | >22°C TE      | <25,6°C TE    | >5mm Hg         | <14mm Hg       |
| ASHRAE 55-81                         | Verão                           | >23°C TE      | <27°C TE      | >4g/kg          | <12 g/kg       |
|                                      | inverno                         | >20°C TE      | <24°C TE      |                 |                |
| ASHRAE 55-92                         | Verão                           | >23°C TE      | <26°C TE      | >4,5 g/kg e 30% | <60%           |
|                                      | inverno                         | >20°C TE      | <23,5°C TE    |                 |                |
| Givoni original                      | Baixas umid.                    | >21°C         | <26°C         | >5mm Hg         | <17mm kg       |
|                                      | Altas umid.                     |               | <25°C         |                 |                |
| Givoni e Milne                       | Verão                           | >22,7°C       | <27°C         | >20%            | <80%           |
|                                      | inverno                         | >20°C         | <24°C         |                 |                |
| Gonzalez                             | Baixas umid.                    | >22°C         | <29°C         | >4g/kg          | <14g/kg ou 75% |
|                                      | Altas umid.                     |               | <26,5°C       |                 |                |
| Givoni 92 países em desenvolvimentos | Baixas e altas umidades (verão) | >25°C         | <29°C         | >4g/kg          | <17g/kg e 80%  |
|                                      |                                 |               | <26°C         |                 |                |
|                                      | (inverno)                       | >18°C         | <25°C         |                 |                |
| Szokolay                             | Limites variáveis c/ clima      | TMA ± 2K      |               | >4g/kg          | <12g/kg        |
|                                      |                                 | TMM ± 1,75K   |               |                 |                |
| Watson e Labs                        |                                 | >20°C TE      | <25,6°C TE    | >5mm Hg         | <80%           |

Através da análise das metodologias apresentadas no quadro acima se identificou a carta bioclimática de edificações de GIVONI (1992) como a mais adaptável ao clima tropical por considerar a influência da aclimatização<sup>1</sup> de pessoas de regiões caracterizadas por este tipo de clima. Os limites que determinaram a Carta bioclimática de Edificações de 1992 foram baseados em estudos desenvolvidos em países de clima quente (HUMPHREYS (1975), TANABE (1988) e WEBB (1959)). Um dos aspectos que GIVONI (1992) destaca através destes estudos é a alteração do limite superior da sensação de conforto de 27°C para 29,7°C quando a velocidade aumenta de 0,1 para 1,5 m/s. Esta carta tem sido adaptada por ele próprio e por autores como SZOKOLAY (1995) e GONZALEZ (1996). Para pessoas vivendo em países quentes em desenvolvimento o autor sugere elevações de 2° C no limite superior de temperatura, levando em conta a aclimatização resultante de viver em edifícios não condicionados em clima quente. A carta de GIVONI (1992) sugere limites de condições climáticas dentro dos quais algumas estratégias de projeto e sistemas de resfriamento natural poderiam garantir conforto interno (ventilação, inércia térmica com ou sem ventilação noturna e resfriamento evaporativo).

<sup>1</sup> De acordo com BILGH (1990) apud BAPTISTA (1994), não há distinção etmológica entre aclimatização e aclimação, mas convencionou-se estas duas formas para identificar respectivamente estudos em ambiente natural e estudos em laboratório, nos quais somente uma componente ambiental é variável.

Quanto à aplicação prática e clareza do método, o método de WATSON e LABS (1983) mostrou-se a de mais fácil aplicação principalmente por possibilitar a quantificação das estratégias sugeridas, facilitando a definição destas quando as condições climáticas encontram-se dentro de zonas de intersecção. A metodologia de WATSON e LABS (1983) foi baseada no trabalho de GIVONI e MILNE (1979), assemelhando-se pela divisão da carta psicrométrica em uma série de subzonas que representam cada estratégia de controle climático. Para a determinação do percentual anual enquadrado dentro dos parâmetros de cada subzona são analisados dados climáticos horários. Assim para a análise bioclimática do edifício os dados são apresentados em porcentagens de horas anuais que caem dentro da zona designada ou combinações de zonas delineadas na carta psicrométrica. Seus limites são baseados nos padrões da ASHRAE (1997), por isso não leva em conta o fator de aclimatização.

Após essas constatações foram feitas adaptações em alguns limites das zonas da carta de GIVONI (1992) com base em algumas modificações realizadas por GONZALES (1996) para regiões de clima quente e úmido, como a introdução da zona de umidificação, cujo limite é definido pela TBU de  $10,6^{\circ}\text{C}$ , e a extensão da zona de ventilação até a linha de umidade relativa de 100%. Para a aplicação das estratégias de projeto são definidas zonas distintas, baseando-se na metodologia de WATSON e LABS. A figura 2.2 apresenta a Carta bioclimática de Givoni para países de clima quente em desenvolvimento com as adaptações realizadas.



**FIGURA 2.2-** Carta bioclimática de edificações de GIVONI (1992).

Dando seguimento a este estudo GOULART et al (1997), utilizam essa combinação da carta bioclimática proposta por GIVONI (1992) para países de clima quente em desenvolvimento e o método de Watson e Labs, que faz análise de dados climáticos horários, fazendo uso do Test Reference Year (TRY) ou Ano Climático de Referência, que seria o ano real que mais se aproxima da Normal Climatológica, segundo PIETROBON (1999). Dessa forma, foram definidas através da carta, estratégias bioclimáticas específicas para 14 cidades brasileiras, incluindo Brasília. Aplicando os dados das Normais climatológicas ou do TRY à carta Bioclimática desenvolvida por GIVONI é possível conhecer o comportamento da temperatura e umidade relativa do ar em cada localidade ao longo do ano identificando os períodos com maior probabilidade de desconforto e o percentual das estratégias mais indicadas para a edificação.

Têm sido desenvolvidos estudos bastante relevantes para validação deste método, verificando a aplicabilidade das estratégias indicadas pela carta. Através de estudo experimental realizado em residências de Florianópolis, por ANDRADE (1996) e em estudo subsequente realizado por PAPST (1999) atestou-se a eficiência da ventilação, indicada na carta, para o verão. Porém verifica-se que o uso

de massa térmica, indicada na carta somente para o inverno, também se mostra eficaz no verão para cortar o pico de temperatura diurno. LAMBERTS et al (1997) destaca que são necessários mais estudos sobre prédios comerciais nos quais os ganhos internos de calor modificam as necessidades bioclimáticas apresentadas pela carta. Dessa forma, aplicação deste método para Brasília também será importante para sua validação na avaliação de edifícios comerciais.

Além deste método a utilização das Tabelas de Mahoney pode ser bastante adequada e prática para identificação de características específicas de componentes para edificações na região de estudo, caracterizada pelo clima Tropical de Altitude. Uma vez que, de acordo com EVANS (1999), esta metodologia foi desenvolvida originalmente para um clima de transição entre o quente e úmido equatorial e o quente e seco da região do Sahara. Foram testadas em 50 regiões climáticas diferentes. As respostas ao levantamento de conforto mostraram uma evidente variação da “zona de conforto” de acordo com a temperatura média anual. Os limites de conforto foram analisados separadamente para o dia e a noite, já que existem diferenças tanto nas vestimentas quanto no nível de atividades. É um método bastante difundido por sua praticidade, as recomendações existentes nas diretrizes desenvolvidas têm uma clara relação e resposta a cada estágio do processo de projeto e é aplicável para edifícios não condicionados que maximizem o resfriamento ou aquecimento passivo. Este método também reconhece a importância da variação de temperatura como fator de seleção de estratégias bioclimáticas.

O próprio EVANS (2000), baseia-se no trabalho de Mahoney, em seu diagrama chamado Triângulos de Conforto, desenvolve metodologia também bastante próxima à realidade de Brasília, por enfatizar a importância da influência das variações de temperatura, considerando o impacto das grandes amplitudes térmicas sobre o conforto térmico. O gráfico representa temperaturas médias no eixo das abscissas e amplitudes de temperatura no eixo das ordenadas, considerando a importância da variação de temperatura como um fator para seleção de estratégias bioclimáticas. Permite a representação de variáveis climáticas, a definição de zonas de conforto, a seleção de estratégias bioclimáticas e avaliação de temperaturas internas, medidas em edifícios existentes ou obtidas de simulações computacionais. Nesse modelo a zona de conforto é dinâmica. As zonas variam de acordo com o nível da atividade. EVANS (2000) considera os limites aceitáveis por GIVONI (1992) e FANGER (1970). O gráfico também indica estratégias para conforto como movimento do ar, massa térmica, ganhos internos, ventilação seletiva para resfriamento, ventilação seletiva para aquecimento, resfriamento evaporativo e umidificação. A carta de AROZTEGUI (1995) baseia-se na aplicação do diagrama de conforto de EVANS (1983), mas utiliza-o de forma muito mais simplificada dividindo em quatro quadrantes relacionados às solicitações de calor e frio de acordo com as variações de temperatura.

Na Proposta de Norma de Zoneamento Bioclimático Brasileiro, Projeto de Normalização em Conforto Ambiental (1998), gerada a partir da dissertação de BAPTISTA (1994), é utilizada a carta bioclimática proposta por GIVONI (1992) juntamente com indicativos de projeto adaptados das tabelas de Mahoney. Nesta proposta a cidade de Brasília está enquadrada na zona bioclimática 4, definida pela plotagem dos dados das normais climatológicas da cidade sobre a carta psicrométrica. Como já havia sido observado no item 2.2, o uso de normais pode não ser muito representativo para regiões que apresentem grandes amplitudes térmicas, uma vez que, baseia-se somente em valores médios.

Entre as estratégias bioclimáticas indicadas para Brasília apresentadas em GOULART et al (1997) e na carta apresentada na proposta de norma de Zoneamento bioclimático, a ventilação é uma

das principais estratégias indicadas para a situação de desconforto térmico por calor. Para a situação de desconforto por frio, a inércia térmica juntamente com ganhos solares passivos apresenta o maior percentual. Também são indicadas as estratégias de aproveitamento da inércia térmica e o uso de resfriamento evaporativo para resfriamento. Porém, como já foi observado anteriormente, os dados utilizados em GOULART et al (1997) e na proposta de norma são referentes a período inicial da urbanização da cidade e, portanto, podem não retratar corretamente a situação atual.

A utilização de dados climáticos atualizados e a avaliação de todas as possibilidades sugeridas por cada um dos métodos sugeridos (carta bioclimática de Givoni modificada e adaptada ao método de Watson e Labs, Tabelas de Mahoney e Triângulos de Conforto) é fundamental para a implementação de um estudo completo, com a verificação dos percentuais das estratégias indicadas e da predominância de uma em relação à outra.

### **2.3.1- O questionário como ferramenta auxiliar na Análise Bioclimática**

No sentido de compreender melhor os resultados obtidos através das cartas bioclimáticas é interessante utilizar o recurso do questionário como forma de cruzar os dados resultantes e melhor caracterizar a zona de conforto para a dada região.

Para utilização da equação de FANGER (1970) determinando o PMV do ambiente térmico analisado e conseqüentemente o grau de conforto é preciso obter valores de todas as variáveis ambientais requeridas pela equação (temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa e velocidade do ar). Porém, muitas vezes não é possível ter acesso a todas essas variáveis em um processo de análise experimental de espaços internos, seja pela falta de instrumentos adequados ou qualquer outro motivo específico existente no local. Nesse caso mesmo não sendo possível avaliar o ambiente utilizando um critério de conforto determinado por qualquer outro índice, os dados de sensação térmica obtidos através da opinião subjetiva são uma forma de balizar o processo de análise dos resultados medidos das variáveis ambientais no espaço interno das edificações, principalmente edificações não condicionadas. Como afirmam AKUTSU e VITTORINO (1999) nestas edificações o parâmetro de avaliação deixa de ser o consumo de energia e passa a ser o conforto dos ocupantes, tendo como variáveis de análise as variáveis ambientais e humanas.

Para o estudo das variáveis humanas é necessário um contato mais direto com os usuários das edificações no sentido de conhecer suas sensações, preferências e anseios no que diz respeito ao conforto térmico. Um dos caminhos para conduzir um estudo empírico, segundo GUNTHER (1999), é o “*survey*” (levantamento de dados). É o método para coletar informação de pessoas acerca de suas idéias, sentimentos, planos, crenças, bem como origem social, educacional e financeira, através da interação pergunta- resposta, cujo instrumento pode ser o questionário. Na elaboração do questionário são introduzidos os conceitos a serem investigados de acordo com o objetivo. GUNTHER (1999) e ORNSTEIN (1992) apresentam métodos para elaboração de questionários. ORNSTEIN (1992) explicita a importância de uma avaliação estatística das informações adquiridas em pesquisa social, sendo necessária uma escala de valores. Através da utilização da escala sétima da ASHRAE (1997), para verificação de sensação térmica, é possível trabalhar estatisticamente os dados resultantes pela relação numérica existente. Segundo XAVIER (1999), um dos problemas identificados nesse tipo de avaliação é que os usuários geralmente respondem a sensação em relação ao que está se passando fora da

edificação. Por isso é muito importante frisar no questionário, que o objetivo é avaliar a sensação percebida no ambiente interno.

Estudo realizado no Yemen por AL - SHIBAMI e WARD (2001) baseia seus resultados na avaliação de questionários cujas questões de conforto foram baseadas na escala de sensação térmica da ASHRAE. Através deste estudo foram avaliadas as condições de conforto térmico na arquitetura tradicional e nos novos edifícios de tijolos cerâmicos e edifícios de concreto. Observou-se que o maior nível de desconforto diurno, tanto no verão quanto no inverno, acontece dentro dos edifícios de concreto.

## **2.4- INTEGRAÇÃO MEIO EXTERNO - EDIFICAÇÃO**

O conforto térmico na edificação também dependerá das diferentes combinações e formas de atuação das variáveis climáticas sobre o edifício e suas componentes. FERREIRA (1965) observa que às condições climáticas do meio externo pode corresponder no recinto da edificação um microclima bastante diferenciado, que depende, para cada caso, da solução arquitetural e dos materiais empregados.

Um projeto arquitetônico bem adequado é uma pré-condição para aplicação de sistemas passivos de resfriamento, minimizando as necessidades de resfriamento do edifício. Do ponto de vista da performance térmica, segundo GIVONI (1994), o projeto bioclimático pode minimizar a elevação média total de temperatura diurna interna causada pelos ganhos solares diretos ou indiretos.

A exploração dos fatores climáticos e das variáveis arquitetônicas se dá através da incorporação de estratégias e sistemas passivos ao projeto da edificação. Segundo RORIZ (2000) “o sistema passivo é aquele em que o condicionamento ambiental é proporcionado pela adequação climática da edificação, obtida através de suas próprias características construtivas – forma, orientação, cores, inércia térmica, e resistência térmica das vedações, posição e dimensão das aberturas, sombreamento, etc”. De acordo com GIVONI (1994) o termo passivo não exclui a utilização de equipamento mecânico, se necessário, se sua aplicação for feita para aumentar a performance do sistema.

O projeto bioclimático em regiões quentes engloba o projeto arquitetônico e a escolha dos materiais no sentido de prover conforto enquanto minimiza a demanda de energia pra resfriamento. Neste caso, o objetivo principal do arquiteto na especificação de um tipo de material para a envoltória do edifício é evitar as perdas de calor excessivo no inverno e também os ganhos elevados no verão. Portanto, isso depende muito das propriedades térmicas do material.

Segundo GIVONI (1992), quando as condições térmicas não são controladas por meios mecânicos, os materiais (como piso, divisórias, móveis) afetam as temperaturas tanto do ar interno quanto das superfícies e então exercem uma grande influência sobre o conforto dos ocupantes. Mesmo em ambiente controlado as propriedades termofísicas dos materiais influenciam na quantidade de aquecimento ou resfriamento requerida.

Dessa forma, para a avaliação bioclimática de edificações, é importante que se compreenda melhor os fenômenos de transferência de calor entre a edificação e o meio, e quais as possibilidades de controle e proteção desses fenômenos.

Para cada clima ocorrem diferentes solicitações do meio externo em relação à edificação e por isso são requeridas estratégias bioclimáticas específicas. Através das cartas e diagramas bioclimáticos são identificadas as estratégias bioclimáticas mais adequadas. Essas estratégias são a base para

promoção da integração dos aspectos climáticos ao planejamento e projeto de edificações. Porém, as formas de atuação dessas soluções sobre o edifício variam de acordo com suas características, como padrão de uso, equipamentos e ocupação, e características do entorno.

#### **2.4.1 Avaliações Experimentais de Estratégias de projeto em Edifícios de Escritório.**

A partir do conhecimento das formas de atuação das estratégias bioclimáticas sobre o conforto térmico no edifício é possível avaliar sua adequação e eficiência para cada condição climática e tipo de edifício, em situação real de uso.

Em estudo de avaliação experimental realizado por FARUQUI e YANNAS (1999) verifica-se que a arquitetura moderna também apresenta exemplos bem sucedidos em relação à adequação de seus elementos ao clima. No experimento realizado na Índia (clima de composto, de monções) foi feita avaliação bioclimática de edifícios da autoria de Le Corbusier e Louis Kahn. Foram avaliados os edifícios da Assembléia Legislativa e Alta Corte do Capitol de Chandigarh, a Casa Sarabhai e a Associação Millowners em Ahmehabad de Le Corbusier e o Dormitório Administrativo do Instituto Indiano e a Assembléia Nacional de Dhaka projetos de Louis Kahn.

Os principais conceitos utilizados nestes edifícios foram o sombreamento, através de brises-soleil e varandas profundas, e a ventilação natural, onde as janelas são mantidas abertas no período quente e úmido. A maioria dos edifícios também apresenta o uso de pátios internos, espelhos d'água, paredes e coberturas de elevada inércia térmica, orientação privilegiando a ventilação natural e muitas áreas verdes no entorno da edificação. No Dormitório de Kahn, verificou-se que no ambiente naturalmente ventilado, enquanto a temperatura externa variou no verão entre 24,2°C e 38,4°C, a interna variou entre 27,5°C e 32,3°C. Na Associação Millowners os materiais de baixa condutividade e elevada capacidade térmica contribuem para manter o ambiente interno mais estável. Enquanto a temperatura diária externa variava entre 27 e 36°C, a interna variava entre 26°C e 33°C.

Em estudo realizado por PETRONE (1993) são avaliados exemplos de edifícios no Brasil cujas soluções de projeto objetivaram a adaptação ao clima. Foram analisados dois ambientes em edifício de escritório na cidade de São Paulo e as situações variaram em função da ocupação, da existência de forro e do sombreamento do vidro especial. Na maioria dos casos, a diferença de tratamento das áreas transparentes determinou os ganhos térmicos no edifício sem ocupação. O edifício de maior inércia térmica tornou a temperatura interna mais estável, com amplitude interna de 2,5°C enquanto que a externa é de 10°C. Nesse caso a temperatura máxima é atingida somente às 18:00, possibilitando a abertura das janelas após o fim do expediente aproveitando os efeitos da ventilação noturna, resfriando a estrutura. Neste caso, concluiu-se que é possível utilizar somente a climatização natural para o conforto térmico do edifício desde que a inércia térmica do edifício seja alta. Este estudo demonstra a economia alcançada através adoção de soluções arquitetônicas apropriadas, onde a economia mensal no consumo de eletricidade por pavimento tipo seria de 3722,4kWh. O consumo parametrizado do edifício, que é de 7kWh/m<sup>2</sup> mês, demonstra que o desempenho energético com conforto ambiental é bastante satisfatório, pois é inferior ao de torres de vidro cujos consumos simulados são da ordem de 18 a 20kWh/m<sup>2</sup> mês.

No México, GARCIA-CHAVEZ (1999) realizou estudo no sentido de examinar o potencial de estratégias de resfriamento passivo em edifício comercial não climatizado, em região quente e seca do país, apresentando tipologia arquitetônica apropriada ao clima. O pesquisador relaciona de acordo com a

função de cada estratégia aquelas se mostraram mais apropriadas. Para a prevenção aos ganhos excessivos de calor o edifício faz uso da vegetação e promoção de resfriamento evaporativo, gerando de microclima favorável. Também utiliza a inércia térmica com blocos de concreto nas paredes, e o isolamento térmico da cobertura e paredes com espuma de poliuretano. O equipamento de iluminação eficiente é utilizado em consonância com a utilização consciente da luz diurna. Como sistemas provedores de resfriamento foram utilizados dutos enterrados para refrigeração do auditório e a ventilação natural com o uso da ventilação noturna. O pátio interno exerce um papel importante para a aplicação da estratégia de ventilação noturna. O ar externo resfriado à noite penetra pelo pátio, onde as janelas do seu entorno são deixadas abertas nesse período.

#### **2.4.1.1 Edifícios com Isolamento térmico**

Na Arábia Saudita a influência do isolamento térmico de poliuretano sobre a edificação também foi avaliada através de estudo realizado por ALI e AHMAD (1991). Estes identificam que a instalação do **material isolante** do lado externo apresenta uma maior eficiência e, em relação à espessura da camada de isolamento, a temperatura máxima interna pode ser reduzida de 3 a 13°C. Porém, de acordo com o experimento, seu efeito reduz progressivamente com o aumento da espessura. Em edifício condicionado a quantidade ótima de isolamento pode ser obtida através de processo de otimização custo benefício. Como observa KOENIGSBERGER et al (1980) em edifícios naturalmente ventilados não existe essa referência, o benefício do isolamento estaria na medida da melhoria das condições ambientais internas. Em climas compostos quando a estação quente e seca é dominante (seis meses ou mais) a cobertura deve ser pesada (elevada capacidade térmica), se a estação for menor é sugerido um telhado leve e isolado, SZOKOLAY (1987).

#### **2.4.1.2 Reflexão externa em edifícios**

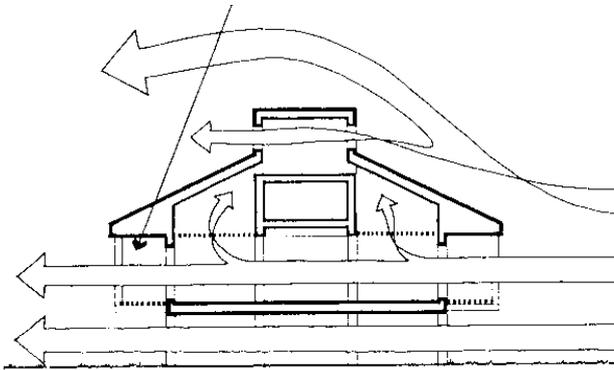
Outra estratégia que teve sua influência verificada em avaliação experimental foi o uso de **cores com elevado coeficiente de reflexão** em superfícies externas. Em experimento realizado por MATHEWS, E. H. (1986) de análise térmica em cinco edifícios naturalmente ventilados, foram feitas medições de temperatura interna e externa. Além do desenvolvimento de método para predição da influência de diferentes elementos na temperatura interna do ar, como a cor, a resistência térmica e a geração de calor interna. Comparando os resultados das predições e das medições com as medidas externas é possível perceber que o melhor desempenho térmico é dos edifícios com cores externas brancas que mantém o pico de temperatura diurna bem abaixo da temperatura externa. A diminuição da temperatura diurna interna nos edifícios com paredes brancas abaixo da externa é tanto maior quanto maior for a amplitude térmica, segundo EVANS (2000). Em regiões onde é requerido o aquecimento solar passivo pode-se fazer uso de cores escuras (baixo coeficiente de reflexão) para fachadas voltadas para insolação de inverno em paredes de capacidade térmica razoável.

#### **2.4.1.3 Avaliação da Ventilação em edifícios**

Em coberturas duplas (telha e forro) a performance térmica é influenciada não só pelo material e a cor externa da cobertura, mas também pelas condições de ventilação no espaço intermediário e pela resistência térmica das 2 camadas. Em estudo realizado por GIVONI (1976) com coberturas duplas em

Israel e na África, a **ventilação do ático**, no experimento africano, demonstrou redução da temperatura ambiente. Com ventilação natural redução de 14F e mecânica de 19F.

A temperatura interna de um **edifício ventilado naturalmente** tende a aproximar-se da externa. Por isso a utilização de ventilação diurna é recomendável somente quando o conforto interno pode ser garantido pela temperatura externa, com velocidade do ar interna aceitável. A influência da ventilação fica evidenciada no experimento de BANSAL et al (1992), com a presença de ventilação natural a temperatura interna aumenta diretamente sem o atraso térmico característico do fluxo de calor através das paredes e teto. Em GIVONI (1994) são demonstrados experimentos observando o efeito do posicionamento e tamanho das aberturas sobre os fluxos de ar internos no ambiente. Este observa que a orientação oblíqua aos ventos oferece melhores condições sobre a distribuição interna. Em regiões de clima composto podem ser utilizadas janelas maiores com proteção externa, como venezianas isolantes, para o período quente e seco. Devem ser sombreadas e estar em paredes opostas ou diferentes proporcionando a ventilação cruzada. Na figura 2.3 são observados exemplos de sistemas de ventilação cruzada e ventilação vertical.



**FIGURA 2.3** – Esquemas de ventilação. WATSON e LABS (1983)

É possível tirar o ar quente através da ventilação vertical, como observado na figura 2.3. Aberturas em diferentes níveis podem gerar um fluxo de ar ascendente retirando o ar mais quente através de lanternins, exaustores eólicos e aberturas zenitais. Em medições realizadas no período de um ano, IWAMURA, K. (1997) destaca sistema bastante eficiente de resfriamento passivo que promove a circulação de ar por baixo do piso de casa no Japão, fluindo através de aberturas no interior do ambiente para aberturas em torre de vento. A torre de vento possui aberturas que podem ser abertas ou fechadas manualmente. Com as aberturas do piso e da torre de vento abertas e as janelas fechadas a temperatura do ar na abertura do piso encontra-se 2°C abaixo da temperatura externa. Com as janelas abertas o efeito da torre de vento diminui sobre a temperatura interna uma vez que a temperatura do ar de entrada do piso passa a se aproximar da temperatura externa.

O limite aceitável para velocidade do ar interno determinará a aplicabilidade da ventilação diurna ou noturna. GIVONI (1994) observa que em regiões ou estações secas a ventilação natural pode garantir conforto quando a temperatura máxima externa é menor que 30°C. Portanto a ventilação é favorável abaixo dos 32°C nos períodos quente e úmido e abaixo do 30°C durante o período seco. Através de experimento realizado em Israel GIVONI (1994) constata que a **ventilação noturna** pode reduzir a temperatura máxima interna até o nível a temperatura média externa se o edifício possuir elevada inércia térmica, sombreamento e cores claras. Em experimento semelhante realizado na Califórnia consegue-se

uma redução da temperatura máxima interna abaixo da média externa através da ventilação noturna no edifício com mais massa térmica, com o devido sombreamento.

#### 2.4.1.4 Edifícios com Resfriamento evaporativo

As estratégias de **resfriamento evaporativo e ventilação** em edifício no clima quente e seco foram avaliadas por BOUILLOT e AYOUB (1999) em experimento testando a utilização das duas estratégias em diferentes etapas. Os dois sistemas atuam dentro da estrutura do edifício, resfriando-a no período noturno. O sistema foi especialmente desenhado para climas quentes e secos, onde o resfriamento evaporativo e o efeito da massa térmica com ventilação noturna são indicados. Foi feita uma entrada de ar, voltada para o vento noturno predominante, que percorre a estrutura interna do edifício passando por reservatório de água, que reduz ainda mais sua temperatura, ajudando a reduzir a temperatura da estrutura. Durante o período chuvoso o sistema ainda pode ser utilizado funcionando inversamente, devido à mudança dos ventos, para resfriamento das paredes sem o uso do resfriamento evaporativo, pois o ar já está bastante saturado com a umidade.

O **sistema de resfriamento evaporativo** pode ser **direto** ou indireto. O sistema direto umidifica o ar enquanto sua temperatura é reduzida. A utilização deste sistema deve ser feita em concordância com os sistemas de ventilação (a renovação de ar natural através das janelas, ou mecânica através de exaustores), pois a velocidade do ar é responsável pelo aumento da velocidade de evaporação. Segundo EVANS (2000) o sistema é de grande aplicabilidade para climas continentais.

Um tipo de resfriamento evaporativo direto é o sistema por microaspersão, que segundo RORIZ (2000), é geralmente de baixo custo energético. O tamanho das gotas na saída dos aspersores é de 1micra. Estes sistemas são ativos, acionados mecanicamente, e apresentam custos de instalação, manutenção e consumo de energia muito menores que os aparelhos convencionais de ar condicionado. Para conseguir reduzir a temperatura do ar sem molhar o ambiente é necessário que a velocidade da evaporação seja adequada e dependerá do tamanho da gota, da umidade relativa e da circulação do ar.

GIVONI (1994) destaca outros sistemas ativos como o resfriador evaporativo de estágio simples e as chamadas Torres de resfriamento. WU (1990) comparou a performance de um compressor de ar condicionado (bomba de calor) com os sistemas de simples e duplo estágios. Colocando a energia consumida como função dos graus dias de resfriamento, o sistema de estágio simples consumiu  $\frac{1}{4}$  da energia utilizada pelo ar condicionado. A Torre de Cunningham e Thompson, GIVONI (1992, 1994) testada em Tucson, Arizona demonstra boa performance apresentando temperatura interna de  $24,6^{\circ}\text{C}$  quando a temperatura externa é de  $40,6^{\circ}\text{C}$ . A diferença de temperatura é proporcional a depressão de TBU (dTBU). A depressão de TBU é definida como sendo a diferença entre a temperatura de bulbo seco (TBS) e a temperatura de bulbo úmido (TBU). Na expo'Sevilha de 1992 Givoni desenvolve um sistema colocado em uma espécie de torre que utiliza os princípios convectivo e evaporativo. A performance do aparelho foi testada por AL HEMIDI (1992), que destaca que a queda da temperatura é de cerca de 72% da dTBU.

#### 2.4.1.5 Orientação e proteções solares

GOMÉZ et al (1995) em simulação realizada para edifícios comerciais na cidade de Florianópolis verificaram que, **em relação à orientação**, os edifícios com maiores faces voltadas para leste e oeste apresentaram maior consumo. Considerando a radiação solar, as janelas devem preferencialmente ser

localizadas nas fachadas sob menor impacto da radiação, orientações norte e sul. Essa orientação é geralmente conflitante com a direção dos ventos. É necessário ponderar sobre quais as melhores opções e prioridades. Deve-se destacar que é possível, através de elementos de projeto, redirecionar os ventos ao projetar tipologias de janelas que lidem com a proteção solar de forma adequada. Para o projeto das **proteções solares** o ângulo de incidência solar deve ser conhecido, a posição solar no hemisfério é dada pelo ângulo de altitude solar e o ângulo do azimute. Esses ângulos podem ser identificados em cartas solares que representam bidimensionalmente o movimento aparente do sol ao longo do ano para uma dada latitude, BITTENCOURT (1988).

No estudo de GOMÉZ et al (1995) também se verificou que quanto maior a **área de janela** maior o consumo de energia, no caso de janelas com vidro comum, sem brises ou marquises. Reduzindo a relação janelas-parede de 70% para 30% o consumo reduziu de 15 a 25%, sendo a maior redução em prédios retangulares. Em recente estudo realizado por DILONARDO e ROMÉRO (2001), em simulação computacional para edifício de escritórios na cidade de São Paulo, é possível observar a influência da proporção janela - parede no ganho interno quando esta proporção é diminuída de 100% (torre de vidro) para 50%, onde é alcançada uma redução de 40% do ganho térmico interno independente do sombreamento externo. Porém para a mesma proporção parede janela o sombreamento também demonstra grande influência sobre os ganhos térmicos. No citado estudo de DILONARDO e ROMÉRO (2001) o efeito do sombreamento externo é mais eficaz na redução dos ganhos térmicos internos do que o tipo de vidro. Neste estudo independente do tipo de vidro utilizado a presença do anteparo solar reduz cerca de 25% do ganho térmico interno para a mesma proporção janela-parede. Nas regiões caracterizadas por climas compostos ou com elevadas amplitudes térmicas o sombreamento das janelas é fundamental para prevenção da intensa radiação solar direta, porém o sombreamento das paredes apesar de ser desejável não é crítico, (KOENIGSBERGER et al, 1980).

#### **2.4.1.6 Avaliação da Inércia térmica em edifícios**

Segundo EVANS (2000) para regiões de elevada amplitude térmica é recomendado o aproveitamento da **inércia térmica** na edificação. É possível ainda tirar proveito da inércia térmica do solo como fonte de resfriamento através de ambientes integrados ao solo. Porém em regiões quentes a temperatura da superfície da terra pode não ser apropriada para ser utilizada para resfriamento, segundo GIVONI (1994). SOBOTKA (1996) observa em experimento realizado em casa semi-enterrada na cidade de Port Augusta, região quente e seca em condições de verão, que o resfriamento alcançado não é suficiente, a temperatura interna fica acima do limite aceitável em 40% do tempo. Mas é possível resfriar a terra, segundo HOLLMULLER, P. e LACHAL B. (2001), a uma temperatura abaixo da externa mínima utilizando a sombra do próprio edifício, erguido sobre palafitas, por exemplo. O ar resfriado pode ser introduzido dentro do ambiente através de tubos enterrados.

#### **2.4.1.7 Avaliação dos espaços externos à edificação.**

Os **espaços externos** exercem grande influência no microclima externo à edificação e conseqüentemente sobre o conforto interno da edificação. Considerando a **questão urbana** é possível minimizar os efeitos negativos do clima através do planejamento do traçado urbano. Em estudo realizado por JOHANSSON et al (2001) na cidade de Fez, em Marrocos, observa-se a maior adequação do traçado urbano da parte antiga e tradicional da cidade em relação ao subúrbio moderno. A temperatura

ao nível da rua da área tradicional de malha densa é cerca de 2 a 4 °C superior durante o período mais frio e cerca de 10 °C inferior durante o período mais quente do dia em relação ao subúrbio moderno de ruas largas e sem sombra. Em relação à superfície do terreno observa-se que acontece um aquecimento diurno do ar sobre terrenos estéreis, o que geralmente aumenta a temperatura dos ventos locais. Com extensões de água sobre a superfície do terreno, as brisas que vão da água para a terra durante o dia podem reduzir a temperatura máxima em até 10 °C, segundo KOENIGSBERGER et al (1980), elevando a umidade do ar. Porém o alcance dessas brisas em regiões de lago não ultrapassa 400 metros do lago.

Em regiões de clima quente as áreas externas à edificação são espaços muito utilizados no desenvolvimento das mais diversas atividades. VELOSO (1999) identifica no sertão nordestino brasileiro, região de clima árido, a incorporação do quintal adjacente à moradia como área de maior permanência pelas famílias. Esse quintal no fundo do terreno é geralmente bem arborizado com árvores de copa cheia.

Através do planejamento apropriado dos espaços abertos é possível reduzir os efeitos negativos do clima, tornando possível, segundo ROMERO (2000), a admissão seletiva da luz do sol, o controle de fatores como a passagem dos ventos, do calor da umidade ou do ruído.

A **vegetação** exerce um papel importante para a minimização do ganho de calor radiante emitido e refletido pelas superfícies da área de transição externa ao edifício. CANTUARIA (2000) observou o impacto da utilização de árvores para o microclima no subúrbio de Brasília. Foram feitas comparações de temperatura e umidade do quintal de três casas. Na primeira havia apenas a presença de uma mangueira adulta, na outra cerca de três pés e na última nenhuma vegetação com piso de cimento queimado cinza. Não houve diferença comprovada em relação ao número de árvores para a amenização do clima, porém a existência das árvores demonstrou efeito considerável sobre a área construída, resfriando o ambiente. Sua presença pode, portanto ser utilizada para interceptar a radiação solar e também reduzir a quantidade de radiação refletida pelas superfícies.

O uso de jardins e **pátios internos** é muito eficiente em regiões quentes e especialmente em regiões de clima seco. Segundo MEIR (2000), o pátio interno funciona como principal fonte de ventilação e iluminação natural em algumas regiões de acordo com o clima ou condições de implantação e urbanização, como em algumas localidades de Israel. Esta solução garante um espaço aberto protegido e privado, utilizado para as mais diversas atividades como trabalhar e dormir. O pátio interno quando bem adequado pode proporcionar um microclima diferenciado afetando a massa edificada adjacente. Porém, de acordo com MEIR (1999) e ETZION (1990), um projeto incorreto pode causar uma elevação da temperatura e também prejudicar a ventilação dos ambientes voltados para ele.

A performance térmica em um pátio fechado ou semifechado depende principalmente da radiação e do vento. De acordo com estudos realizados por MEIR (2000) é possível avaliar os efeitos desses parâmetros através da geometria do pátio. O grau em que dada superfície é resfriada a noite depende do seu grau de exposição ao céu. Quanto maior a razão da altura pela largura do pátio menor o albedo (coeficiente de refletância) e maior a proporção de radiação solar absorvida. No pátio interno o vento é calmo quanto mais próximo do piso. Quando o pátio é orientado na direção nos ventos dominantes e a razão altura pela largura é menos que 0,5 acontecem algumas zonas de turbulência relativamente pequenas com fluxo livre através da maior parte do espaço. GIVONI (1991) demonstra estudo sobre o designe da edificação visando o melhor aproveitamento dos fluxos de ar para o pátio interno, no qual testa diferentes configurações internas com ventilação cruzada para dentro do pátio.

MEIR (1999) também identifica que o pátio interno impede um superaquecimento ao meio dia e à tarde, mas também dificulta o resfriamento mais eficiente à noite e início da manhã pela presença das árvores.

#### **2.4.2 Importância da avaliação experimental para Brasília**

Em todos estes experimentos verifica-se o efeito benéfico da escolha correta das soluções arquitetônicas em relação ao clima local para o conforto térmico interno e para a minimização do consumo de energia.

Devido ao caráter administrativo da cidade de Brasília, os edifícios públicos e de escritório apresentam um papel importante no consumo de energia elétrica na cidade. Este tipo de edifício é caracterizado por apresentar elevada geração de calor interna, o que contribui para elevação do consumo de energia elétrica. Fatores como este podem provocar a alteração das formas de atuação das estratégias indicadas através das cartas e diagramas bioclimáticos adotados. Por isso a avaliação experimental das estratégias indicadas para a região se faz necessária para a verificação do seu verdadeiro potencial em condições reais de uso sobre o conforto térmico dos ocupantes e conseqüente diminuição no uso de sistemas de climatização artificial.

Em Brasília existem alguns estudos experimentais relacionados a aspectos do conforto térmico em edifícios comerciais, como o trabalho realizado por PINHEIRO (1999), mas que enfocam avaliações pós-ocupacionais de edifícios com condicionamento artificial. Não havendo registros de estudos que destaquem estratégias bioclimáticas apropriadas ao clima da região e avaliação de seu desempenho e eficiência em edifícios não condicionados para o conforto térmico dos usuários. E dessa forma, observa-se como ainda mais necessária à implementação de estudo neste sentido.

# CAPÍTULO 3- METODOLOGÍA

## **CAPÍTULO 3- METODOLOGIA**

De acordo com a revisão bibliográfica identificou-se uma carência de dados climáticos atualizados de Brasília voltados para o projeto bioclimático. Dessa forma, este trabalho realiza uma caracterização do clima da cidade com base no período de dados de 1982 a 1997, procurando fazer uma análise bioclimática do período. A análise de um período de dados mais recente permite também uma comparação com períodos anteriores analisados em trabalhos realizados na região. Através da análise bioclimática identificam-se as estratégias para projeto mais adequado às características climáticas na região.

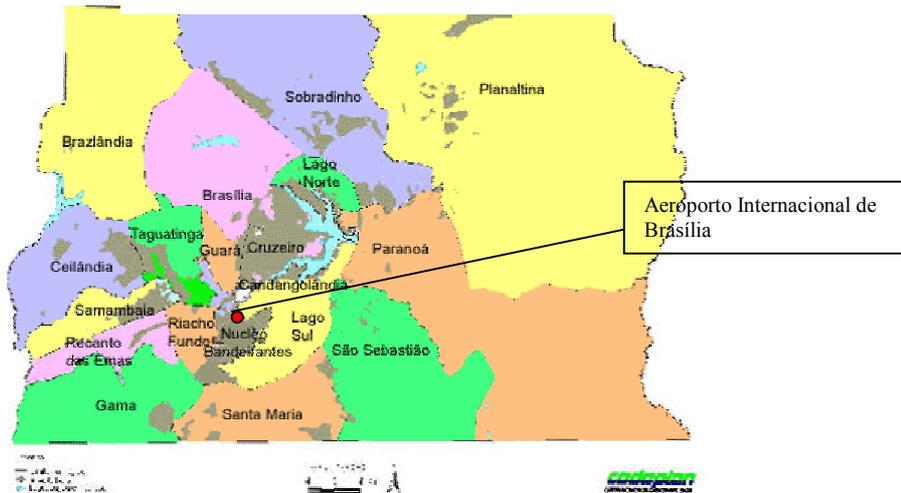
Observa-se que as formas de atuação das estratégias indicadas para cada região podem variar de acordo com as características de cada edifício, como padrão de uso, equipamentos e ocupação, materiais, entre outros condicionantes. Os edifícios de escritório, por exemplo, de maneira geral, são caracterizados por uma elevada geração de calor interna e, portanto, capaz de alterar as formas de atuação de possíveis estratégias bioclimáticas adotadas. Dessa maneira, observa-se a importância da avaliação experimental em edifícios como forma de permitir a verificação do grau de adequação destas estratégias em condições reais de uso. Em Brasília os estudos existentes relacionados à arquitetura bioclimática, na sua grande maioria, abordam avaliações pós-ocupacionais em edifícios com condicionamento artificial, estudos a nível urbano e simulações computacionais. No presente trabalho será realizada a análise experimental em um edifício de escritórios não condicionado permitindo, dessa forma, verificar o potencial de algumas das estratégias bioclimáticas indicadas para Brasília em edifícios deste padrão de uso.

### **3.1 CLIMA E ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA BRASÍLIA**

#### **3.1.1 Caracterização do clima**

Para a caracterização do clima da cidade foi feito o tratamento dos dados climáticos obtidos tornando-os acessíveis ao profissional de projeto, concretizando uma ferramenta prática que permitisse a visualização do comportamento mensal e horário de cada uma das variáveis utilizadas. A análise do comportamento mensal permite caracterizar diferentes períodos climáticos existentes ao longo do ano, e a variação horária mensal permite o detalhamento deste comportamento ao longo do dia em cada mês. A metodologia de tratamento de dados, através de descrição estatística das variáveis foi baseada no trabalho de GOULART (1994).

Foram obtidos dados climáticos de um período de dezesseis anos, de 1982 a 1997, registrados pela estação sinótica 83370, do Aeroporto Internacional de Brasília, localizada a 1061m de altitude (ver figura 3.1), e obtidos através de base dados do Laboratório de Eficiência Energética em edificações- LabEEE- UFSC. Dos dados registrados nos arquivos da estação climática foram consideradas as variáveis climáticas de temperatura de bulbo seco, temperatura de orvalho e direção e velocidade dos ventos.



**FIGURA 3.1-** Localização da Estação Meteorológica do Aeroporto Internacional de Brasília

Fonte: CODEPLAN

O tratamento dos dados iniciou-se através da eliminação dos dados referentes às horas não inteiras e posteriormente foi feita a interpolação dos dados ausentes com o auxílio de planilha eletrônica desenvolvida pelo LabEEE. Períodos de mais de cinco horas de dados ausentes foram substituídos por dados referentes ao mesmo horário, de dias próximos que apresentassem a mesma tendência verificada pela análise dos dados existentes. Dessa forma não haveria uma amortização demasiada da variação sinuzoidal das curvas de temperatura e umidade. Com o procedimento de interpolação e complementação das células ausentes constituiu-se uma base de dados horária completa para as 8760 horas de cada variável para cada um dos anos do intervalo.

Esse procedimento não foi feito para os dados de direção e velocidade dos ventos, pois sua variação horária é muito grande e sem padrão e a interpolação não seria coerente.

Os dados de temperatura de orvalho foram convertidos em dados de umidade relativa, com auxílio de planilha eletrônica adaptada por CARLO (2001), disponível em [www.labee.ufsc.br](http://www.labee.ufsc.br) a partir de equações da ASHRAE (1993).

Na base de dados não havia registros de dados de insolação ou precipitação, dados estes de relevante importância na caracterização do clima visando o projeto de edificações e, portanto, neste caso, foram considerados os dados das normais climatológicas de 1960 a 90, INMET (1992).

### 3.1.1.1 Temperatura de bulbo seco e Umidade relativa

Primeiramente foi realizada uma análise estatística descritiva com o auxílio de planilha eletrônica. Nesta análise foram determinados a média, moda e o desvio padrão para as variáveis de temperatura de bulbo seco e umidade relativa considerando todo o período de dados (1982-1997).

Após a determinação destes valores procurou-se realizar uma análise do comportamento mensal onde primeiramente foram determinados os valores médios mensais.

Para a obtenção dos valores médios baseou-se na metodologia recomendada pela Organização Mundial de Meteorologia –INMET (1992). As médias são extraídas a partir de uma série de valores registrados ao longo de certo período (dia, mês, etc.) observados para cada hora, nos vários dias do mês. A média das diversas horas corresponde à média mensal, expressa para temperatura (°C) e

umidade relativa (%). As médias dos valores das temperaturas máximas e mínimas diárias constituem a média das máximas e a média das mínimas (°C). A maior das máximas e a menor das mínimas, bem como as datas em que ocorreram constam dos quadros como máxima absoluta e mínima absoluta.

Também foram determinadas as amplitudes térmicas médias mensais para o período. A amplitude térmica média é determinada pela média das amplitudes diárias de cada mês.

Outro procedimento realizado foi a análise das freqüências mensais de temperatura por meio de histogramas e tabelas, destacando os percentuais dos intervalos de temperaturas dentro ou fora dos limites de temperatura determinados por GIVONI (1992).

No intuito de verificar quaisquer alterações ou tendências climáticas, dentro do intervalo, foram feitos histogramas de freqüência de temperatura anuais analisando os percentuais para cada intervalo de temperatura.

Além dessa análise dentro do período obtido, para caracterização do clima da região, considerando as possibilidades de alteração climática em relação à evolução urbana da cidade, foi feita uma análise comparativa dos seus valores médios mensais com outros três períodos de dados climáticos tratados existentes de Brasília, de 1960 a 1964 apresentados em FERREIRA (1965), de 1960 à 1990 das Normais climatológicas do INMET e de 1961 à 1970 apresentado em GOULART et al (1997). Nesta análise comparativa torna possível observar a existência ou não de alterações climáticas significativas ao longo dos anos.

Os dados referentes aos períodos de 1960 à 1964 e de 1960 à 1990 foram registrados por uma estação meteorológica diferente (estação do INMET) e portanto, podendo apresentar distorções em relação aos dados registrados pela estação do Aeroporto, pela diferença de localização e altitude. A estação do INMET está a 98,54 metros acima da estação do Aeroporto Internacional de Brasília.

Portanto, para que fosse possível efetuar essa comparação entre períodos diferentes, registrados por diferentes estações, foi necessário verificar a existência de diferenças significativas entre as duas estações. A verificação destas diferenças foi realizada através da comparação de duas médias (teste estatístico), de diferentes variáveis registradas no mesmo período pelas duas estações.

Para eliminar diferenças significativas provocadas pelas diferenças de estações e tornar possível a comparação do período analisado, de 1982 à 1997, registrado pelo Aeroporto, com períodos anteriores, registrados pela estação do INMET, como os períodos de 1960 à 1964 e de 1960 à 1990, poderia ser feito um ajuste dos dados referentes à estação do INMET. Este ajuste poderia ser feito aplicando uma equação obtida da correlação dos dados da variável que apresentasse diferença significativa, registrados no mesmo período, pelas estações do Aeroporto e do INMET. Porém, não foi possível conseguir dados suficientes do mesmo período, registrados pelas duas estações, que caracterizasse o comportamento de um ano inteiro e, portanto, para que este ajuste fosse feito de forma confiável. Dessa forma, a verificação de diferenças significativas entre variáveis das duas estações apenas determinou a impossibilidade de utilizar os períodos de 1960 à 1964 e de 1960 à 1990 como fator de comparação.

Os dados obtidos são apresentados em tabelas ou por meios gráficos tornando possível sintetizar o resultado das observações.

### 3.1.1.2 Ventos

No tratamento dos dados de ventos, do período de dados de 1982 à 1997, foram determinadas, primeiramente, a frequência anual da direção dos ventos e a frequência anual das velocidades dos ventos. Estes dados são apresentados em gráficos do tipo rosa dos ventos facilitando a visualização do comportamento dos ventos por direção.

Os dados de direção foram transformados em siglas características dos pontos cardeais, N, NE, E, SE, S, SO, O, NO. Os quadrantes foram divididos em tamanhos iguais de 45°, onde o intervalo entre 0° e 0,1° foi considerado ausência de vento e, portanto, o quadrante Norte abrangeu o intervalo entre 337,5° a 360° e 0,1° e 22,5°. As velocidades dos ventos são apresentadas em intervalos de 1 m/s, de 0 à 10m/s, uma vez que não houve registro de velocidades acima de 10m/s.

Para uma análise mais detalhada permitindo a avaliação do comportamento do vento ao longo do dia foram determinadas as frequências de variação horária mensal da direção e velocidade dos ventos. Para tanto, foi utilizada rotina executada em planilha eletrônica Excell2000. Para as frequências anuais e horárias também foram identificados os percentuais para ausência de vento.

O conhecimento do comportamento dos ventos a cada período do dia e do ano facilita o trabalho do profissional de projeto permitindo prever diferentes sistemas de acordo com as solicitações de conforto de cada período, frio, seco, ou quente e úmido.

Com base nas informações obtidas, a partir dos dados de variação horária mensal, foi feita uma caracterização destes dados por período do dia, madrugada (0 às 7), manhã (8 às 12), tarde (13 às 17) e noite (18 às 23), procurando identificar tendências ou variações destas variáveis ao longo destes períodos em cada mês do ano. Estes dados são apresentados por meio de tabelas e gráficos.

Através das frequências apresentadas é possível obter as direções e velocidades mensais predominantes ao longo do ano, que também foram comparadas com os valores referentes aos três intervalos citados anteriormente, de 1960 à 1964, 1960 à 1990 e 1961 à 1970.

### 3.1.1.3 Determinação do Ano climático de Referência - ACR

Existem duas fontes de ano climático de referência, segundo ASHRAE, cap.24, utilizados para o cálculo de energia nos Estados Unidos, o chamado test reference year (TRY) desenvolvido pelo National Climatic Center e o typical meteorological year (TMY) desenvolvido pelo Sandia Laboratories.

STAMPER (1977) descreve o processo de determinação do TRY, que segundo PIETROBON et al (1999), é o ano real que mais se aproxima da normal climatológica.

De acordo com STAMPER (1977), a determinação do TRY para um local específico é baseada na eliminação de anos de dados que contenham temperaturas médias mensais extremas, altas ou baixas, até que reste somente um ano. Os meses são classificados em ordem de importância para as comparações de energia.

Então são anotados o mês mais quente e o mês mais frio, em seguida o segundo mês mais quente e o segundo mês mais frio e assim sucessivamente. Os anos que contenham as temperaturas extremas de cada mês da seqüência vão sendo eliminados. O ano restante é designado como Ano climático de referência e contém as informações climatológicas para as 8760 horas do ano.

A partir dos dados de 1982 a 1982 foi então determinado o ano climático de referência, test reference year- TRY.

A partir da determinação deste ano foi realizada uma breve caracterização climática, destacando as variáveis climáticas de temperatura do ar, umidade relativa e ventos.

Através dos dados do ano climático de referência foram construídos gráficos de variação horária de temperatura e umidade permitindo a visualização de seu comportamento ao longo do ano.

Em relação à caracterização dos ventos realizou-se uma análise das frequências de velocidade dos ventos por direção, permitindo conhecer as velocidades do ar de maior ocorrência nos quadrantes predominantes.

### **3.1.2 Avaliação bioclimática**

Para identificação dos períodos de maior probabilidade de conforto ou desconforto térmico e das estratégias bioclimáticas para edificações na região de Brasília foram utilizados três métodos de avaliação bioclimática. A carta bioclimática de edificações de GIVONI (1992), as tabelas de Mahoney e o diagrama Triângulos de Conforto de EVANS (2000).

A carta de Givoni e o diagrama de Evans tornam possível a associação de informações sobre a zona de conforto, a análise do comportamento climático local e as estratégias de projeto indicadas para cada período do ano. Já as tabelas de Mahoney são uma ferramenta bastante prática e rápida para determinação de estratégias bioclimáticas de acordo com dados gerais do clima.

#### **3.1.2.1 Carta bioclimática de edificações**

A Carta bioclimática de edificações foi desenvolvida e aprimorada por GIVONI (1992), considerando os efeitos da aclimatização para países em desenvolvimento.

A carta está subdividida em 12 zonas; (1) zona de conforto, (2) zona de ventilação, (3) zona de resfriamento evaporativo, (4) zona de massa térmica para resfriamento, (5) zona de ar condicionado, (6) zona de umidificação, (7) zona de aquecimento solar passivo (massa térmica), (8) zona de aquecimento solar passivo, (9) zona de aquecimento artificial, (10) zona de ventilação/massa térmica, (11) zona de ventilação/massa/resfriamento evaporativo e (12) zona de massa térmica/resfriamento evaporativo.

GOULART et al (1994) fizeram uma adaptação desta carta considerando o trabalho de GONZALES (1986) em que ocorre a inclusão da zona de umidificação.

Foi aplicada metodologia utilizada por GOULART et al (1997), que utilizam a combinação da carta bioclimática de Givoni e o método de Watson e Labs, que faz análise de dados climáticos horários, fazendo uso do *Test Reference Year* (TRY) ou Ano Climático de Referência. Aplicando os dados do TRY à carta Bioclimática desenvolvida por Givoni é possível conhecer o comportamento da temperatura e umidade relativa do ar da cidade Brasília ao longo do ano.

Para gerar a carta com a inserção dos dados horários de temperatura e umidade das 8760 horas foi utilizado o programa Analysis Bio desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações- LabEEE- NPC- UFSC.

Foram utilizados os dados do ano climático de referência obtido do intervalo de 1982 à 1997, onde são destacados os percentuais das estratégias bioclimáticas indicadas e observados o número de meses em que cada estratégia é requerida, para dessa forma, ponderar sobre o peso destas estratégias no conforto interno das edificações.

Também foi realizada uma análise comparativa destes percentuais com os percentuais indicados no ano climático de referência determinado a partir do período de 1961 a 1970, referente ao ano de 1962, apresentado em GOULART et al (1997).

Para uma caracterização mais detalhada do ano climático obtido foram destacados os percentuais mensais de umidade relativa média, direção e velocidade média dos ventos predominantes, temperaturas máximas e mínimas absolutas e horário de ocorrência referentes aos intervalos de conforto delimitados pela Carta de Givoni. Os intervalos considerados foram:

- Temperaturas acima de 29°C e umidade relativa superior ou inferior à 80%.
- Temperaturas entre 18°C e 29°C e umidade relativa superior ou inferior à 80%.
- Temperaturas abaixo de 18°C.

### 3.1.2.2 Tabelas de Mahoney

As Tabelas de Mahoney consistem em um método desenvolvido utilizando um levantamento informal de dados climáticos para obter informações básicas sobre o impacto do clima no conforto e projeto durante diferentes meses do ano. Foi um método desenvolvido originalmente para climas de transição e foi uma das primeiras metodologias a considerar os efeitos da amplitude térmica sobre o conforto térmico dos ocupantes.

Este método oferece informações para a etapa inicial de projeto e está estruturado em quatro tabelas. A tabela 1 é utilizada para registrar os dados de temperatura, umidade, precipitação e ventos. Os dados de temperatura requeridos são as médias das máximas e mínimas mensais e amplitudes térmicas mensais assim como as máximas e mínimas absolutas, a temperatura média anual e a amplitude média anual.

Quanto aos dados de umidade relativa são requeridas as médias mensais máximas e mínimas e as médias obtidas pela soma das duas anteriores dividida por dois.

Nesse caso são selecionados os grupos de umidade para cada mês; grupo 1 quando a umidade relativa média for menor que 30%, grupo 2 para umidade relativa média entre 30% e 50%, grupo 3 para umidade relativa entre 50% e 70% e grupo quatro para umidade relativa média acima de 70%.

Ainda na tabela 1 são preenchidos os dados de precipitação média mensal. Nesse caso foram utilizados os dados das normais climatológicas de 1960 à 1990, INMET (1992).

A tabela 2 facilita um diagnóstico do clima e desenvolve uma série de indicadores climáticos. Os limites de conforto inferiores e superiores para o dia e noite são definidos de acordo com a temperatura média anual e o grupo de umidade de cada mês. Os limites de conforto diurno são comparados com as médias das máximas de temperatura e os limites de conforto noturno comparados com as médias das mínimas. Através da comparação destas médias com os limites de conforto para cada mês são definidas as condições de estresse térmico, Q para quente, C para conforto e F para frio.

São utilizados seis indicadores de estratégias (três indicadores de umidade, U1, 2 e 3 e três indicadores de aridez, A1, 2 e 3) definidos na tabela de acordo com condições de precipitação, estresse térmico e amplitude média mensal.

Na tabela 3 são fornecidas recomendações de projeto de acordo com os indicadores resultantes. As soluções recomendadas são agrupadas em layout, forma, movimento do ar, aberturas, paredes, coberturas, dormitório ao ar livre e proteção para chuva.

Quando os indicadores se enquadram entre os valores dados na tabela 3 é marcado o item especificado na mesma linha.

A quarta e última tabela dá recomendações mais específicas para o projeto de elementos da edificação. Como não é intenção da pesquisa chegar a esse nível de detalhe em relação ao edifício e sim tomar conhecimento dos parâmetros gerais que norteariam a etapa inicial de projeto, a tabela quatro não foi considerada.

Na análise bioclimática, utilizando como ferramenta as Tabelas de Mahoney, foram utilizados os dados climáticos obtidos do período analisado de 1982 e 1997.

### 3.1.2.3 Diagrama Triângulos de Conforto

A metodologia desenvolvida por EVANS (2000) foi batizada de Triângulos de conforto. O gráfico representa temperaturas médias no eixo das abscissas e amplitudes de temperatura no eixo das ordenadas, considerando a importância da variação de temperatura como um fator para seleção de estratégias bioclimáticas. Permite a representação de variáveis climáticas, a definição de zonas de conforto, a seleção de estratégias bioclimáticas e avaliação de temperaturas internas, medidas em edifícios existentes ou obtidas de simulações computacionais.

Nesse modelo a zona de conforto é dinâmica, varia de acordo com o nível da atividade. Evans considera os limites aceitáveis por GIVONI (1992) e FANGER (1970).

O gráfico também indica estratégias para conforto como movimento do ar, massa térmica, ganhos internos, ventilação seletiva para resfriamento, ventilação seletiva para aquecimento, resfriamento evaporativo e umidificação.

Utilizando planilha eletrônica, foi construído um gráfico, plotando dados de temperaturas médias diárias, em °C, e amplitudes térmicas médias diárias, em K, referentes ao período de 1982 à 1997.

Com uma máscara sobreposta ao gráfico, as estratégias bioclimáticas mais indicadas foram identificadas visualmente.

## 3.2 ESTUDO DE CASO.

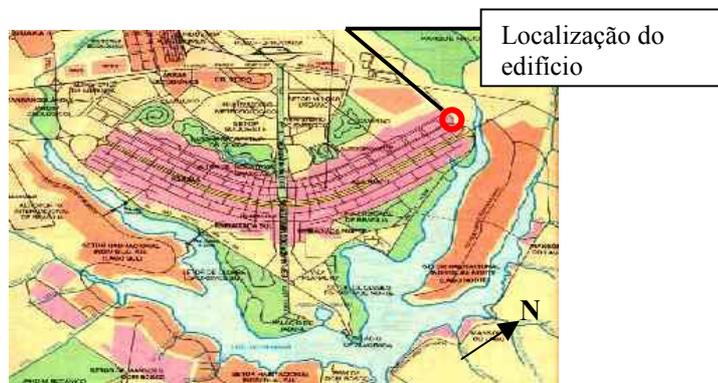
Foi selecionado o edifício da Emater-DF atualmente ocupado pela Câmara Legislativa do Distrito Federal, de autoria dos arquitetos Mário Willian Del Sarto e Gilson M. Carias e construído em 1982. Este edifício foi selecionado por apresentar características que vão de encontro a maioria das estratégias indicadas pelos métodos de avaliação bioclimática estudados (item 3.1.2). Um outro importante condicionante para a seleção do objeto de estudo foi a não existência de condicionamento artificial para que houvesse a possibilidade de testar o desempenho de estratégias passivas ou de baixo custo energético de condicionamento.



**FIGURA 3.2-** Fotografia fachada principal do edifício da Câmara legislativa do Distrito Federal.

### 3.2.1 Caracterização do edifício

O edifício da Câmara legislativa do Distrito Federal está localizado no extremo da Asa Norte do Plano Piloto, a 500 metros de distância das margens do Lago Paranoá (figura 3.3).



**FIGURA3.3-** Planta baixa Plano Piloto.

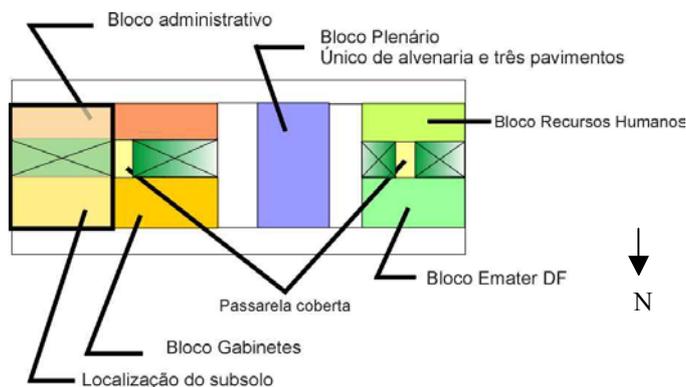
Através da figura 3.4, observa-se que o edifício está localizado em região de baixa densidade urbana, área plana e bastante aberta aos ventos. Apresenta uma pequena proporção de área pavimentada no seu entorno e com presença de pouca vegetação de grande porte, com exceção da vegetação na área circunvizinha ao edifício.

O edifício apresenta orientação norte sul em relação ao seu maior eixo como é possível observar na figura 3.4. A orientação foi obtida com o auxílio de mapas, escala 1/10. 000 e 1/2. 000, do Sistema Cartográfico do Distrito Federal – CODEPLAN 1998 e verificação “in loco” com o auxílio de bússola, marca Lensatis compass. O norte magnético, obtido com o uso da bússola, foi corrigido com a declinação magnética para o ano de 2001, de  $-20^{\circ}14'06''$ , para obtenção do norte geográfico.



**FIGURA 3.4-** Implantação e orientação do edifício. Ortofotocarta- 103- IV- 1- CODEPLAN –1998.

Na figura 3.5 é possível identificar que o edifício tem forma retangular horizontal (área de cobertura/(área da envoltória + cobertura) = 0.42), e é constituído por cinco blocos interligados por pátio interno. Os blocos componentes são os blocos Administrativos, Gabinetes, Plenário, Recursos Humanos e Emater - DF. As fachadas leste e oeste dos blocos são fachadas cegas. O bloco do Plenário possui 3 pavimentos e a extremidade da ala leste apresenta subsolo. As demais áreas apresentam apenas 2 pavimentos como é possível observar na figura 3.8.



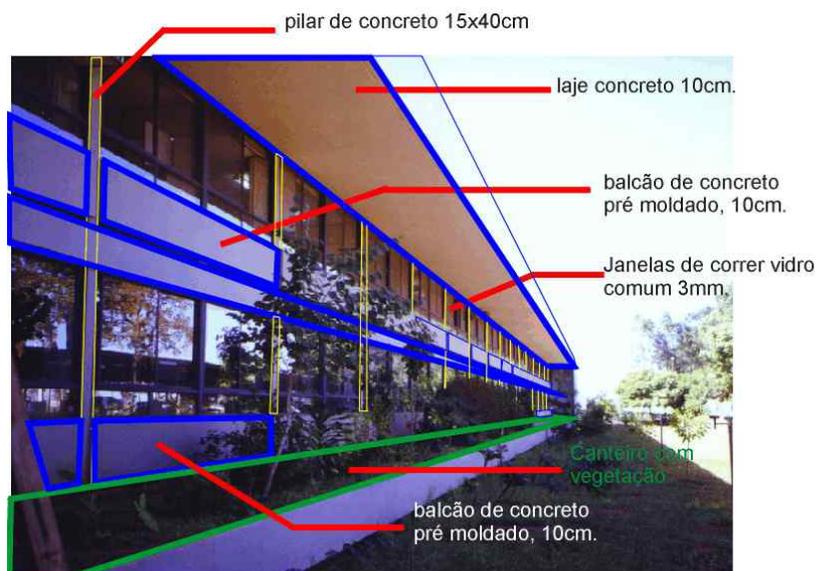
**FIGURA3.5-** Zoneamento do edifício.

Na extremidade leste do bloco administrativo localiza-se elevador para deficiente físico. Em relação ao nível de ocupação do prédio, o edifício apresenta um quadro de 1400 funcionários, sem contar com o quadro de deputados e assessores, ao qual não se teve acesso.

Na iluminação artificial do prédio são utilizadas lâmpadas fluorescentes T12 de 60W e luminária metálica com superfície interna branca. Como a iluminação natural do prédio é satisfatória a iluminação artificial permanece a maior parte do tempo desligada. As luminárias estão dispostas em dois circuitos paralelos em relação à janela, e geralmente, quando a iluminação artificial torna-se necessária, liga-se apenas o circuito mais distante da janela.

O edifício pesquisado pode ser caracterizado como de baixa capacidade térmica onde as janelas de vidros comuns de 3mm ocupa a maior proporção da área das fachadas (WWR= 60%, sem considerar bloco do Plenário). Vale salientar que os largos beirais garantem o sombreamento destas superfícies a maior parte do tempo.

Somente o bloco do Plenário e as colunas de banheiro dos demais blocos são de alvenaria com pequena proporção de janelas ( $WWR$  do Plenário = 8%). Na figura 3.6 é possível observar as características principais da envolvente dos demais blocos, constituídos basicamente por uma estrutura de concreto comum, pilares, laje e balcão pré-moldado de concreto na fachada. Com exceção das paredes externas, todas as paredes internas são divisórias de fórmica de 0,05m. Na cobertura a laje de concreto é coberta por telhas de cimento amianto e na área acima do corredor central dos blocos é coberta por uma segunda laje de concreto como é possível observar na figura 3.7. A transmitância da cobertura é de  $2.18 \text{ W/m}^2\text{K}$ , da parede (balcão pré-fabricado) é de  $2.04 \text{ W/m}^2\text{K}$  e das janelas é de  $5.29 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

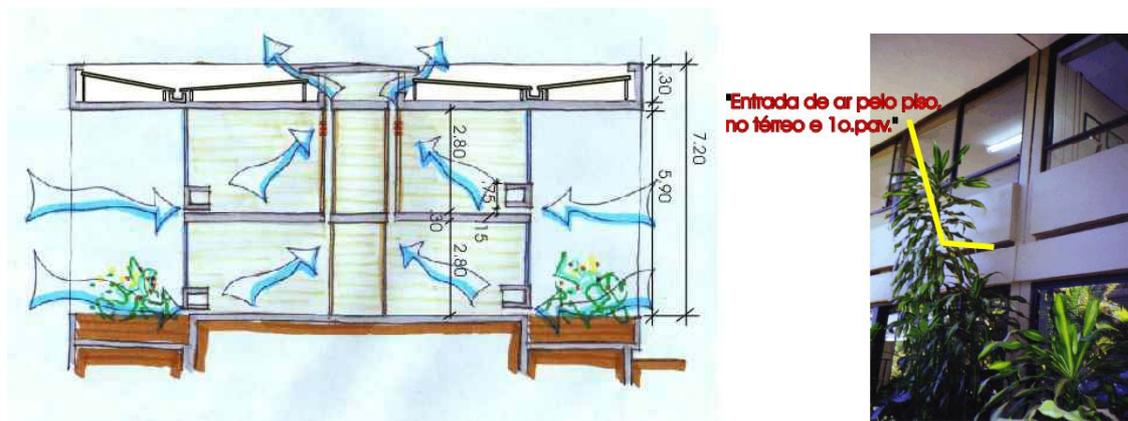


**FIGURA 3.6-** Materiais das vedações verticais.



**FIGURA 3.7-** Materiais cobertura.

Na figura 3.8 observa-se, de forma esquemática, a solução existente para renovação do ar interno. Aberturas de 15cm existentes na fachada na altura no piso (ver figura 3.9), promovem a circulação e renovação do ar interno mesmo com as janelas fechadas. O ar penetra pelas aberturas e a existência de divisórias duplas permite que o ar aquecido seja liberado para o exterior pela abertura no centro da cobertura.



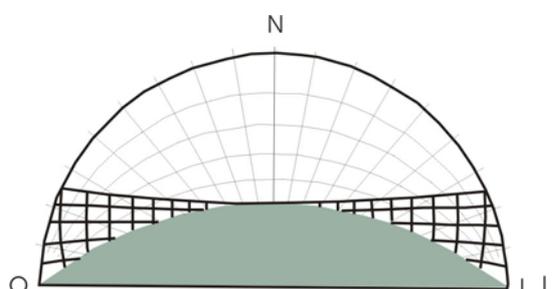
**FIGURA 3.8-** Corte esquemático do bloco Administrativo. Sistema de renovação de ar interno. **FIGURA 3.9-** Detalhe da entrada de ar.

O edifício da Câmara possui grandes janelas sombreadas que permitem uma boa ventilação, ver figura 3.10. Observa-se que o sombreamento é proporcionado por extensos beirais de 2,5m e pela presença de uma “cortina” de vegetação na fachada, que minimiza a incidência de radiação solar direta principalmente no primeiro piso.

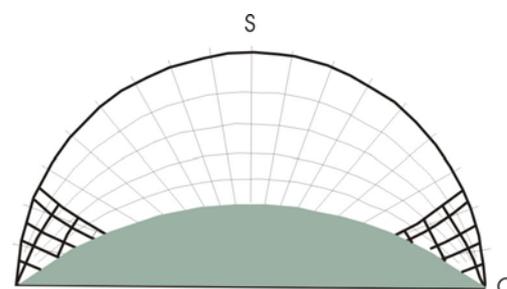


**FIGURA 3.10-** Vista da Fachada Principal do Edifício.

A identificação dos períodos de incidência solar direta sobre as fachadas ao longo do ano foi feita com uso de carta solar de projeção estereográfica. As figuras 3.11 e 3.12 apresentam as máscaras de sombra sobrepostas sobre a carta solar para as fachadas norte e sul, respectivamente.



**FIGURA 3.11-** Máscara de Sombra Beiral Fachada Norte.

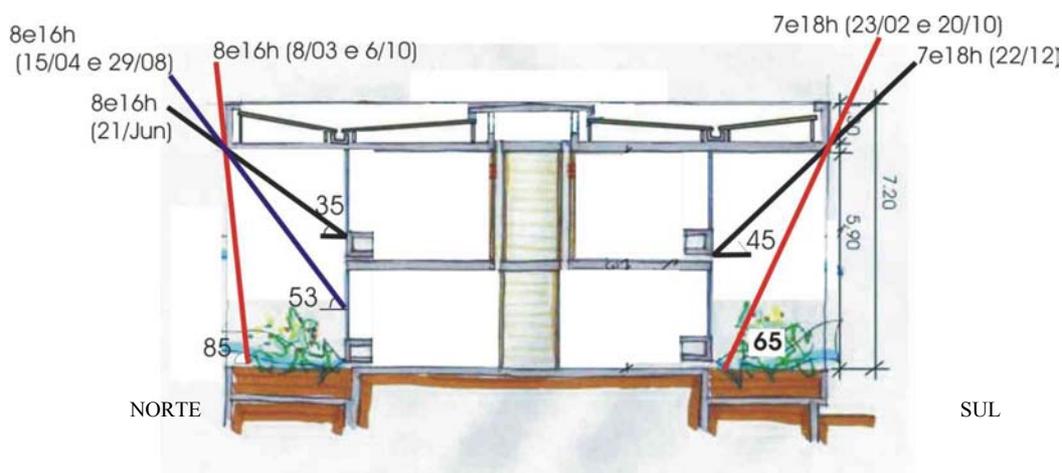


**FIGURA 3.12-** Máscara de Sombra Beiral Fachada Sul.

A sobreposição da máscara de sombra sobre a carta destaca o sombreamento proporcionado pelo beiral existente. Observa-se que no inverno há incidência direta do sol sobre a fachada norte durante quase todo o dia, com exceção do período entre 11 e 13 horas. Porém, através da simulação do percurso solar ao longo do ano sobre a maquete, observa-se que, no bloco estudado (bloco administrativo), antes das 8 horas da manhã e após as 17 horas no inverno o térreo desta fachada é

protegido pela projeção da sombra do bloco dos gabinetes. Projetando os ângulos das alturas solares de determinados períodos do ano identificados na máscara de sombra em corte do edifício, figura 3.13, observa-se que o período de incidência direta sobre o primeiro andar é muito menor do que o indicado na carta, ficando sombreado a maior parte do tempo, enquanto o térreo recebe radiação direta.

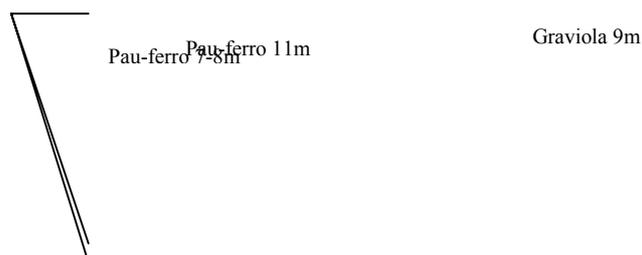
No verão, é a fachada sul que recebe insolação direta, pela manhã somente até às 7 horas da manhã e à tarde à partir das 17 horas. Porém observando a projeção dos ângulos das alturas solares da figura 3.13, nota-se que o térreo ainda recebe insolação direta até às 8 horas da manhã e à tarde até às 18 horas, enquanto nesse período o primeiro andar já está totalmente sombreado.



**FIGURA 3.13-** Corte Esquemático, ângulos de incidência solar.

Nesta análise fica evidente o efeito do beiral no sombreamento das fachadas, demonstrando eficiência nos períodos mais quentes do dia. É possível identificar uma deficiência no sombreamento no período de verão, em que o térreo da fachada sul fica bastante exposto à radiação solar direta a partir das 16 horas. No inverno, período de baixas temperaturas onde o aquecimento solar passivo seria recomendado em determinados casos, a exposição do térreo da fachada norte à incidência direta do sol não demonstra em si uma deficiência na proteção solar.

Uma outra característica do prédio que produz um efeito de sombreamento sobre as fachadas é o uso de vegetação, sombreando a fachada nos horários em que o beiral deixa de ter influência, auxiliando principalmente o sombreamento do térreo. A presença de vegetação ao longo das fachadas e da vegetação de grande porte no pátio interno também contribui para formação de um microclima local. Nas figuras 3.14 e 3.15 é indicada a localização e tipo da vegetação existente. As extremidades do pátio interno foram fechadas com pérgolas verticais de concreto, destacadas na figura 3.14, tornando o espaço permeável à passagem dos ventos e mantendo a segurança interna.

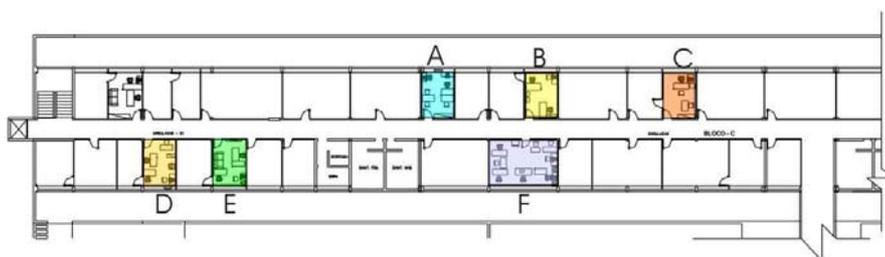




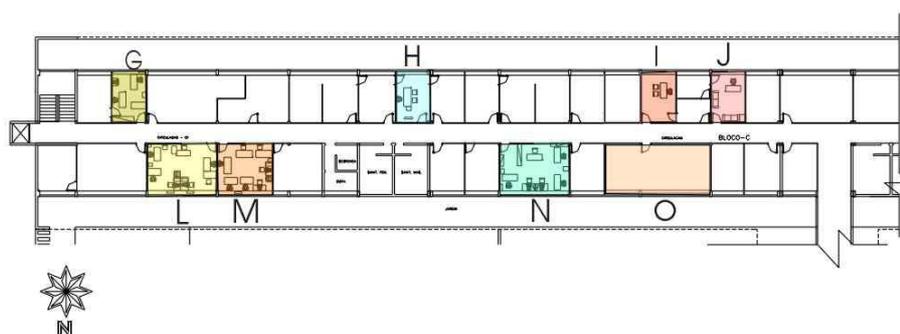
- Sistema de Resfriamento evaporativo direto por microaspersão.
- Isolamento térmico da cobertura com poliuretano.
- Pintura das telhas de cimento amianto com tinta branca.
- Vedação do sistema existente de renovação de ar.
- Verificação da influência da ventilação natural - através do fechamento e abertura das janelas.

Além disso, procurou-se avaliar a influência do pátio interno e vegetação para as condições de conforto térmico internas.

As salas utilizadas para análise estão todas localizadas no bloco administrativo em virtude da maior facilidade de acesso e não existência de ar condicionado de janela em nenhuma das salas. Nas figuras 3.16 e 3.17 são destacadas as 14 salas analisadas. Seis salas estão localizadas no térreo e oito no 1º andar.



**FIGURA 3.16-** Pavimento Térreo- Salas analisadas (A à F).



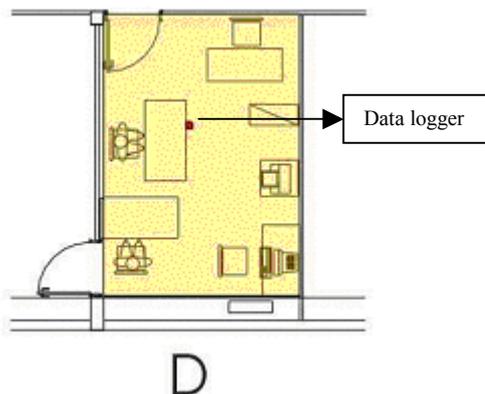
**FIGURA3.17-** 1º.Pavimento - Salas analisadas (G à O).

Procurou-se selecionar salas com número e tipo de equipamentos, mobiliário e vedações semelhantes e mesmo número de funcionários. A maior parte das salas está enquadrada em módulos de 3x3,5. Porém algumas salas são maiores, módulo de 6x3,5, e nesse caso procurou-se compará-las apenas entre si.

#### A) Salas não modificadas.

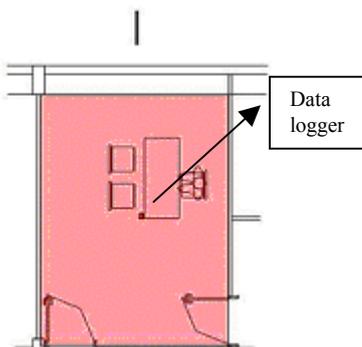
As salas D, I, L e O foram mantidas originais para que funcionassem como base de comparação com as salas modificadas. É importante observar que apesar de não ter havido alterações cada uma das salas está sujeita a uma condição diferente em relação a volume de vegetação na área externa imediatamente próxima.

Cada uma delas foi caracterizada em relação ao lay-out interno, equipamentos utilizados e número de usuários, como é possível observar nas figuras de 3.18 a 3.21. Nas figuras também é possível verificar a posição definida para os equipamentos utilizados para aquisição de dados de temperatura e umidade, que serão descritos com mais detalhe no item seguinte.



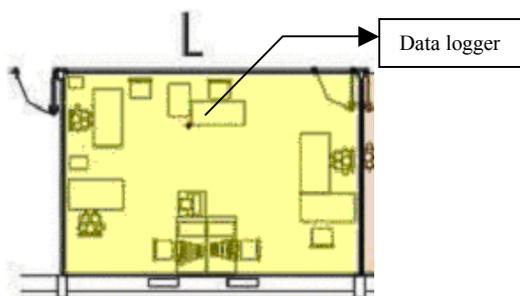
A sala D também está localizada no térreo, mas está voltada para fachada norte (pátio interno) com árvores de grande porte em frente a sua janela. É normalmente ocupada por dois usuários e apresenta como equipamentos, um computador, uma impressora e um ventilador portátil.

FIGURA 3.18- sala D



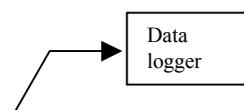
A sala I, L e O estão localizadas no 1º. Andar, mas a somente a sala I está voltada para sul. É ocupada por somente um usuário. Nesta sala existe apenas um aparelho de fax.

FIGURA 3.19- sala I



A sala L está enquadrada no módulo de dimensões de 6x3,5. Esta sala também está bem abaixo das árvores de grande porte. É ocupada por três usuários durante a maior parte do tempo. Os equipamentos utilizados são um computador, uma impressora e dois ventiladores portáteis.

FIGURA 3.20- sala L



A sala O está fora da modulação e apresenta dimensões de 7x3,5m. É ocupada por três usuários, porém, um deles não permanece no local por mais de duas horas. Os equipamentos utilizados são um computador, uma impressora e um ventilador portátil.

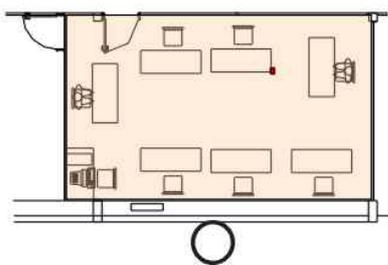


FIGURA 3.21- sala O

### B) Salas modificadas

Em cada uma das salas alteradas houve a aplicação de um dos sistemas propostos. As salas modificadas também foram caracterizadas em relação ao lay-out interno, equipamentos utilizados e número de usuários. Além disso, a posição dos data loggers nas salas também foi identificada através de um pequeno quadrado vermelho, sempre posicionado na lateral de uma das mesas.

Nas salas A, F, H e N, apresentadas nas figuras de 3.22 a 3.25, foi implantado sistema de resfriamento evaporativo direto por microaspersão.

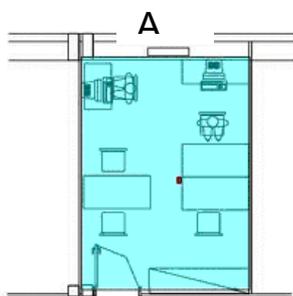


FIGURA 3.22- sala A

A sala A está localizada no térreo e voltada para sul. Normalmente é ocupada por dois usuários e estes geralmente mantém a porta fechada. São utilizados dois computadores, uma impressora e um ventilador portátil.

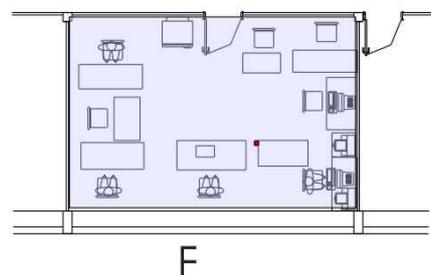


FIGURA 3.23- sala F

A sala F, enquadrada no módulo de 6x3,5, também localiza-se no térreo mas está voltada para norte (pátio interno). Normalmente é ocupada por quatro usuários. São utilizados dois computadores, um laptop, duas impressoras, um ventilador portátil e um frigobar.

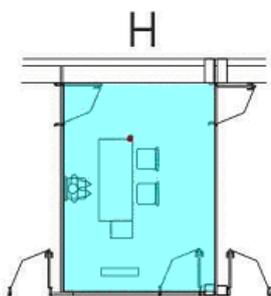
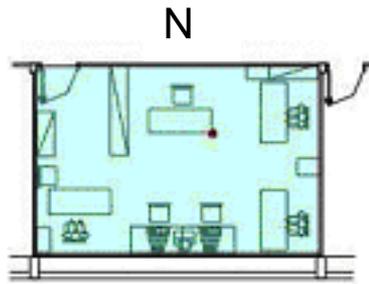


FIGURA 3.24- sala H

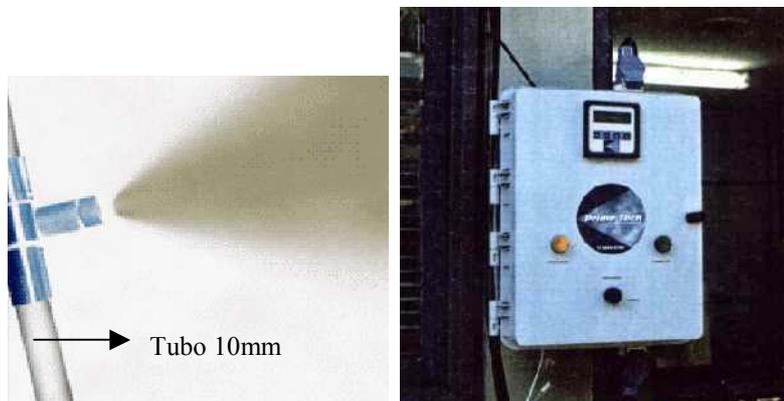
A sala H localiza-se 1º andar e está voltada para sul. É ocupada por um usuário que geralmente mantém a porta fechada. Apresenta apenas um ventilador portátil.



A sala N, enquadrada no módulo de 6x3,5, também está localizada no 1º andar mas está voltada para o pátio interno à norte. É ocupada por três usuários geralmente. São utilizados dois computadores, uma impressora, um ventilador portátil e um aparelho de fax.

**FIGURA 3.25-** sala N

O sistema de resfriamento evaporativo aplicado é um sistema composto por um módulo de alta pressão, bomba de 1,8hp, dutos flexíveis de 10mm e micro-aspersores de 2 e 3 mm que atomizam a água, formando uma fina névoa. Na figura 3.26 é possível ver em detalhe um dos bicos micro-aspersores. Foi utilizado com um painel gerenciador para automatização do sistema, ver figura 3.27.



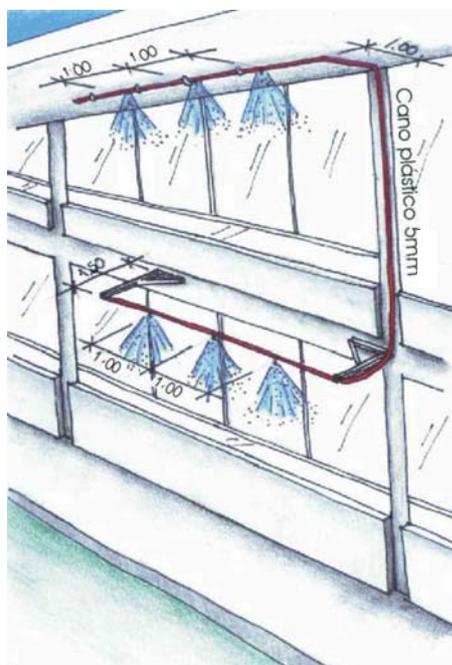
**FIGURA 3.26-** Detalhe do bico aspersor **FIGURA 3.27-** Painel gerenciador

O controlador automático permitia o monitoramento do sistema através de um sensor interno de temperatura e umidade relativa do ar, apresentado na figura 3.28. O sensor foi localizado na sala N em virtude da maior proximidade do painel controlador e por apresentar condição desfavorável localizando-se no 1º andar e sofrendo os ganhos de calor pela cobertura. A temperatura interna medida pelo sensor era o parâmetro para acionar o sistema e a umidade relativa era o parâmetro para seu desligamento. Os limites estabelecidos visaram apenas enquadrar as condições de temperatura e umidade relativa internas dentro da zona de conforto, uma vez que este era um edifício em que os usuários estavam aclimatizados a um ambiente sem condicionamento. E, portanto, não houve uma pretensão de reduzir radicalmente as temperaturas internas, como no caso de ambientes condicionados em que se mantém o ar refrigerado até cerca de 23°C de temperatura. Procurou-se manter as temperaturas internas abaixo dos 28°C. Os parâmetros de temperatura e umidade foram sendo ajustados à medida que a pesquisa se desenvolvia, procurando alcançar limites ideais em que não houvesse mais problemas ocasionados pelo acúmulo de água nas superfícies. A orientação ideal e o tamanho da abertura dos bicos também foram sendo ajustados ao longo da pesquisa.



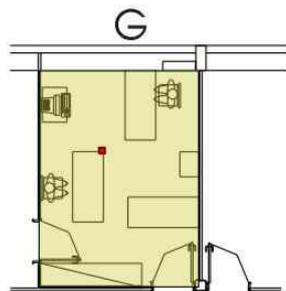
**FIGURA3.28-** Sensor de temperatura do ar e umidade relativa, sala N.

Os bicos aspersores foram posicionados externamente na fachada, no limite superior das janelas, a uma distância destas de 1,5 metros no térreo e 1 metro no primeiro andar como demonstrado nas figuras 3.29 e 3.30. A distância entre os bicos aspersores era de 1 metro. Os dutos se prolongaram cerca de 2 metros para cada uma das laterais das janelas para que houvesse o aproveitamento dos ventos em direções diagonais à janela.

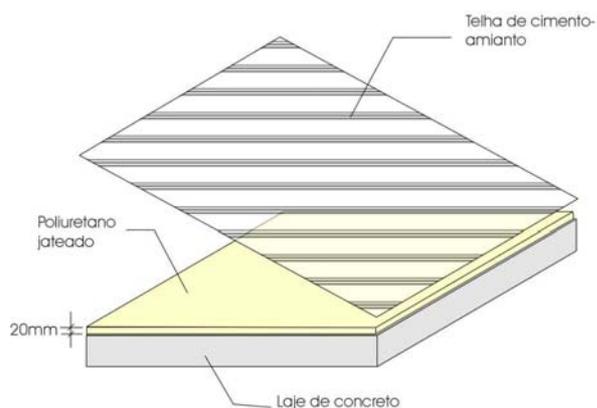


**FIGURA3.29-** Desenho esquemático da instalação do sistema de resfriamento evaporativo. **FIGURA3.30-** Vista sistema em funcionamento.

A sala G, figura 3.31, foi selecionada para localização do isolamento térmico da cobertura. O isolamento foi feito com espuma rígida de poliuretano de 10 à 20mm, jateada sobre a laje de cobertura no dia 19 de fevereiro de 2001, como é possível ver na figura 3.32. A aplicação do isolante abrangeu a área da laje acima da sala G e a área acima das salas vizinhas à citada sala. Dessa forma, era possível garantir um melhor isolamento da sala diminuindo os ganhos por condução. Após a aplicação do poliuretano, as telhas de cimento amianto foram recolocadas no local.

**FIGURA 3.31-** sala G

A sala G localiza-se no 1.º andar e está voltada para sul. É ocupada por dois usuários, mas normalmente apenas um deles ocupa a sala. Os equipamentos utilizados são um computador, um aparelho de fax e um ventilador portátil.

**FIGURA 3.32-** Isolamento térmico sobre laje da sala G

No dia 5 de maio de 2001 as telhas de cimento amianto sobre a sala G foram pintadas com tinta acrílica branca como verifica-se na figura 3.33. Dessa forma seria possível observar o efeito da cor branca comparando os dados medidos antes e após a pintura.

**FIGURA3.33-** Telha pintada de branco sobre a cobertura da sala G.

Nas salas B, C, E e J, figuras 3.34 à 3.37, foi feita a vedação do sistema existente de renovação de ar, com fita plástica adesiva. Foram fechadas as aberturas localizadas embaixo dos armários de concreto da fachada e as aberturas de saída do ar localizadas no teto rente às divisórias, no térreo, e as grelhas nas divisórias do 1.º andar.

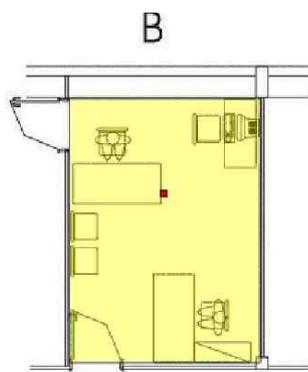


FIGURA 3.34- sala B

A sala B localiza-se no térreo e está voltada para sul. A vedação das aberturas foi realizada no dia 20 de fevereiro às 12:00 e retirada no dia 02 de março às 15:00.

A sala é ocupada normalmente por dois usuários e são utilizados um computador e um ventilador portátil.

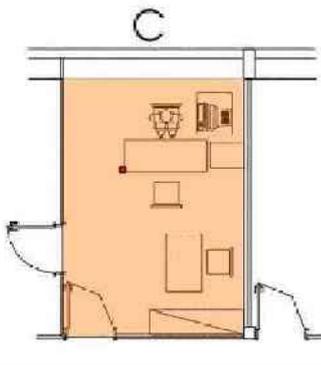


FIGURA 3.35- sala C

A sala C substituiu a sala B na fachada sul, térreo, a partir de 14 de abril com a vedação das aberturas. Neste caso a sala B passou a ser utilizada como parâmetro de comparação. No período da manhã é normalmente ocupada por apenas um usuário e por dois durante à tarde. Em relação aos equipamentos são utilizados um computador e um ventilador portátil.

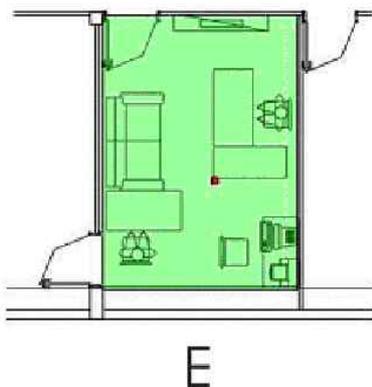


FIGURA 3.36- sala E

A sala E localiza-se no térreo e está voltada para norte. Presença de grande volume de vegetação próximo a sua fachada. A vedação das aberturas foi realizada no dia 02 de março às 15:00.

A sala é ocupada por um usuário no período da manhã e dois durante à tarde. São utilizados um computador, uma impressora e um ventilador portátil.

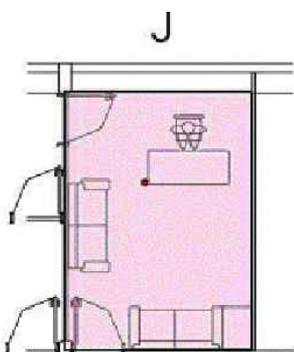


FIGURA 3.37- sala J

A sala J está localizada no primeiro andar e é orientada para sul. A vedação das aberturas foi realizada no dia 07 de maio às 12:00.

É normalmente ocupada por apenas um usuário, mas como é uma sala de secretária, recebe um grande volume de pessoas em alguns dias do mês.

Na sala M, figura 3.38, foi avaliado o efeito da ventilação natural sobre a temperatura interna através da manutenção das janelas fechadas ou abertas em determinados períodos.

A sala M está localizada no primeiro andar e é orientada para norte. Em alguns períodos foi solicitado aos funcionários que mantivessem as janelas fechadas de dia, abertas à noite ou nos fins de semana.

É ocupada por três usuários. Porém com frequência no período da manhã só havia dois deles.

São utilizados dois computadores, uma impressora, uma máquina de fax e um ventilador portátil.

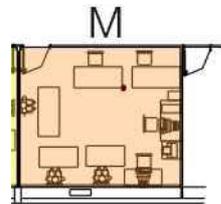


FIGURA 3.38- sala M

### 3.2.3 Coleta e análise de dados

Na análise comparativa das salas foram analisados dados de sensação térmica dos usuários e dados de temperatura e umidade relativa do ar medidos no interior das salas. O período de monitoramento no edifício foi de 4 meses, iniciando no dia 8 do mês de fevereiro e finalizando no dia 15 do mês de junho. Neste intervalo é possível uma boa caracterização do comportamento térmico dos períodos de verão (período chuvoso) e inverno (período seco).

#### 3.2.3.1 Variáveis humanas - questionários e dados de observação direta.

Para o registro dos dados de sensação térmica foram aplicados questionários aos usuários de cada sala analisada. A aplicação do questionário foi feita duas vezes, por turno (manhã e tarde). Apenas no mês de junho o questionário foi aplicado apenas um dia, durante os turnos da manhã e tarde.

Também foi realizada uma avaliação direta com anotação por parte da pesquisadora, do comportamento dos usuários e observações consideradas pertinentes, identificando a hora e dia do registro das observações. Constam dessas observações aspectos referentes ao comportamento dos usuários como hábito de abrir ou não portas e janelas ou os momentos de acionamento dos ventiladores portáteis.

O questionário foi elaborado visando obter respostas de sensação térmica dos usuários e identificar preferências/desejos destes usuários quanto ao condicionamento dos ambientes em questão. Para tanto, na elaboração da estrutura do questionário, tomou-se como base método apresentado por GÜNTHER (1999) e ORNSTEIN (1992).

Para verificação da sensação térmica foi utilizada a escala sétima da ASHRAE através da qual é possível trabalhar estatisticamente os dados pela relação numérica existente. Para sensação térmica, os valores utilizados correspondem a: -3 (muito frio); -2 (frio); -1 (leve sensação de frio); 0 (neutralidade térmica); +1 (leve sensação de calor); +2 (quente) e +3 (muito quente).

Para preferência térmica os valores correspondem a: -3 (muito refrescado), -2 (refrescado); -1 (levemente refrescado); 0 (assim mesmo); +1 (levemente aquecido); +2 (aquecido) e +3 (muito aquecido). Procurou-se frisar através das questões, que o objetivo foi avaliar a sensação percebida no ambiente interno.

Os questionários eram distribuídos a todas as salas no mesmo período e recolhidos no espaço de uma hora. Para cada usuário presente na sala no momento da distribuição era entregue uma cópia. Foi necessária uma pequena explicação dos objetivos e da estrutura do questionário, a cada usuário, apenas na primeira vez em que foram aplicados.

É importante observar que, foram eliminados da análise dos resultados, os questionários que apresentassem respostas muito incoerentes, como por exemplo, questionários de pessoas que classificavam o ambiente como muito quente enquanto todos diziam estar muito frio, ou aqueles que classificavam o ambiente como frio, mas prefeririam estar muito mais refrescados.

Foi feita uma correlação das respostas com as temperaturas internas registradas nas salas no momento da aplicação dos questionários, para dessa forma, identificar possíveis limites de conforto para temperatura interna.

Um modelo do questionário aplicado é apresentado no anexo A.

### 3.2.3.2 Variáveis ambientais internas

As variáveis ambientais medidas e analisadas foram a temperatura de bulbo seco (TBS) e a umidade relativa do ar (UR). Foi feita a análise comparativa destas variáveis entre salas não modificadas e modificadas. Os dados medidos internamente também foram comparados com dados de TBS medidos nas áreas externas do prédio e com os dados de TBS e UR externos registrados pela estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

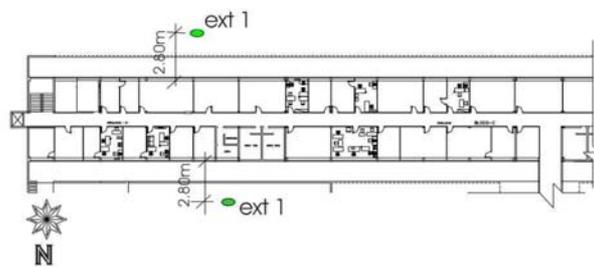
Os dados medidos foram registrados com *data loggers* portáteis fixados a 0,75m de altura na lateral de umas das mesas em posição mais central do interior de cada sala, como demonstra a figura 3.36. O sensor utilizado foi um pequeno equipamento eletrônico de aquisição de sinais, denominado HOBO data logger da Onset Computer Corporation. A faixa de temperatura em que os sensores dos data loggers operam é de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+120^{\circ}\text{C}$ , e armazenam valores de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+75^{\circ}\text{C}$ . A precisão é de  $0,7^{\circ}\text{C}$  para a faixa de temperatura em que foram realizadas as medições, e a resolução é de  $0,4^{\circ}\text{C}$ . O sensor funciona em uma faixa de umidade relativa de 0 a 95%, desde que não haja condensação. Quanto aos sensores de umidade relativa, estes operam entre temperaturas de  $5^{\circ}\text{C}$  e  $50^{\circ}\text{C}$  e apresentam uma acuracidade de  $\pm 5\%$ .



FIGURA 3.39- Localização dos sensores.

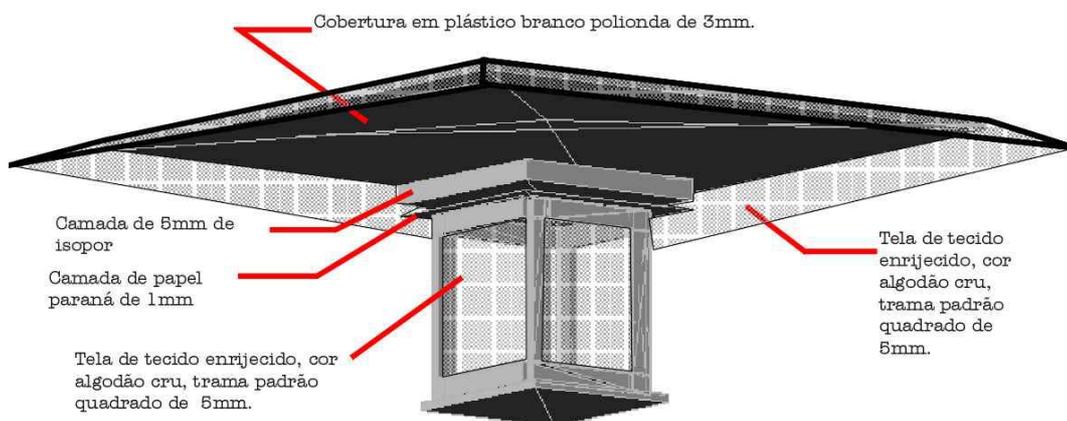
Foi instalado um data logger de temperatura por sala. Como só havia três data loggers de umidade relativa do ar, estes eram instalados de maneira rotativa nas salas analisadas, ao lado dos sensores de temperatura, permanecendo entre 5 a 10 dias. Para as medições externas à edificação

foram utilizados dois data loggers de temperatura, um deles localizado no pátio interno e o outro na parte sul como é possível observar nas figuras 3.40 e 3.41.



**FIGURA 3.40-** Localização dos sensores externos. **FIGURA3.41-** Vista da localização do data logger na fachada sul.

Para proteção dos sensores das intempéries externas foram construídas duas maquetes protetoras como demonstrado na figura 3.42, erguida a 1,6 metros do chão (figura 3.41). Além disso, os data loggers foram recobertos com alumínio evitando problemas com a incidência direta de radiação solar direta e de onda longa.



**FIGURA3.42-** Desenho esquemático da maquete para proteção dos sensores externos.

Os data loggers foram comparados entre si colocando-os dentro de um ambiente isolado (caixa de isopor de 0,5m x 0,5m). Foi registrada uma variação máxima de 0,3°C para os sensores de temperatura do ar e de 0,6% para os sensores de umidade relativa.

Após a verificação dos data loggers foram ajustados para fazer a aquisição de dados de 15 em 15 minutos e para que esta aquisição fosse sincronizada, em minutos coincidentes (às X:00, X:15, X:30 e X:45). De 15 em 15 dias os data loggers eram retirados do local para a extração dos dados e neste intervalo não era feito o registro. Depois com o auxílio de planilha eletrônica foi feita uma média horária destes dados.

Para a avaliação dos dados de temperatura e umidade medidos nas 14 salas e nas áreas de transição externas utilizou-se o auxílio de gráficos para melhor visualização do seu comportamento climático.

Todas as avaliações foram feitas procurando caracterizar o comportamento térmico dessas salas avaliadas em relação ao ambiente externo. Dessa forma foi necessária uma caracterização climática do período analisado. Foram obtidas informações gerais dos boletins meteorológicos trimestrais emitidos

pelo INMET e caracterizados os dados horários externos de temperatura do ar, umidade relativa e direção e velocidade dos ventos também fornecidos pelo INMET.

Cada estratégia estudada foi avaliada separadamente. Primeiramente através da comparação dos dados medidos entre a sala sob influência de determinada estratégia (resfriamento evaporativo, isolamento, etc) e a sala não modificada daquele pavimento e fachada e os dados externos medidos ou coletados da estação meteorológica. Depois os dados da sala modificada eram comparados com os dados das outras salas sob influência da mesma estratégia localizadas em outros pavimentos e fachadas. Essa comparação se deu de diferentes maneiras. Foram comparados dados horários de temperatura e umidade medidos, dados de amplitude térmica diária e de temperatura média das máximas e das mínimas para cada mês de medição. Também foram calculados e comparados os graus-hora, no sentido de verificar o quanto o edifício precisaria ser resfriado ou aquecido se fossem utilizados equipamentos de ar condicionado ou aquecimento. Para determinação dos graus-hora é feita a somatória das diferenças de temperatura horária que excedem (para avaliação do grau de resfriamento necessário) ou estão abaixo (para avaliação do grau de aquecimento necessário) da temperatura base estipulada. As temperaturas base para aquecimento e resfriamento foram adotadas a partir dos resultados obtidos com os questionários. Através dos graus hora também foi possível identificar o quanto as estratégias aplicadas e a própria adequação do partido arquitetônico auxiliaria na minimização do uso do ar condicionado.

Além disso, foram comparados os percentuais de horas de conforto e desconforto através da plotagem dos dados de temperatura e umidade medidos sobre a Carta Bioclimática de GIVONI (1992). Para plotagem dos dados sobre a carta foi utilizado o programa Analysis Bio 2.0 desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina - NPC- LabEEE. Foram comparados os percentuais de conforto das salas com registro de umidade relativa interna do mesmo período, uma vez que devido a existência de apenas três sensores de umidade, o registro de umidade relativa interna foi rotativo, como mencionado anteriormente.

Além da avaliação das variáveis de temperatura e umidade internas, também foram registrados dados de temperatura de superfície na sala G, que sofreu a aplicação do isolamento térmico na cobertura e depois a pintura das telhas. Para o registro dos dados de temperatura de superfície foi utilizado um termômetro portátil com sensor infravermelho, marca Raytek-Kiltler, modelo mini-temp (ver figura 3.43). Este termômetro opera na faixa de temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$  a  $260^{\circ}\text{C}$ . O alcance do infravermelho é de 6:1, sua acuracidade é de  $\pm 2\%$  e precisão de  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Foi feita a comparação dos dados de temperatura da superfície do teto desta sala e da sala não modificada desta fachada e pavimento, (sala I).



**FIGURA 3.43-** Termômetro de superfície

Não foi possível dispor de anemômetros apropriados para medição da velocidade interna do ar nas salas analisadas. Dessa forma, foi feita apenas a verificação da existência de circulação de ar através das aberturas para renovação do ar através da visualização de fio de fumaça produzido pela queima de incenso, colocado próximo às aberturas.

# CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

## CAPÍTULO 4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados referentes à caracterização e análise bioclimática da cidade de Brasília com base em dados climáticos do período de 1982 a 1997. Também são apresentados os resultados obtidos da análise experimental realizada no edifício da Câmara Legislativa do Distrito Federal, no período de fevereiro a junho de 2001.

### 4.1 CLIMA E ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA BRASÍLIA

#### 4.1.1 Caracterização do clima

Como observado na revisão bibliográfica, na cidade de Brasília existe uma carência de dados climáticos atualizados voltados para o projeto bioclimático. Para uma caracterização mais detalhada e precisa do clima local é importante conhecer a distribuição ao longo do ano dos dados climáticos relevantes para a edificação, como a temperatura do ar, a umidade relativa, a insolação, direção e velocidade dos ventos e precipitações. Através do conhecimento detalhado destas variáveis ao longo do ano torna-se possível determinar os percentuais anuais para as estratégias de projeto bioclimático mais adequadas àquela situação climática.

Além disso, o tratamento de um período mais recente de dados climáticos oferece condições a uma análise comparativa e uma caracterização do clima da região, considerando toda a evolução climática em relação à evolução urbana da cidade.

Para verificação da possibilidade de comparar períodos registrados por estações diferentes, foi necessário verificar a existência de diferenças significativas entre as estações do Aeroporto e do INMET. A tabela 4.1 apresenta a comparação de duas médias entre dados do mesmo período (1990 à 1997), registrados pelas estações do aeroporto e do INMET. Verificou-se que havia uma diferença significativa apenas entre as temperaturas médias das máximas das duas estações.

Dessa forma, em relação às temperaturas máximas, não foi feita a comparação dos dados de 1982 à 1997, registrado pela estação do Aeroporto, com os períodos de 1960 à 1964 e de 1960 à 1990, ambos registrados pela estação do INMET.

TABELA 4.1- Comparação de duas médias

| Dados das medições |   |       |                     |       |                  |       |
|--------------------|---|-------|---------------------|-------|------------------|-------|
|                    | temp.méd.máx.(o.C)  |       | temp. méd.mín.(o.C) |       | Umidade relativa |       |
|                    | Aeroporto   | INMET | Aeroporto           | INMET | Aeroporto        | INMET |
| 1990               | 28.5  | 26.5  | 17.2                | 16.7  | 66.4             | 66    |
| 1991               | 27.7  | 26    | 16.9                | 16.4  | 68.4             | 70    |
| 1992               | 26.9  | 25.6  | 17                  | 16.6  | 72.4             | 71    |
| 1993               | 28.4  | 26.7  | 17                  | 16.6  | 65.2             | 65    |
| 1994               | 28.7  | 26.6  | 16.9                | 16.9  | 65.5             | 66    |
| 1995               | 28.3  | 26.7  | 16.3                | 17    | 68.5             | 66    |
| 1996               | 28.4  | 26.6  | 16.1                | 16.8  | 67.3             | 68    |
| 1997               | 28.1  | 26    | 16.3                | 16.8  | 68.8             | 68    |
| T.j                | 225   | 210.7 | 133.7               | 133.8 | 542.5            | 540   |
| n                  | 8   | 8     | 8                   | 8     | 8                | 8     |
| MEDIA              | 28.1  | 26.3  | 16.7                | 16.7  | 67.8             | 67.5  |
| Desvpad.           | 0.58  | 0.41  | 0.41                | 0.19  | 2.31             | 2.14  |
| Variância          | 0.33  | 0.17  | 0.17                | 0.04  | 5.32             | 4.57  |
| F                  | 1.9   |       | 4.7                 |       | 1.2              |       |
| Sp2                | 0.25  |       | 0.10                |       | 2.34             |       |
| Sp                 | 0.50  |       | 0.32                |       | 1.53             |       |
| t                  | 7.12  |       | -0.08               |       | 0.41             |       |
| v                  | 201.07  |       |                     |       |                  |       |
| H0 Sx=Sy           | F0,025(6,6)= 5.82   |       |                     |       |                  |       |
| H1 Sx#Sy           | Logo não existe diferença significativa apenas entre as amostras            |       |                     |       |                  |       |
| H0 Mx=My           | t (0,025)p/Sx=Sy =1.96  |       |                     |       |                  |       |
| H1 Mx#My           | Logo existe diferença significativa entre as médias das temp. méd. das máx. |       |                     |       |                  |       |

#### 4.1.1.1 Temperatura de Bulbo Seco e Umidade Relativa do Ar

Para o tratamento dos dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar, foi necessária a interpolação dos dados ausentes identificados na base de dados. A tabela 4.2 apresenta o percentual de dados ausentes para cada ano do intervalo analisado. O ano que apresentou maior percentual de dados ausentes foi o ano de 1982, com 12% de dados ausentes para temperatura do ar e 13% de temperatura de orvalho, posteriormente convertidos em dados de umidade relativa.

**TABELA 4.2-** Parcela de dados ausentes do intervalo de dados analisado.

|      | TBS  |      | TO   |      |
|------|------|------|------|------|
|      | No.  | %    | No.  | %    |
| 1982 | 1060 | 12   | 1106 | 13   |
| 1983 | 480  | 5.5  | 514  | 6    |
| 1984 | 401  | 4.6  | 429  | 5    |
| 1985 | 499  | 5.7  | 543  | 6.2  |
| 1986 | 377  | 4.3  | 425  | 4.85 |
| 1987 | 459  | 5.2  | 475  | 5.4  |
| 1988 | 317  | 3.6  | 335  | 3.8  |
| 1989 | 258  | 2.9  | 275  | 3.1  |
| 1990 | 417  | 4.8  | 435  | 5    |
| 1991 | 344  | 3.9  | 363  | 4.1  |
| 1992 | 1009 | 11.5 | 1014 | 11.6 |
| 1993 | 269  | 3.1  | 32   | 282  |
| 1994 | 341  | 3.9  | 363  | 4.1  |
| 1995 | 278  | 3.2  | 293  | 3.3  |
| 1996 | 901  | 10.3 | 911  | 10.4 |
| 1997 | 865  | 9.9  | 961  | 11   |

Numa primeira análise estatística dos dados, considerando todo o período de dados analisado (1982-1997), destaca-se que, em relação aos dados de temperatura do ar, a média de todo o período é de 21,6°C, o desvio padrão de 4,6°C e a moda de 20,2°C. Quanto à umidade relativa do ar, a média de todo o período é de 70%, o desvio padrão de 21,2% e a moda de 100%.

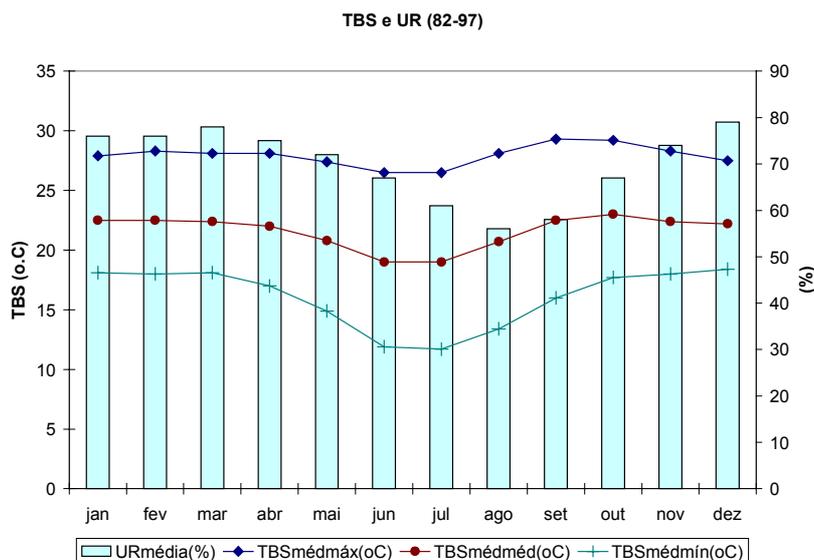
Na figura 4.1 são apresentados os valores médios de temperatura e umidade relativa do período analisado. Observa-se que os meses mais frios, que apresentam as menores temperaturas médias das médias e das mínimas, são os meses de junho e julho. O mês mais seco é o mês de agosto, com 56% de umidade relativa média. A umidade relativa mínima absoluta registrada é de 8%, no mês de setembro.

Segundo este intervalo de dados, outubro é o mês mais quente, apresentando a temperaturas médias das médias mais elevada, cerca de 23°C, e, média das máximas de 29,2°C, equivalente ao mês de setembro. O mês de setembro pode ser considerado um dos meses mais desfavoráveis, do ponto de vista do conforto térmico, uma vez que, conjuga elevadas temperaturas e baixa umidade relativa, onde 30% das horas do mês apresenta umidade relativa abaixo de 30%, sempre nas horas mais quentes do dia.

Através da observação do comportamento dados de temperatura e umidade do intervalo analisado é possível identificar os dois períodos distintos indicados por FERREIRA (1965), um período quente e úmido, de outubro à abril, diferenciado pelas menores amplitudes térmicas, e um período seco, de maio à setembro. Ainda analisando a distribuição destas variáveis ao longo do ano é possível distinguir dentro do período seco, um terceiro período, agosto e setembro, que poderia ser classificado como quente e seco. Na figura 4.1, que apresenta valores médios mensais de temperatura e umidade, observa-se que nos meses de agosto e setembro a amplitude térmica é bastante elevada, acima de 13°, as temperaturas médias das máximas acima de 28°C e a umidade relativa média baixa, abaixo dos 60%.

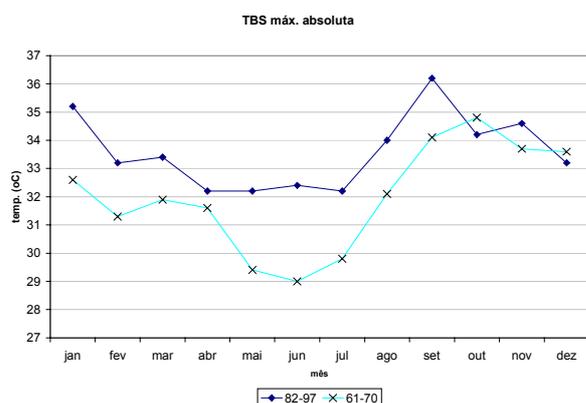
Mesmo sendo possível distinguir e caracterizar diferentes condições climáticas ao longo do ano observa-se que nenhuma dos períodos identificados apresentam os extremos que lhes são próprias,

em regiões caracterizadas por apenas um destes climas. Dessa forma, confirmam-se características de clima composto, como é o clima Tropical de Altitude.

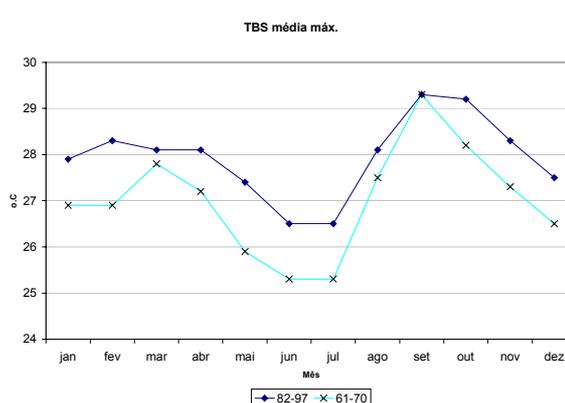


**FIGURA 4.1-** Valores médios de TBS e UR

Comparando o período analisado, de 1982 a 1997, com o período anterior de 1961 a 1970, percebe-se uma elevação significativa nas temperaturas máximas. As figuras 4.2 e 4.3 apresentam dados de temperaturas máximas absolutas e médias das máximas, respectivamente. A temperatura máxima absoluta do período chega a superar o período anterior em até 3,4°C no período seco, principalmente no mês de junho. Quanto às temperaturas médias das máximas, essa elevação é bastante perceptível durante quase todo o ano, cerca de 1 a 1,5°C acima, com exceção do mês março que apresenta uma diferença de apenas 0,2°C acima e do mês de setembro que coincide com o período de 1961 à 1970.



**FIGURA 4.2-** TBS máx. absoluta

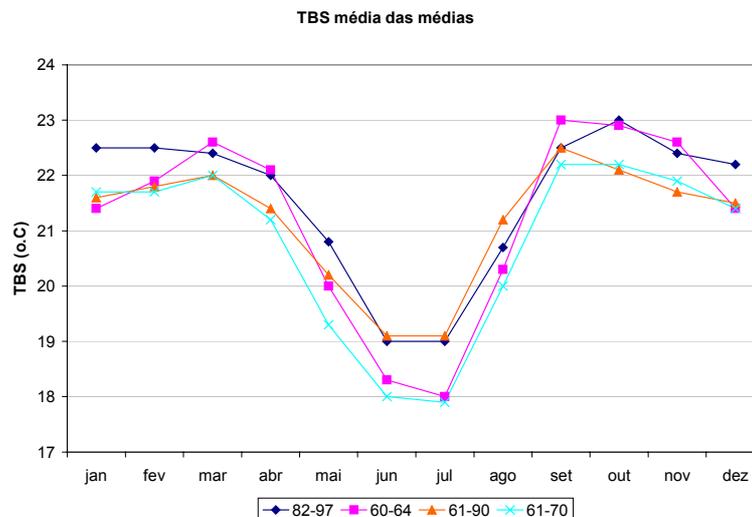


**FIGURA 4.3-** TBS média das máximas

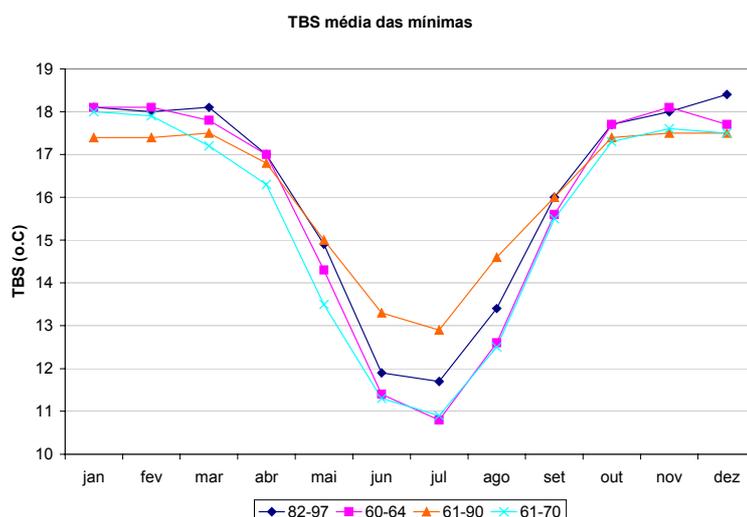
A figura 4.4 apresenta os dados de temperaturas médias das médias mensais do período de 1982 à 1997 e dos períodos anteriores de 1960 à 1964, 1961 à 1970 e de 1960 à 1990. Percebe-se uma elevação do período de 1982 a 1997, em relação a todos os outros períodos, apenas nos meses de dezembro à fevereiro e no mês de maio, entre 0,6 e 0,8°C. Nos meses de junho e julho, a média das médias é, cerca de 1°C, superior apenas em relação aos períodos de 60 a 64 e de 61 a 70.

A figura 4.5 indica as temperaturas médias das mínimas, onde se percebe uma elevação menos significativa do que a observada na média das máximas. Identifica-se que, entre junho e julho, a

temperatura média das mínimas do período mais recente (1982 a 1997) é superior, em até  $0,8^{\circ}\text{C}$ , aos períodos de 60 à 64 e de 61 à 70. Mas, neste mesmo intervalo, é inferior aos dados das normais climatológicas do INMET, de 61 à 90.



**FIGURA 4.4-** TBS médias das médias



**FIGURA 4.5-** TBS média das mínimas

Na figura 4.6 observamos a distribuição de temperaturas médias diárias ao longo do ano e a figura 4.7 apresenta o comportamento da amplitude térmica média ao longo do ano. Apesar da região apresentar temperaturas médias diárias relativamente baixas, variando entre  $14,6^{\circ}\text{C}$ , no mês de julho, e  $21,1^{\circ}\text{C}$ , no mês de outubro, verifica-se que as amplitudes térmicas médias da região são bastante elevadas. Mesmo no período considerado quente e úmido (de outubro a abril) as amplitudes variam entre  $9,1^{\circ}\text{C}$  (dezembro) e  $11,4^{\circ}\text{C}$  (outubro). No período seco (maio a setembro) as amplitudes variam entre  $12,5^{\circ}\text{C}$  (maio) e  $14,9^{\circ}\text{C}$  (julho).

Em relação à períodos anteriores, com o aumento das máximas juntamente com o leve aumento das mínimas, as amplitudes térmicas médias apresentam um aumento bastante significativo, principalmente entre abril e agosto, em relação ao período de 1960 à 1964. Em relação ao período de 1961 à 1970 esta elevação é significativa apenas nos meses quente e úmidos de outubro à fevereiro e nos meses secos de junho e julho. Esta elevação varia entre  $0,3$  e  $0,9^{\circ}\text{C}$ . O aumento da amplitude térmica é um possível reflexo do aumento de área pavimentada ao longo dos anos.

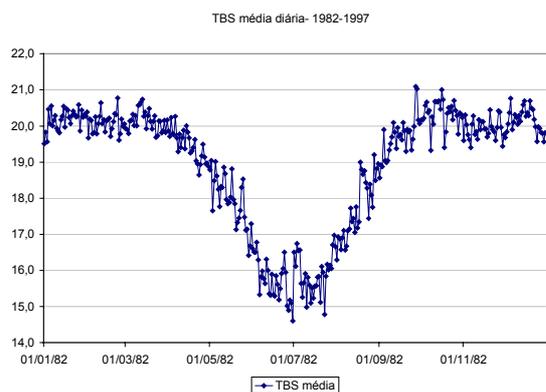


FIGURA 4.6- Temperatura média diária- 82-97

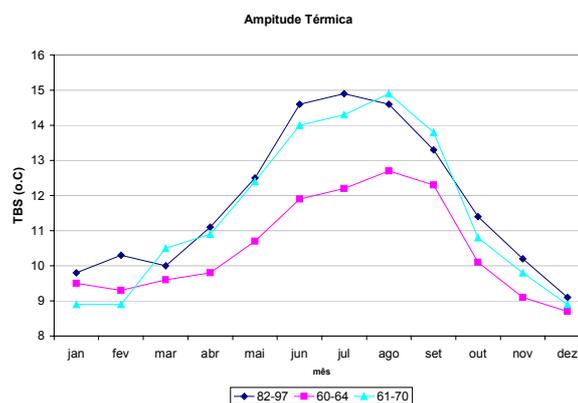


FIGURA 4.7- Amplitude térmica média mensal

Os valores de umidade relativa média são apresentados na figura 4.8. Observando os valores de umidade relativa média dos diferentes períodos, não é possível afirmar que houve algum tipo de modificação evidente ao longo dos anos. Apenas observa-se que no mês de setembro, a umidade relativa é 5 a 10% superior aos períodos de 60 a 64 e de 60 a 90.

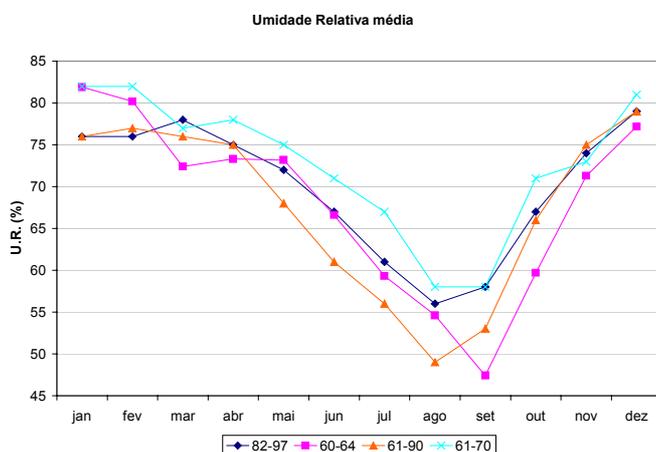


FIGURA 4.8- Umidade Relativa Média Mensal

Através da frequência mensal de temperatura do intervalo de dezesseis anos analisado (1982-1997), é possível observar seu comportamento ao longo do ano e as distinções existentes em cada período. Este tipo de avaliação auxilia na quantificação dos percentuais para cada mês ou período, observando os intervalos mais significativos.

Os histogramas apresentados no anexo B auxiliam na visualização destes percentuais que caracterizam os diferentes comportamentos mensais da temperatura ao longo do ano.

A tabela 4.3 apresenta percentual mensal de frequência de ocorrência de temperaturas, considerando o período de 1982 a 1997.

Verifica-se que, os percentuais de temperaturas abaixo de  $18^{\circ}\text{C}$  no período seco são bem superiores ao período quente e úmido. No período seco os percentuais variam entre 16,8% e 44,6% e no período quente e úmido ficam abaixo do 7%, com exceção do mês de abril que apresenta um percentual de 11,5% abaixo dos  $18^{\circ}\text{C}$ . Os meses mais frios (junho e julho) apresentam cerca de 40% das temperaturas abaixo de  $18^{\circ}\text{C}$ .

Observa-se que as temperaturas entre  $18^{\circ}\text{C}$  e  $28^{\circ}\text{C}$  representam os maiores percentuais mensais para todos os meses do ano, caracterizando, dessa forma, um predomínio de temperaturas amenas. Os meses referentes ao período quente e úmido apresentam um maior percentual de temperaturas entre

18°C e 28°C, sempre acima dos 70%. No período seco os percentuais variam entre 53,1% e 69,3%. É importante observar que as temperaturas enquadradas dentro deste intervalo não necessariamente indicam condições de conforto, uma vez que, a umidade relativa pode estar abaixo ou acima dos limites de conforto dentro deste intervalo, de acordo com os limites apresentados na Carta Bioclimática de Edificações. No item 4.1.2 é realizada uma análise bioclimática a partir dos dados climáticos do intervalo analisado onde é possível observar os percentuais de conforto térmico característicos da cidade.

As temperaturas acima de 30°C representam menos de 3% mensais durante a maior parte do ano. Apenas nos meses considerados mais quentes, setembro e outubro, esse percentual varia entre 5 e 6% mensais. Nos meses de junho e julho não ocorrem temperaturas acima de 30°C.

Durante todo o período quente e úmido e mês de setembro a temperatura de maior ocorrência mensal é 20°C. No período seco varia entre 15°C e 18°C, com exceção de setembro.

**TABELA 4.3-** Análise climática das frequências mensais de TBS.

|                                  | JAN     | FEV  | MAR  | ABR  | MAI  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OUT       | NOV  | DEZ  |
|----------------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|
| <b>TBS&lt;18°C (%)</b>           | 3,7     | 4,9  | 5    | 11,5 | 28   | 42,9 | 44,6 | 33,1 | 16,8 | 7,1       | 5,7  | 3,4  |
| <b>18°C&lt;=TBS&lt;=28°C (%)</b> | 88,5    | 78,5 | 89   | 80,2 | 69,3 | 53,1 | 54,2 | 59,4 | 66,3 | 79,7      | 82,6 | 91,2 |
| <b>TBS&gt;30°C (%)</b>           | 1,7     | 1,3  | 1    | 0,2  | 0,1  | 0    | 0    | 1,6  | 5,5  | 4,9       | 2,8  | 1,3  |
| <b>TBS de &gt; ocorrência</b>    | 20°C    | 20°C | 20°C | 20°C | 18°C | 15°C | 15°C | 16°C | 20°C | 19°C-20°C | 20°C | 20°C |
| <b>TBS mínima *</b>              | 15°C    | 15°C | 15°C | 11°C | 8°C  | 4°C  | 6°C  | 7°C  | 11°C | 13°C      | 13°C | 15°C |
| <b>TBS máxima *</b>              | 33°C, 0 | 32°C | 33°C | 31°C | 31°C | 29°C | 30°C | 33°C | 34°C | 34°C      | 34°C | 33°C |

- Percentuais acima de 0,1%.

Através das frequências de ocorrência de temperatura também é possível observar mudanças climáticas, dentro do intervalo analisado, a partir de 1990. No item 4.1.1.5. são feitas considerações à respeito das possíveis causas destas mudanças, relacionando-as ao processo de desenvolvimento urbano e criação de novos assentamentos coincidentes com os períodos de alteração climática. Os histogramas de frequência de temperatura de cada ano do intervalo são apresentados no anexo C.

Percebe-se que ocorre um pequeno deslocamento nas distribuições de frequência, onde a temperatura do ar de maior ocorrência passa de 19°C para 20°C a partir de 1990. Seu percentual de ocorrência varia entre 12 e 14%, com exceção de 1992 que alcança os 14,6%.

Durante a década de 80 a temperatura mínima registrada é de 2°C e a máxima de 36°C, ambas em 1985. Na década de 90, a temperatura mínima registrada é de 6°C em 1995 e a máxima é de 36°C em 1991. Vale salientar que o número de ocorrências de temperaturas abaixo de 8°C e acima de 33°C na década de 80 é tão pequeno que seu percentual anual não é significativo (abaixo de 0,2%). A partir de 1990 ocorre um deslocamento destes limites, onde passam a não apresentar percentuais significativos temperaturas abaixo de 10°C e acima de 34°C.

As temperaturas abaixo dos 18°C ocorrem entre 19 e 22% do ano na década de 80 e passam a ocorrer entre 12% e 16% a partir de 1991. Mostrando uma pequena redução nos percentuais anuais.

As temperaturas entre 18°C e 28°C representam antes de 1990, entre 68,3% e 73,5% do ano. Após 1990 essas temperaturas passam a representar entre 75,3% e 84,1% do ano.

Ainda é possível identificar um aumento nos percentuais de temperaturas acima dos 30°C durante a década de 90. No intervalo de 1982 a 1989, as temperaturas acima de 30°C ocorrem entre 0,5% e 1,5% do ano, com exceção de 1987 que apresenta percentual de 2,4%. A partir de 1990 o percentual passa a variar entre 2,1% e 4,2%, com exceção de 1991 (0,9%) e 1992 (0,3%).

#### 4.1.1.2 Ventos

Como mencionado no item 4.1.1.1, na base de dados obtida para análise climática havia um percentual de dados não registrados. Os percentuais de dados ausentes para ventos são indicados na tabela 4.4. Percebe-se que este percentual foi similar ao ocorrido para temperatura de bulbo seco e temperatura de orvalho. Os anos com maior percentual de dados ausentes são os anos de 1982, 1992 e 1996. Porém, no caso dos dados de ventos, foi o ano de 1992 que apresentou o maior percentual, 10,9% para direção dos ventos e 11,2% para velocidade dos ventos.

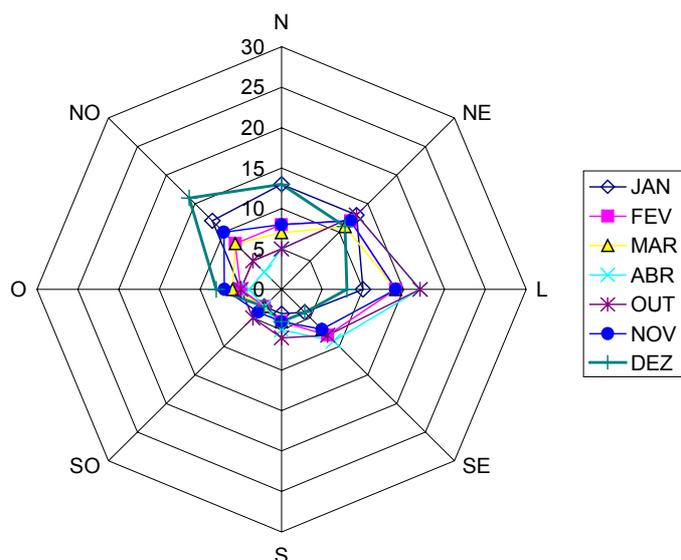
**TABELA 4.4-** Dados ausentes por ano.

|      | DIREÇÃO |      | VELOCIDADE |      |
|------|---------|------|------------|------|
|      | No.     | %    | No.        | %    |
| 1982 | 952     | 10,8 | 954        | 10,9 |
| 1983 | 426     | 4,9  | 427        | 4,9  |
| 1984 | 345     | 3,9  | 348        | 3,9  |
| 1985 | 440     | 5    | 444        | 5    |
| 1986 | 300     | 3,4  | 305        | 3,4  |
| 1987 | 366     | 4,2  | 370        | 4,2  |
| 1988 | 261     | 3,0  | 265        | 3,0  |
| 1989 | 243     | 2,8  | 254        | 2,9  |
| 1990 | 381     | 4,3  | 395        | 4,5  |
| 1991 | 248     | 2,8  | 257        | 2,9  |
| 1992 | 959     | 10,9 | 978        | 11,2 |
| 1993 | 168     | 1,9  | 185        | 2,1  |
| 1994 | 209     | 2,4  | 249        | 2,8  |
| 1995 | 205     | 2,3  | 234        | 2,8  |
| 1996 | 175     | 1,2  | 629        | 7,2  |
| 1997 | 895     | 10,2 | 920        | 10,5 |

Nas figuras 4.9 e 4.10 é possível identificar, através da rosa dos ventos, as direções predominantes dos ventos a cada mês. No período quente e úmido (outubro à abril) observa-se que a direção predominante dos ventos é a Leste para a maior parte dos meses. Porém, no mês de dezembro, o quadrante Noroeste apresenta a maior ocorrência de ventos e, no mês de janeiro, os ventos predominantes variam entre o quadrante Nordeste e o Norte. O vento Nordeste apresenta a segunda maior frequência de ocorrência durante o ano, com exceção de dezembro. Em dezembro o vento secundário é o Norte.

Na cidade de Brasília a ausência de vento ou calmaria ocupa uma grande parcela dos meses do ano, sempre acima de 33%. A tabela 4.5 apresenta o percentual de vento ausente para o período quente e úmido e a tabela 4.6 o percentual para o período seco. É importante observar que o período quente e úmido apresenta a menor parcela de ventos ausentes, ou seja, há maior ocorrência de ventos no período, o que é bastante favorável ao uso da ventilação natural para alcançar condições de conforto internas na edificação.

Direção dos ventos- Período quente e úmido



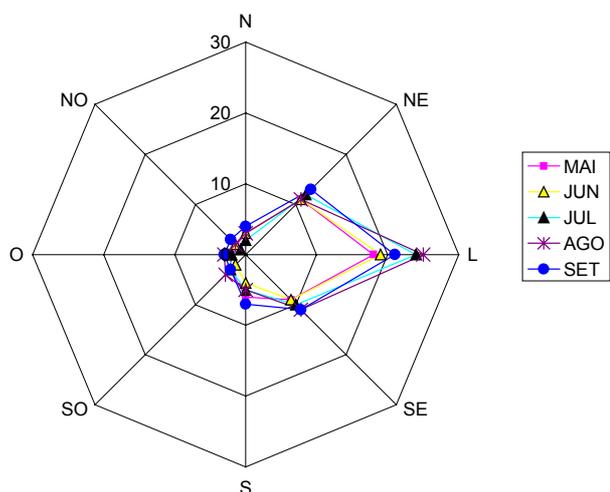
**TABELA 4.5-**  
Percentual mensal de vento ausente

|     | %  |
|-----|----|
| Out | 34 |
| Nov | 34 |
| Dez | 33 |
| Jan | 36 |
| Fev | 39 |
| Mar | 40 |
| Abr | 42 |

FIGURA 4.9- Direção dos ventos, período quente e úmido.

Os ventos do quadrante leste são predominantes em todo o período seco. Os ventos secundários, neste período, são o nordeste e o sudeste, como é possível verificar na figura 4.26. Na tabela 4.6, observa-se que nos meses mais frios do período seco (de maio a julho) há maior ausência de vento, entre 41% e 47% mensais. Porém, no período caracterizado como quente e seco (agosto e setembro), a frequência de ocorrência de ventos eleva-se novamente, ficando equivalente ao período quente e úmido.

Direção dos ventos- Período Seco

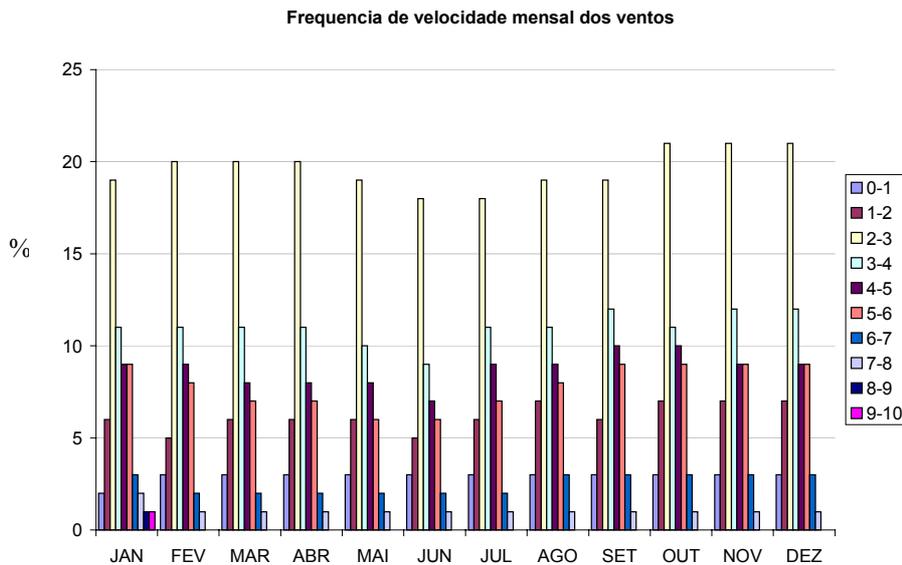


**TABELA 4.6-** Percentual mensal para ausência de vento

|     | %  |
|-----|----|
| Mai | 45 |
| Jun | 47 |
| Jul | 41 |
| ago | 37 |
| set | 36 |

FIGURA 4.10- Direção dos ventos, período seco.

A figura 4.11 indica a frequência mensal de velocidade média dos ventos para Brasília. Observa-se que, durante todo o ano predominam as velocidades de 2 à 3 m/s e de maneira secundária as velocidades de 3 à 4m/s. Há pequena possibilidade de ocorrerem velocidades do ar acima de 6m/s e somente no mês de janeiro são observadas velocidades do ar entre 9 e 10 m/s.



**FIGURA 4.11-** Frequência de velocidade dos ventos %

Na tabela 4.7 foram destacadas as principais características do comportamento mensal dos ventos em cada período do dia. Os gráficos de frequência de direção e velocidade média horária dos ventos, a cada mês, são apresentados no Anexo D.

Ao analisarmos o comportamento dos ventos separadamente, por período do dia, é possível observar diferentes condições de vento em cada período a cada mês. O conhecimento destes diferentes comportamentos permite ao arquiteto prever e explorar de maneira mais adequada as aberturas da edificação à favor da utilização da ventilação natural.

Durante o período da madrugada, que foi limitado das 0:00 às 7:00 da manhã, predomina a ausência dos ventos, entre 52% e 82%. Neste período, os meses mais frios também apresentam a maior ausência de ventos. Neste período as frequências de direção dos ventos são bastante semelhantes nos meses de fevereiro à abril e, por isso, não há como identificar uma direção predominante. Em janeiro predomina o vento Norte e em dezembro o Noroeste. Nos meses restantes predomina o vento leste. A velocidade dos ventos predominante é de 2 à 3 m/s.

Pela manhã o percentual para ausência de ventos cai bastante até o meio dia. Até as 9:00 esse percentual está por volta de 20% e cai para cerca menos de 8% às 12:00 (chega a 2% apenas em agosto). Apenas nos meses mais frios, até as 9:00, o percentual para ausência de vento está por volta de 34% a 47%. Observamos dessa maneira que até o final da manhã a ocorrência de ventos passa a ser predominante, com predomínio do vento Leste no início da manhã e no final da manhã do vento Nordeste, na maior parte dos meses. Nos meses de junho à agosto predomina o vento Leste durante toda manhã e o secundário é o Nordeste. Em janeiro no início da manhã predomina o vento Norte e em dezembro o Nordeste é predominante durante quase toda a manhã. A velocidade do ar aumenta ao longo da manhã chegando ao meio dia em cerca de 6m/s.

À tarde o percentual para ausência de ventos é pequeno. Esse percentual cresce até o fim da tarde, mas chega às 18:00 sem ultrapassar os 17%. Somente nos meses mais frios esse percentual alcança os 29% no fim da tarde. Durante à tarde a direção predominante do vento varia bastante a cada mês. Durante quase todo o período seco, com exceção de setembro, predomina o vento Leste até o final da tarde. Em maio e junho no fim da tarde passa a predominar o vento Sudeste. No período quente e

úmido, em fevereiro predomina o vento Leste durante toda a tarde e em dezembro predomina o vento Noroeste. Nos meses restantes predomina o vento Nordeste no início da tarde, com predomínio do vento Leste até o final da tarde. Apenas em janeiro passam a predominar os ventos Norte e Noroeste, no final da tarde. A velocidade média do ar diminui ao longo da tarde, chegando no final da tarde entre 2 e 3 m/s.

Ao longo da noite, das 18:00 às 23:00, o percentual para ausência de ventos eleva-se bastante. No final da noite a ausência de vento representa mais de 50% do período. Com exceção de dezembro e janeiro, o vento predominante, no período noturno, é o vento Leste. Em alguns meses, no início da noite predomina o vento Sudeste. Em janeiro predomina o Noroeste até 21:00, depois passa a predominar o vento Norte. Em dezembro predomina o vento Noroeste, com o vento Norte como secundário. As velocidades médias do ar estão abaixo de 3 m/s.

TABELA 4.7- Caracterização dos ventos por horário.

|                                 | JAN              | FEV   | MAR   | ABR  | MAI  | JUN   | JUL  | AGO   | SET  | OUT   | NOV  | DEZ   |   |
|---------------------------------|------------------|---|---|--|--|---|--|---|--|---|--|---|---|
| <b>Madrugada (0:00 às 7:00)</b> | Ause             | 64  | Entre 64 e 72%  | Entre 64 e 74%   | Entre 69 e 76%                                     | Entre 72 e 82%                                      | Entre 77 e 82%   | Entre 66 e 77%                                      | Entre 60 e 72%                                     | Entre 60 e 70%  | Entre 55 e 66%                                       | Entre 57 e 65%  | Entre 52 e 63%  |
|                                 | Dir. pred.       | Norte   | s/ direção pred.  | s/ direção pred.   | s/ direção pred.                                   | Sul entre 1:00 e 3:00, restante Leste.              | Leste  | Leste   | Leste  | Leste   | s/ direção pred até 5:00. Depois L.                  | Leste.  | N às 0:00, depois NW c/ secundário N.                             |
|                                 | Vel. pred.       | 2-3   | 2-3   | 2-3 Secundário 1-2.  | 2-3 Secundário 1-2.                                | 2-3 Secundário 1-2.                                 | 2-3 Secundário 1-2.  | 2-3   | 2-3 Secundário 1-2.                                | 2-3 Secundário 1-2.   | 2-3 Secundário 1-2.                                  | 2-3 Secundário 1-2.   | 2-3 Secundário 1-2.   |
| <b>Manhã (8:00 às 12:00)</b>    | Ausente %        | Cai 45% à 21% até 9:00. Depois queda de 11% até 7%. | Cai 50% à 26% até 9:00. Depois queda de 15% até 5%.     | Cai 53% à 26% até 9:00. Depois queda de 14% até 6%.              | Cai 58% à 26% até 9:00. Depois queda de 9% até 6%. | Cai 63% à 34% até 9:00. Depois queda de 13% até 4%. | Cai 73% à 47% até 9:00. Depois queda de 14% até 5%.            | Cai 71% à 38% até 9:00. Depois queda de 12% até 4%. | Cai 57% à 27% até 9:00. Depois queda de 7 até 2%.  | Cai 47% à 18% até 9:00. Depois queda de 7 até 5%.               | Cai 34% à 18% até 9:00. Depois queda de 10 até 6%.   | Cai 39% à 16% até 9:00. Depois queda de 10 até 6%.            | Cai 35% à 18% até 9:00. Depois queda de 12 até 8%.                |
|                                 | Dir. pred.       | Até as 9:00 Norte, depois Nordeste                  | Leste. Secundário NE                                    | Leste até 11:00. 12:00 Nordeste                                  | Leste. Entre 10:00 e 11:00 Nordeste                | Leste até 11:00. 12:00 Nordeste                     | Leste. Secundário NE   | Leste. Secundário NE                                | Leste. Secundário NE                               | Leste até 11:00. 12:00 Nordeste                                 | Leste até 10:00. depois Nordeste                     | Leste. Entre 10:30 e 11:30 Nordeste                           | NO até 8:30. NE até 11:00. 12:00 NW.                              |
|                                 | Vel. pred.       | Até 11:00, 2-3, 12:00, 5-6. Aumento gradual de 3-6. | Até 11:00, 2-3, 12:00, 4-5. Aumento gradual de 3-6      | 2 a 3. Aumento gradual de 3 a 6.                                 | 8:00 2 a 3, 9:00 2 a 4. Depois 2-7                 | Até 9:00, 2 a 3. Depois 2-6                         | Até 9:00, 2 a 3. Depois 5-6.                                   | Até 9:00, 2 a 3. Depois 4-6                         | Até 9:00, 2 a 3. Depois 5-6.                       | 8:00 2-3, 9:00 2-6. 4-6 até 11:00. 5-6 às 12:00..               | 8:00 2-3. 2-6 até 11:00. 5-6 às 12:00.               | Até 9:00, 2 a 3. Depois 2-6                                   | 2 a 3. Aumento gradual de 3 a 6.                                  |
| <b>Tarde (12:00 as 18:00)</b>   | Ausente %        | Entre 3 e 4% até 16:00. De 12 à 16% até 18:00.      | Entre 4 e 6% até 16:00. De 11 à 15% até 18:00.          | Entre 5 e 9% até 16:00. De 11 à 17% até 18:00.                   | Entre 5 e 8% até 16:00. De 17 à 23% até 18:00.     | Entre 8 e 10% até 16:00. De 16 à 29% até 18:00.     | Entre 6 e 8% até 16:00. De 13 à 27% até 18:00.                 | Aumenta de 4% a 7% até 17:00. 21% às 18:00.         | Entre 5 e 8% até 17:00. 14% às 18:00.              | Aumenta de 5% a 8% até 16:00. De 12 à 17% até 18:00.            | Entre 7 e 9% até 16:00. De 12 à 17% até 18:00.       | Entre 4 e 8% até 17:00. 15% às 18:00.                         | Aumenta de 6% a 8% até 16:00. De 11 à 15% até 18:00.              |
|                                 | Dir. pred.       | NE até 16:00, depois N e NO.                        | Leste. Secundário NE. Às 18:00 secundário SE.           | NE até 14:00, depois Leste.                                      | NE até 15:00, depois Leste. Às 18:00 L e SE.       | Leste até 17:00 c/ secundário NE. Às 18:00 L e SE.  | Leste até 17:00 c/ secundário NE. Às 18:00 SE c/ secundário L. | Leste. Secundário NE até 16:00, depois SE.          | Leste. Secundário NE até 16:00, depois SE.         | NE até 13:00, depois Leste. Secundário NE até 16:00, depois SE. | NE até 14:00, e entre 15:00 e 16:00, restante Leste. | L até 13:00 e entre 15:00 e 16:30. Restante NE.               | NO. Secundários, NE até 14:00, N até 17:00 e NE às 18:00.         |
|                                 | Vel. pred. (m/s) | Até 16:00, 2-6. Diminui do às 18:00 p/ 2-3          | Até 15:00 2-6. A partir das 16:00 2-3 e secundário 4-5. | 2-3 c/ exceção 15:00 (4-5). Secundário até 14:00 4-5. Depois 3-4 | 2-3. Secundário até 14:00 5-6. Depois 3-4.         | 2-3. Secundário 3-4                                 | 2-3. Secundário até 14:00 5-6. Depois 3-4.                     | Até 16:00 2-6. Depois 2-3.                          | 13:00 2-6. 14:00 3-4. Depois 2-3 e secundário 3-4. | 5-6 às 13:00, depois 2-3. Secundário até 14:00 5-6. Depois 3-4. | 2-3. Secundário 4-5 às 13:00. Depois 3-4.            | 13:00 4-6. 14:00 5-6. 15:00 2-6. Depois 2-3 e secundário 3-4. | Até 15:00 2-6. Depois 2-3 e secundário 4-5 às 16:00 e depois 3-4. |

|                               |            |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------------------------|------------|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <b>Noite (19:00 às 23:00)</b> | Ausente    | Aumento gradual 25% (19:00) a 53% (23:00) | Aumento gradual 31% (19:00) a 60% (23:00) | Aumento gradual 31% (19:00) a 60% (23:00) | Aumento gradual 31% (19:00) a 61% (23:00)  | Aumento gradual 41% (19:00) a 64% (23:00)  | Aumento gradual 40% (19:00) a 68% (23:00)  | Aumento gradual 31% (19:00) a 60% (23:00)  | Aumento gradual 25% (19:00) a 58% (23:00)  | Aumento gradual 28% (19:00) a 53% (23:00)  | Aumento gradual 29% (19:00) a 50% (23:00)  | Aumento gradual 26% (19:00) a 53% (23:00)  | Aumento gradual 26% (19:00) a 52% (23:00)  |
|                               | Dir. pred. | NO até 21:00, depois N                    | SE, secundário L.                         | Leste até 19:00, depois SE e L.           | SE até 20:30, depois Leste                 | Leste, secundário SE.                      | SE até 19:00, depois L.                    | SE até 19:00, depois L.                    | Leste, secundário SE.                      | SE até 19:00, depois L.                    | Leste. Secund. SE até 22:00 e S às 23:00.  | Leste. Secundário SE e NO.                 | NO. Secundário N.                          |
|                               | Vel. m/s   | 2-3 Secundário até 19:00 3-4, depois 1-2. | 2-3 Secundário até 19:00 3-4, depois 1-2. | 2-3. Secundária 3-4.                      | 2-3. Secundário até 20:00 3-4, depois 1-2. | 2-3. Secundário até 19:00 3-4, depois 1-2. | 2-3. Secundário até 19:00 3-4, depois 1-2. | 2-3. Secundário até 19:00 3-4, depois 1-2. | 2-3. Secundário até 20:00 3-4, depois 1-2. | 2-3. Secundário até 21:00 3-4, depois 1-2. |

Comparando os dados de ventos predominantes do período analisado com períodos anteriores, assim como observado em relação às variáveis de temperatura e umidade, também identificam-se algumas alterações no caso da orientação dos ventos. A tabela 4.8 indica a direção predominante dos ventos em diferentes períodos. Observam-se variações de direção em parte dos meses do período quente e úmido, (janeiro, fevereiro, outubro, novembro e dezembro). Nos meses restantes não houve modificação na orientação predominante, que permanece Leste.

Nos intervalos de 60 a 64 e 82 à 97, o vento predominante no mês de dezembro é o vento Noroeste, porém, no intervalo de 61-70 neste mês o vento predominante é do quadrante Norte. Os intervalos de 60 a 64 e 61 à 70 coincidem quanto à direção dos ventos nos meses de janeiro e fevereiro, Noroeste e Nordeste, respectivamente. Porém no intervalo mais recente, 82 a 97, o vento predominante para mês de janeiro é o Norte e para o mês de fevereiro, o vento Leste. O intervalo 60-64 é o único que indica vento predominante Nordeste, no lugar do vento leste para o mês de outubro.

**TABELA 4.8-** Direção dos ventos

| Direção ventos | jan  | fev  | mar | abr | mai | jun | jul | ago | set | out  | nov  | dez | ano |
|----------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|
| 1960 à 1964    | NO   | C-NE | L   | L   | L   | L   | L   | L   | L   | C-NE | C-NO | NO  | L   |
| 1961 à 1970    | NO   | NE   | L   | L   | L   | L   | L   | L   | L   | L    | L    | N   | L   |
| 1982 à 1997    | N-NE | L    | L   | L   | L   | L   | L   | L   | L   | L    | L    | NO  | L   |

A tabela 4.9 apresenta as velocidades médias mensais para três diferentes períodos anuais. Observa-se que a velocidade média dos ventos entre 2 e 3 m/s é predominante em todos os meses de cada período. Apenas no mês de janeiro do período de 61 a 70, predominam as velocidades entre 3 e 4 m/s.

**TABELA 4.9-** Velocidade dos ventos

| Vel ventos (m/s) | jan | fev | mar | abr | mai | jun | jul | ago | set | out | nov | dez | Ano |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1960 à 1964      | 2,6 | 2,6 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,7 | 2,9 | 3,0 | 2,9 | 2,6 | 2,6 | 2,7 | 2,8 |
| 1961 à 1970      | 3-4 | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 2-3 |
| 1982 à 1997      | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 2-3 | 2-3 |

#### 4.1.1.3 Dados de insolação e precipitação

Dos dados climáticos dos diferentes períodos analisados desde a fundação de Brasília, apenas as Normais climatológicas de 1960 a 1990 do INMET apresentam dados de insolação e precipitação. Na tabela 4.10 são apresentados dados de precipitação e insolação mensal de Brasília.

Foram obtidos dados mais recentes de precipitação e insolação anuais, também registrados pelo INMET. A tabela 4.11 apresenta os dados de precipitação e insolação anuais de 1990 a 1999. Fazendo

uma comparação destes dados com os dados das Normais de 60 a 90, é possível verificar que não houve alteração significativa destas variáveis ao longo do período analisado.

De acordo com dados anuais de 1990 a 1999, a insolação anual varia entre 2006,4 horas e 2547,1 horas. Assim a insolação anual média (2400,3 horas) deste período estaria muito próxima do dado de insolação anual do período considerado pelas Normais Climatológicas, que corresponde à 2364,8 horas. A precipitação total do período de 1990 a 1999 varia entre 1241,4mm e 1875,5mm e, portanto, a precipitação total média deste período (1434,98mm) também estaria muito próxima da precipitação total apresentada nas Normais de 1960 a 1990, de 1552,1mm.

**TABELA 4.10-** Dados de precipitação e insolação das normais climatológicas de 1960 à 1990 do Instituto Nacional de Meteorologia- INMET.

|                  | JAN   | FEV   | MAR   | ABR   | MAI   | JUN   | JUL   | AGO   | SET   | OUT   | NOV   | DEZ   | ANO    |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Precip. Tot(mm)  | 241,4 | 214,7 | 188,9 | 123,8 | 39,3  | 8,8   | 11,8  | 12,8  | 51,9  | 172,1 | 238   | 248,6 | 1552,1 |
| Insol. Tot (hor) | 157,4 | 157,5 | 180,9 | 201,1 | 234,3 | 253,4 | 265,3 | 262,9 | 203,2 | 168,2 | 142,5 | 138,1 | 2364,8 |

**TABELA 4.11-** Dados de precipitação e insolação anual.

|       | PRECIPITAÇÃO<br>(mm) | INSOLAÇÃO<br>(horas) |
|-------|----------------------|----------------------|
| 1990  | 1.312,90             | 2.597,10             |
| 1991  | 1.771,50             | 2.228,40             |
| 1992  | 1.875,50             | 2.006,40             |
| 1993  | 1.283,00             | 2.511,80             |
| 1994  | 1.379,10             | 2.506,40             |
| 1995  | 1.380,10             | 2.465,60             |
| 1996  | 1.241,40             | 2.581,50             |
| 1997  | 1.512,00             | 2.101,40             |
| 1998  | 1.349,50             | 2.527,00             |
| 1999  | 1.244,80             | 2.477,70             |
| Média | <b>1.434,98</b>      | <b>2.400,33</b>      |

#### 4.1.1.4 Ano Climático de Referência (ACR) obtido

O ano climático de referência (ACR) determinado segundo a metodologia descrita por STAMPER (1977), foi o ano de 1987.

A tabela 4.12 apresenta as temperaturas médias mensais de cada ano do intervalo considerado. Após a determinação das temperaturas médias extremas de cada mês, foi feita a classificação dos meses com temperaturas mais altas ou mais baixas. Nas tabelas 4.13 e 4.14 é indicada a classificação dos anos com temperaturas médias mensais extremas e a tabela 4.15 apresenta os anos que foram sendo eliminados após essa classificação. Foram eliminados os anos com as temperaturas médias mensais mais extremas, e, dessa forma, o ano restante foi o ano de 1987.

**TABELA 4.12-** Temperaturas médias mensais do período de 1982 à 1997.

| ANO   | JAN           | FEV           | MAR          | ABR          | MAI          | JUN          | JUL          | AGO          | SET          | OUT          | NOV          | DEZ          | ANO   |
|-------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|
| 1982  | 21,22         | 22,29         | 22,02        | 20,41        | 19,26        | 19,26        | 19,13        | 20,73        | 22,05        | 22,32        | 22,68        | 21,68        | 21,09 |
| 1983  | 21,9          | 22,06         | 21,48        | 21,72        | 20,48        | 19,36        | 19,57        | 20,26        | 22,81        | 21,53        | 21,28        | 21,12        | 21,13 |
| 1984  | 22,3          | 22,65         | 22,54        | 21,60        | 21,24        | 19,12        | 19,05        | 20,34        | 20,89        | 22,32        | 22,59        | 22,23        | 21,40 |
| 1985  | 21,3          | 22,69         | 22,27        | 21,28        | 20,77        | 16,48        | 17,85        | 20,87        | 22,03        | 21,84        | 21,88        | 21,74        | 20,92 |
| 1986  | 22,1          | 22,04         | 22,04        | 22,04        | 20,97        | 18,06        | 18,35        | 20,56        | 21,08        | 21,86        | 21,91        | 21,86        | 21,08 |
| 1987  | 22,7          | 22,24         | 21,75        | 22,00        | 20,94        | 18,91        | 19,09        | 20,99        | 22,82        | 23,41        | 21,86        | 22,07        | 21,57 |
| 1988  | 23,2          | 22,62         | 22,28        | 21,97        | 21,01        | 18,14        | 17,33        | 19,47        | 22,69        | 22,28        | 21,66        | 21,43        | 21,17 |
| 1989  | 22,1          | 21,88         | 22,04        | 21,95        | 19,65        | 18,95        | 17,79        | 20,11        | 21,92        | 22,72        | 22,80        | 21,25        | 21,10 |
| 1990  | 23,8          | 22,73         | 23,58        | 23,39        | 21,58        | 19,94        | 19,44        | 20,87        | 22,08        | 23,75        | 23,47        | 23,53        | 22,35 |
| 1991  | 22,7          | 22,66         | 22,50        | 22,61        | 21,00        | 20,13        | 19,19        | 20,23        | 21,91        | 23,39        | 22,32        | 22,61        | 21,77 |
| 1992  | 21,9          | 21,03         | 22,19        | 22,39        | 21,91        | 19,37        | 19,66        | 20,94        | 21,53        | 22,18        | 21,68        | 22,23        | 21,42 |
| 1993  | 22,9          | 21,72         | 23,88        | 22,70        | 20,67        | 19,61        | 20,42        | 21,45        | 23,39        | 23,47        | 23,61        | 22,65        | 22,20 |
| 1994  | 22,8          | 23,60         | 22,29        | 22,71        | 22,21        | 19,79        | 19,53        | 21,39        | 23,91        | 24,33        | 23,04        | 22,52        | 22,35 |
| 1995  | 23,0          | 22,70         | 22,96        | 22,15        | 21,30        | 18,88        | 19,69        | 21,36        | 23,16        | 23,84        | 22,30        | 22,41        | 21,97 |
| 1996  | 23,6          | 23,55         | 22,85        | 22,22        | 21,13        | 18,52        | 18,94        | 20,97        | 22,83        | 23,37        | 22,05        | 22,81        | 21,90 |
| 1997  | 22,0          | 23,00         | 21,68        | 21,25        | 19,47        | 19,12        | 19,06        | 20,60        | 24,13        | 24,59        | 23,95        | 23,52        | 21,87 |
| MÉDIA | <b>22,475</b> | <b>22,465</b> | <b>22,40</b> | <b>22,02</b> | <b>20,85</b> | <b>18,98</b> | <b>19,01</b> | <b>20,70</b> | <b>22,45</b> | <b>22,95</b> | <b>22,44</b> | <b>22,23</b> |       |

2o+quente 3o+quente 6o +quente 5o+frio 4o+frio 1o.+frio 2o+frio 3o+frio 4o+quente 1o +quente 5o+quente 6o+frio

**TABELA 4.13-** Tabela de classificação mensal (1º)

|                     |      |                   |      |
|---------------------|------|-------------------|------|
| 1 outubro +quente   | 1997 | 1 outubro +frio   | 1983 |
| junho +frio         | 1985 | junho +quente     | 1991 |
| 2 janeiro +quente   | 1990 | 2 janeiro +frio   | 1982 |
| julho +frio         | 1988 | julho +quente     | 1993 |
| 3 fevereiro +quente | 1994 | 3 fevereiro +frio | 1992 |
| agosto +frio        | 1988 | agosto +quente    | 1993 |
| 4 setembro +quente  | 1997 | 4 setembro +frio  | 1984 |
| maio +frio          | 1982 | maio +quente      | 1990 |
| 5 novembro +quente  | 1997 | 5 novembro +frio  | 1983 |
| abril +frio         | 1982 | abril +quente     | 1990 |
| 6 março +quente     | 1993 | 6 março +frio     | 1983 |
| dezembro +frio      | 1983 | dezembro +quente  | 1990 |

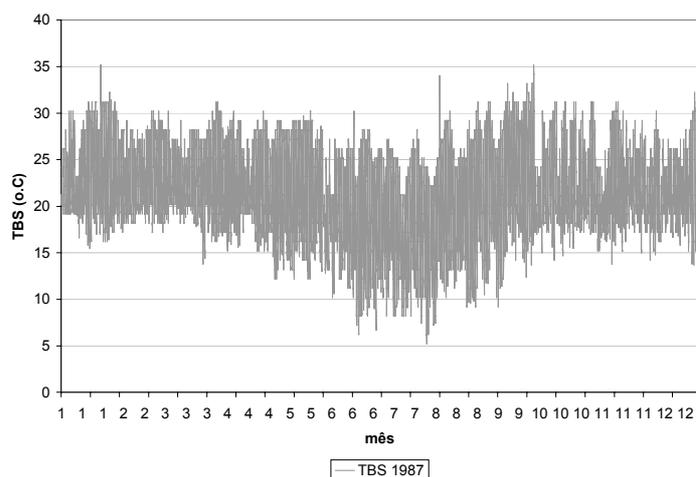
**TABELA 4.14-** Tabela de classificação mensal (2º)

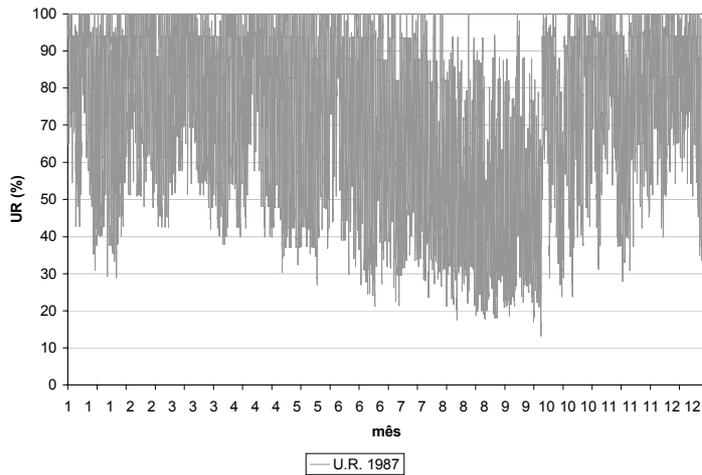
|                     |      |                   |      |
|---------------------|------|-------------------|------|
| 1 outubro +quente   | 1994 | 1 outubro +frio   | 1985 |
| junho +frio         | 1986 | junho +quente     | 1994 |
| 2 janeiro +quente   | 1996 | 2 janeiro +frio   | 1985 |
| julho +frio         | 1989 | julho +quente     | 1995 |
| 3 fevereiro +quente | 1996 | 3 fevereiro +frio | 1993 |
| agosto +frio        | 1989 | agosto +quente    | 1994 |
| 4 setembro +quente  | 1994 | 4 setembro +frio  | 1986 |
| maio +frio          | 1997 | maio +quente      | 1994 |
| 5 novembro +quente  | 1993 | 5 novembro +frio  | 1988 |
| abril +frio         | 1997 | abril +quente     | 1994 |
| 6 março +quente     | 1990 | 6 março +frio     | 1997 |
| dezembro +frio      | 1989 | dezembro +quente  | 1997 |

**TABELA 4.15-** Eliminação dos anos com temperaturas mensais extremas

| ANO  | JAN      | FEV      | MAR   | ABR   | MAI   | JUN   | JUL   | AGO   | SET   | OUT   | NOV   | DEZ   |
|------|----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1982 | 21,2190  | 22,2885  | 22,02 | 20,41 | 19,26 | 19,26 | 19,13 | 20,73 | 22,05 | 22,32 | 22,68 | 21,68 |
| 1983 | 21,91444 | 22,06265 | 21,48 | 21,72 | 20,48 | 19,36 | 19,57 | 20,26 | 22,81 | 21,53 | 21,28 | 21,12 |
| 1984 | 22,29636 | 22,64911 | 22,54 | 21,60 | 21,24 | 19,12 | 19,05 | 20,34 | 20,89 | 22,32 | 22,59 | 22,23 |
| 1985 | 21,30513 | 22,69107 | 22,27 | 21,28 | 20,77 | 16,48 | 17,85 | 20,87 | 22,03 | 21,84 | 21,88 | 21,74 |
| 1986 | 22,14993 | 22,04107 | 22,04 | 22,04 | 20,97 | 18,06 | 18,35 | 20,56 | 21,08 | 21,86 | 21,91 | 21,86 |
| 1987 | 22,74953 | 22,2369  | 21,75 | 22,00 | 20,94 | 18,91 | 19,09 | 20,99 | 22,82 | 23,41 | 21,86 | 22,07 |
| 1988 | 23,1525  | 22,61726 | 22,28 | 21,97 | 21,01 | 18,13 | 17,33 | 19,47 | 22,69 | 22,28 | 21,66 | 21,43 |
| 1989 | 22,07274 | 21,88438 | 22,04 | 21,95 | 19,65 | 18,95 | 17,79 | 20,11 | 21,92 | 22,72 | 22,80 | 21,25 |
| 1990 | 23,82632 | 22,72902 | 23,58 | 23,39 | 21,58 | 19,94 | 19,44 | 20,87 | 22,08 | 23,75 | 23,47 | 23,53 |
| 1991 | 22,65196 | 22,65789 | 22,50 | 22,61 | 21,00 | 20,13 | 19,19 | 20,23 | 21,91 | 23,39 | 22,32 | 22,61 |
| 1992 | 21,93482 | 21,02545 | 22,19 | 22,39 | 21,91 | 19,37 | 19,66 | 20,94 | 21,53 | 22,18 | 21,68 | 22,23 |
| 1993 | 22,87112 | 21,72039 | 23,88 | 22,70 | 20,67 | 19,61 | 20,42 | 21,45 | 23,39 | 23,47 | 23,61 | 22,65 |
| 1994 | 22,8386  | 23,60476 | 22,29 | 22,71 | 22,21 | 19,79 | 19,53 | 21,39 | 23,91 | 24,33 | 23,04 | 22,52 |
| 1995 | 22,95506 | 22,69568 | 22,96 | 22,15 | 21,30 | 18,88 | 19,69 | 21,36 | 23,16 | 23,84 | 22,30 | 22,41 |
| 1996 | 23,62659 | 23,54792 | 22,85 | 22,22 | 21,13 | 18,52 | 18,94 | 20,97 | 22,83 | 23,37 | 22,05 | 22,81 |
| 1997 | 22,02942 | 22,99524 | 21,68 | 21,25 | 19,47 | 19,12 | 19,06 | 20,60 | 24,13 | 24,59 | 23,95 | 23,52 |

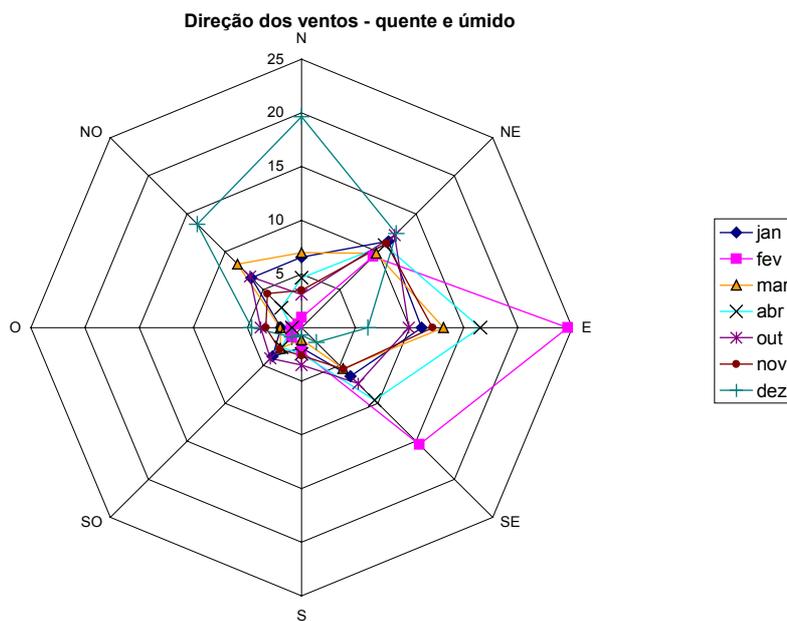
Definido o ACR é importante destacar suas principais características climáticas. As figuras 4.12 e 4.13 apresentam a distribuição horária de temperatura e umidade ao longo do ano. Através dessa distribuição percebem-se características semelhantes à caracterização realizada de todo o período. Os meses com temperaturas mais elevadas são setembro e outubro, e agosto e setembro são os meses mais secos. O período seco, de maio a setembro, apresenta as maiores amplitudes térmicas e os meses de junho e julho apresentam as mais baixas temperaturas. Os períodos de maior umidade relativa acontecem em março e novembro.

**FIGURA 4.12-** Temperatura de bulbo seco horária- 1987



**FIGURA 4.13-** Umidade relativa horária- 1987

As figuras 4.14 e 4.15 apresentam dados de orientação predominante dos ventos no ano de 1987, para o período quente e úmido e período seco, respectivamente. Observam-se algumas alterações na orientação predominante dos ventos em relação à caracterização realizada desta variável climática a partir do intervalo completo, de 1982 a 1997. As diferenças são observadas em relação ao período quente e úmido, onde em dezembro o predominante é o vento Norte e não o noroeste e nos meses de janeiro e novembro, os ventos predominantes variam entre o Leste e o Nordeste. Além disso, é possível perceber que as maiores freqüências de ocorrência de ventos se dão nos meses de dezembro e janeiro.



**FIGURA 4.14** Direção dos ventos- Período quente úmido 1987

Em relação ao período seco o comportamento dos ventos é bastante semelhante ao intervalo completo, com predominância do vento Leste para todo o período. A maior freqüência de ocorrência dos ventos neste período acontece no mês de setembro.

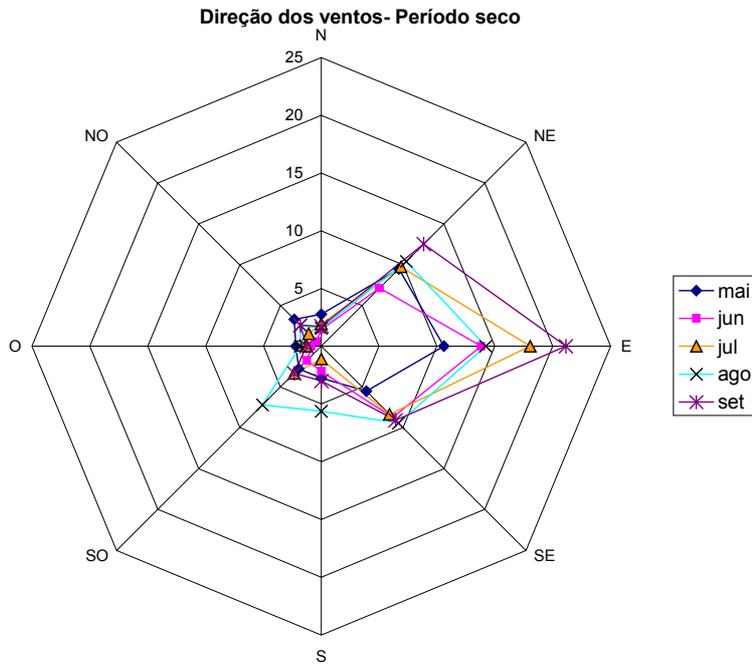


FIGURA 4.15- Direção dos ventos período seco- 1987

Com base no ano climático de referência foi realizada uma distribuição de freqüências de ocorrência de velocidade do ar mensais por quadrante, com o auxílio do gráfico tipo rosa dos ventos. Esta distribuição possibilita a verificação das velocidades do ar de maior freqüência referente aos ventos predominantes ou secundários.

As figuras 4.16 à 4.27 apresentam as velocidades médias dos ventos registradas em cada quadrante, para cada mês do ano. No mês de janeiro, figura 4.16, para os quadrantes leste e nordeste, ventos predominantes, há maior freqüência de ocorrência das velocidades de 3 à 4 m/s e de 2 à 3 m/s respectivamente. Nos meses de fevereiro à setembro, figuras 4.17 à 4.24, cujo vento predominante é o leste, as velocidades médias do ar nesta orientação variam principalmente entre 2 e 4 m/s.

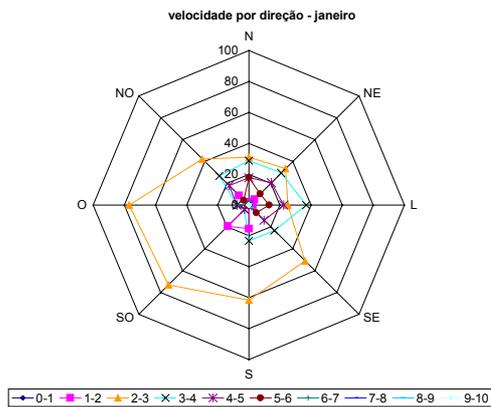


FIGURA 4.16- Velocidades do ar, janeiro.

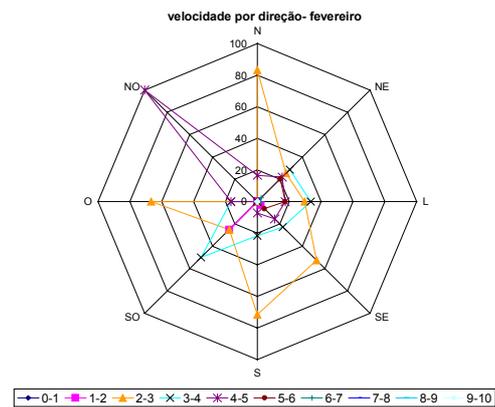


FIGURA 4.17- Velocidades do ar, fevereiro

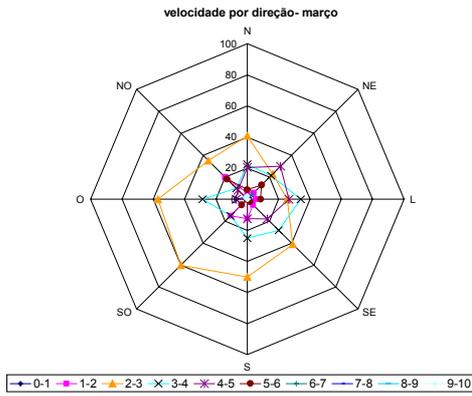


FIGURA 4.18- Velocidades do ar, março.

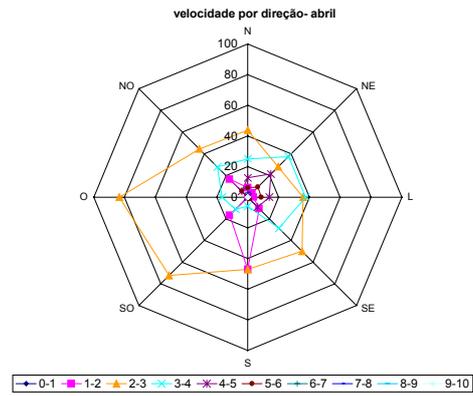


FIGURA 4.19- Velocidades do ar, abril

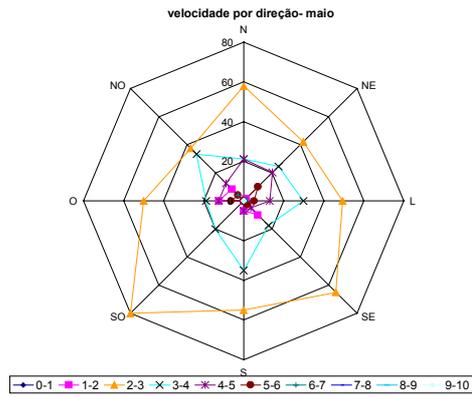


FIGURA 4.20- Velocidades do ar, maio.

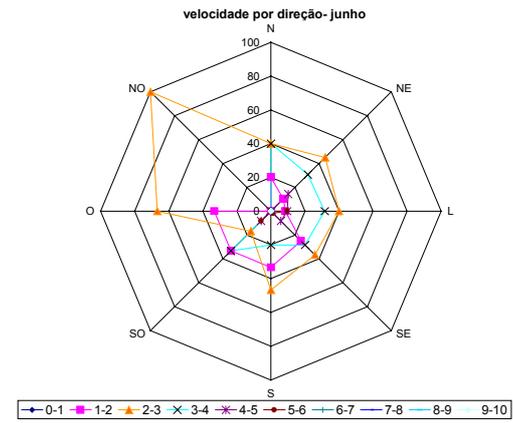


FIGURA 4.21- Velocidades do ar, junho

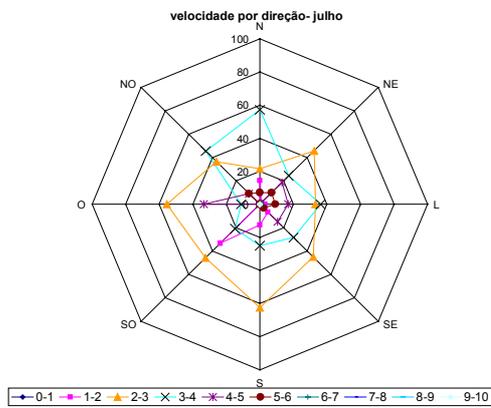


FIGURA 4.22- Velocidades do ar, julho.

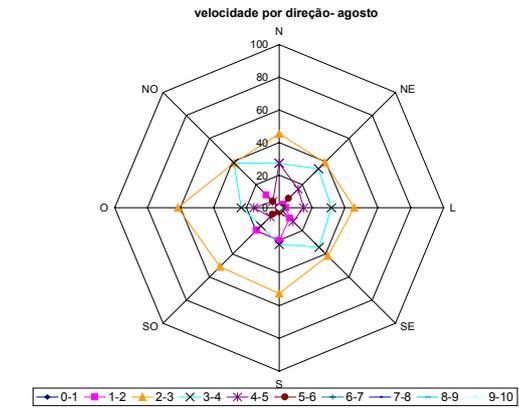


FIGURA 4.23- Velocidades do ar, agosto

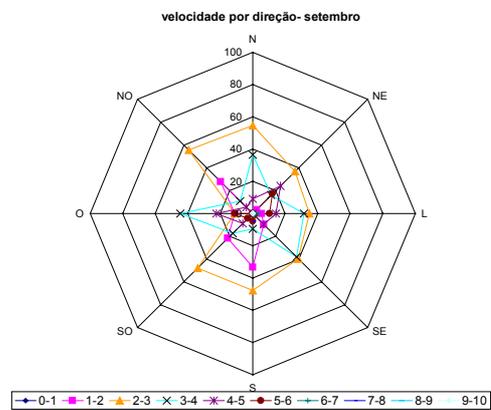


FIGURA 4.24- Velocidades do ar, setembro.

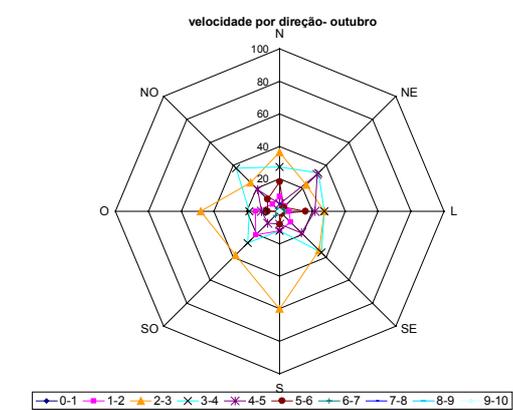


FIGURA 4.25- Velocidades do ar, outubro.

Nos meses de outubro e novembro (figuras 4.25 e 4.26), os quadrantes Leste e Nordeste apresentam freqüências de ocorrência semelhantes, onde as velocidades médias de 2 à 4 m/s predominam na direção Leste e as velocidades médias na direção Nordeste variam entre 2 e 5m/s. No mês de dezembro, figura 4.27, para o quadrante predominante Norte, as velocidade médias mais freqüentes são entre 2 e 3m/s.

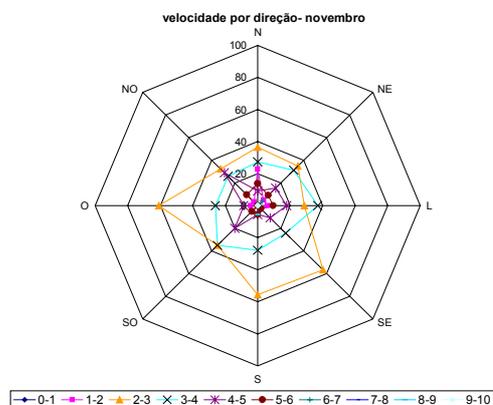


FIGURA 4.26- Velocidades do ar, novembro.

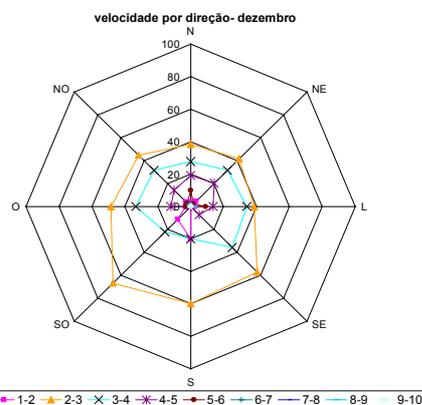


FIGURA 4.27- Velocidades do ar, dezembro.

#### 4.1.1.5- Evolução urbana e alterações climáticas

Através da análise comparativa dos dados climáticos dos intervalos, que vão desde 1960, época da fundação da cidade de Brasília, até o ano de 1997, são destacadas alterações climáticas como pequena elevação das temperaturas do ar, aumento da umidade principalmente no inverno e mudanças nas direções dos ventos no verão. As mudanças climáticas identificadas coincidem com a evolução e crescimento demográfico e urbano na região do Distrito Federal.

O Distrito Federal possui uma área total de 5.789,16km<sup>2</sup> com uma área urbana atual de 255,25km<sup>2</sup>. Na figura 4.28 é possível observar o crescimento populacional em mil habitantes das décadas de 60 à 80.

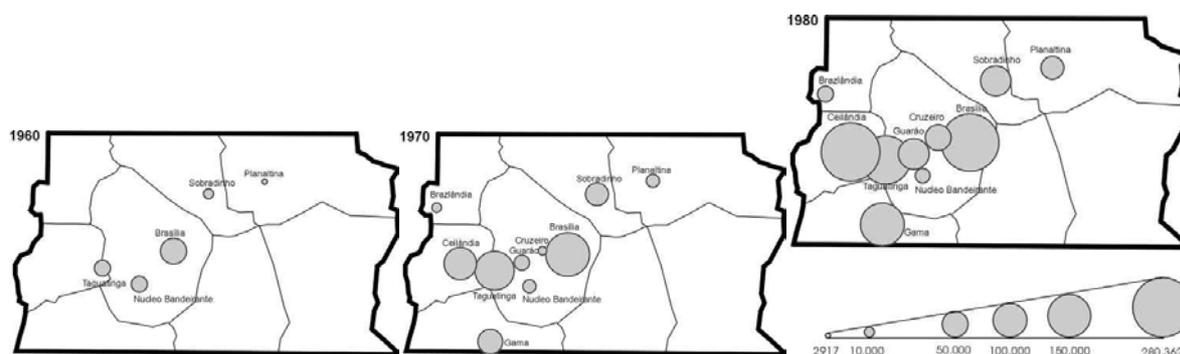


FIGURA 4.28- Mapas ilustrativos do crescimento populacional por década.

A tabela 4.16 também destaca o crescimento populacional através da apresentação das taxas médias de crescimento anual. É possível observar que o crescimento demográfico da região é bastante elevado, uma vez que os níveis de incremento populacional do Distrito Federal, nas décadas de 60 e 70, cresceram a taxas de mais de 14 % ao ano. Nesse período a região funcionou como grande pólo de atração populacional devido à construção da cidade de Brasília.

Houve um freio no crescimento populacional na década de 80, onde a taxa de crescimento anual passa para pouco menos de 3% anuais. Ainda assim as taxas são superiores aos outros estados do Centro-oeste.

**TABELA 4.16-** Taxa médias de crescimento anual.

| TAXA MÉDIA GEOMÉTRICA DE CRESCIMENTO ANUAL<br>REGIÃO CENTRO-OESTE 1940-1996 |                                 |             |             |             |             |             |
|---|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| REGIÃO CENTRO-OESTE<br>E<br>UNIDADES DA FEDERAÇÃO                           | TAXA MÉDIA DE CRESCIMENTO ANUAL |             |             |             |             |             |
|   | 1940-1950                       | 1950-1960   | 1960-1970   | 1970-1980   | 1980-1991   | 1991-1996   |
| <b>Região Centro-Oeste</b>  | <b>3,41</b>                     | <b>5,36</b> | <b>5,60</b> | <b>4,05</b> | <b>3,00</b> | <b>2,22</b> |
| Mato Grosso do Sul  | -                               | -           | 5,72        | 3,21        | 2,41        | 1,63        |
| Mato Grosso   | 2,17                            | 5,40        | 6,37        | 6,64        | 5,38        | 2,01        |
| Goiás   | 3,99                            | 4,62        | 4,38        | 2,76        | 2,33        | 2,40        |
| Distrito Federal  | -                               | -           | 14,39       | 8,15        | 2,84        | 2,66        |

Fonte: Censos Demográficos 1940 a 1991 e Contagem Nacional de População 1996

A análise dos dados climáticos anuais do período de 1982 à 1997 demonstra que do final da década de 80 para o início da década de 90 acontece principalmente uma pequena diminuição da ocorrência de baixas temperaturas e portanto uma diminuição dos percentuais de desconforto por frio. Neste período acontece também o surgimento de novos assentamentos, principalmente na região oeste e sudoeste do Distrito Federal. Na figura 4.29 é possível observar as áreas urbanas existentes até 1984 e as novas áreas em 1995.

A implantação destes assentamentos envolve além do elevado aumento da densidade populacional em áreas anteriormente pouco habitadas, o desmatamento de grandes áreas e aumento de área pavimentada. Destes assentamentos são criadas novas cidades satélites, cujo elevado crescimento provoca a necessidade da criação de novas regiões administrativas. Entre as novas RA's criadas neste período citamos Samambaia (área urbana 34,69km<sup>2</sup>), Santa Maria (7,28km<sup>2</sup>), Recanto das Emas (8,8 km<sup>2</sup>), Riacho Fundo (2,17 km<sup>2</sup>) e São Sebastião (4,56 km<sup>2</sup>).

**FIGURA 4.29-** Área Urbana 1984 –1995.

A cidade satélite de Samambaia é uma das maiores e mais populosas cidades surgidas neste período. Está localizada a sudoeste do Distrito Federal e inicia sua ocupação em 1985. Em 1988 ocorre a 2ª fase de ocupação e em 1989 acontece um crescimento populacional vertiginoso passando de 7.000 habitantes para 55.000 habitantes. Atualmente, segundo resultados preliminares do censo demográfico de 2000, Samambaia possui 163.000 habitantes. A densidade demográfica desta satélite é a mais

elevada da região. Enquanto a densidade demográfica do Distrito Federal é de 481,77 hab/km<sup>2</sup> em Samambaia a densidade é 1.635,09hab/km<sup>2</sup>.

#### 4.1.2 Análise bioclimática

##### 4.1.2.1 Avaliação bioclimática através da Carta bioclimática de edificações

Com base na carta bioclimática de edificações elaborada por GIVONI (1992), foi realizada uma análise bioclimática do clima da cidade de Brasília com base nos dados do Ano Climático de Referência determinado a partir do período de 1982 a 1997. Como visto no item 4.1.1.3, o ano determinado foi o ano de 1987.

Na figura 4.30 é apresentada a Carta Bioclimática de Edificações, com dados horários de temperatura e umidade do Ano Climático de Referência, plotados com o auxílio do programa Analysis Bio 2.0. É possível observar que a cidade apresenta um grande percentual dos dados climáticos dentro dos limites da zona de conforto.

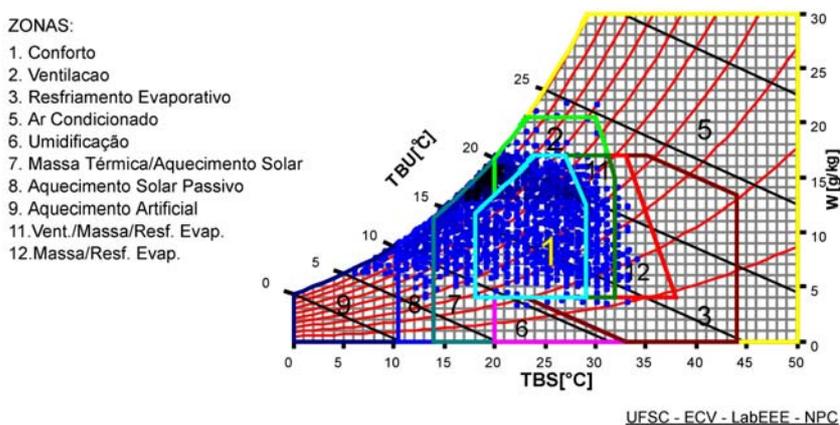


FIGURA 4.30- Carta bioclimática- TRY (1987)

Obs. Nas áreas de interseção das zonas pode-se adotar estratégias simultaneamente ou aplicar somente uma delas. Os percentuais das zonas principais também consideram as áreas de interseção.

A tabela 4.17 apresenta o percentual das estratégias de projeto indicadas pela carta bioclimática com dados do ano climático de referência de 1987 e do ano climático de referência anterior, de 1962. Quanto às estratégias bioclimáticas identificadas com dados do ano de 1987, a ventilação, a inércia térmica para resfriamento e o resfriamento evaporativo são as principais soluções indicadas para a situação de calor. Para a situação de frio, a inércia térmica com ganhos solares é indicada como principal estratégia de projeto bioclimático.

Comparando os percentuais das estratégias indicadas com o ano climático de referência de 1987 para a cidade de Brasília e o ano climático de referência anterior, ano de 1962, é possível observar algumas alterações como demonstrado na tabela 4.17.

Observa-se que o percentual de conforto térmico permaneceu equivalente ao anterior. Mas percebe-se que o desconforto por calor aumentou em 4,8% e o desconforto por frio diminuiu em 4,6%.

O resfriamento evaporativo e a inércia térmica para resfriamento passaram a apresentar uma participação mais significativa entre as estratégias bioclimáticas para o verão, apresentando um aumento de 5%. Observa-se que somente 0,079% das horas do ano as condições climáticas externas requerem o uso de ar condicionado.

Quanto às estratégias para a situação de frio, as alterações foram menores. Houve um decréscimo de menos de 3% das estratégias de inércia térmica para aquecimento e aquecimento solar passivo. A necessidade de sombreamento da edificação cresceu 5,6%.

**TABELA 4.17-** Estratégias bioclimáticas (%)

| CONFORTO (%)       |                         |   |             | TRY<br>1962 | TRY<br>1987 |      |
|--------------------|-------------------------|---|-------------|-------------|-------------|------|
|                    |                         |   |             | 41,4        | 41,2        |      |
|                    |                         |   | TRY<br>1962 | TRY<br>1987 |             |      |
| DESCONFORTO<br>(%) | CALOR                   | Ventilação                              | 17,3        | 21,2        | 17,4        | 22,2 |
|                    |                         | Resfriamento Evaporativo                | 3,28        | 8,38        |             |      |
|                    |                         | Inércia p/ Resfriamento                 | 3,28        | 8,29        |             |      |
|                    |                         | Ar Condicionado                         | 0,034<br>2  | 0,079<br>9  |             |      |
|                    | FRIO                    | Inércia p/ aquec./ Aquec. Solar passivo | 34,1        | 31,3        | 41,2        | 36,6 |
|                    |                         | Aquec. Solar passivo                    | 6,16        | 4,37        |             |      |
|                    |                         | Aquec. Artificial                       | 0,993       | 0,993       |             |      |
|                    | <b>Sombreamento (%)</b> | 54,5                                    | 60,1        |             |             |      |

OBS: O percentual de desconforto por calor ou frio não corresponde à soma das estratégias indicadas, uma vez que, os percentuais destas estratégias também consideram as zonas sobrepostas.  
O programa Analysis Bio indica necessidade de Sombreamento p/ as temperaturas acima de 20°C.

Através dos dados analisados na tabela 4.17, observa-se que Brasília apresenta cerca de 41% do ano condições de conforto térmico e que o percentual de desconforto térmico por frio é cerca de 14% superior ao desconforto por calor. São considerados em desconforto por frio os intervalos com temperaturas abaixo dos 18°C. É importante salientar que, em Brasília, mesmo com a grande ocorrência de temperaturas abaixo dos 18°C, estas raramente são inferiores à 10°C.

Porém, se os percentuais de desconforto forem analisados por período é possível identificar diferentes comportamentos ao longo do dia. Analisar separadamente estes períodos é fundamental do ponto de vista das necessidades de projeto.

A tabela 4.18 demonstra os diferentes percentuais que caracterizam as condições climáticas em cada período do dia. É possível identificar dessa forma que o percentual de desconforto térmico por frio registrado nos períodos diurno e noturno se deve, principalmente, ao intervalo entre 1:00 e 8:00 da manhã. No período da tarde o percentual de desconforto por frio não é significativo.

**TABELA 4.18-** Percentual de desconforto por período do dia.

| DESCONFORTO (%)     | 1987  |      |
|---------------------|-------|------|
| Diurno<br>6 às 18h  | CALOR | 25,9 |
|                     | FRIO  | 19,5 |
| Noturno<br>18 às 6h | CALOR | 17,3 |
|                     | FRIO  | 55,7 |
| 1 às 8h             | CALOR | 12,3 |
|                     | FRIO  | 79,1 |
| Manhã<br>8 às 13h   | CALOR | 23,4 |
|                     | FRIO  | 10,6 |
| Tarde<br>13 às 18h  | CALOR | 35,7 |
|                     | FRIO  | 2,92 |

Para uma caracterização mais aprofundada do ano climático de referência obtido realizou-se um detalhamento das condições de conforto térmico mensais. A tabela 4.19 destaca os percentuais mensais de umidade relativa média, direção e velocidades médias dos ventos predominantes, temperaturas máximas e mínimas absolutas e horário de ocorrência referentes aos intervalos de conforto delimitados pela Carta de Givoni.

Observando as frequências de temperatura e umidade ao longo do ano, verifica-se que a temperatura do ar não ultrapassa os 29°C, para uma umidade relativa acima dos 80%, em nenhum mês do ano.

A ocorrência de condições com **temperaturas acima de 29°C e umidade relativa abaixo dos 80%**, concentra-se principalmente no período da tarde.

No período quente-úmido (outubro à abril) o horário de ocorrência destas condições acontece entre 11:00 e 17:00. O mês de outubro apresenta um maior intervalo, das 10:00 às 18:00. Nos meses mais frios (maio à julho) do período seco o horário de ocorrência é mais restrito, entre 13:00 e 16:00. A ocorrência de temperaturas acima de 29°C nos meses de agosto e setembro é registrada em todo o período da tarde e a partir das 11:00 no mês de setembro.

É possível observar que a ocorrência de temperaturas acima de 29°C representa apenas uma pequena parcela de cada mês. Apenas nos meses de agosto, setembro, outubro e janeiro esse percentual ultrapassam os 10%. Nos demais meses fica abaixo dos 6% e nos meses de inverno, junho e julho, representa menos de 2%. O mês de outubro é o mês que apresenta o maior percentual de temperaturas acima dos 29°C, cerca de 18,5% do mês. Neste mês é registrada a temperatura de bulbo seco mais alta do ano, 34,2°C.

Nos meses de setembro e outubro 49% à 56% das temperaturas neste intervalo são superiores a 30°C. Nos demais meses, dentro da parcela de temperaturas acima de 29°C, a temperatura de 29°C representa de 69% em dezembro à 91% em junho.

Para o período caracterizado por temperaturas superiores a 29°C, a umidade relativa média é bastante baixa. No período quente úmido a umidade relativa média varia entre 34,4% no mês de outubro, e 49%, registrada no mês dezembro. No período seco, a umidade relativa média varia entre 22%, mês de agosto, e 42%, em maio.

Em julho a totalidade das ocorrências de temperaturas acima dos 29°C encontra-se a uma umidade abaixo dos 30%. Em agosto 46% são abaixo de 20% umidade relativa. No mês de setembro esse percentual também é bastante significativo, 27,8% estão abaixo dos 20% de umidade relativa.

Neste período com temperaturas acima de 29°C a ocorrência de ventos é predominante. Com exceção de maio e novembro, em mais de 89% deste período é registrada a ocorrência de ventos. O vento Leste é predominante nos meses de janeiro à abril e setembro à novembro. O vento predominante em maio é o Nordeste, em junho é o oeste, em julho é o Norte e em dezembro é o Nordeste. As velocidades do ar variam entre 2 e 5 m/s e no período seco predominam as velocidades entre 2 e 3 m/s.

A ocorrência de **temperaturas entre 18° e 29°C, com umidade relativa abaixo do 80%**, predomina durante quase todo o dia e noite deste ano. Somente durante a madrugada, entre 0:00 e 7:00 da manhã a ocorrência destas condições é bastante reduzida.

O mês de outubro apresenta o maior horário de ocorrência, para o período quente e úmido, durante todo o dia e noite, com exceção do intervalo entre 4 e 7 horas da manhã. No período seco, o mês de agosto apresenta maior intervalo de ocorrência das 8 da manhã às 23 da noite.

Somente no mês de setembro também se registram ocorrências durante a madrugada entre 0:00 e 3:00, porém durante à tarde, entre 12:00 e 18:00, a ocorrência de temperaturas no referido intervalo é reduzida.

O intervalo de temperaturas de bulbo seco entre 18°C e 29°C, com umidade relativa abaixo dos 80%, apresenta os maiores percentuais mensais para o período seco e o mês de outubro, entre 39% e 54% do mês. Nos meses restantes essa ocorrência varia entre 32% e 41% do mês.

Nestas condições, a umidade relativa média não ultrapassa os 68%. No período quente e úmido a umidade relativa média apresenta percentual entre 61 e 68% e no período seco entre 41 e 59%. Durante o período seco, com exceção de maio, registram-se umidade relativa abaixo dos 30%. Apenas no mês de agosto, em 16% deste intervalo, é registrada umidade relativa abaixo dos 20%.

Para este intervalo de temperaturas entre 18°C e 29°C e umidade relativa abaixo dos 80%, a ocorrência de ventos é predominante, acima de 54%. Apenas em janeiro, maio e outubro predomina o vento Nordeste e em dezembro o Noroeste. Nos meses restantes o vento Leste é predominante. As velocidades do ar variam entre 2 e 5 m/s e no período seco predominam as velocidades entre 2 e 4 m/s.

As temperaturas de bulbo seco entre 18°C e 29°C, mas com umidade relativa acima dos 80%, ocorrem principalmente durante à noite e início da manhã, até às 8:00. Em alguns meses, como novembro e dezembro, há registro destas condições desde as 16:00.

Porém, no período seco, a horário de ocorrência destas condições torna-se bastante restrita. Nos meses de julho e agosto não há nenhuma ocorrência. Em maio somente entre 8 e 9:00 e à noite das 20:00 até às 2:00 da manhã. Em junho apenas às 9:00 da manhã e entre 20 e 21:00. Em setembro maior probabilidade entre 6 e 8:00 e entre 23 e 0:00.

As temperaturas de bulbo seco entre 18°C e 29°C com umidade relativa acima dos 80% apresentam maiores percentuais mensais, entre 39% e 54%, para o período quente e úmido, com exceção de outubro. No período seco, nos meses em que ocorrem estas condições, registram-se os menores percentuais mensais, não ultrapassando 8% de cada mês.

Predomina a ausência de ventos neste intervalo, que varia entre 54% e 78%. Com exceção do mês de setembro que registra 48% do intervalo sem ventos, com ocorrência de ventos Leste e Sudeste (16 e 19%).

As temperaturas abaixo dos 18°C ocorrem principalmente durante a madrugada, das 0:00 às 7:00 da manhã.

Durante todo o período quente e úmido há maior ocorrência às 6:00 da manhã. No período seco, de maio a agosto o horário de ocorrência acontece das 21:00 às 9:00, apenas em setembro a ocorrência de temperaturas abaixo dos 18°C abrange somente a madrugada (0:00 às 7:00).

Para o período quente úmido o percentual de temperaturas abaixo dos 18°C fica abaixo dos 8% de cada mês. Apenas os meses de abril e outubro apresentam percentuais de 13%. No período seco o percentual varia entre 20% em setembro e 49% em junho.

Nestas condições a umidade relativa média ficou entre 73% (setembro) e 99% (dezembro).

Predomina a ausência de ventos neste intervalo, que varia entre 75% e 96% do intervalo.

**TABELA 4.19-** Características climáticas por intervalo de temperatura

| TBS>29°C UR<80%       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | JAN   | FEV   | MAR   | ABR   | MAI   | JUN   | JUL   | AGO   | SET   | OUT   | NOV   | DEZ   |
| Horário de ocorrência | 11-17 | 11-17 | 11-17 | 11-17 | 13-16 | 13-15 | 13-15 | 12-17 | 11-18 | 10-18 | 11-17 | 11-17 |
| % mensal              | 12    | 6     | 2     | 3     | 3     | 2     | 1     | 15    | 17,9  | 18,5  | 5     | 2,2   |
| TBS=29°C %            | 35,6  | 42    | 86,6  | 88,6  | 90    | 91    | 90    | 33,9  | 18,8  | 16,4  | 47    | 78    |
| TBS>30°C              | 29%   | 16%   | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 0%    | 26%   | 49%   | 56%   | 11,8% | 0%    |
| UR mín.%              | 21    | 34    | 37    | 35    | 31    | 31    | 18    | 11    | 10    | 20    | 31    | 40    |
| UR média%             | 39    | 42    | 47    | 43    | 42    | 37    | 24    | 22    | 26,8  | 34,4  | 45    | 49    |
| UR máx.%              | 55    | 52    | 55    | 58    | 52    | 58    | 29    | 40    | 45    | 49    | 70    | 62    |

|                                      |              |              |              |              |                     |               |                      |                      |                      |              |              |              |
|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|---------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| UR<30%                               | 12,6 %       | ---          | ---          | ---          | ---                 | ---           | 100%                 | 90,2%                | 74%                  | 28,3%        | ---          | ---          |
| Dir. ventos                          | L            | L            | L            | L            | NE                  | NE-E          | N                    | L                    | L                    | NE           | L            | NE           |
| Vel. Ventos m/s                      | 2 a 6        | 2 a 6        | 2 a 5        | 2 a 5        | 2 a 5               | 1 a 3         | 2 a 6                | 2 a 5                | 2 a 5                | 2 a 5        | 2 a 4        | 2 a 5        |
| <b>18°C&lt;TBS&lt;29°C UR&lt;80%</b> |              |              |              |              |                     |               |                      |                      |                      |              |              |              |
|                                      | JAN          | FEV          | MAR          | ABR          | MAI                 | JUN           | JUL                  | AGO                  | SET                  | OUT          | NOV          | DEZ          |
| Horário de ocorrência                | 8-22         | 8-22         | 9-20         | 9-20         | 9-20                | 9-20          | 9-21                 | 0:00<br>8-23         | 0-3<br>8-12<br>18-23 | 0-3<br>8-23  | 9-18         | 9-21         |
| % mensal                             | 38           | 40           | 35           | 41           | 46                  | 39            | 54                   | 50                   | 53                   | 48           | 32           | 35           |
| UR média%                            | 63           | 64           | 64           | 61           | 59                  | 53            | 43                   | 41                   | 51                   | 60           | 65           | 68           |
| Urmin%                               | 37           | 37           | 45           | 35           | 37                  | 21            | 22                   | 13                   | 21                   | 34           | 42           | 42           |
| >30%                                 |              |              |              |              |                     | 31,8%         | 31,6%                | 23%                  | 7%                   |              |              |              |
| Dir. ventos                          | NE           | L            | L            | L            | NE                  | L             | L                    | L                    | L                    | NE           | L            | NO           |
| Vel. Ventos m/s                      | 2 a 5        | 2 a 6        | 2 a 5        | 2 a 5        | 2 a 4               | 2 a 4         | 2 a 5                | 2 a 4                | 2 a 4                | 2 a 4        | 2 a 5        | 2 a 5        |
| <b>18°C&lt;TBS&lt;29°C UR&gt;80%</b> |              |              |              |              |                     |               |                      |                      |                      |              |              |              |
|                                      | JAN          | FEV          | MAR          | ABR          | MAI                 | JUN           | JUL                  | AGO                  | SET                  | OUT          | NOV          | DEZ          |
| Horário de ocorrência                | 0-8<br>19-23 | 0-8<br>19-23 | 0-8<br>19-23 | 0-8<br>19-23 | 0-2<br>8-9<br>20-23 | 9:00<br>20-21 | Não há<br>ocorrência | Não há<br>ocorrência | 6-8<br>23:00         | 0-8<br>22-23 | 0-9<br>16-23 | 0-9<br>16-23 |
| % mensal                             | 42           | 42           | 56           | 40           | 25                  | 5             | /                    | /                    | 8                    | 25           | 56           | 61           |
| UR média%                            | 92           | 91           | 93           | 91           | 91                  | 88            | /                    | /                    | 90                   | 90           | 93           | 93           |
| Dir. ventos                          | Calmaria-C   | C            | C            | C            | C                   | C             | /                    | /                    | C-E-SE               | C            | C            | C            |
| Vel. Ventos m/s                      | —            | —            | —            | —            | —                   | —             | /                    | /                    | 2 a 4                | —            | —            | —            |
| <b>TBS&lt;18°C</b>                   |              |              |              |              |                     |               |                      |                      |                      |              |              |              |
|                                      | JAN          | FEV          | MAR          | ABR          | MAI                 | JUN           | JUL                  | AGO                  | SET                  | OUT          | NOV          | DEZ          |
| Horário de ocorrência                | 0-7          | 0-7          | 0-7          | 0-7          | 0-9<br>21-23        | 0-9<br>21-23  | 0-9<br>21-23         | 0-9<br>21-23         | 0-7                  | 0-7          | 0-6          | 0-7          |
| % mensal                             | 8            | 6            | 7            | 13           | 30                  | 49            | 46                   | 37                   | 20                   | 13           | 5            | 3            |
| UR média%                            | 95           | 97           | 97           | 97           | 96                  | 92            | 83                   | 73                   | 80                   | 91           | 96           | 99           |
| Dir. ventos                          | C-<br>77%    | C-<br>75%    | C- 96%       | C- 90%       | C- 94%              | C- 85%        | C- 90%               | C- 81%               | C- 82%               | C- 82%       | C- 82%       | C- 84%       |
| Vel. Ventos                          | -            | -            | -            | -            | -                   | -             | -                    | -                    | -                    | -            | -            | -            |

#### 4.1.2.2 Avaliação bioclimática através das Tabelas de Mahoney

Aplicando os dados climáticos tratados às Tabelas de Mahoney obtém-se indicativos para etapa inicial de projeto, com a definição de algumas estratégias bioclimáticas de possível aplicação para edificações na região de Brasília. Também foram aplicados dados dos períodos anteriores de 1960 à 1964 e de 1961 à 1970, porém os resultados obtidos não diferiram dos resultados a partir do período analisado de 1982 à 1997, e portanto, não são considerados. O período das normais de 1960 à 1990, não chegou a ser aplicado por não apresentar dados de amplitude térmica, variável necessária para a utilização da tabela.

De acordo com as estratégias resultantes da aplicação dos dados climáticos às tabelas, para edificações em Brasília não condicionadas e que maximizem o resfriamento ou aquecimento passivo, indica-se como apropriado a orientação norte-sul e construções compactas diminuindo os ganhos térmicos durante o dia e as perdas noturnas por radiação. As aberturas devem ser adequadas à necessidade de ventilação parcial, apenas nos períodos desejáveis (TBS<32°C, UR>30%). Estas aberturas também devem prever proteção contra chuvas no período de verão, que apresenta maior índice de pluviosidade. Quanto à envoltória, a construção deve apresentar uma maior inércia térmica nas paredes com maior capacidade e resistência térmica. Já a cobertura necessita apenas de maior isolamento térmico que corte o pico de temperatura diurno e conserve calor no período noturno.

As Tabelas de Mahoney com os dados climáticos referentes ao período analisado são apresentadas no Anexo E.

#### 4.1.2.3 Avaliação bioclimática utilizando os Triângulos de Conforto de Evans

No diagrama dos Triângulos de Conforto de Evans, foi possível uma visualização e análise comparativa da variação periódica diária de temperatura, permitindo a elaboração de indicativos para estratégias de projeto bioclimático. As estratégias definidas pelo zoneamento da carta são: 1- Ventilação cruzada; 2- Ventilação Seletiva; 3- Inércia Térmica; 4-Ganhos internos; 5-Ganhos solares.

As zonas sobrepostas resultam nas combinações de: 3+5- Inércia térmica mais ganhos solares (capacidade térmica externa), 3+2 – Ventilação seletiva mais inércia térmica e 3+4- Inércia térmica mais ganhos internos (capacidade térmica interna).

A figura 4.47 apresenta o diagrama Triângulos de conforto com dados de temperatura média diária e amplitude térmica, obtidos das médias diárias do período de 1982 à 1997. Observamos que as temperaturas médias diárias são relativamente baixas, variando entre 14°C e 21°C, mas com elevadas amplitudes térmicas, chegando à 17 K de variação diária.

Observa-se ainda que os dias caracterizados pelas menores temperaturas médias apresentam as maiores amplitudes térmicas, nos quais indica-se o uso de inércia térmica e ganhos solares como estratégias bioclimáticas a serem adotadas. Através dos ganhos solares eleva-se a temperatura média interna e utilizando materiais de elevada capacidade térmica é possível minimizar as amplitudes, proporcionando melhores condições de conforto.

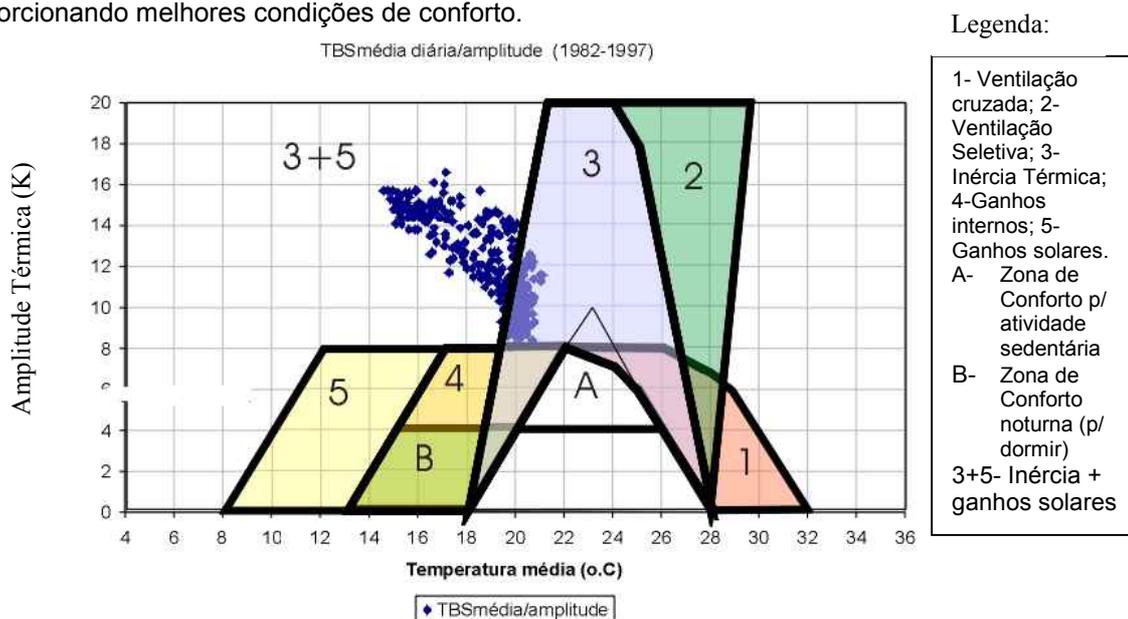


FIGURA 4.47- Diagrama Triângulos de conforto.

## 4.2 ESTUDO DE CASO

### 4.2.1 Avaliação das variáveis humanas - questionários e dados de observação direta

As três primeiras questões formuladas no questionário aplicado eram subjetivas e tinham apenas o objetivo de envolver e obter maior cumplicidade dos funcionários em relação à pesquisa, questionando à respeito das condições gerais de conforto do prédio. Apesar de não haver muita pretensão em relação a estas questões foi possível observar um padrão das respostas em relação ao período do dia, mês e localização das salas, bastante interessante.

Observa-se que ao longo do período de medições (fevereiro à junho) as opiniões manifestando insatisfação com o edifício vão diminuindo e percebe-se uma pequena distinção entre as opiniões dos entrevistados do térreo e do primeiro andar. A partir de março passam a predominar opiniões positivas sobre o edifício tanto no térreo quanto no primeiro andar e em maio o edifício deixa de ser classificado como inadequado para o calor, porém são destacados aspectos negativos para o frio. Em junho, 80% dos entrevistados considera o edifício adequado às condições de conforto térmico, com ambientes bem ventilados, e os 20% restantes destacam aspectos do frio.

Analisando as opiniões por pavimento, observa-se que no térreo, mais de 60% dos entrevistados considera o edifício inadequado no início de fevereiro. Essa proporção cai para 40% a partir do fim de fevereiro. Em abril os funcionários da sala F, sob influência do sistema de resfriamento evaporativo, destacam que as condições melhoraram e os demais consideram as condições regulares. No fim de maio e mês de junho, o ambiente é classificado como inadequado para o frio principalmente entre os funcionários da fachada sul. Na fachada norte o ambiente é classificado como adequado e bem ventilado.

No primeiro andar, do início de fevereiro até maio predominam as opiniões positivas. Em fevereiro 60% dos entrevistados consideram o edifício adequado e bem ventilado e em março esta opinião representa a totalidade dos entrevistados, onde um dos funcionários da sala N declara que as condições melhoraram. Em abril esta proporção volta aos 60% e em maio alguns funcionários sugerem a troca do piso para amenizar as baixas temperaturas. Em julho, principalmente na fachada sul, os funcionários indicam inadequação para o frio.

Percebe-se que mesmo registrando opiniões negativas em relação ao conforto térmico do prédio, principalmente em fevereiro, todos os usuários identificam características positivas no edifício. As características do prédio mais apropriadas ao clima segundo os funcionários são a boa ventilação devido às grandes janelas e a vegetação do pátio interno e entorno. No mês de fevereiro e abril também destacam como aspecto positivo a orientação do prédio e, no mês de maio, destacam a proximidade do lago e o piso de pedra ardósia.

Durante todo o período, os usuários do edifício, tanto no período da manhã quanto da tarde, indicam o pátio interno, as salas voltadas para o pátio, o hall do plenário e os corredores como os locais mais agradáveis do ponto de vista do conforto térmico, não necessariamente nessa ordem. Todos os locais mencionados, com exceção das salas voltadas para o pátio interno, são caracterizados pela presença de um fluxo de ar bastante perceptível. Vale destacar que os corredores apresentavam aberturas em suas duas extremidades, garantindo ventilação cruzada. Outros locais também são destacados pelos entrevistados, como as salas com ar condicionado no mês de fevereiro, pelos

funcionários do primeiro andar. Em março e maio, alguns funcionários indicam o andar térreo como local mais agradável e, é interessante destacar que, no mês de abril ocorrem indicações das salas com “umidificadores” (como era chamado o sistema de resfriamento evaporativo pelos funcionários) como local mais agradável. Em maio e junho, as salas voltadas para o pátio interno são destacadas como os locais mais agradáveis e em junho os funcionários das salas F e H (sob influência do sistema de resfriamento) declaram que suas salas são os locais mais agradáveis do ponto de vista do conforto térmico.

Quando questionados a respeito da possível causa de desconforto, a pouca ventilação é a maior causa de desconforto por calor, conflitando com as respostas quanto às características mais apropriadas. Para os funcionários da fachada norte, a partir de abril a incidência solar direta nas janelas é a principal causa de desconforto por calor.

Outra pergunta subjetiva aplicada no questionário pedia ao funcionário que sugerisse uma solução para o desconforto térmico, se este existisse. Até o início de março o ar condicionado é a principal solução sugerida pelos usuários para o desconforto por calor, embora entre os funcionários do térreo 50% sugiram apenas a melhoria das condições de ventilação. A partir de abril a “umidificação” passa a ser a solução mais indicada. No início de maio, no período da manhã, os usuários não consideram necessária nenhuma modificação. A partir da última quinzena do mês de maio a troca do material do piso (pedra ardósia, considerada muito fria pelos usuários) passa a ser sugerida como solução para o desconforto por frio, com exceção dos usuários do térreo no período da tarde, que além de “umidificação” sugerem mais jardins.

Percebe-se que as soluções sugeridas pelos usuários vão de acordo com as mudanças climáticas e a sensação térmica no interior das salas.

Em relação às questões relacionadas à sensação e preferência térmica momentânea dos funcionários, foi utilizada uma escala com sete valores, do -3 ao +3, como mencionado na metodologia. Mesmo nos meses mais quentes há pequena ocorrência de desconforto por calor, principalmente à tarde. Somente no início de fevereiro ocorrem respostas considerando o ambiente interno muito quente, 23% dos entrevistados da tarde. Nesta ocasião predomina o desconforto por calor onde 45% dos entrevistados prefeririam estar muito mais refrescados, o restante entre refrescado e levemente refrescado. No fim de fevereiro a queda de temperatura, provocada pelas chuvas no período da entrevista, condicionou respostas mais amenas. No térreo, principalmente na fachada norte, o clima interno varia, de acordo com a opinião dos funcionários, entre levemente frio e levemente quente e no primeiro andar, foi classificado entre neutro e levemente frio. Nesta ocasião a maioria manifestou conforto com a situação, preferindo permanecer assim mesmo, com exceção de alguns funcionários do térreo que prefeririam estar levemente mais refrescados.

Em março, a entrevista é realizada somente no período da tarde e, apenas na fachada sul do térreo o ambiente é classificado como levemente frio. Nas demais fachadas e andares o ambiente interno é considerado entre levemente quente e neutro, onde há 43% de preferência de permanecer assim mesmo e 35% para estar levemente refrescado. Em abril (entrevista também realizada somente no período da tarde), 60% dos entrevistados considera o ambiente interno levemente quente e as únicas classificações de levemente frio, tanto no térreo quanto no primeiro andar, são dadas por mulheres. No primeiro andar da fachada norte todos os entrevistados neste mês prefeririam estar levemente refrescados e no térreo refrescados ou assim mesmo. Percebe-se que, mesmo classificando os

ambientes como quentes ou levemente quentes, mais da metade dos entrevistados entre o fim de fevereiro e abril manifestou conforto nesta situação preferindo permanecer assim mesmo ou levemente refrescados.

Em maio acontecem as primeiras ocorrências de desconforto térmico por frio no período da manhã e à tarde todos consideram os ambientes internos levemente quentes. Apesar disso todos os entrevistados nos dois turnos não manifestam desconforto, preferindo permanecer assim mesmo. Dessa forma o mês de maio com temperaturas máximas externas inferiores à 28°C, foi considerado o mês mais confortável pelos usuários.

No mês de junho predomina o desconforto por frio, principalmente pela manhã e à tarde apenas no primeiro andar. A maior incidência de luz solar direta neste período no térreo da fachada norte minimiza o desconforto por frio. O primeiro andar é sombreado pelo enorme beiral existente. Na opinião de todos os entrevistados a longo de todo o período o clima interno sempre está mais ameno do que o clima exterior.

As figuras 4.32 à 4.35 ilustram a relação das respostas de sensação e preferência térmica com as temperaturas registradas no momento da aplicação do questionário nos períodos da manhã e tarde. Fazendo essa relação é possível observar que o maior número de respostas 0, ou seja classificando o ambiente como neutro, se deu com temperaturas entre 24°C e 25°C. Como já havia sido observado anteriormente, percebe-se através das figuras que, em relação à preferência, os entrevistados demonstram conforto mesmo classificando o ambiente como levemente frio ou levemente quente. Portanto, em relação à preferência o número de respostas 0, ou seja, preferindo permanecer assim mesmo, se amplia para as temperaturas entre 23°C e 26°C.

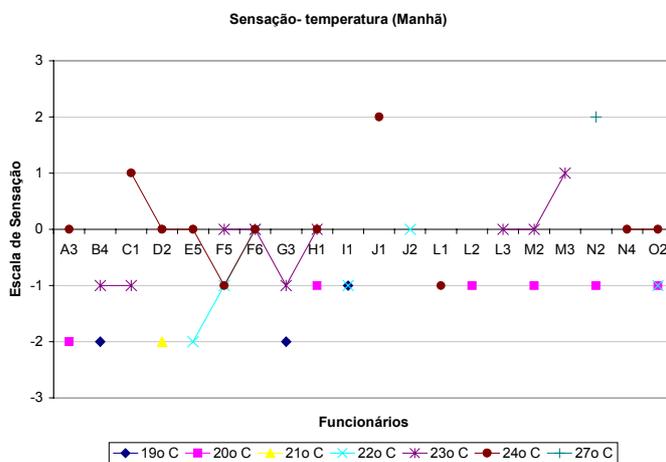


FIGURA 4.32 Gráfico de sensação térmica e temperatura, manhã.

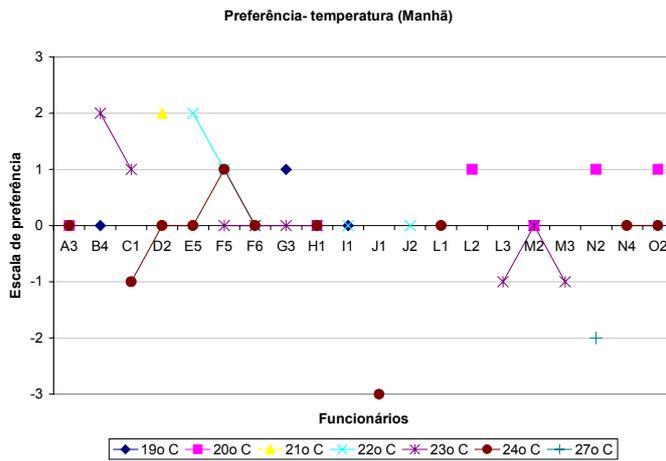


FIGURA 4.33 Gráfico de preferência térmica e temperatura, manhã.

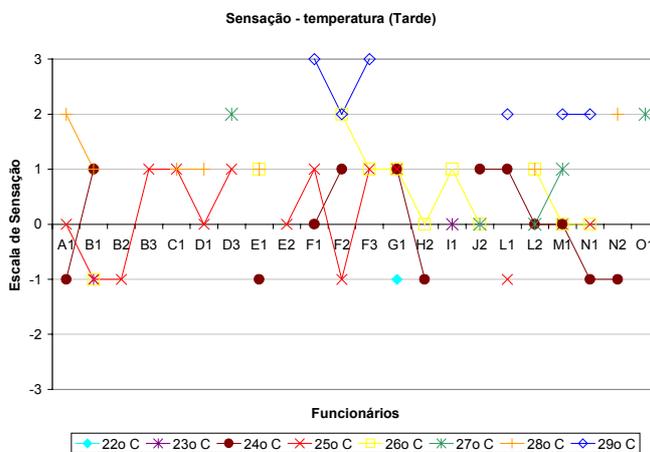


FIGURA 4.34 Gráfico de sensação térmica e temperatura, tarde.

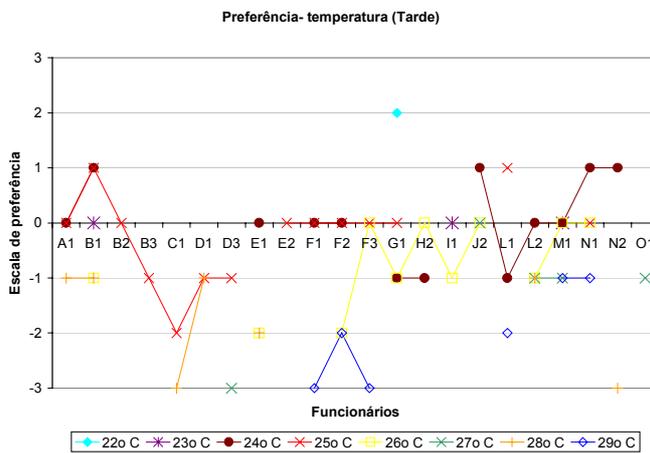


FIGURA 4.35 Gráfico de preferência térmica e temperatura, tarde.

Os ventiladores das salas analisadas são ligados somente no período da tarde e nas quatro salas em que foi instalado o sistema de resfriamento evaporativo eles deixaram de ser ligados ao longo do tempo.

Observa-se ainda uma alteração no vestuário ao longo do período de pesquisa no edifício, principalmente entre as mulheres. O vestuário dos homens praticamente não sofre alteração, variando em torno de 0,658 clo e 0,720 clo. Quanto às mulheres, que em termos de sensação geralmente

sentiam-se mais refrescadas na situação de calor, apresentam uma variação na vestimenta muito maior. Seu vestuário varia de, cerca de, 0,329 clo nos meses mais quentes (fevereiro e abril) para em torno de 0,710 clo nos mês mais frio (junho).

Dessa forma, é possível observar que uma série de outras análises ainda poderia ser realizada correlacionando as respostas dos entrevistados com outras variáveis como peso, sexo, idade, altura, nível de atividade no momento da entrevista, vestuário, entre outros aspectos. Porém, como o objetivo dos questionários para este trabalho era somente balizar os resultados obtidos nas medições internas de temperatura e umidade, este tipo de análise será feito em outra oportunidade.

### 4.2.2 Variáveis ambientais

#### 4.2.2.1 Caracterização climática do período analisado (FEV - JUN 2001)

A figura 4.36 apresenta dados horários de temperatura e umidade relativa externos dos meses de fevereiro a junho, registrados pela estação do INMET, enquanto que, a figura 4.37 apresenta dados médios da temperatura e umidade relativa. De acordo com os dados, é possível perceber que durante todo o período analisado as temperaturas externas apenas ultrapassam os 29°C no mês de fevereiro, apresentando a maior média das máximas do período, 27,2°C. É exatamente no intervalo, entre 10 e 15 de fevereiro, que a umidade relativa alcança os níveis mais baixos, cerca de 30%.

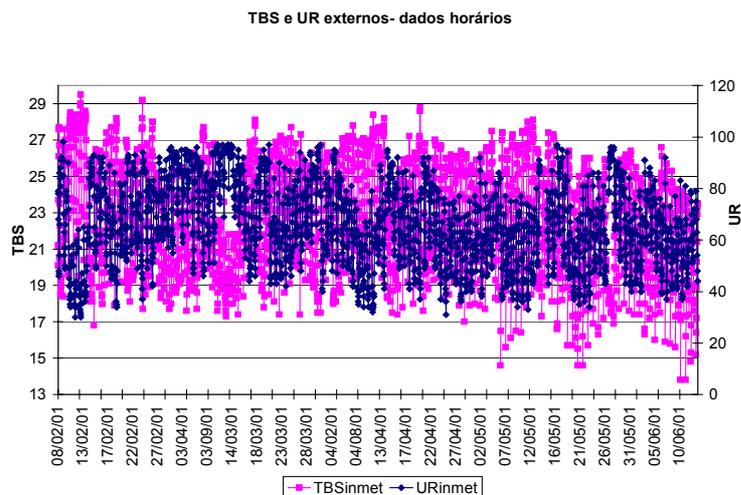


FIGURA 4.36- Dados horários de TBS e UR do período.

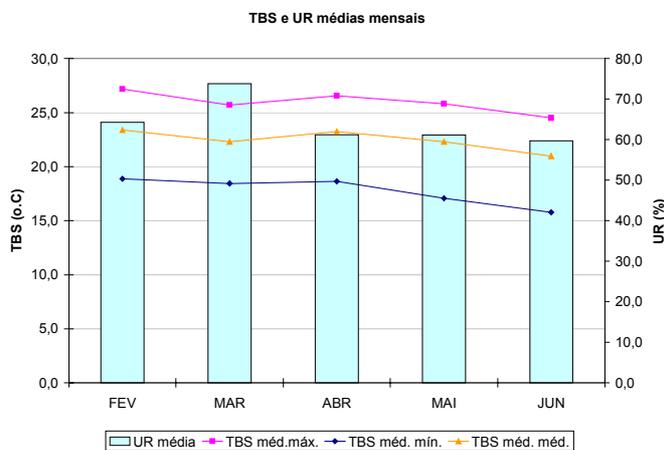


FIGURA 4.37- TBS e UR média mensal do período.

Nas figuras 4.38 e 4.39 é possível identificar o comportamento diário da temperatura do ar e umidade relativa, respectivamente, ao longo dos meses analisados. Entre os dias 5 e 15 do mês de março observa-se uma queda nas temperaturas máximas diárias, abaixo dos 23°C, e uma pequena elevação da umidade relativa provavelmente devido ao elevado nível de precipitação neste intervalo. Dessa forma, como é possível identificar na figura 4.37, o mês de março registra uma temperatura média das máximas inferior a abril, com 25,7°C, e a maior umidade relativa média mensal do período, cerca de 75%. A menor umidade relativa média mensal ocorre no mês de junho, 59,7%.

Através da figura 4.38, percebe-se, de maneira clara, uma queda na temperatura do ar a partir do mês de maio, onde após o dia 10 de maio as máximas diárias não ultrapassam os 27°C e as médias diárias ficam abaixo dos 23°C. A umidade relativa máxima ocorre no início de fevereiro, não ultrapassando os 98%, como é possível observar na figura 4.39.

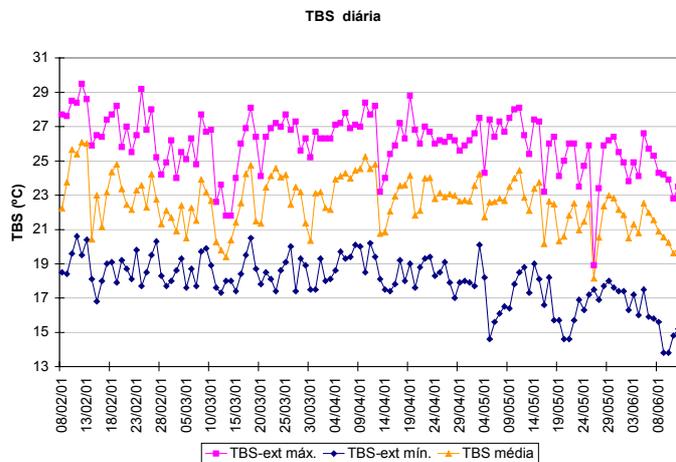


FIGURA 4.38- Temperaturas máximas, médias e mínimas diárias.

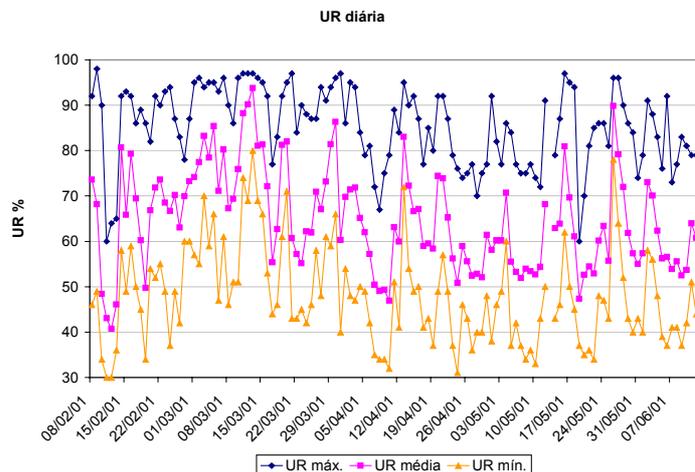


FIGURA 4.39- U.R. máximas, médias e mínimas diárias.

Nas figuras 4.40 e 4.41, observam-se os dados de amplitude térmica média diária e mensal. As temperaturas mínimas diárias (indicadas na figura 4.38), sofrem uma queda, a partir de maio, superior à queda das temperaturas máximas, e dessa maneira observa-se uma elevação da amplitude térmica neste período. Nestes meses, de maio e junho, acontecem os menores níveis de precipitação, maio com 50mm e junho sem registro de precipitação. No período mais chuvoso, mês de março com cerca de 230mm de precipitação, observam-se as menores amplitudes térmicas, com amplitude média mensal de 7,2°C.

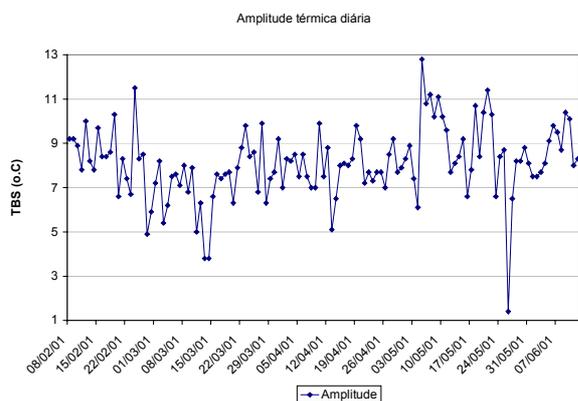


FIGURA 4.40 Amplitude térmica diária.

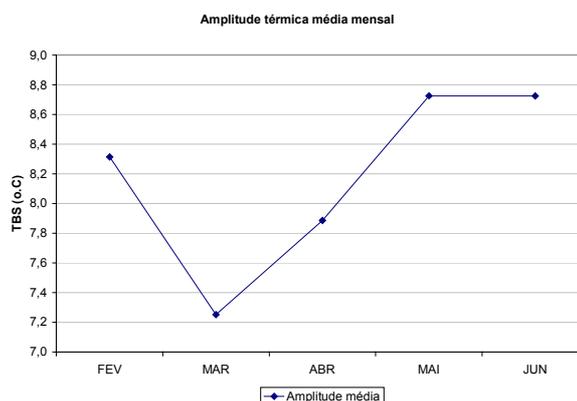


FIGURA 4.41 Amplitude térmica média mensal

Quanto aos dados de insolação, o INMET registrou 150 horas para o mês de fevereiro, 160 horas para o mês de março, 240 horas para o mês de abril e 280 horas para os meses de maio e junho, caracterizando um maior período de insolação para os meses mais frios do período.

A figura 4.42 apresenta gráfico tipo rosa dos ventos com a frequência mensal de ocorrência de ventos para cada quadrante. Em relação à ocorrência de ventos neste período de análise, observou-se através dos dados da estação do INMET que os ventos dos quadrantes, NE e SE apresentam a maior frequência de ocorrência. Os ventos secundários são os ventos dos quadrantes NO, E e SO. Na tabela 4.20, que apresenta o percentual mensal para ausência de vento, observa-se que maio é o mês com maior ausência de vento, 41.3%, e junho apresenta o menor percentual, 20.3%.

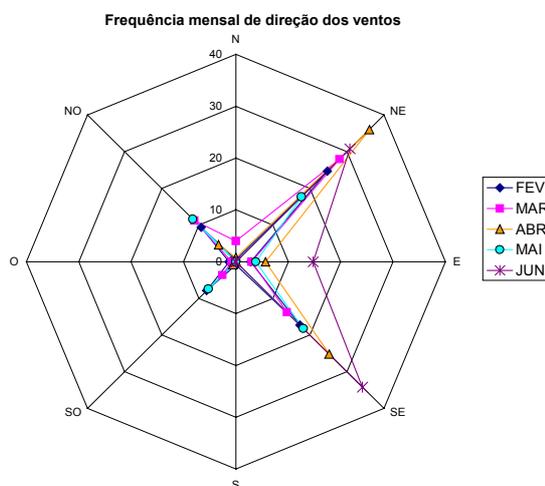
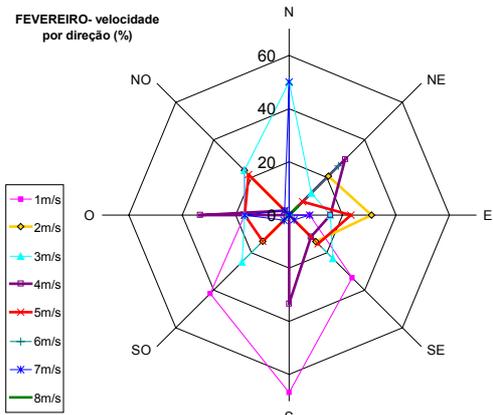


FIGURA 4.42- Rosa dos ventos p/ frequência mensal de direção dos ventos.

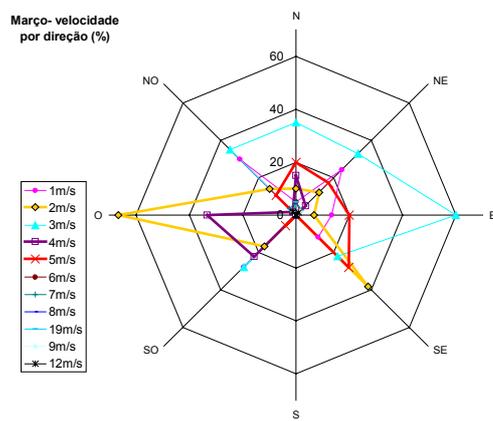
TABELA 4.20- Percentual mensal de vento ausente.

| %   | Vento ausente |
|-----|---------------|
| FEV | 35,4          |
| MAR | 35,6          |
| ABR | 27,0          |
| MAI | 41,3          |
| JUN | 20,3          |

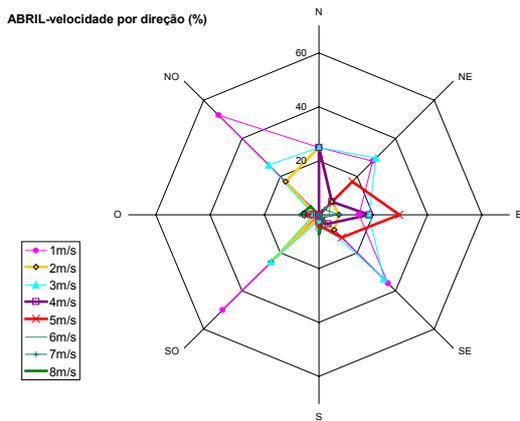
Nas figuras 4.43 à 4.47 são demonstradas as velocidades médias do ar mais frequentes para cada orientação. No mês de fevereiro para o quadrante NE, vento predominante, há maior frequência de ocorrência das velocidades de 4 e 6 m/s. Nos meses de março e abril, o vento predominante também é o NE, e as maiores frequências acontecem para os ventos de 3 e 1m/s. No mês de maio os quadrantes NE e SE apresentam a mesma frequência de ocorrência e as velocidades predominantes são de 1 e 3 m/s nesta ordem. No mês de junho a direção predominante é a SE onde predominam as velocidades de 1 e 3 m/s na mesma proporção.



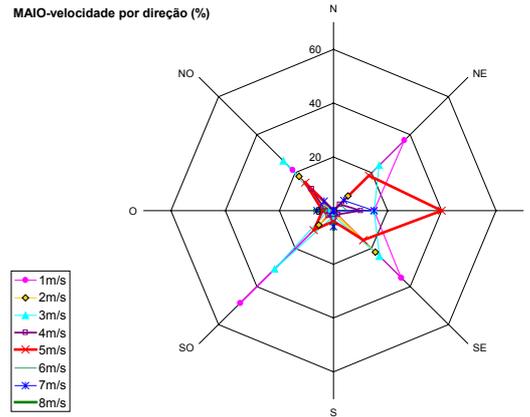
**FIGURA 4.43-** Velocidades por direção mês de fevereiro



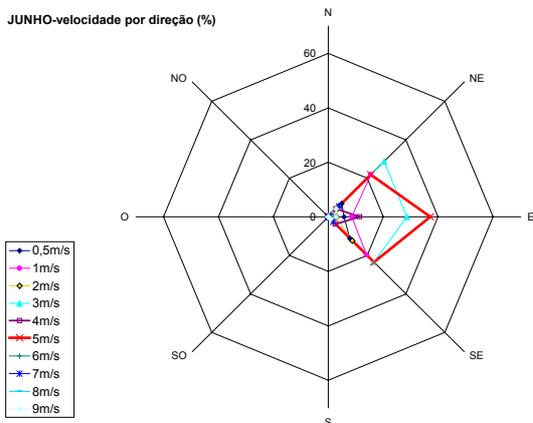
**FIGURA 4.44-** velocidades por direção, mês de março.



**FIGURA 4.45-** velocidades por direção, mês de abril



**FIGURA 4.46-** velocidades por direção, mês de maio.



**FIGURA 4.47-** velocidades por direção, mês de junho

#### 4.2.2.2 Temperatura de bulbo seco e umidade relativa internas

Ao realizar a análise das variáveis ambientais medidas internamente são observados diferentes comportamentos em relação aos dias úteis e feriados, o que implica na ocupação ou não dos ambientes e no fechamento ou não das janelas. Dessa forma, as tabelas 4.21 a 4.25 apresentam o calendário do período, como forma de facilitar a compreensão e localização das análises realizadas.

TABELA 4.21- FEVEREIRO

| S  | T  | Q  | Q  | S  | S  | D  |
|----|----|----|----|----|----|----|
|    |    |    | 1  | 2  | 3  | 4  |
| 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| 26 | 27 | 28 |    |    |    |    |

TABELA 4.22- MARÇO

| S  | T  | Q  | Q  | S  | S  | D  |
|----|----|----|----|----|----|----|
|    |    |    | 1  | 2  | 3  | 4  |
| 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 |
| 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |    |

TABELA 4.23- ABRIL

| S  | T  | Q  | Q  | S  | S  | D  |
|----|----|----|----|----|----|----|
|    |    |    |    |    |    | 1  |
| 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  |
| 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| 30 |    |    |    |    |    |    |

TABELA 4.24- MAIO

| S  | T  | Q  | Q  | S  | S  | D  |
|----|----|----|----|----|----|----|
|    | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |
| 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| 28 | 29 | 30 | 31 |    |    |    |

TABELA 4.25- JUNHO

| S  | T  | Q  | Q  | S  | S  | D  |
|----|----|----|----|----|----|----|
|    |    |    |    |    | 1  | 2  |
| 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |

##### 4.2.2.2.1 Análise das Condições Gerais (Pátio Interno, Vegetação e Orientação)

As figuras 4.48 e 4.49 destacam as diferenças existentes nas temperaturas médias das máximas e mínimas entre térreo e primeiro andar e entre os espaços de transição externos. A figura 4.48 destaca os dados de temperaturas médias das máximas e das mínimas externas e internas da fachada sul do andar térreo. Na figura 4.49 é possível observar o comportamento destes dados no primeiro andar na fachada norte.

De maneira geral, as temperaturas máximas internas das salas do térreo são inferiores às temperaturas máximas externas registradas pelo INMET e no 1º andar as temperaturas internas são superiores. Porém, ao compararmos os dados internos com as temperaturas externas máximas registradas nos espaços de transição, as temperaturas internas máximas são sempre inferiores, mas com menor diferença para o primeiro pavimento. Os dados de temperatura média das máximas dos espaços de transição externos são cerca de 3°C superiores aos dados externos registrados pelo INMET e passam a uma diferença de cerca de 1,8°C acima, a partir de abril, devido a uma elevação nas temperaturas do INMET.

Comparando as diferenças existentes em relação às temperaturas máximas dos espaços de transição externas sul e norte (pátio interno) percebe-se que, até o mês de abril, as temperaturas do pátio eram bem inferiores às externas do lado sul, com uma diferença de até 2,6°C abaixo. Com a poda das árvores existentes no pátio, essa diferença desaparece, demonstrando a importância da presença da vegetação. As temperaturas médias das mínimas do pátio tornam-se superiores ao lado externo sul a partir de março, com uma diferença crescente que vai de 0,7°C à 1,3°C em junho, demonstrando uma maior conservação de calor no período noturno. Observa-se que as temperaturas mínimas das salas voltadas para o pátio também são superiores às temperaturas mínimas das salas voltadas para sul, em 0,5°C em fevereiro até 2,6°C em junho.

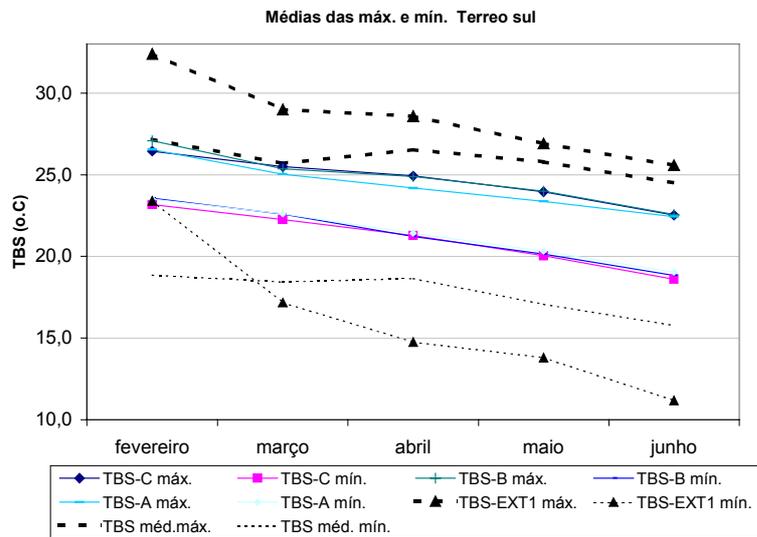


FIGURA 4.48- Temperatura média das máx. e mín.- térreo sul.

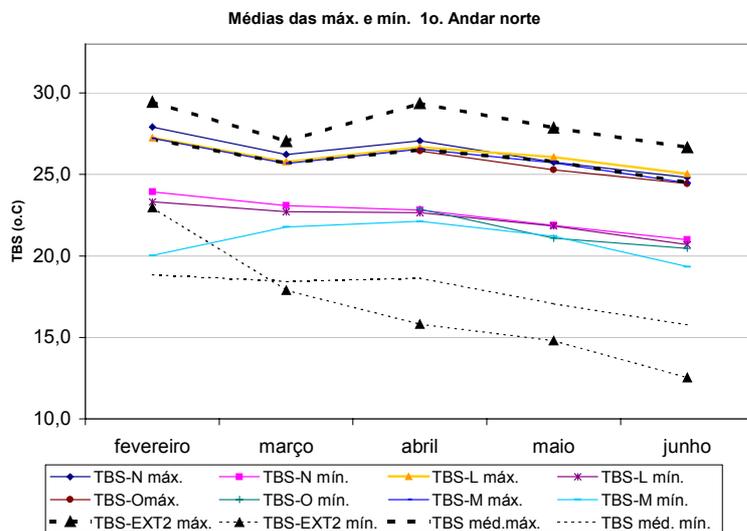


FIGURA 4.49- Temperatura média das máx. e mín.- 1º andar norte.

Nas figuras 4.50 e 4.51 é possível observar as diferenças entre o térreo e o primeiro andar através das temperaturas máximas diárias. Em fevereiro a temperatura máxima do térreo é de 29°C, enquanto que no 1º andar a máxima registrada é de 31°C, o que indica os elevados ganhos térmicos pela cobertura. Observando as temperaturas mínimas não é possível identificar diferenças significativas.

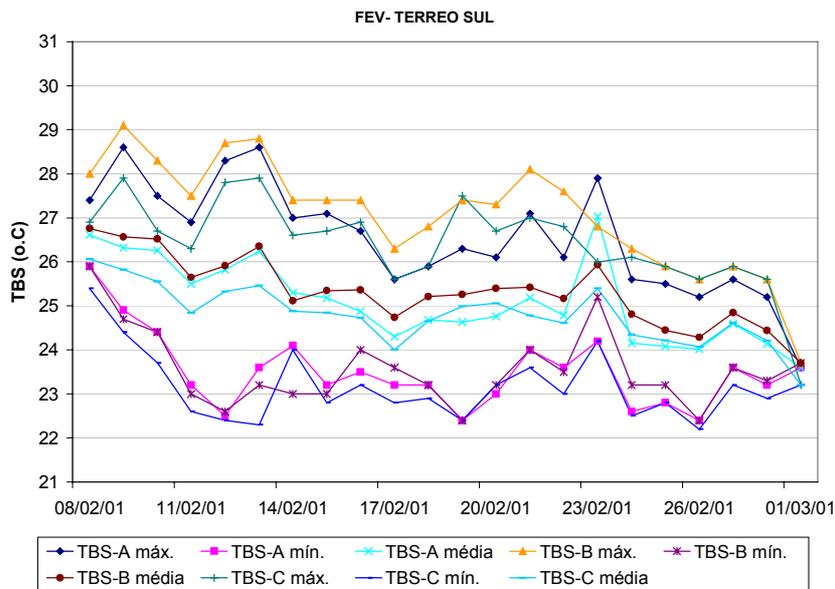


FIGURA 4.50- Temperaturas máx. e mín. diárias-fev. térreo.

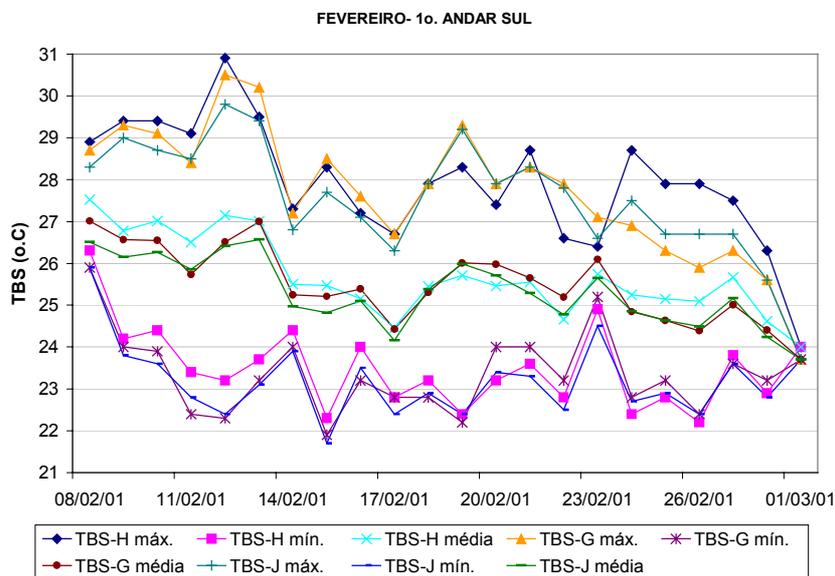


FIGURA 4.51- Temperaturas máx. e mín. diárias-fevereiro 1 andar.

Na figura 4.52 são apresentados dados médios das temperaturas externas e internas da fachada norte do térreo. Através dos dados apresentados é possível observar que, apenas no mês de junho as temperaturas médias das máximas internas, na fachada norte do térreo, tornam-se superiores às temperaturas externas do INMET, devido a maior incidência de radiação solar direta. Esta incidência pode ser verificada através do estudo de insolação demonstrado no capítulo 3, item 3.2.1.

A grande elevação nas temperaturas médias das máximas internas da sala D, no mês de maio, se deve à mudança de localização da mesa com o sensor pelo funcionário da sala, o que provocou a incidência de radiação solar direta próximo ao sensor, no fim da tarde.

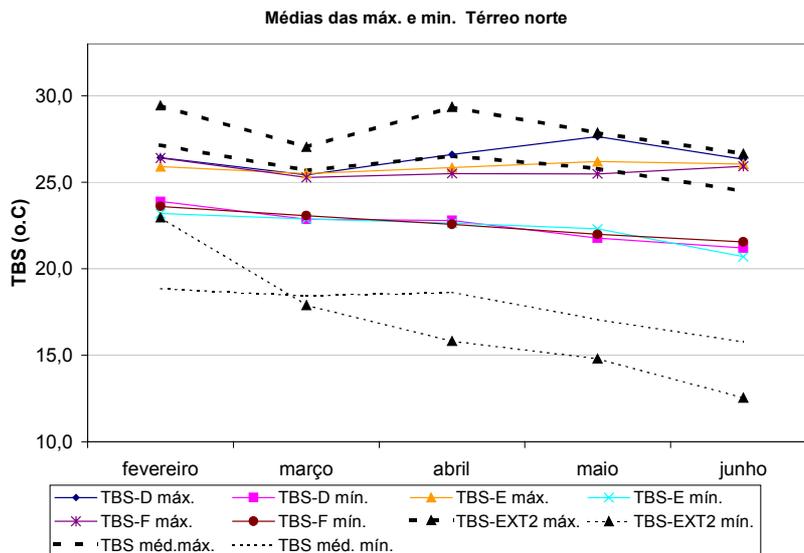


FIGURA 4.52- Temperaturas médias- Térreo norte.

Através das figuras 4.53 e 4.54, que apresentam o comportamento das temperaturas máximas e mínimas diárias da fachada norte, no térreo e no primeiro andar, observa-se que no mês de junho, as temperaturas máximas internas das salas da fachada norte do térreo também são superiores às temperaturas registradas no primeiro andar. Essa diferença também evidencia a maior incidência de radiação solar neste período no térreo da fachada norte. Neste mês, a temperatura máxima da fachada norte no térreo é de 27,6°C e no 1º andar é de 26,4°C. As temperaturas mínimas são de 19,4°C no térreo e 18,7°C no 1º andar. Não foram consideradas as temperaturas mínimas registradas nas salas E e M, que deixaram as janelas abertas no período noturno.

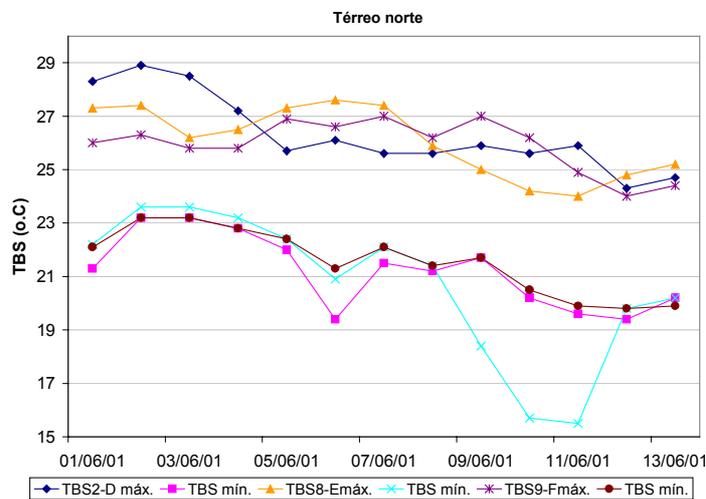


FIGURA 4.53- Temperaturas máx. e mín. diárias-junho terreo.

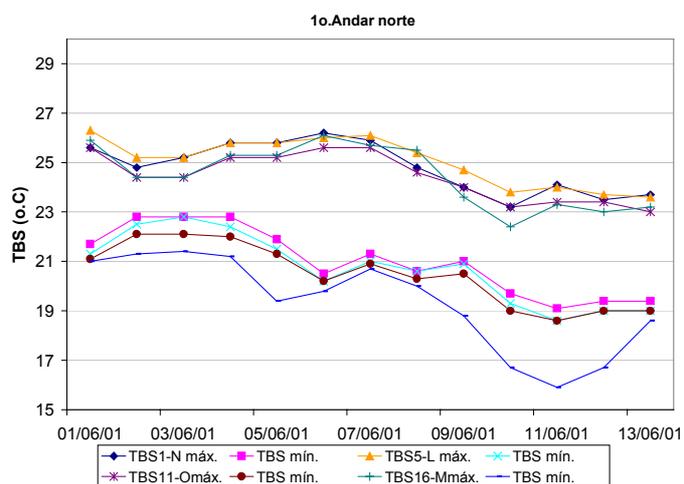


FIGURA 4.54- Temperaturas máx. e mín. diárias-junho 1 andar.

Através da avaliação dos dados de temperatura horários das salas analisadas e de temperatura horária externa medida nos espaços de transição e pelo INMET, nos cinco meses de medição, observa-se que, os atrasos térmicos ocorridos, em relação às temperaturas externas, são de no máximo 1 à 2 horas. As máximas externas ocorrem entre 15 e 16 horas e as internas entre 16 e 18 horas. As temperaturas mínimas externas são registradas entre 5 e 6 horas e as internas entre 7 e 8 horas da manhã.

No mês de maio, foram registrados dados de umidade relativa nas áreas de transição externa, apresentados na figura 4.55, que também apresenta os dados externos medidos pelo INMET. Identificou-se que os dados de umidade relativa destas áreas são equivalentes aos dados da estação do INMET, durante o período diurno. Durante o período noturno os dados de umidade relativa são 10% superiores a umidade relativa externa, devido à proximidade do lago Paranoá. Observa-se que a umidade relativa interna na sala E, do andar térreo, é cerca de 5 a 10% superior as umidades relativas externas.

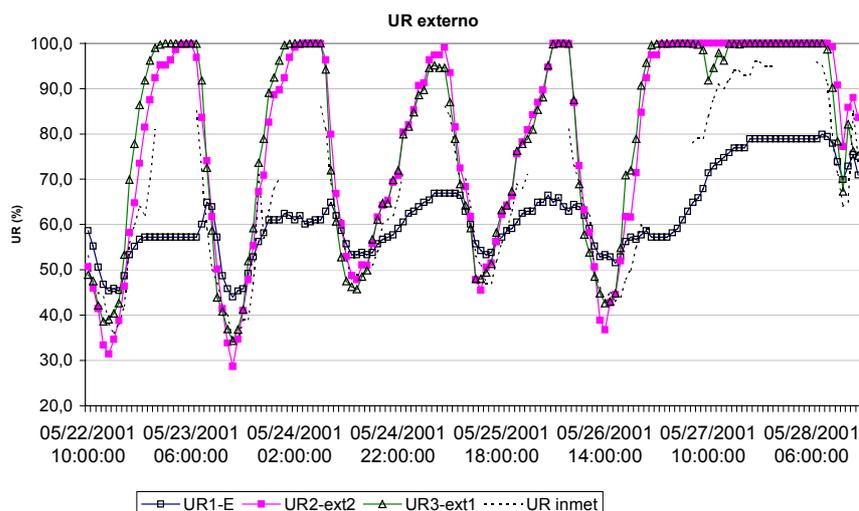


FIGURA 4.55- UR da área externa ao prédio, da estação do INMET e TBS interno (térreo norte). 22 a 28 de maio.

A umidade relativa externa mínima registrada foi de 30% no mês de fevereiro. A umidade relativa interna mínima referente ao mesmo período também foi de 30%, registrada na sala H. Vale salientar que como só havia três sensores de umidade, a quantidade de dados de umidade relativa interna ficou restrita a poucas salas.

#### 4.2.2.2 Avaliação do Sistema de Resfriamento Evaporativo

A partir do dia 15 de fevereiro começa a funcionar definitivamente o sistema de resfriamento evaporativo por micro aspersão nas fachadas das salas A e F, no térreo e H e N, no primeiro andar.

Como já observado na metodologia, a temperatura do ar era o parâmetro para acionar o sistema e a umidade relativa o parâmetro para desligá-lo. Os limites estabelecidos procuraram apenas enquadrar as condições internas dentro da zona de conforto e, portanto, não serão observadas, nos resultados obtidos, reduções radicais das temperaturas destas salas. Ao longo da pesquisa os parâmetros para o funcionamento do sistema foram sendo ajustados. Chegou-se a temperatura de acionamento de  $26,5^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa para desligamento de 65%, valores em que deixaram de ocorrer problemas ocasionados pelo acúmulo de água nas superfícies, e reclamação dos funcionários. A orientação e tamanho dos bicos também foram sendo ajustados neste sentido, e a partir do final de abril, definiu-se o bico de 0.2mm para o andar térreo e 0.3mm para o primeiro andar. A orientação ideal alcançada, para o caso do edifício analisado, foi de  $45^{\circ}$  voltados para fora na fachada sul e  $90^{\circ}$  voltados para baixo na fachada norte, em virtude da maior ocorrência de ventos na fachada sul.

As figuras 4.56 à 4.59 ilustram o efeito do sistema de resfriamento evaporativo adotado em algumas das situações analisadas. A sala F, como observado na figura 4.56, apresenta temperaturas superiores às demais salas desta fachada e pavimento antes da instalação do sistema. Com o funcionamento do sistema, a partir de 15 de fevereiro, as temperaturas máximas permanecem inferiores. Observa-se a elevação das temperaturas das salas nos momentos em que o sistema é desligado, como nos dias 21 de fevereiro e 10 e 11 de março nas figuras apresentadas.

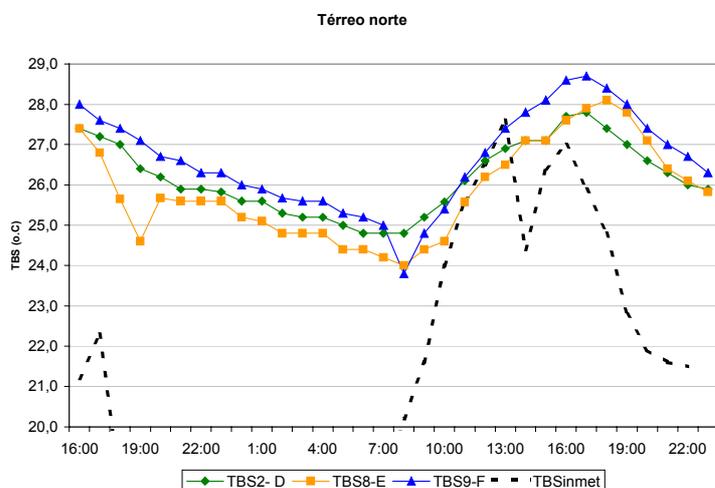


FIGURA 4.56- Comportamento da temperatura interna antes do funcionamento do sistema. 8 à 9/2/01

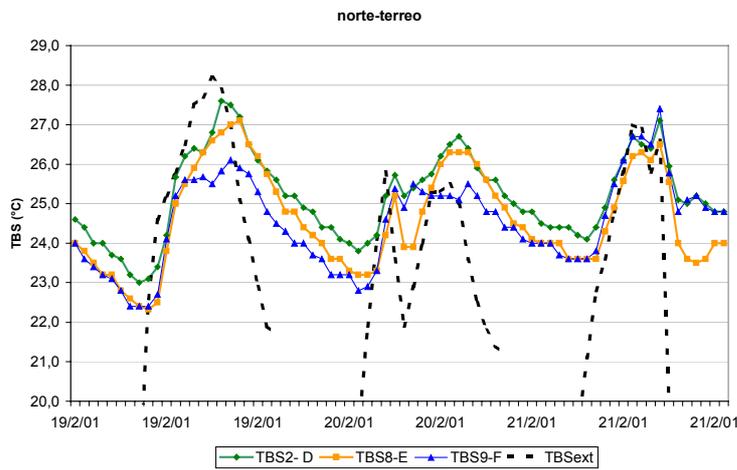


FIGURA 4.57- Temperatura interna após o funcionamento do sistema. 19 à 21/02/01.

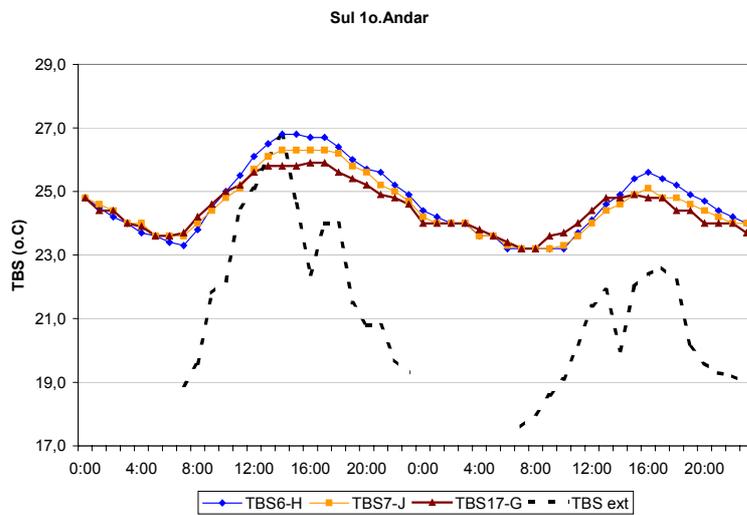


FIGURA 4.58- Temperatura interna no fim de semana.10 e 11/03/01.

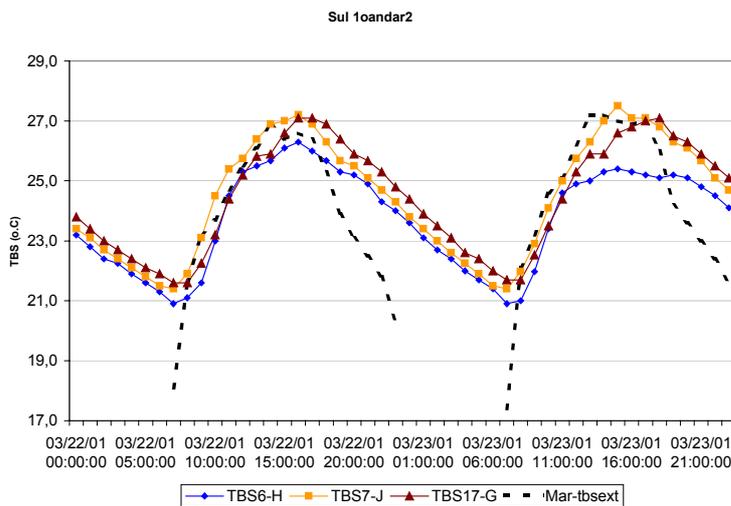
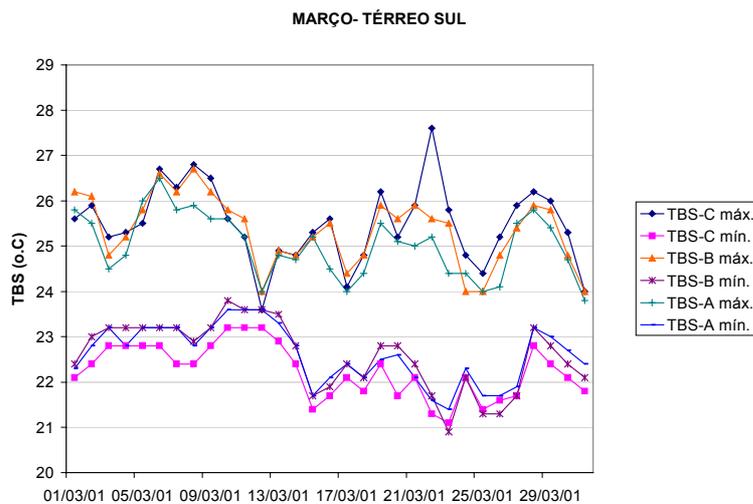


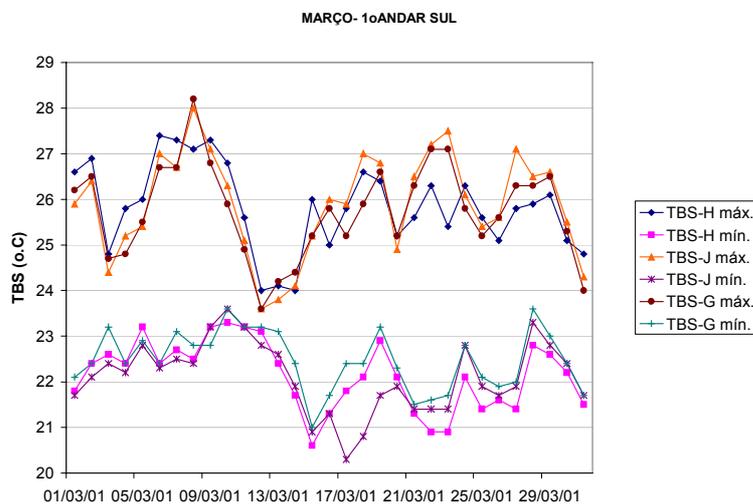
FIGURA 4.59- Temperatura interna com sistema ligado. 22 à 23/03/01.

As figuras 4.60 e 4.61 ilustram o comportamento das temperaturas máximas e mínimas diárias internas, das salas sob influência do sistema em relação às demais salas, no térreo e no primeiro andar. Em relação ao pico de temperatura diurna observa-se, de fevereiro a abril, uma redução de até 2°C nas salas sob influência do resfriamento evaporativo em relação às salas não modificadas. Com o sistema

em funcionamento as temperaturas são mantidas abaixo dos 26°C nas salas A e F (térreo) e abaixo dos 27°C nas salas H e N (primeiro andar), com exceção dos fins de semana quando o sistema é desligado.



**FIGURA 4.60-** Temperaturas máx. e mín. diárias. Térreo sul.



**FIGURA 4.61-** Temperaturas máx. e mín. diárias. 1º andar sul.

Observando as temperaturas médias das máximas das salas sob influência do resfriamento evaporativo identifica-se uma pequena redução em relação às salas não modificadas do mesmo andar e fachada, ao longo do período. Na figura 4.62, que apresenta temperatura média das máximas e mínimas mensais da fachada sul no primeiro andar, observa-se a redução gradativa ocorrida na temperatura médias das máximas da sala H, que apresentava uma média das máximas de 0,3°C superior às demais em fevereiro e chega à maio com uma diferença de 0,8°C abaixo das demais. Até o mês de maio, em todas as demais fachadas e pavimentos, as salas sob efeito do sistema apresentam menores temperaturas médias das máximas, em relação às salas não modificadas, entre 0,6°C e 1,1°C abaixo. As menores reduções são observadas na sala A, uma vez que as temperaturas médias das máximas das demais salas, nesta fachada e pavimento, só ultrapassam os 26°C no mês de fevereiro.

Em junho a influência do sistema sobre a temperatura interna diminui. O aparelho de resfriamento evaporativo permanece a maior parte do tempo desligado, uma vez que, só entra em funcionamento quando o termostato, localizado na sala N, indica temperatura superior a 26,5°C. A figura 4.63, que apresenta as temperaturas médias das máximas e mínimas mensais de todas as salas com

resfriamento evaporativo, indica que no mês de junho, apenas na sala F acontece uma pequena elevação na temperatura média das máximas interna devido à incidência de radiação solar direta nesta fachada e pavimento.

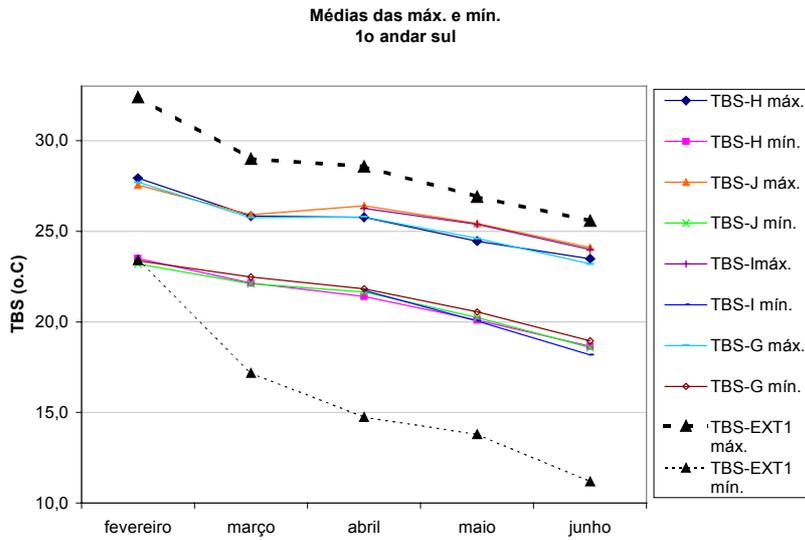


FIGURA 4.62-TBS média das máx. e mín. mensal, 1º andar sul.

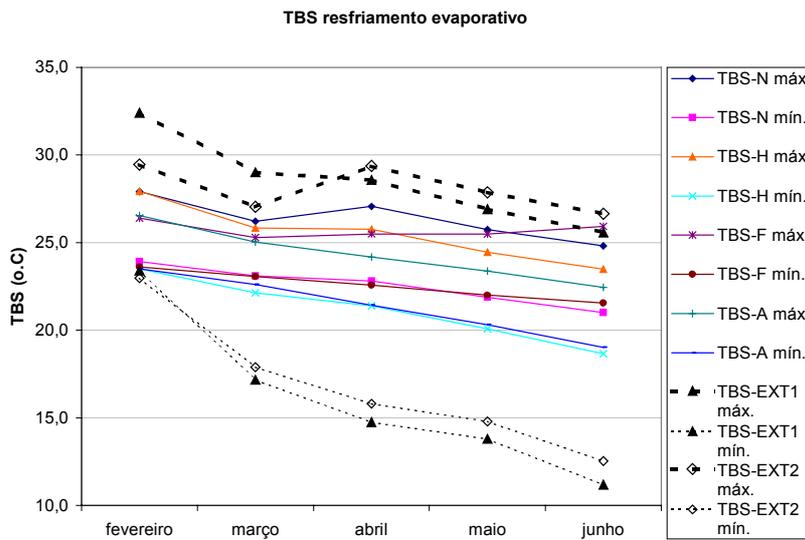


FIGURA 4.63- TBS média das máx. e mín. mensal, salas com resfriamento.

Na figura 4.64 é apresentado o comportamento da umidade relativa interna das salas sob influência do resfriamento evaporativo, e na figura 4.65 observam-se as diferenças existentes nesse comportamento em relação às salas não modificadas do mesmo andar e fachada e ao ambiente externo. Com o início do funcionamento do sistema de resfriamento evaporativo, é registrado um aumento de até 28% da umidade relativa das salas em relação à umidade relativa externa, durante o pico de temperatura diurna. Na figura 4.64 é possível observar a alteração ocorrida na umidade relativa interna das salas F, H e N a partir do dia 15 de fevereiro, quando o equipamento é ligado.

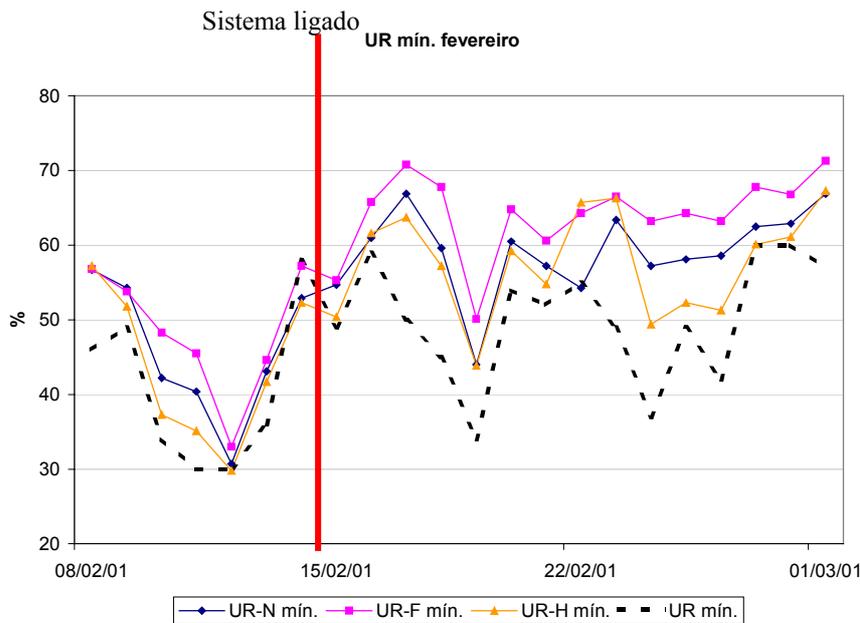


FIGURA 4.64- Elevação da Umidade Relativa, com sistema funcionando.

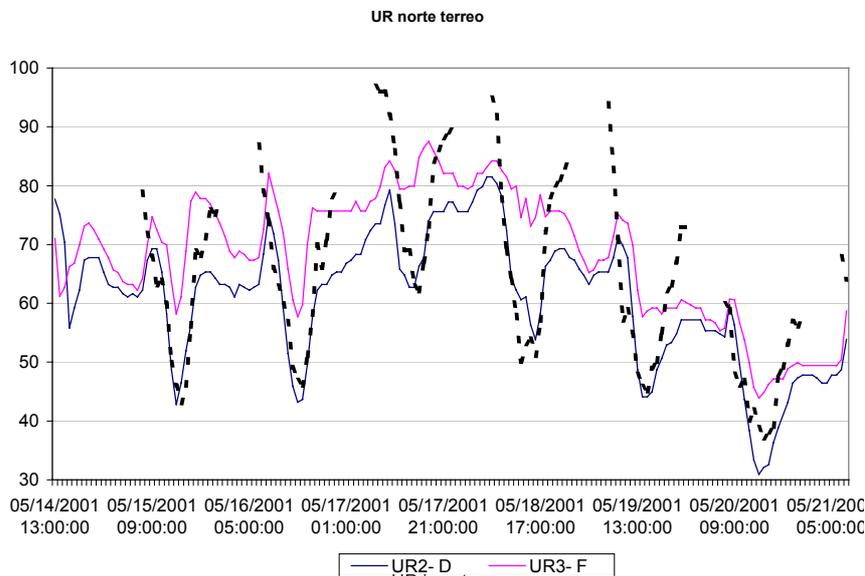


FIGURA 4.65- Umidade Relativa. Intervalo 14 a 21 de maio.

Poucas salas apresentam registros de umidade relativa durante todos os meses de pesquisa e, além disso, os registros obtidos em algumas salas foram feitos em semanas diferentes. Portanto não seria coerente uma avaliação comparativa da umidade relativa média mensal entre salas. Porém, tomando como parâmetro a umidade relativa externa, através das figuras 4.66 e 4.67, que apresentam dados de umidade relativa média mensal externos e internos do térreo e do primeiro andar, observa-se uma elevação da umidade relativa média mensal das salas sob efeito do sistema. No mês de junho, com o sistema permanecendo a maior parte do tempo desligado, essa elevação não acontece.

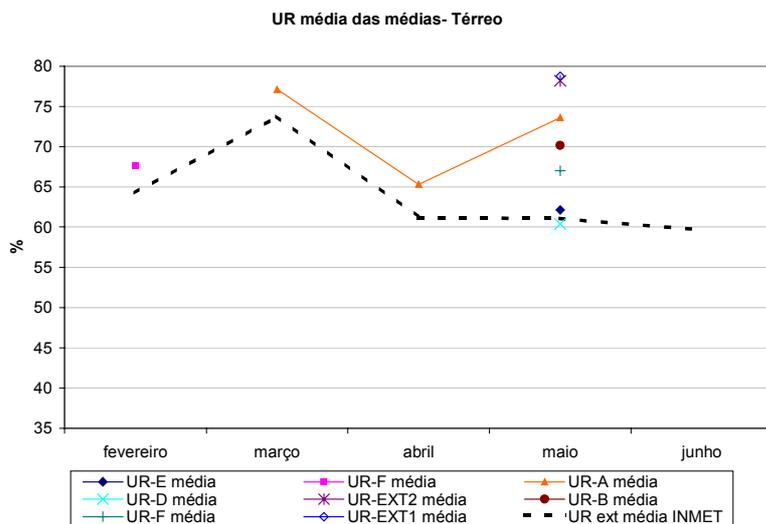


FIGURA 4.66 Umidade relativa média, térreo.

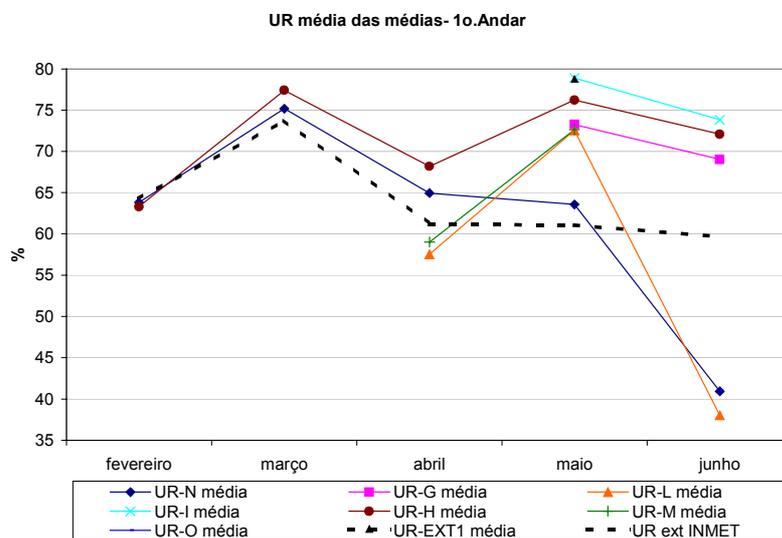


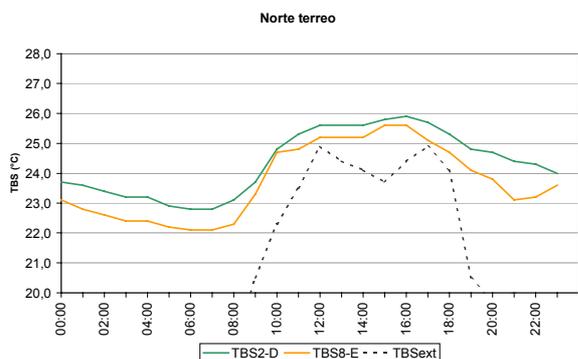
FIGURA 4.67 Umidade relativa média, primeiro andar.

#### 4.2.2.2.3 Avaliação das Aberturas para Renovação de Ar

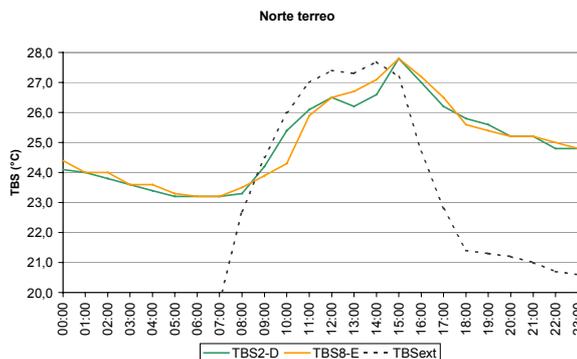
Observa-se que a abertura existente para a renovação do ar interno exerce uma pequena influência sobre a temperatura interna do ar no edifício, principalmente no período noturno. Vale salientar que os ventos predominantes durante todo o período de análise foram o Nordeste e o Sudeste.

A figura 4.68 apresenta o comportamento horário da temperatura interna das salas da fachada norte do térreo antes da vedação das aberturas da sala E, e a figura 4.69 aponta a alterações ocorridas nas temperaturas internas após a vedação. Com a vedação das aberturas existentes na sala E, a elevação da temperatura interna diurna aumenta cerca de 0,4°C. Também é possível perceber uma maior elevação da temperatura interna no período noturno, entre 0,6°C e 1,3°C.

Apesar da pequena redução na temperatura interna das salas, o sistema proposto apresenta-se como uma possível alternativa para renovação do ar interno (por diferença de pressão) para o padrão de uso de um edifício de escritórios. Estes edifícios, em sua maioria, fazem emprego de divisórias na organização dos espaços de trabalho, característica que representa impedimento à circulação do ar, pela interrupção dos fluxos naturais no seu interior e da circulação cruzada, que seria a alternativa ideal.

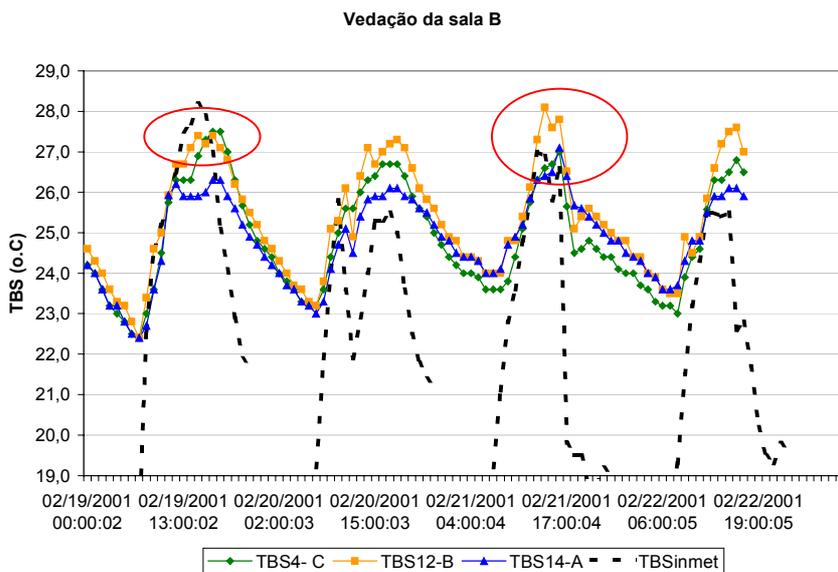


**FIGURA 4.68-** TBS. Salas antes da vedação das aberturas p/ renovação de ar. Dia 01/03



**FIGURA 4.69-** Sala E após vedação das aberturas existentes, (dia 02/03 à tarde). Dia 8/03.

Na figura 4.70 observa-se o comportamento das temperaturas internas na fachada sul do térreo, onde ocorre a vedação da sala B. Após a vedação das aberturas da sala B, fim da manhã do dia 19 de fevereiro, percebe-se também uma ligeira elevação da temperatura interna do ar, entre  $0,4^{\circ}\text{C}$  e  $0,8^{\circ}\text{C}$  em relação à sala C, não modificada. As temperaturas mínimas também se elevam em relação à sala C, cerca de  $0,5^{\circ}\text{C}$ . No início de março, a vedação da sala B é retirada e no dia 18 de abril, à tarde, é colocada a vedação na sala C. A figura 4.71 aponta o comportamento da fachada sul do térreo com a vedação da sala C. Não é possível perceber nenhuma diferença significativa nas temperaturas internas, com a vedação da sala C.



**FIGURA 4.70-** TBS. Vedação das aberturas p/ renovação de ar, sala B.

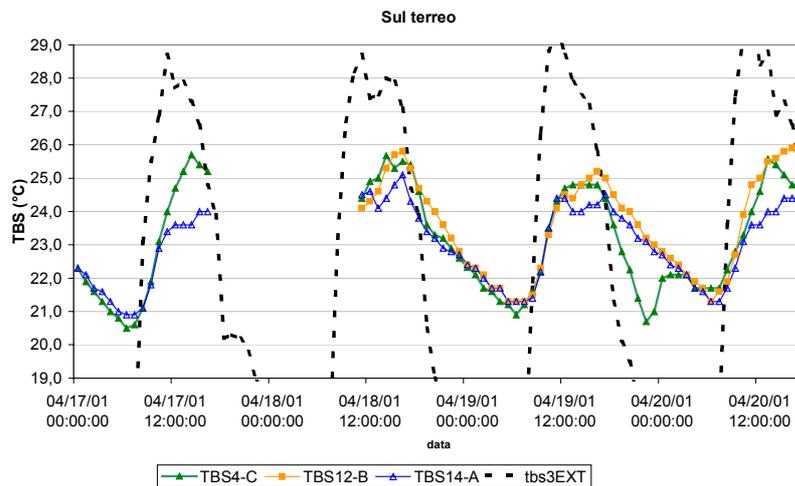


FIGURA 4.71- TBS. Vedação das aberturas p/ renovação de ar, sala C.

As aberturas para renovação de ar da sala J, localizada na fachada sul do primeiro andar, são vedadas no dia 7 de maio, às 11:30. A figura 4.72 apresenta as temperaturas internas da fachada sul do primeiro andar, onde ocorre a vedação da sala J. Porém as elevações observadas nas temperaturas máximas internas, de cerca de  $0,5^{\circ}\text{C}$ , em relação à sala I, não modificada, são provocadas mais pelo aumento do número de ocupantes em determinados períodos. Como a sala funciona como secretaria da vice-presidência, em determinados períodos recebe um número elevado de visitantes.

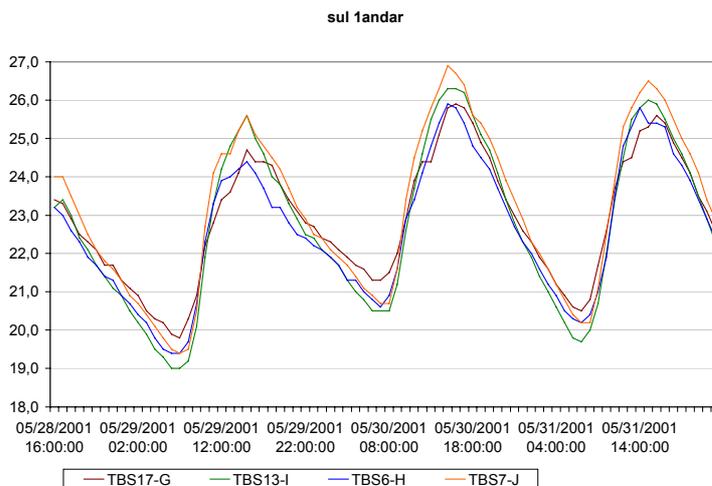


FIGURA 4.72- Vedação da sala J.

Em relação ao sistema de renovação de ar analisado, não foi possível observar alteração nos dados médios mensais de temperatura e umidade relativa internos, uma vez que a vedação do sistema foi empregada em períodos curtos.

#### 4.2.2.2.4 Avaliação da Ventilação Natural

Em determinados períodos foi solicitado aos funcionários da sala M que deixassem as janelas abertas no período noturno, mantendo-as fechadas no período diurno, na tentativa de analisar os efeitos da ventilação noturna no edifício analisado, de capacidade térmica relativamente baixa. Esta tentativa foi frustrada, pois os usuários não mantiveram as janelas fechadas durante todo o dia. Porém mesmo com a abertura das janelas é possível observar a ocorrência de um desempenho térmico diferenciado.

A figura 4.73 apresenta o comportamento das temperaturas internas da sala M, onde ocorreu a abertura das janelas no período noturno, em relação à sala não modificada e as temperaturas externas. Observa-se, o pequeno efeito da ventilação noturna sobre temperatura diurna durante o período de ocupação da sala. Devido à pequena inércia térmica oferecida pela estrutura leve do prédio e a abertura das janelas, a elevada redução de temperatura alcançada no período noturno, a partir das 18:00, não se mantém durante o dia. Apenas no período da manhã (em que a janelas ainda mantinham-se fechadas por algum tempo) é possível perceber uma diferença de até 1°C em relação às salas L e N. No início da manhã, a redução da temperatura é desnecessária e até indesejável, de acordo com as temperaturas externas da região que se encontram abaixo dos 26°C neste período. A partir das 11:00 da manhã ocorre uma rápida recuperação da temperatura interna, voltando a se aproximar das demais salas. A figura 4.74 apresenta o comportamento das temperaturas externas e internas das salas, após o fechamento das janelas no período noturno. Observa-se que, com o fechamento das janelas no período noturno, as diferenças de temperatura entre as duas salas desaparecem.

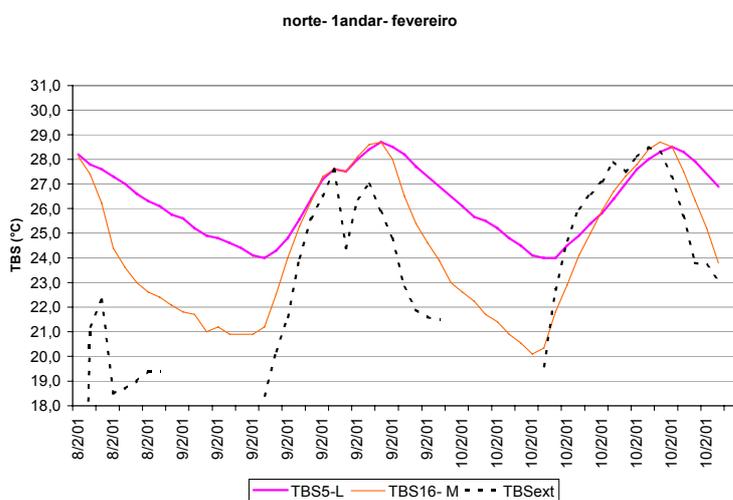


FIGURA 4.73- Efeito da ventilação noturna na sala M.

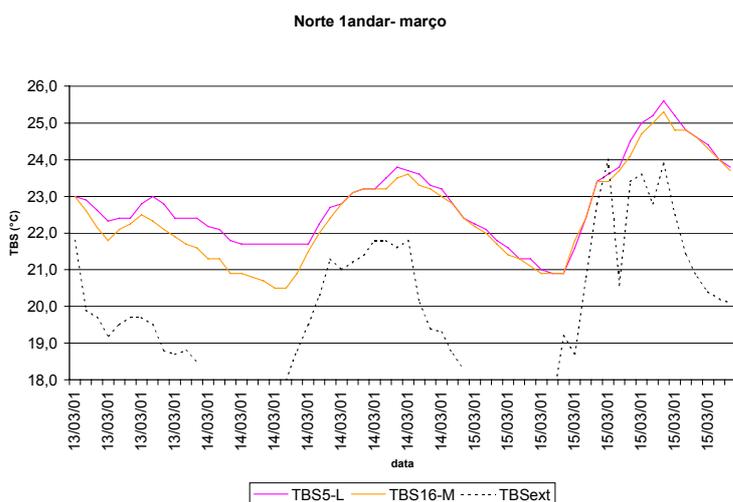


FIGURA 4.74 – Janelas fechadas à noite, a partir do dia 14/03.

Porém, em alguns finais de semana, as janelas foram deixadas abertas durante todo o dia e noite enquanto todas as outras salas mantinham as janelas fechadas. Na figura 4.75 é apresentada a temperatura externa e interna, no fim de semana, das salas da fachada norte do primeiro andar, onde as janelas da sala M foram mantidas abertas todo o dia e noite. Observa-se que, as temperaturas internas

da sala M mantêm-se reduzidas durante todo o dia, em relação às demais demonstrando a influência da ventilação natural diurna.

A figura 4.76 apresenta as temperaturas médias das salas na fachada norte do primeiro andar, onde se percebe o efeito da abertura das janelas na sala M. No mês de fevereiro as janelas da sala M foram deixadas abertas no período noturno durante quase todo o mês, provocando a menor temperatura média das mínimas, de 20°C, entre as salas analisadas.

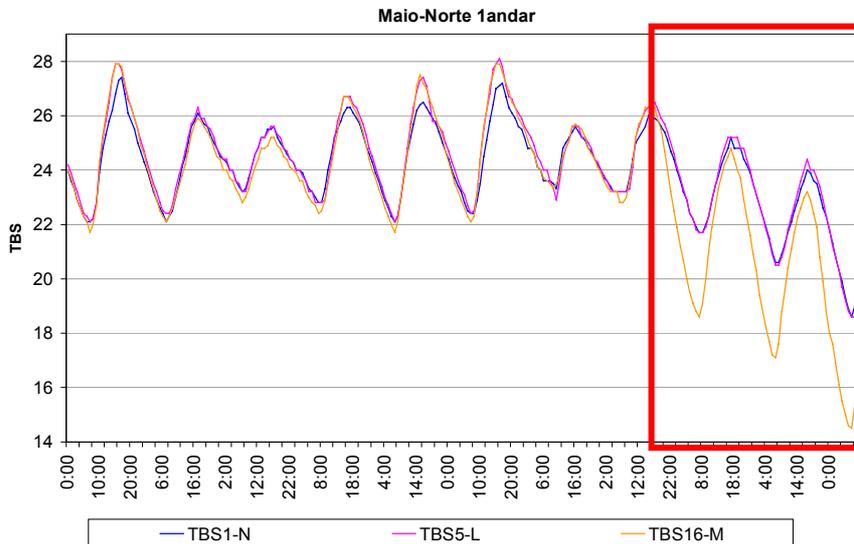


FIGURA 4.75- Efeito da ventilação natural em sala desocupada.

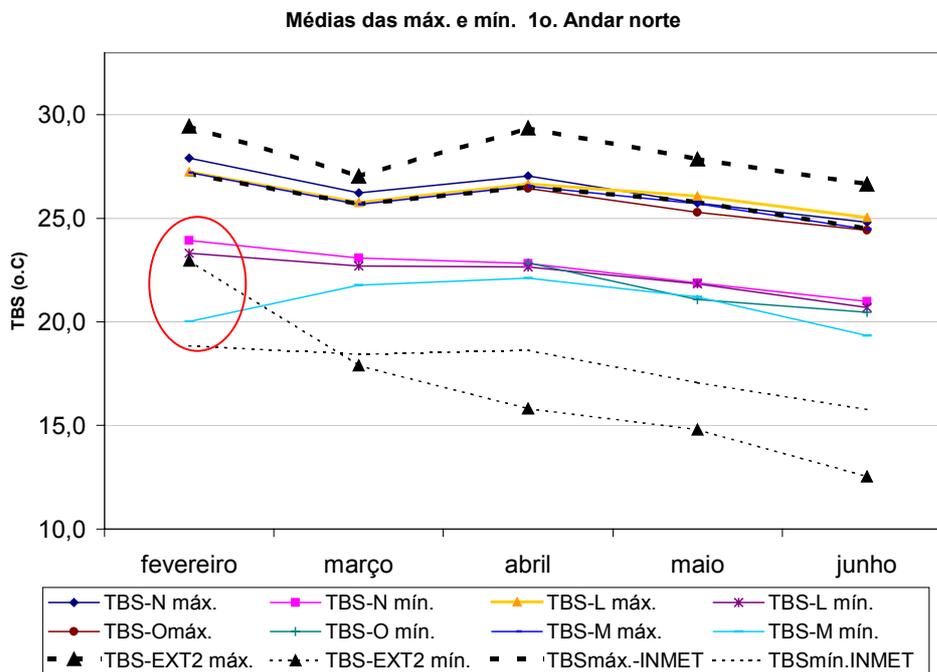


FIGURA 4.76- Efeito da ventilação noturna no mês de dezembro.

#### 4.2.2.2.5 Avaliação do Isolamento Térmico e Cor branca na Cobertura

A figura 4.77 apresenta as temperaturas médias diárias da fachada sul do primeiro andar, onde é feito o isolamento da laje de cobertura da sala G. Com o isolamento térmico da laje da cobertura da sala G, a partir de 19 de fevereiro, percebe-se uma redução da temperatura interna em cerca de 1°C, abaixo das salas H e J, apenas nos finais de semana, ou feriados, quando a sala não está ocupada. Porém, na

figura 4.78, que apresenta as diferenças de temperatura existentes na sala G, com a sala ocupada e desocupada, observa-se que com a sala ocupada, o efeito do isolamento sobre o pico de temperatura diurno não é percebido. Este comportamento indica a influência dos ganhos de calor interno sobre a temperatura interna das salas. No período noturno há uma maior conservação de calor na sala com o isolamento térmico, elevando as temperaturas mínimas, independentes da ocupação. A temperatura mínima interna da sala G é elevada, em relação às demais, em até 0,8°C.

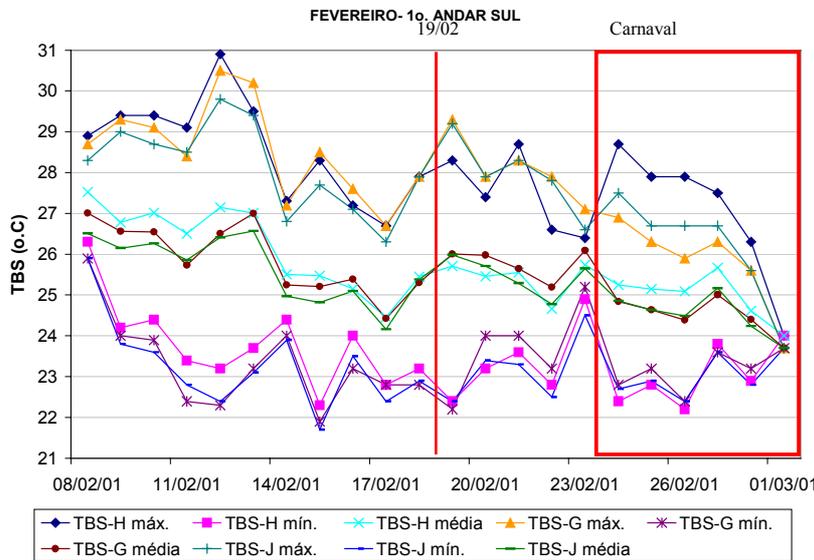


FIGURA 4.77- Temperatura da sala após o isolamento da laje, 19/02.

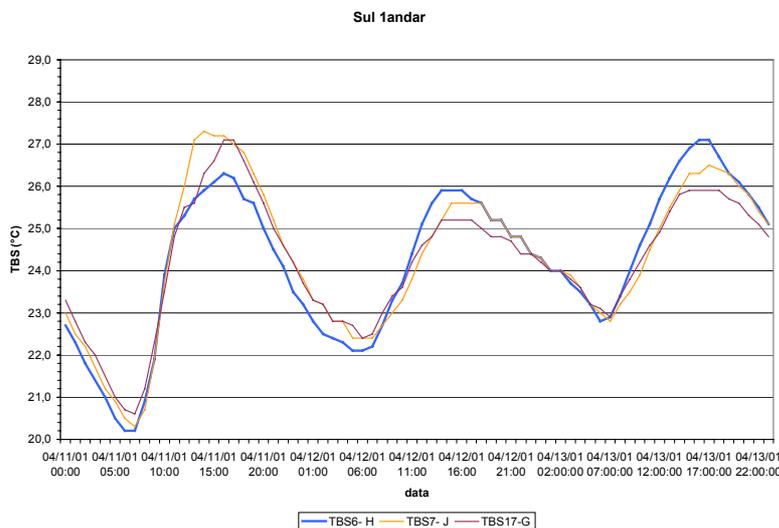


FIGURA 4.78- Diferença da temperatura interna nos fins de semana.

As medições de temperatura de superfície indicam temperaturas do teto da sala G inferiores às demais salas, deste andar e pavimento, somente no período da tarde. Pela manhã não é identificada nenhuma alteração. Em medições realizadas no dia 23 de fevereiro, entre 10:30 e 11:00 da manhã, observa-se que as temperaturas de superfície do teto das salas G, H e J marcam entre 25,5 e 26°C. Na cobertura, a temperatura das telhas foi de 38°C, em cima da sala G, e de 36°C, em cima da sala H. No dia 2 de março entre 17:00 e 17:30, as temperaturas do teto da sala G se apresentam entre 0,5 e 1,0°C abaixo das salas H e J, marcando cerca de 26,5°C. Neste período a temperatura das telhas mediu 48,5°C.

Entre os dias 3 e 4 do mês de maio as telhas, de cimento amianto, da cobertura da sala G foram pintadas de branco. A figura 4.79 apresenta o comportamento das temperaturas internas da sala G em relação às temperaturas das demais salas, do seu andar e fachada, durante o expediente. Na figura 4.80, observa-se às alterações ocorridas após a pintura das telhas de cobertura da sala G, também durante o expediente. Verifica-se que após a pintura, a temperatura interna da sala G apresenta redução na temperatura máxima interna, em relação às demais, inclusive durante os períodos de ocupação.

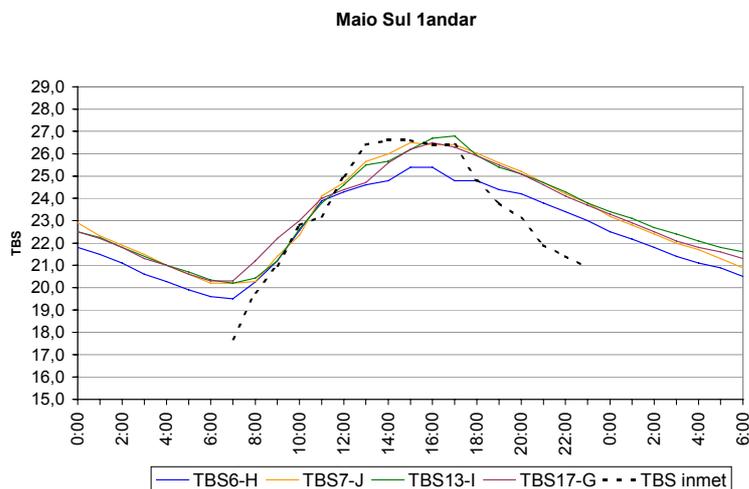


FIGURA 4.79- Temperaturas da sala G durante expediente antes da pintura das telhas de branco.

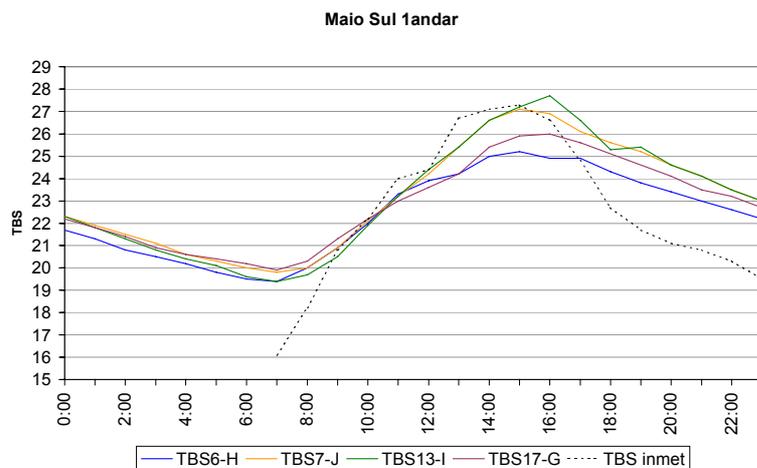


FIGURA 4.80- Temperaturas da sala G durante expediente, após pintura das telhas.

Na figura 4.81 observam-se as temperaturas internas na fachada sul do primeiro andar após a pintura branca das telhas de cobertura da sala G. Durante a semana (sala ocupada) as temperaturas da sala G passam a níveis similares aos da sala H, sob efeito do resfriamento evaporativo. Na figura 4.82, que apresenta as temperaturas médias mensais da fachada sul do primeiro andar, observa-se que a partir de maio as temperaturas médias das máximas das salas G e H apresentam valores bastante similares. As temperaturas médias das mínimas elevam-se ligeiramente desde a colocação do isolamento térmico na laje de cobertura.

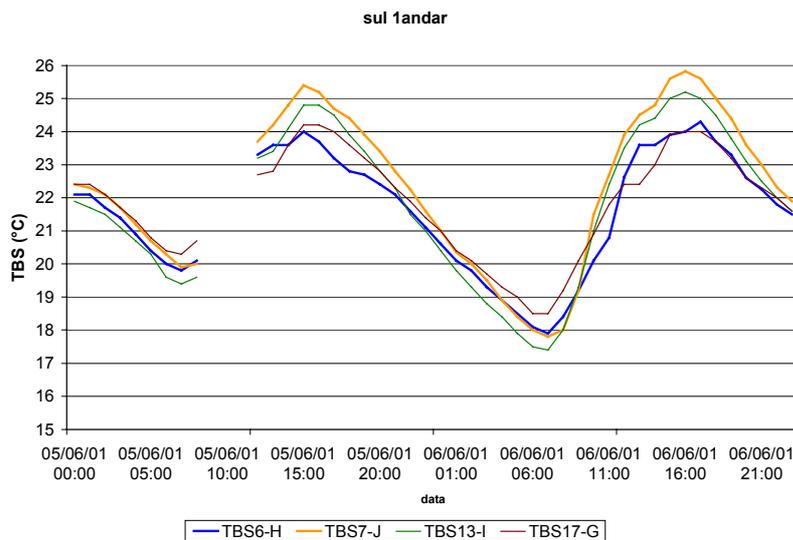


FIGURA 4.81- Alteração das temperaturas internas sala G com isolamento e pintura branca.

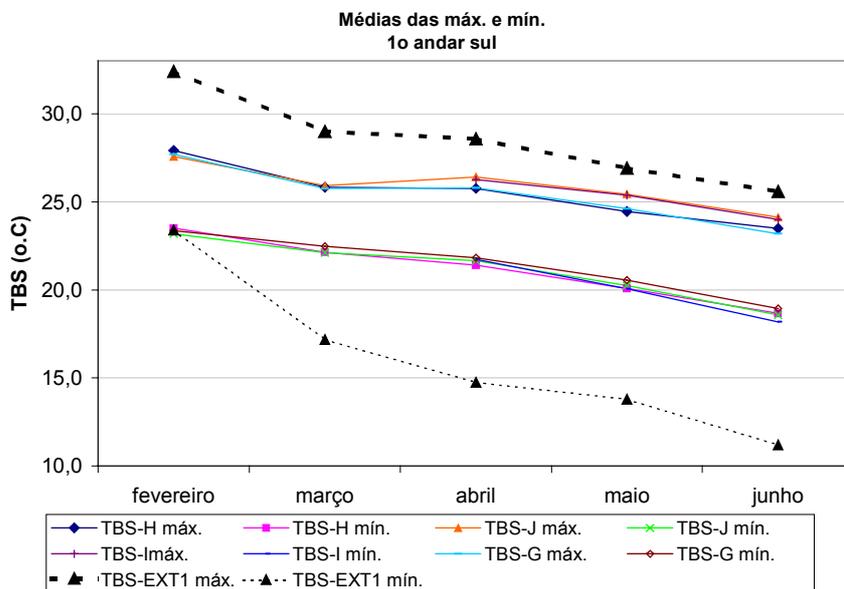


FIGURA 4.82- Temperaturas médias, sala G.

Com a pintura das telhas identifica-se, através das temperaturas de superfície, uma maior redução em relação às salas H e J. Porém esta diferença continua sendo identificada somente no período da tarde, indicando sua influência durante as horas mais quentes. No dia 14 de maio entre 15:00 e 15:30 as temperaturas medidas no teto da sala G estão entre 2 e 2,5°C abaixo da temperatura de superfície do teto das demais salas. Nesta ocasião a temperatura da telha branca da sala G foi de 32,5°C e da telha sem pintura, de 48,5°C.

Na figura 4.83, onde são apresentados dados de umidade relativa horários da fachada sul do primeiro andar, identifica-se que apesar de conseguir reduzir as temperaturas máximas, com o isolamento e a pintura das telhas de branco, a umidade relativa da sala G mantém-se uma das mais reduzidas da fachada sul do primeiro pavimento.

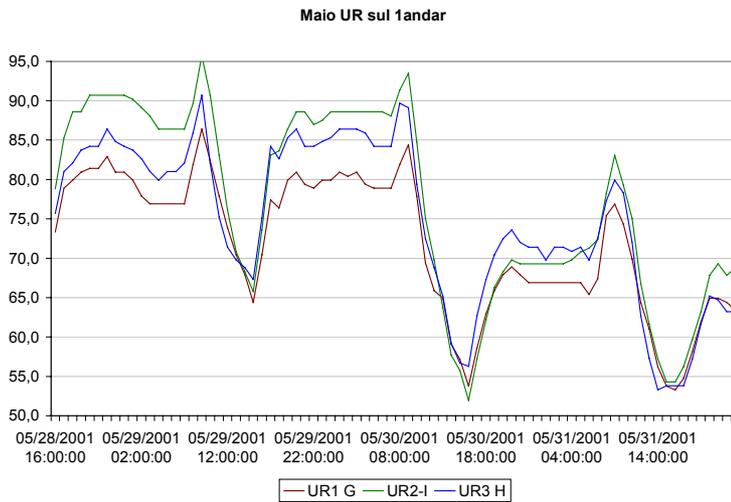


FIGURA 4.83- U.R. Salas da fachada sul, primeiro andar.

#### 4.2.2.3 Graus hora de resfriamento e aquecimento

Realizando a análise das salas através dos graus hora de resfriamento e aquecimento, também é possível identificar algumas diferenças provocadas pelas diferentes localizações e sistemas empregados. Foram adotadas como temperaturas base, aquelas identificadas através das análises de sensação térmica obtidas através dos questionários. Portanto, como temperatura base para resfriamento foi adotada a temperatura interna de 26°C e para aquecimento, a temperatura interna de 23°C.

As figuras 4.84 e 4.85 apresentam dados de graus hora de resfriamento e aquecimento, respectivamente, das salas analisadas do prédio.

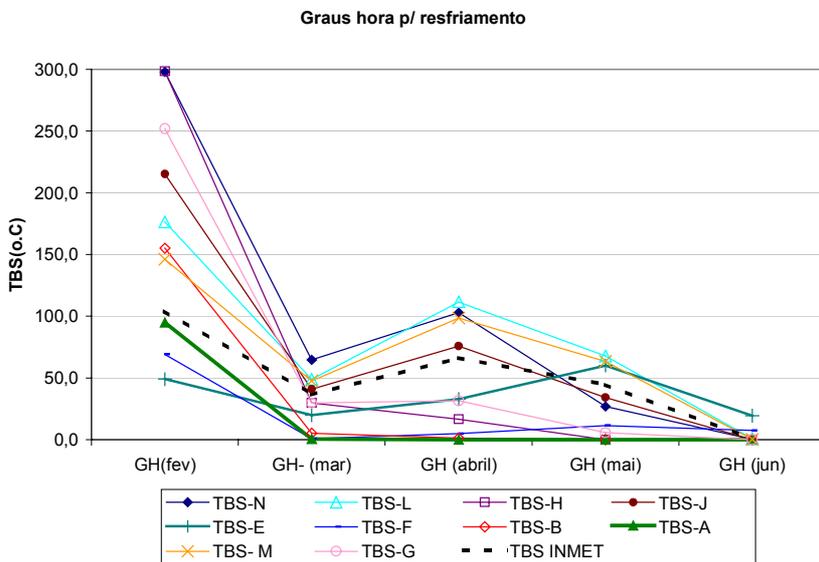
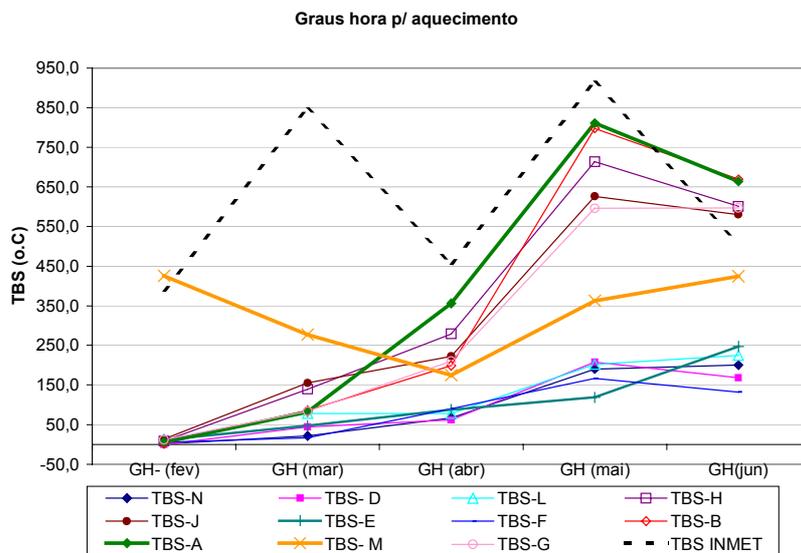


FIGURA 4.84- Graus hora p/ resfriamento. Temperatura base- 26°C.



**FIGURA 4.85-** Graus hora p/ aquecimento. Temperatura base 23°C.

Os resultados obtidos na sala D foram descartados devido à distorção dos graus hora provocada pela mudança de posição do sensor a partir de maio, como mencionado anteriormente. Além disso, não foram calculados os graus hora das salas que não apresentavam a mesma quantidade de horários medidos, como as salas I e O, que só começaram a ser medidas a partir de abril. Da mesma maneira, os dados externos medidos nas áreas de transição não foram considerados, pois devido a questões de segurança, até abril, os sensores não eram deixados à noite e em finais de semana. Portanto foram utilizados como parâmetros de comparação apenas os dados de temperatura externa do INMET.

Fazendo o cálculo da quantidade de graus hora para aquecimento e resfriamento do prédio utilizando as temperaturas base de 23°C e 26°C, identifica-se que existe uma incidência muito maior de temperaturas abaixo de 23°C.

Considerando que até abril a ocorrência de temperaturas abaixo dos 23°C só acontece no período da madrugada, período em que o prédio não é utilizado, a quantidade de graus hora para aquecimento não apresenta muita relevância. Porém a partir de maio, as temperaturas abaixo de 23°C se estendem à grande parte da manhã e fim da tarde, o que torna a quantidade de graus hora para aquecimento considerável.

De maneira geral, observa-se uma grande redução dos graus hora para resfriamento a partir de maio, com a queda das temperaturas externas, o que provoca uma elevação dos graus horas para aquecimento. Observa-se que as salas do andar térreo solicitam uma menor quantidade de graus hora para resfriamento do que o primeiro andar e do que o clima externo, com exceção da sala B no mês de fevereiro, cujas aberturas para renovação de ar haviam sido vedadas neste mês. Também são identificadas diferenças em relação à fachada, onde as salas da fachada sul solicitam uma maior quantidade de graus hora para aquecimento. No mês de junho nas salas da fachada sul a quantidade de graus hora para aquecimento é superior ao clima externo.

Observando as salas sob efeito do resfriamento evaporativo (A, F, N e H) identifica-se que todas elas apresentam redução dos graus hora para resfriamento em relação às salas não modificadas do seu pavimento e fachada. As salas do primeiro andar (N e H) apresentam um maior número de graus hora para resfriamento do que as salas do térreo (A e F), devido aos elevados ganhos de calor pela cobertura. A sala H, na fachada sul, que ao longo do período deixa de receber insolação direta, apresenta uma

maior redução dos graus hora para resfriamento. Observando as salas A e F verifica-se a eficiência do sistema, que a partir de março, reduz os graus hora de resfriamento a um mínimo, mantendo as temperaturas abaixo dos 26°C (temperatura base do cálculo de graus hora).

Observando a quantidade de graus hora para aquecimento, confirma-se o efeito benéfico da radiação solar direta nas salas da fachada norte do térreo (E e F), que apresentam a menor quantidade de graus hora para aquecimento no mês de junho. A sala E apresenta uma elevação nos graus hora para resfriamento com a vedação das aberturas para renovação de ar e poda das árvores no mês de abril, apresentando níveis semelhantes ao das salas do primeiro pavimento, geralmente mais quentes.

O efeito da ventilação noturna é apontado em fevereiro na sala M, através da maior quantidade de graus hora para aquecimento.

A sala G, anteriormente com maior quantidade graus hora para resfriamento do que a sala J, passa a apresentar valores inferiores após o isolamento térmico da cobertura, se aproximando da sala H com resfriamento evaporativo. Com a pintura branca, em maio, a quantidade de graus hora para resfriamento se aproxima das salas do térreo.

#### 4.2.2.4 Ambientes analisados através da Carta bioclimática de Edificações

Na análise bioclimática realizada no prédio, através da carta bioclimática de Givoni, foram comparados apenas os percentuais de conforto das salas com registro de umidade relativa interna do mesmo período. A tabela 4.26 apresenta os percentuais de conforto e desconforto térmicos, e estratégias bioclimáticas indicadas das salas analisadas do andar térreo. As tabelas 4.27 e 4.28 apresentam esses percentuais para as salas do primeiro andar.

Em relação ao ambiente externo, percebe-se que o nível de desconforto térmico no período analisado é bastante baixo. Nas tabelas 4.26 à 4.28, é possível observar que, o percentual de desconforto térmico fica abaixo dos 20%, com exceção de março que apresenta um nível de desconforto de quase 50%, ocasionado tanto por calor quanto por frio. De acordo com dados externos, o mês de abril é o mais confortável, com 92,7% de conforto. Essas condições se refletem nas condições de conforto internas, que em março apresentam os maiores percentuais de desconforto térmico e em abril os menores. Analisando os dados externos, as estratégias de ventilação (V) e inércia térmica com ganhos solares (MA/AS) são indicadas para todos os meses analisados.

No mês de maio também foram feitas medições de umidade relativa externa nos espaços de transição externos e, dessa forma, foi possível fazer uma comparação dos percentuais de conforto dessas áreas. Observa-se que há um maior percentual de desconforto por calor no pátio interno. Vale destacar que, no mês de abril houve a poda das árvores de grande porte do pátio, eliminando o sombreamento do espaço. Anteriormente, como é possível observar na análise de temperaturas horárias e médias, as temperaturas diurnas registradas no pátio eram inferiores ao lado externo sul. Em relação aos dados externos, registrados pelo INMET, verifica-se que o grau de desconforto por frio dos ambientes de transição externos é cerca de 40% superior. Nas análises de temperatura médias já havia sido verificado que as temperaturas médias das mínimas desses espaços tornam-se bem inferiores aos dados do INMET, a partir de março. A proximidade do edifício do lago Paranoá (lago que cerca a cidade) pode justificar as condições mais frias.

TABELA 4.26- Percentuais de conforto no nível térreo.

|                       | Fev-ext      | F-fev | Mar-ext | A-mar | Abril-ext | A-abril | Mai-ext | A-maio | B-maio | EXT-sul-maio | EXT-pátio-maio |      |
|-----------------------|--------------|-------|---------|-------|-----------|---------|---------|--------|--------|--------------|----------------|------|
| <b>Conforto</b>       | 81,3         | 87,5  | 50,6    | 51    | 92,7      | 92,4    | 82,5    | 81,7   | 82,2   | 44,7         | 42             |      |
| <b>Desconforto</b>    | 18,7         | 12,5  | 49,4    | 49    | 7,29      | 7,58    | 17,5    | 18,3   | 17,8   | 55,3         | 58             |      |
| <b>CALOR (%)</b>      |              | 4,92  | 12,5    | 28    | 49        | 1,82    | 7,58    | 2,24   | 18,3   | 17,8         | 3,33           | 6    |
|                       | <b>V</b>     | 0,656 | 12,5    | 15,6  | 48,7      | 1,82    | 7,58    | 2,24   | 18,3   | 17,8         | 3,33           | 6    |
|                       | <b>MR</b>    | 0,656 | 1,91    | 11    | 0         | 0       | 0       | 0      | 0      | 0            | 0              | 0    |
|                       | <b>RE</b>    | 0     | 1,91    | 11    | 0         | 0       | 0       | 0      | 0      | 0            | 0              | 0    |
| <b>AC</b>             | 0            | 0     | 12,4    | 0,282 | 0         | 0       | 0       | 0      | 0      | 0            | 0              |      |
| <b>FRIO (%)</b>       |              | 13,8  | 0       | 21,4  | 0         | 5,47    | 0       | 15,2   | 0      | 0            | 52             | 52   |
|                       | <b>MA/AS</b> | 13,8  | 0       | 20,8  | 0         | 5,47    | 0       | 15,2   | 0      | 0            | 43,3           | 47,3 |
|                       | <b>AS</b>    | 0     | 0       | 0     | 0         | 0       | 0       | 0      | 0      | 0            | 8,67           | 4,67 |
|                       | <b>AA</b>    | 0     | 0       | 0,68  | 0         | 0       | 0       | 0      | 0      | 0            | 0              | 0    |
| <b>U</b>              | 0            | 0     | 0       | 0     | 0         | 0       | 0       | 0      | 0      | 0            | 0              |      |
| <b>Sombreamento %</b> | 84,3         | 99,8  | 80,6    | 99,9  | 89,4      | 99,5    | 76,7    | 95,3   | 94,7   | 46,4         | 47             |      |

Fazendo a comparação das salas sob efeito do resfriamento evaporativo (A, F, N e H), nas tabelas 4.26 à 4.28, percebe-se que o nível de conforto térmico nos meses de fevereiro e março é apenas ligeiramente inferior ao ambiente externo, apresentando um maior percentual de desconforto por calor, mas sem apresentar desconforto por frio. Neste caso, é indicado o uso de ventilação (V) nestas

salas, apenas em fevereiro ocorre ainda a indicação de inércia térmica para resfriamento (MR) ou resfriamento evaporativo (RE). Em abril e maio, o grau de desconforto das salas com resfriamento evaporativo, superam o nível de desconforto externo, com exceção da sala N que, em maio, não apresenta desconforto térmico neste período. Comparando os percentuais das salas com resfriamento evaporativo (A e H) e das salas não modificadas (B e I), no mês de maio, percebe-se um percentual ligeiramente inferior, de desconforto por calor, apenas no primeiro andar.

Apenas nas salas da fachada sul do primeiro andar passa a ocorrer desconforto também por frio a partir de maio e neste caso a inércia térmica com ganhos solares é indicada.

Todas as salas da fachada norte do primeiro andar, nos meses de maio e junho, (tabela 4.28) passam a não apresentar desconforto térmico. Nesta fachada, no térreo, ocorre desconforto por calor (tabela 4.26), indicando o efeito da radiação direta. Nestes meses, a sala G, com cobertura isolada e telhas brancas, apresenta metade do percentual de desconforto por calor das outras salas do mesmo andar e pavimento (H e I) e, é a única a não apresentar desconforto por frio. A diminuição do desconforto por frio na sala G ocorre devido ao isolamento da cobertura que diminui perda de calor noturna, proporcionando temperaturas mínimas mais elevadas em relação às demais salas.

TABELA 4.27- Percentuais de conforto no primeiro pavimento.

|                       | Fev-ext     | H-fev       | N-fev       | Mar-ext     | N-mar       | H-mar       | Abril-ext   | N-abril     | H-abril     | Mai-ext     | H-maio      | G-maio      | I-maio     |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| <b>Conforto</b>       | 81,3        | 87,3        | 81,5        | 50,6        | 51,4        | 47,5        | 92,7        | 83,9        | 89,1        | 82,5        | 55          | 78,8        | 52,5       |
| <b>Desconforto</b>    | 18,7        | 12,7        | 18,5        | 49,4        | 48,6        | 52,5        | 7,29        | 16,1        | 10,9        | 17,5        | 45          | 21,2        | 47,5       |
| <b>CALOR (%)</b>      | <b>4,92</b> | <b>12,7</b> | <b>18,5</b> | <b>28</b>   | <b>48,6</b> | <b>52,5</b> | <b>1,82</b> | <b>16,1</b> | <b>10,9</b> | <b>2,24</b> | <b>38,8</b> | <b>21,2</b> | <b>40</b>  |
| <b>V</b>              | 0,656       | 12,7        | 18,5        | 15,6        | 48,6        | 52,5        | 1,82        | 16,1        | 10,9        | 2,24        | 38,8        | 21,2        | 40         |
| <b>MR</b>             | 0,656       | 9,98        | 0           | 11          | 0           | 0           | 0           | 2,37        | 0           | 0           | 0           | 0           | 0          |
| <b>RE</b>             | 0           | 9,98        | 0           | 11          | 0           | 0           | 0           | 2,37        | 0           | 0           | 0           | 0           | 0          |
| <b>AC</b>             | 0           | 0           | 0           | 12,4        | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0          |
| <b>FRIO (%)</b>       | <b>13,8</b> | <b>0</b>    | <b>0</b>    | <b>21,4</b> | <b>0</b>    | <b>0</b>    | <b>5,47</b> | <b>0</b>    | <b>0</b>    | <b>15,2</b> | <b>6,25</b> | <b>0</b>    | <b>7,5</b> |
| <b>MA/AS</b>          | 13,8        | 0           | 0           | 20,8        | 0           | 0           | 5,47        | 0           | 0           | 15,2        | 6,25        | 0           | 7,5        |
| <b>AS</b>             | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0          |
| <b>AA</b>             | 0           | 0           | 0           | 0,68        | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0          |
| <b>U</b>              | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0           | 0          |
| <b>Sombreamento %</b> | 84,3        | 99,8        | 99,8        | 80,6        | 99,9        | 99,9        | 89,4        | 99,5        | 99,5        | 76,7        | 92,6        | 96,3        | 88,9       |

TABELA 4.28- Percentuais de conforto no primeiro pavimento.

|                       | Mai-ext     | N-maio   | L-maio   | M-maio   | Jun-ext     | G-jun       | H-jun        | I-jun     | L-jun    | N-jun    | O-jun    |
|-----------------------|-------------|----------|----------|----------|-------------|-------------|--------------|-----------|----------|----------|----------|
| <b>Conforto</b>       | 82,5        | 100      | 100      | 100      | 83,8        | 94,3        | 81,9         | 80        | 100      | 100      | 100      |
| <b>Desconforto</b>    | 17,5        | 0        | 0        | 0        | 16,2        | 5,71        | 18,1         | 20        | 0        | 0        | 0        |
| <b>CALOR (%)</b>      | <b>2,24</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b>    | <b>5,71</b> | <b>17,1</b>  | <b>20</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> |
| <b>V</b>              | 2,24        | 0        | 0        | 0        | 0           | 5,71        | 17,1         | 20        | 0        | 0        | 0        |
| <b>MR</b>             | 0           | 0        | 0        | 0        | 0           | 0           | 0            | 0         | 0        | 0        | 0        |
| <b>RE</b>             | 0           | 0        | 0        | 0        | 0           | 0           | 0            | 0         | 0        | 0        | 0        |
| <b>AC</b>             | 0           | 0        | 0        | 0        | 0           | 0           | 0            | 0         | 0        | 0        | 0        |
| <b>FRIO (%)</b>       | <b>15,2</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>16,2</b> | <b>0</b>    | <b>0,952</b> | <b>0</b>  | <b>0</b> | <b>0</b> | <b>0</b> |
| <b>MA/AS</b>          | 15,2        | 0        | 0        | 0        | 15,2        | 0           | 0,952        | 0         | 0        | 0        | 0        |
| <b>AS</b>             | 0           | 0        | 0        | 0        | 0,952       | 0           | 0            | 0         | 0        | 0        | 0        |
| <b>AA</b>             | 0           | 0        | 0        | 0        | 0           | 0           | 0            | 0         | 0        | 0        | 0        |
| <b>U</b>              | 0           | 0        | 0        | 0        | 0           | 0           | 0            | 0         | 0        | 0        | 0        |
| <b>Sombreamento %</b> | 76,7        | 98,7     | 98,6     | 98,6     | 62,1        | 98,1        | 92,5         | 92,5      | 89,3     | 91,4     | 87,8     |

**Legenda:** V- ventilação, MR- inércia térmica elevada, RE- resfriamento evaporativo, AC- ar condicionado, MA/AS- inércia térmica e aquecimento solar passivo, AS- aquecimento solar passivo, AA- aquecimento artificial, U- umidificação.

#### 4.2.2.5 Verificação dos fluxos de ar

Através da visualização do percurso da fumaça produzida pela queima de incenso colocado próximo às aberturas localizadas no piso e nas divisórias das salas, foi possível verificar a existência de um fluxo de ar contínuo através destas aberturas. As mudanças neste fluxo eram ocasionadas por mudanças na direção ou velocidade do ar externo.

Como os ventos predominantes no período de pesquisa variavam sempre entre nordeste ou sudeste, a direção do fluxo de ar de entrada pelas aberturas correspondia a estas orientações. Portanto, nos momentos de vento sudeste, os fluxos penetravam pela fachada sul e nas salas da fachada norte era registrado um fluxo contrário, de saída pelas aberturas do piso, nas salas com portas abertas. Porém, as salas da fachada norte, com as portas fechadas, registravam a ocorrência de um fluxo de ar de entrada pela abertura do piso, mesmo na ocorrência de vento sudeste. Isto se deve a existência de pérgolas nas extremidades do pátio, que permitiam a entrada dos ventos, numa menor intensidade, que dentro do pátio formavam turbulências. A figura 4.86 exemplifica o fluxo de ar identificado nas aberturas da fachada norte. Mesmo com a ocorrência de vento nordeste, as direções dos fluxos de ar na fachada norte não são bem menos definidas, variando bastante sua direção em curto espaço de tempo, caracterizando a turbulência do ar no espaço do pátio interno.

Na figura 4.87 é exemplificado o fluxo de ar existente nas aberturas para renovação de ar da fachada sul. Na fachada sul observa-se que o caminho produzido pelo fio de fumaça produzido é bem mais definido do que na fachada norte, devido a uma maior velocidade do ar, na ocorrência de vento sudeste, ou leste. Com a ocorrência de vento nordeste, apenas registra-se um sentido inverso dos fluxos, com a saída pelas aberturas do piso, quando as portas são deixadas abertas. Com as portas fechadas o fluxo de ar é bem menos definido, ou não ocorre.

Observa-se que, quando a fumaça é produzida próximo às aberturas, na parte superior das divisórias, é visível o caminho do fluxo de fumaça subindo pelas citadas aberturas, principalmente com as portas das salas fechadas.



FIGURA 4.86- Fluxos de ar, aberturas no piso, norte.

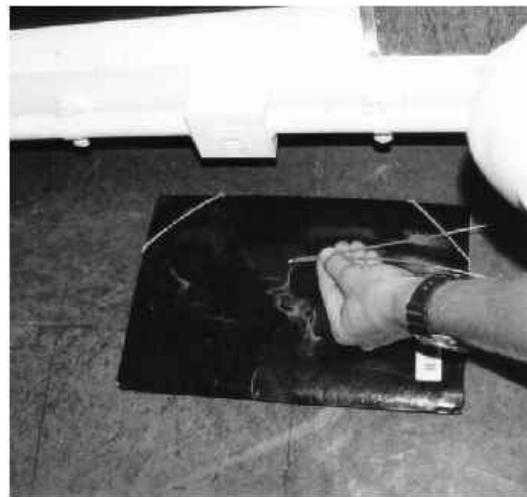


FIGURA 4.87- Fluxos de ar, aberturas no piso, sul.

# CAPÍTULO 5- CONCLUSÃO

## **CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO**

A partir da avaliação bioclimática realizada com base em dados climáticos do período de 1982 a 1997, foi possível uma caracterização atualizada do clima de Brasília, procurando destacar aquelas características mais relevantes para o processo de projeto de edificações e indicando, a partir daí, as estratégias de projeto mais adequadas.

Com estudo de caso no Edifício da Câmara Legislativa do Distrito Federal foi possível verificar, através dos resultados dos questionários e medições de temperatura e umidade internas, o grau de adequação de algumas das estratégias de projeto indicadas para Brasília em condições reais de uso, para o padrão de uso de um edifício de escritórios.

### **5.1 AVALIAÇÃO BIOCLIMÁTICA**

Com os resultados obtidos, a partir da etapa de caracterização do clima e análise bioclimática da região de Brasília, ficaram evidenciadas as condições favoráveis do clima, além de uma série de características necessárias à implementação dos princípios bioclimáticos no projeto de edificações na cidade.

Durante os períodos em que a ventilação seria mais recomendável, como no período quente e úmido, há maior ocorrência de ventos (entre 60 e 67%) e as velocidades médias do ar (2 e 6m/s com maior frequência) são mais elevadas. No período seco, com exceção dos meses de agosto e setembro, as temperaturas e a umidade relativa são geralmente bastante reduzidas e, dessa maneira, a ventilação seria indesejável. Justamente neste período, a ocorrência de ventos é menor (entre 59 e 53%) e as velocidades médias do ar são mais fracas (percentual de velocidades acima dos 5m/s fica abaixo dos 6%).

Neste trabalho, foi ainda identificado um terceiro período (meses de agosto e setembro), dentro do período seco, que poderia ser caracterizado como quente e seco. Este período apresenta as temperaturas médias das máximas mensais mais elevadas, 28,1°C e 29,3°C, juntamente com o menor percentual de umidade relativa média, entre 56 e 58% e as maiores amplitudes térmicas médias, entre 13,3°C e 14,3°C. Neste período a ventilação seria recomendada apenas para temperaturas abaixo de 32°C e umidade relativa acima de 30%, segundo limites especificados por GIVONI (1992). Percebe-se que os percentuais de ocorrência de ventos e velocidades médias do ar neste período são semelhantes ao período quente e úmido.

O ano climático de referência determinado neste trabalho permitiu, através da análise bioclimática realizada, identificar que o desconforto térmico existente em Brasília é provocado principalmente pelo frio. Porém, identifica-se que o desconforto por frio ocorre principalmente durante a madrugada e início da manhã, o que indica que a utilização de materiais de elevada capacidade térmica seria uma das estratégias mais indicadas para estas condições, principalmente em edificações residenciais. Esta estratégia representa, na carta bioclimática de edificações, um percentual de 31%, onde o desconforto por frio representa 36% do ano. A necessidade de sombreamento da edificação é de 60%, já que durante os períodos frios o sombreamento não é recomendável e, segundo recomendado no diagrama Triângulos de conforto, seriam necessários ganhos solares através de materiais de elevada capacidade térmica.

O desconforto por calor existente representa cerca de 15% dos períodos quente e úmido e quente e seco, e o horário de maior probabilidade de ocorrência seria das 11:00 às 17:00. Nos meses restantes, o desconforto por calor representa menos de 6% e só ocorre entre 13:00 e 16:00.

As estratégias recomendadas para estas condições, na carta bioclimática de edificações, são principalmente a ventilação (21%), juntamente com o resfriamento evaporativo (8%) e a inércia térmica para resfriamento (8%). O ar condicionado não é recomendado, uma vez que não ocorrem temperaturas acima de 34°C e a umidade relativa acima de 80% só ocorre para temperaturas abaixo dos 29°C, durante a madrugada. Através da análise da frequência horária de direção e velocidades médias dos ventos, percebe-se que as condições de vento são favoráveis à utilização de ventilação para os horários de desconforto por calor, uma vez que há maior ocorrência de ventos (entre 70 e 98%) e maiores velocidades médias do ar nestes horários (entre 3 e 6m/s).

As tabelas de Mahoney reafirmam a indicação da estratégia de inércia térmica para o projeto bioclimático na região e a ventilação é especificada como ventilação seletiva, ou seja, indicada apenas para condições externas favoráveis. Indica-se ainda a orientação norte-sul do edifício, construção compacta e proteção contra chuva no período de verão. Vale salientar que a construção compacta pode ser desfavorável ao uso da estratégia de ventilação.

Certamente em edifícios cuja geração de calor interna seja elevada, alcançar condições de conforto internas exclusivamente através do uso destas estratégias de projeto não seria viável. Porém, um projeto consciente, fazendo uso adequado destas estratégias, pode minimizar a necessidade da utilização de equipamentos de elevado consumo, como o ar condicionado.

Comparando os resultados obtidos do período analisado com dados de períodos anteriores, foi possível observar que houve algumas modificações climáticas ao longo dos anos, com uma evidente elevação da temperatura do ar, principalmente das temperaturas médias das máximas. Isto ocasionou uma maior participação das estratégias de resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento no percentual de estratégias indicadas para a situação de calor. Também se percebe uma alteração na orientação predominante dos ventos nos meses de dezembro e janeiro. Essas alterações coincidem com um período de crescimento populacional e criação de muitos assentamentos urbanos.

## 5.2- ESTUDO DE CASO

Com o estudo de caso realizado no edifício da Câmara Legislativa do Distrito Federal verificou-se o potencial de algumas estratégias de projeto indicadas na análise bioclimática realizada para edificações em Brasília, em situação real de uso.

As respostas de sensação térmica registrada pelos funcionários demonstraram uma boa correlação com os resultados obtidos das medições de temperatura e umidade relativa internas. Através dessa correlação também se identificou que, com temperaturas abaixo dos 23°C, predominava a sensação de frio e, acima de 26°C, predominava a sensação de calor. Observa-se que, no primeiro andar, onde as temperaturas máximas internas são mais elevadas, em até 2°C, há maior ocorrência de respostas de sensação de calor. Apenas no primeiro andar as temperaturas internas ultrapassam as externas registradas pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Essa diferença demonstra o elevado ganho de calor existente pela cobertura.

Na fachada norte do térreo, no mês de junho, ocorre uma elevação das temperaturas máximas internas acima da temperatura externa devido à maior incidência de radiação solar direta nas salas.

Neste período, estas são as únicas salas em que não há ocorrência de desconforto por frio entre os entrevistados.

O pátio interno também demonstrou proporcionar um microclima diferenciado. É um dos locais indicados como mais agradável pelos funcionários e apresentam temperaturas máximas inferiores à área externa, a sul do edifício, com diferenças de até 2,9°C. A presença de vegetação dentro do pátio demonstra sua influência sobre a temperatura, quando após a poda das árvores no mês de abril, as temperaturas máximas no pátio passam a ficar equivalentes às temperaturas na área externa sul. No pátio também há uma maior conservação de calor no período noturno, demonstrada pelas temperaturas mínimas mais elevadas, tanto do pátio (0,7 a 1,3°C acima) quanto das salas voltadas para ele (0,5 a 2,6°C).

O sistema de resfriamento evaporativo implantado no edifício (direto por microaspersão) atuou na redução do pico de temperatura diurno das salas sob sua influência, conseguindo manter as temperaturas das salas do primeiro andar abaixo dos 27°C e das salas do térreo abaixo dos 26°C. Não aconteceram reduções radicais das temperaturas nestas salas, uma vez que, o equipamento foi utilizado apenas para enquadrar a temperatura interna aos limites de conforto para um edifício não condicionado. Quanto à umidade relativa interna é registrado um aumento de até 28%, em relação à umidade relativa externa, nas salas com o sistema, durante o pico de temperatura diurno. Os funcionários de todas as salas passaram a indicar a utilização do resfriamento evaporativo como solução para o desconforto por calor a partir do contato com seus efeitos, e os próprios funcionários das salas sob influência do sistema passaram a indicar suas salas de trabalho como locais mais agradáveis do prédio. Apesar da melhoria das condições internas, aplicando os dados das salas com resfriamento evaporativo à carta bioclimática de edificações, observa-se que o uso desta estratégia não é suficiente para enquadrar as condições internas totalmente à zona de conforto, sendo ainda necessária a melhoria das condições de ventilação. Observa-se ainda que as condições de ventilação nas salas voltadas para o pátio interno são inferiores, apesar da existência de pérgolas para a passagem do vento. Este fator prejudicou a eficiência do sistema de resfriamento nas salas voltadas para este espaço, uma vez que, sua eficiência está relacionada às condições de vento.

O isolamento térmico da cobertura não produziu efeito significativo sobre a temperatura interna, nos períodos de ocupação da sala G. Esta situação demonstra que os ganhos de calor internos do prédio exercem uma influência considerável sobre a temperatura interna. Apenas após a pintura branca das telhas de cobertura, a temperatura interna ficou abaixo das salas I e J, ou semelhante à sala H (com resfriamento evaporativo), do mesmo andar e fachada, mesmo com a sala ocupada. Nessa situação foram registradas reduções de até 2°C no pico de temperatura diurno. O efeito conjunto destas duas estratégias faz com que esta sala apresente, a partir de maio, os menores percentuais de desconforto, tanto por calor quanto por frio, devido à elevação das temperaturas mínimas provocada pela aplicação do isolante térmico.

A ventilação natural através das grandes janelas, indicadas pelos funcionários como uma das características mais apropriadas do prédio, apresenta-se como fundamental para a não elevação das temperaturas internas, como observado através das diferenças de cerca de 0,8 a 1°C nas temperaturas máximas, entre salas com janelas abertas e fechadas.

Foi verificado que o sistema de renovação de ar proposto no projeto do edifício realmente cumpre sua função, sendo verificado um fluxo contínuo de ar através das aberturas existentes, com as

janelas abertas ou fechadas. Em determinados casos a vedação destas aberturas contribuiu para uma pequena elevação das temperaturas internas, principalmente noturnas, entre 0,6 e 1,3°C. Vale salientar que a solução aplicada para renovação do ar na proposta do prédio não é a solução ideal, sendo muito mais eficiente o uso de ventilação cruzada, por exemplo. Porém, como na maioria dos casos em edifícios de escritório no Brasil, a ventilação cruzada é impedida pela aplicação de divisórias internas com a altura do pé-direito, o sistema de renovação de ar existente apresenta-se como uma alternativa para esta situação.

Percebe-se que, de acordo com a Carta Bioclimática de Edificações, apesar da geração de calor interno do prédio ser relativamente elevada, as características arquitetônicas do prédio são suficientemente adequadas para manutenção das condições de conforto interno acima de 80%, com exceção do mês de março. Neste mês as condições externas são bastante desfavoráveis (49,4% de desconforto) tanto pelo calor quanto pelo frio, refletindo nas condições internas. Porém, observa-se que mesmo quando as condições externas indicam desconforto por frio, internamente isto não ocorre, com exceção das salas na fachada sul do primeiro andar, a partir de maio. Neste caso, é indicado o uso de inércia térmica e aquecimento solar passivo. Com o cálculo de graus hora para aquecimento, utilizando a temperatura de 23°C como base, as condições de frio internas são mais acentuadas, estendendo-se durante toda a manhã e fim de tarde, a partir de maio.

Foi possível observar que as estratégias implantadas no sentido de minimizar o desconforto por calor demonstraram uma influência evidente nas condições de conforto internas. As melhores respostas foram obtidas através das estratégias de resfriamento evaporativo e o isolamento térmico da cobertura juntamente com a pintura branca das telhas. Todos os sistemas passivos empregados no estudo de caso ajudam a reduzir o percentual de desconforto por calor mas não o eliminam por completo, sendo ainda indicado o uso da estratégia de ventilação. Dessa forma, configura-se como uma solução bastante viável, na tentativa de ampliar as condições de conforto obtidas, a utilização conjunta do sistema de resfriamento evaporativo e do isolamento da cobertura com cor externa branca e a melhoria das condições de ventilação. Uma das soluções para melhoria das condições de ventilação no edifício seria a alteração das divisórias internas, para proporcionar a ventilação cruzada nos ambientes.

Porém, observa-se que o edifício não apresenta condições adequadas à situação de frio, sendo indicada a utilização da inércia térmica e aquecimento solar passivo nesta situação. Observa-se que os ganhos solares na fachada no período de inverno resultaram em condições de conforto internas adequadas, porém esta possibilidade fica restrito à fachada norte.

### 5.3 LIMITAÇÕES ENCONTRADAS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em relação à caracterização do clima de Brasília, seria importante um aprofundamento na questão da alteração climática ao longo do processo de urbanização da região, procurando relacionar as alterações climáticas identificadas com as alterações urbanas e de densidade demográfica ocorridas nos mesmos períodos.

Além disso, ainda tratando da caracterização do clima da cidade, seria necessário o tratamento de dados de radiação solar, uma variável climática de extrema importância para elaboração do projeto bioclimático e que não foi possível adquirir para realização do presente trabalho.

Em relação à avaliação do potencial das estratégias bioclimáticas indicadas para edificações em Brasília, a carência de sensores de umidade relativa, apresentou-se como uma limitação a uma avaliação mais completa desta variável. A avaliação desta variável ficou restrita a três salas de cada vez, impedindo uma avaliação comparativa de todas as salas analisadas e dos espaços externos durante todo o período. Além disso, também não foi possível um registro adequado da velocidade interna do ar, variável de extrema relevância para avaliação de conforto térmico, devido à ausência de um anemômetro apropriado.

De acordo com os resultados bastante positivos obtidos da aplicação das estratégias de resfriamento evaporativo e de isolamento térmico e cores claras na cobertura seria interessante, a oportunidade de avaliar os efeitos da implementação conjunta destas estratégias juntamente com as estratégias de ventilação cruzada, no edifício avaliado ou em edifício de escritórios com características semelhantes.

Ainda com relação ao estudo das estratégias indicadas para Brasília, seria necessário um estudo semelhante ao realizado, tratando dos efeitos da inércia térmica e dos ganhos solares sobre as condições de frio e calor em edifício com padrão de uso semelhante.

Em relação às respostas de sensação térmica obtida por meio dos questionários, observa-se que certamente os resultados obtidos não estão condicionados apenas ao ambiente interno, mas também às características físicas do entrevistado, vestimenta, sexo, nível de atividade, entre outros condicionantes. Como o objetivo do trabalho era utilizar os dados dos questionários apenas como uma referência para os resultados obtidos das medições não foi feita esta relação. Dessa forma, também seria necessário realizar um estudo mais aprofundado destas questões procurando correlacionar as respostas obtidas a estes outros condicionantes.

# REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- AL HEMIDI, N.** *A cooling tower for a passive evaporative system in hot dry climate.* ISES Congress. Cocoa Beach, Florida. 1992.
- AL-SHIBAMI, F. H. e WARD, I.C.,** *Thermal comfort in tradicional, new mud and new concrete houses in Yemen- A case of concerne.* The 18<sup>th</sup>. International Conference on Passive and Low Energy Architecture, 765-766, Florianópolis, Brasil, nov.2001.
- ALI, M. e AHMAD, A.** *Cost- Effective use of thermal insulation in hot climates.* Building and Environment, vol.26, pp.189-194. 1991.
- AKUTSU, M. e VITORINO, F.** *Critério para definição de níveis de desempenho térmico de edificações.* ENTAC-1999. Anais.
- AMORIM, C. N. D.** *Desempenho Térmico de Edificações e Simulação Computacional no Contexto da Arquitetura Bioclimática- Estudo de Casos na Região de Brasília.* Dissertação de Mestrado, FAU-UNB, Brasília, 1998.
- ANDRADE, S. F.** *Estudo de estratégias bioclimáticas no clima de Florianópolis.* Dissertação de mestrado. Abril, 1996.
- ASHRAE** fundamentals handbook. *Thermal Comfort*, cap.8. 1997.
- AROTEGUI, J.M.** Curso: *El proyecto para la eficiencia térmica de los edificios*, III encontro nacional/ I encontro latino americano de conforto no ambiente construído, Gramado. 1995.
- ATKINSON, G.A.** *Tropical architecture and building standards.* Conference on tropical architecture, 1953.
- BANSAL, N.K. GARG, S.N., KOTHARI, S..** *Effect of exterior surface colour on the thermal performance of buildings.* Building and Environment, vol.27, no. 1. pp.31-37,1992.
- BAPTISTA, A.C.S.** *Zoneamento bioclimático brasileiro para fins de edificação.* Dissertação de Mestrado. UFRGS- 1994.
- BEN - BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL**, Ministério das Minas e Energia, 1990.
- BEN - BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL**, Ministério das Minas e Energia, 1999.
- BILGH, J. :** *Principles of Geographical Infomation Systems for Land Resources Assesment.* Oxford University Press, New York. 194p. 1990.
- BITAN, A.** *The methodology of applied climatology in planning and building.* Energy and Buildings, 11 pp.1-10, 1988.
- BITTENCOURT, L. S.,** *Uso das Cartas Solares: diretrizes para arquitetos*, EDUFAL, Maceió, 1988.
- BOUILLOT, J. e AYOOB, A. N.** *Passive responses for comfort conditions in a closed atmosphere under hor dry climates.* In: PLEA Conference, Anais. Australia, p.393-398, 1999.
- CANTUARIA, G. A. C,** *Microclimatic impact of trees in suburban Brasília.* In: PLEA International Conference, Anais. Inglaterra. p. 539-540, 2000.
- CARLO, J. C.,** *Urban climate and its influence on enegy consumption: a case study in two brazilian cities.* In: Building Simulation Conference, Anais. Rio de Janeiro. p. 167-174, 2001.
- CODEPLAN** - Companhia de desenvolvimento do planalto central. *Atlas do Distrito Federal.* GDF - Brasília, 1984.
- COELHO, M.** *Geografia do Brasil.* São Paulo, 1995.

- COMISSÃO LUIS CRULS.** *Sesquicentenário do Nascimento de Luis Cruls - 1848-1998.* Governo do Distrito Federal, 1998.
- COSTA, M.E.** *Lúcio Costa, registro de uma vivência.* Ed. Fundação Banco do Brasil, 1995.
- DILONARDO, L. P e ROMÉRO, M. A.,** *Dinamic computer simulation with ESP-r in a buiding model in São Paulo.* In: The 18<sup>th</sup>. International Conference on Passive and Low Energy Architecture, p. 725-728, Florianópolis, Brasil, nov.2001.
- EVANS, J. M.** *Diseno arqitetônico y Confort.* Curso ENTAC-SC, 1983.
- \_\_\_\_\_. *From meteorological data to bioclimatic design. 30 years of Mahoney's Tables.* Conferência. In: PLEA International Conference. Anais. p. 161-164. Brisbane, Austrália, 1999.
- \_\_\_\_\_. *'Comfort Triangles' Analysis of temperature variations and design strategies in passive architecture.* In: PLEA Conference, Cambridge, UK, p. 556-561, 2000.
- ELETROBRÁS** - Empresa brasileira de energia elétrica, 1999. Endereço da internet: [www.eletronbras.gov.br](http://www.eletronbras.gov.br)
- ETZION, Y.** *The thermal behavior on non-shaded closed courtyards in hot-dry zones.* Architectural Science Review. 1991.
- FANGER, P.O.** *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.* Macgraw-Hill Book Company, 1970.
- FARUQUI, Z. e YANNAS, S.** *Masters in the tropics: Environmental features of the buildings of Le Corbusier and Louis I Kahn in Bangladesh and India.* In: PLEA Conference, Brisbane, Australia, pp-41-46, 1999.
- FERREIRA, P.** *Alguns dados sobre o clima para edificação em Brasília.* Dissertação de mestrado. FAU-UnB- 1965.
- FROTA, A. B. e SCHIFFER, S. R.** *Manual de Conforto Térmico, 2<sup>a</sup>.* ed. atualizada, Studio Nobel, SP, 1988.
- GARCIA-CHÁVEZ, J. R.** *The potential of passive cooling strategies for improving ambient comfort conditions and achieving energy savings in a typical hot/arid climate.* In: PLEA International Conference. Anais. p.412-426, 1999.
- GIVONI, B.** *Man, climate and architecture,* Applied Science Publishers, London, 2<sup>nd</sup>. Ed. 1976.
- GIVONI, B. e MILNE, M.** *Architectural design based on climate, Energy conservation trough buildings design,* edited by Donald Watson, MacGraw Hill Book Company. 1979.
- GIVONI, B.** *Comfort, climate analysis and building design guidelines.* Energy and Building, vol.18, Amsterdam, 1992.
- \_\_\_\_\_. *Passive and low energy cooling of buildings.* Van Nostrand Reinhold publishing company, 1994.
- \_\_\_\_\_. *Climatic aspects of urban design in Tropical regions.* Atmosphere environment. Vol.26b. no.3. pp-397-406, 1991.
- GOMÉZ, L.A. e LAMBERTS, R.** *Simulação da influência de algumas variáveis arquitetônicas no consumo de energia em edificios.* In: ENCAC, Gramado- RS, pp. 415-419, 1995.
- GONZALEZ, E.HINZ, E., OTEIZA, P. e QUIROS, C..** *Proyeto, clima y arquitectura.* Vol.1 e vol.2, Mexico: Ediciones G. Gili. 1996.

- GOULART, S.** *Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações de Florianópolis*. Dissertação de Mestrado. UFSC. Setembro de 1993.
- GOULART, S., BABOSA, M., PIETROBON, C., BOGO, A., e PITTA, T..** *Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico. Relatório interno- NPC- UFSC*, 1994
- GOULART, S., LAMBERTS, R. e FIRMINO, S,** *Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades Brasileiras*, PW ed., São Paulo, dez. 1997.
- GRISOLET, H.,** *Climatologie- méthodes et pratiques*. Paris, Gauthier- Villars, p. 401, 1962.
- GUNTHER, H.** *Como elaborar um questionário*. Cadernos eletrônicos LabPam -Universidade de Brasília. 1999.
- HOLLMULLER, P. e LACHAL B.** *Colling and preheating with buried pipe systems: monitoring, simulation and economic aspects*. In: Energy and Buildings Elsevier v. 33, p. 509-518, 2001.
- HUMPHREYS, M. A.** *Field studies of thermal comfort compared and applied*, Current Paper, Building Research Establishment, Garston, Watford, UK. 1975.
- INMET** - Instituto Nacional de Meteorologia. *Normais Climatológicas, (1961-1990)*; Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Brasília, DF. 1992.
- ISO 7730/94.** *Ambientes Térmicos moderados - Determinação dos índices de PMV e PPD e especificações das condições para conforto térmico*. 1994
- IWAMURA, K.** *The passive cooling effects of the natural ventilation system from under-floor pit to wind-tower*. PLEA Conference 1997, pp.153-157.
- IZARD, J. L. e GUYOT, A.** *Arquitetura bioclimática*, Barcelona, Gustavo Gili, 1980.
- JOHANSSON, E., GRUNDSTRÖN, K. e ROSENLUND, H..** *Street Canyon microclimate in traditional and modern neighbourhoods in hot dry climate, a case study in Morocco*. The 18<sup>th</sup>. International Conference on Passive and Low Energy Architecture, 661-666, Florianópolis, Brasil, nov.2001.
- KOENIGSBERGER, O H., INGERSOLL, T.G., MAYHEW, A e SZOKOLAY, S.V.,** *Manual of Tropical Housing*. 4<sup>a</sup> edição Nova York, 1980.
- LAMBERTS, R. PEREIRA, F. e DUTRA, L.,** *Eficiência Energética na Arquitetura*, PW ed., São Paulo, 1997.
- MATHEWS, E. H.** Thermal analysis of naturally ventilated buidings. Building and Environment, vol.21, no.1, pp.35-39, 1986
- MEIR, I. A.** *Plannig Theories versus reality: a desert case study*. In: Desrt Regions: population, migration and environment, ed. B.A. Portnov e P. Hare, p-187-204, 1999.
- MEIR, I. A.** *Courtyard microclimate. A hor arid region case study*. PLEA Conference, Cambridge, UK, 2000.
- NIMER, E.** *Climatologia do Brasil*, Rio de Janeiro: IBGE, 1979.
- OLGYAY, V.** *Design with climate bioclimatic approach to architecture regionalism*. Universidade de Princeton, Nova Jersey. 3<sup>a</sup>. ed.,1973.
- OLGYAY, V.** *Clima e arquitetura em Colômbia*. Universidade del Valle. Faculdade de Arquitetura, Cali, Colômbia. 1968.
- ORNSTEIN, S.** *Avaliação pós-ocupação do ambiente construído*. Studio Nobel, Edusp, 1992.

- PAPST, A. L.** *Uso de Inércia Térmica no Clima Subtropical, estudo de caso em Florianópolis-SC.* Dissertação de Mestrado, UFSC, 1999.
- PETRONE, M.** *Conservação e utilização racional de energia em edificações: um pacto de responsabilidade.* In: ENCAC, Florianópolis- SC, 1993.
- PIETROBON, C. E., LAMBERTS, R. e PEREIRA, F.O.R.** *O Tratamento de Elementos Climáticos para a climatologia das edificações: O caso de Maringá – PR.* ENCAC - Fortaleza/CE, 1999. Anais.
- PINHEIRO, E. A.,** *Análise pós-ocupação de um edifício comercial em Brasília - aspectos do conforto térmico.* Dissertação de mestrado, UnB, 1999.
- \_\_\_\_ **PROCEL** – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica. Endereço da Internet: <http://www.eletrobras.gov.br/procel/>
- Projeto de Normalização em conforto Ambiental. Projeto 02: 135.07-003, Parte 3-Norma de zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes p/ habitações unifamiliares de interesse social.** Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, 1998.
- RIBEIRO, M.S.B.** *Patrimônio cultural urbano - preservação e desenvolvimento.* Dissertação de mestrado, UnB, 2000.
- RHEINGANTZ, P.A.** *Análise pós-ocupação do Centro Empresarial Internacional Rio.* In: Encac-Gramado/RS, Anais, 1995.
- ROMÉRO, Marcelo,** *O peso das decisões arquitetônicas no consumo de energia elétrica em edifícios de escritório.* In: Nutau- 98. Anais. p. 1-9, 1998.
- ROMERO, M. B.** *Bioclimatic performance of morphological parameters in the peripheral settlement in Brasilia – Brazil.* In: PLEA International Conference– Lisboa, 1988. Anais
- \_\_\_\_. *O clima de Brasília,* Cadernos Eletrônicos da UnB, 1999.
- \_\_\_\_. *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano.* São Paulo, ProEditores, 2000.
- RORIZ, M.,** *Potencial do uso de refrigeração evaporativa no estado de São Paulo.* In: Nutau-2000. Anais. 2000.
- SERRA, A.** *Atlas climatológico do Brasil.* Rio de Janeiro, Conselho Nacional de Geografia, e serviço de Meteorologia, pp.221 Mapas col. 1955.
- SOBOTKA, P., YOSHINO, H. e MATSUMOTO, S.** *Thermal comfort in passive solar earth integrated rooms.* Building and Environment, vol.31,no.2, p.155-166, 1996.
- STAMPER, E.** *Weather data.* ASHRAE journal, p. 47, fevereiro de 1977.
- SZOKOLAY, S.V.** *Thermal Design of Buildings.* Pub. RAI Education Division. Australia, 1987.
- SZOKOLOLAY, S.V.** *The CPZ (Control Potencial Zone) method and its use to develop climate zones.* In: ISES'95, Congress at Harvey, USA. 1995.
- TANABE, S. I.** *Thermal comfort Requirement in Japan,* Waseda University, Tokyo, Japan, 1988.
- TOMBAZIS, A.N.,** *Architecture and bioclimatic design. Less is beautiful.* In: ENCAC- Gramado/RS, Anais, p.19 à 28, 1995.
- VELOSO, M.** *Adequação da arquitetura a climas quente e seco: o caso da arquitetura vernacular no sertão nordestino.* In: ENCAC, Fortaleza-CE, 1999.
- VIANELLO, R. L. e ALVES, A. R.** *Meteorologia básica e aplicações.* Imprensa universitária. Viçosa- MG, 1991.

- VILLAS BOAS, M.** *Índices de Conforto Térmico*. In: Curso de especialização, por tutoria a distância: controle do ambiente em Arquitetura. Módulo 7, Brasília, CAPES p. 5-8. 1984.
- WATSON, D. e LABS, K.** *Climatic Building Design. Energy- efficient building principles and practice*. McGraw- Hill book Company. 1983.
- WEBB, C.G.** *An analysis of some observations of thermal comfort in na equatorial climate*, Br. J. Indust. Med., 1959.
- WU, H.** "Performance Monitoring of a two stage evaporative cooler." ASHRAE Transaction, v.95, Pt.1, Chicago, 1989.
- XAVIER, A.** *Condições de conforto térmico para estudantes de 2º. grau na região de Florianópolis*. Dissertação de mestrado, NPC - UFSC, 1999.

# ANEXOS

## ANEXO A- MODELO DO QUESTIONÁRIO

“Os edifícios estarão bem adequados, se desde o princípio, tem-se em conta o clima do lugar em que se constrói, porque não há dúvida de que devem ser distintos os edifícios que se fazem no Egito, dos que se fazem em Roma.” (Vitrúvio).

Este trabalho tem por **objetivo** investigar a influência do projeto arquitetônico do edifício, além dos materiais e soluções empregados a ele sobre as **condições de conforto térmico** dentro de seus ambientes de trabalho.

Dessa forma, a **opinião do usuário é muito importante** para que se consiga caracterizar essas condições, uma vez que é ele que está submetido às condições climáticas presentes no ambiente durante a maior parte do tempo.

Tendo em vista esses objetivos preparamos um pequeno questionário a fim de conhecer sua **opinião, sensações e preferências** em relação ao **conforto térmico** do seu ambiente de trabalho.

*Esperamos que possamos contar com sua valiosa colaboração*

Brasília, / /

hora:

### QUESTIONÁRIO

#### Avaliação das condições gerais

1- Qual a sua opinião sobre as condições de conforto térmico no edifício?

2- Você acha que existe alguma característica do prédio que seja bem apropriada ao clima de Brasília?

3- Que lugar do edifício você acha mais agradável, do ponto de vista climático?

#### Caracterização do ambiente e tipo de trabalho

4- Na sua sala, quais são os períodos do dia considerados mais críticos em relação a calor ou frio para você?

##### Calor

|     |      |       |       |       |       |       |       |
|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 8-9 | 9-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 | 14-16 | 16-18 |
|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

##### Frio

|     |      |       |       |       |       |       |       |
|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 8-9 | 9-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 | 14-16 | 16-18 |
|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

5- De acordo com seu tipo de trabalho você se movimentou:

- a) Muito pouco
- b) Pouco
- c) Mais ou menos
- d) Muito
- e) Depende do dia

6- Hoje, até o momento, você se movimentou:

- a) Muito pouco
- b) Pouco
- c) Mais ou menos
- d) Muito

**Sensações e Preferências**

7- Como você acha que está o clima externo, na cidade, nesse momento?

|                  |                |
|------------------|----------------|
| Muito quente     | Levemente frio |
| Quente           | Frio           |
| Levemente quente | Muito frio     |
| Neutro           |                |

8- Como você está se sentindo, nesse momento, dentro da sua sala? (marque com um X na frente)

|                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| Com muito calor     | Levemente com frio |
| Com calor           | Com frio           |
| Levemente com calor | Com muito frio     |
| Neutro              |                    |

9- Como você preferia estar se sentindo agora? (marque com um X na frente)

|                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
| Bem mais aquecido      | Um pouco mais refrescado |
| Mais aquecido          | Mais refrescado          |
| Um pouco mais aquecido | Bem mais refrescado      |
| Assim mesmo            |                          |

10- Para solucionar o problema do desconforto térmico (se este existir) o que você sugeriria?

11- Existindo desconforto por calor, nesse momento, quais destas características poderiam ter maior influência sobre o problema?

- O sol incidente nas janelas
  - Fonte de calor (tipo copiadora, cafeteira) dentro da sala
  - Janelas fechadas
  - Calor vindo do teto
  - Pouca ventilação dentro da sala, mesmo com janelas abertas
  - Outros
- \_\_\_\_\_
- g) Não sei

Concluindo, gostaríamos de fazer algumas perguntas que permitam melhor caracterizar o grupo de pessoas com o qual falamos nessa pesquisa.

- Nome (não precisa ser completo) \_\_\_\_\_
- Idade \_\_\_\_\_ 3- Altura \_\_\_\_\_ 4- Peso \_\_\_\_\_
- Sexo: F / M
- Realiza alguma atividade física regularmente? Qual?

7- Grau de instrução:

8- Marque as vestimentas que utiliza neste momento:

**Roupas de baixo e acessórios**

|                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|
| Sapato de sola fina          | Sapato de sola grossa        |
| Botinas                      | Meia soquete fina            |
| Meia soquete grossa          | Meia até o joelho            |
| Meia de nylon longa fina     | Meia calça com pernas longas |
| Meia calça com pernas curtas | Cueca                        |
| Calcinha                     | Soutien                      |

**Camisas e blusas**

|                                |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Camiseta de baixo              | Camiseta de baixo manga longa |
| Gravata                        | Camisa de manga curta         |
| Camisa manga longa tecido fina | Camisa manga longa normal     |
| Camisa de flanela ou moleton   | Blusa leve fina, manga longa  |
| Blusa leve fina, manga curta   | Camiseta                      |

**Calças**

|                                |
|--------------------------------|
| Calça curta (bermuda)          |
| Calça de tecido fina           |
| Calça jeans                    |
| Calça grossa, de lã ou flanela |

**Vestidos e saias**

|                                 |
|---------------------------------|
| Saia leve, de verão             |
| Saia pesada de inverno          |
| Vestido de verão, mangas curtas |
| Vestido de inverno, manga longa |
| Vestido completo, fechado       |

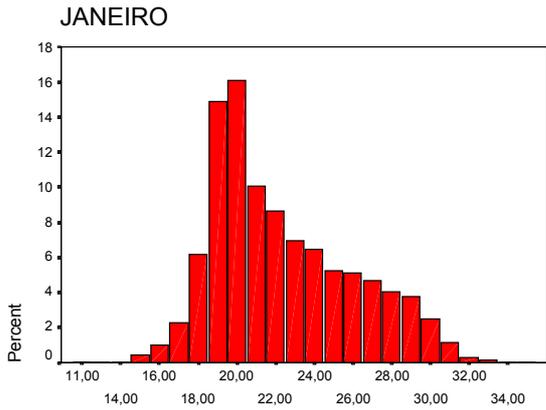
**Casacos e suéteres**

|                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| Colete sem mangas fino  | Colete sem mangas grosso  |
| Suéter manga longa fino | Suéter manga longa grosso |
| Jaqueta leve            | Jaqueta/japona, normal    |
| Paletó                  | Paletó de verão, blazer   |

Esperamos que o resultado desta pesquisa venha contribuir para identificação de soluções arquitetônicas que possam ser melhor exploradas no sentido de garantir o conforto térmico dos usuários e uma maior economia de energia nas edificações em Brasília.

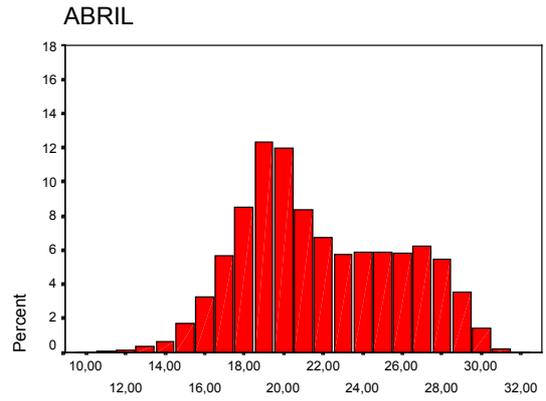
*E você, usuário, é uma peça chave nessa busca, muito **obrigada por sua valiosa colaboração.***

**ANEXO B – FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA MENSAL DE TEMPERATURA- (1982-1997)**



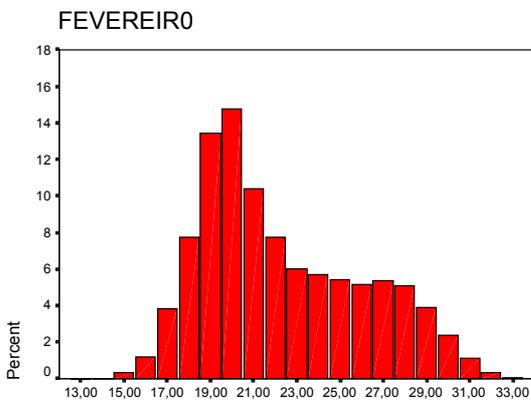
JANEIRO

**FIGURA B-1** Frequência de temperatura, janeiro



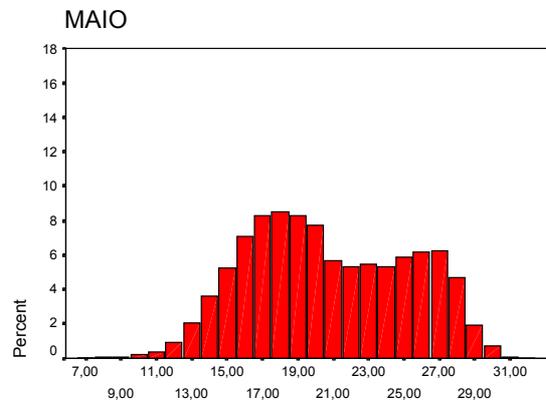
ABRIL

**FIGURA B-4** Frequência de temperatura, abril



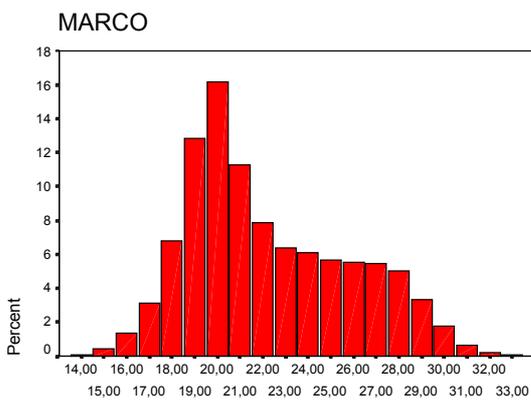
FEVEREIR

**FIGURA B-2** Frequência de temperatura, fevereiro



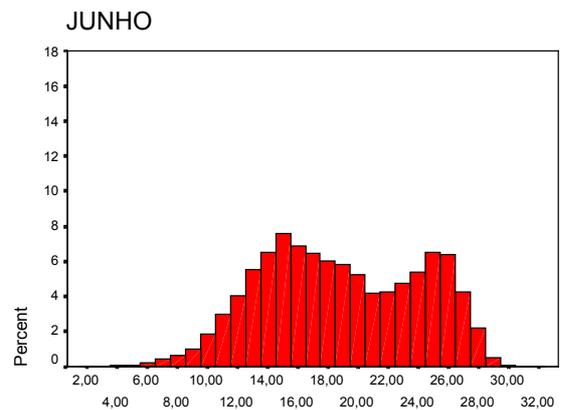
MAIO

**FIGURA B-5** Frequência de temperatura, maio



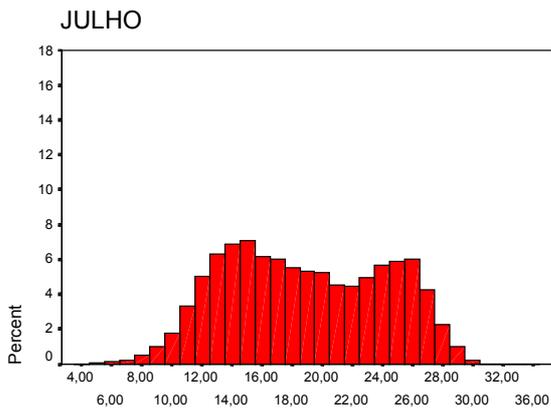
MARCO

**FIGURA B-3** Frequência de temperatura, março



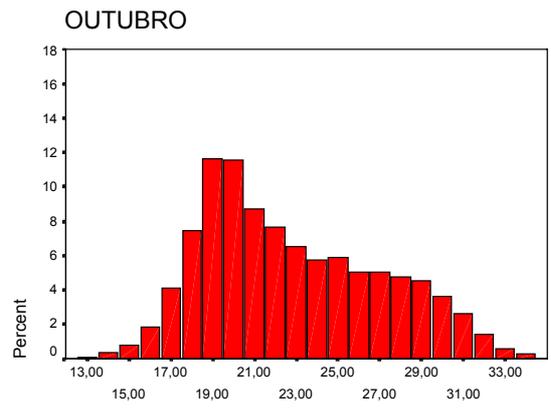
JUNHO

**FIGURA B-6** Frequência de temperatura, junho



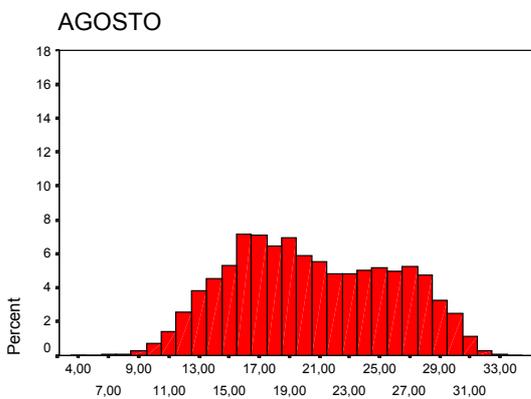
JULHO

**FIGURA B-7** Frequência de temperatura, julho



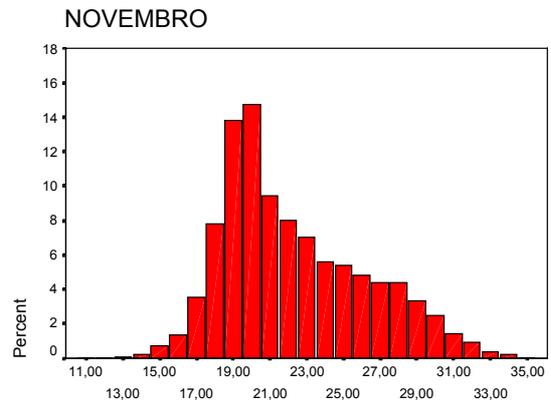
OUTUBRO

**FIGURA B-10** Frequência de temperatura, outubro



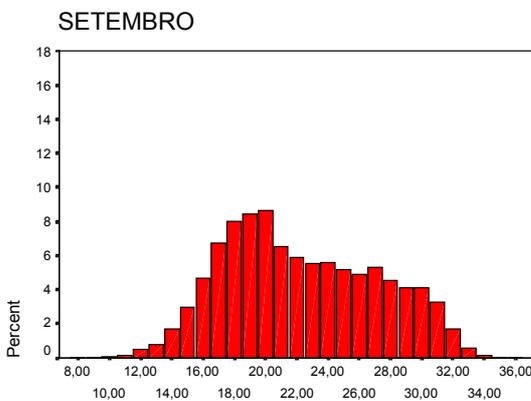
AGOSTO

**FIGURA B-8** Frequência de temperatura, agosto



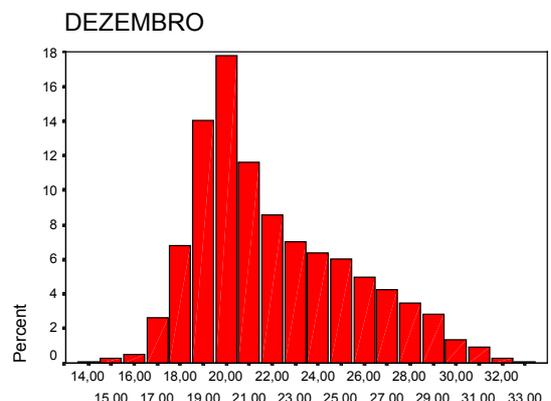
NOVEMBRO

**FIGURA B-11** Frequência de temperatura, novembro



SETEMBRO

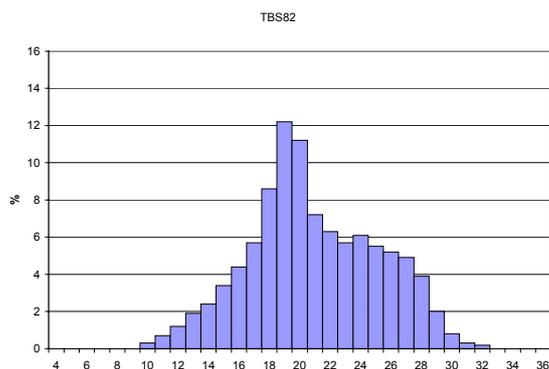
**FIGURA B-9** Frequência de temperatura, setembro



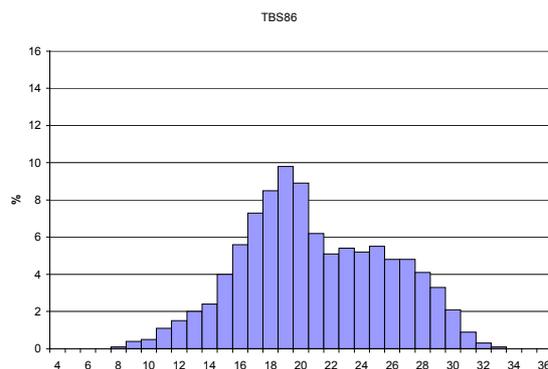
DEZEMBRO

**FIGURA B-12** Frequência de temperatura, dezembro

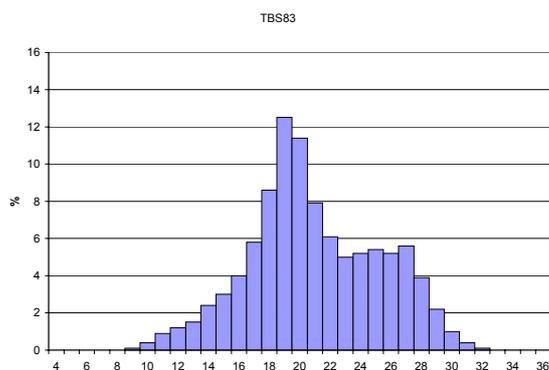
**ANEXO C - FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA ANUAL DE TEMPERATURA DO AR (1982-1997)**



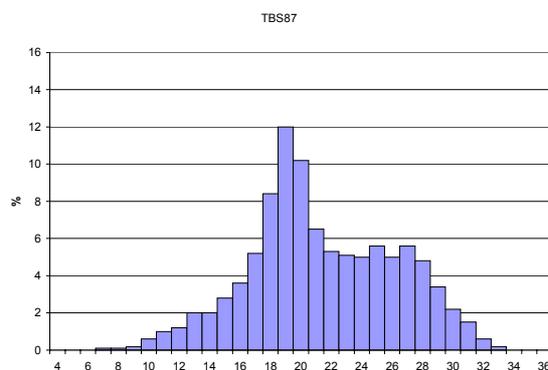
**FIGURA C-1-** Frequência de ocorrência de temperatura 1982



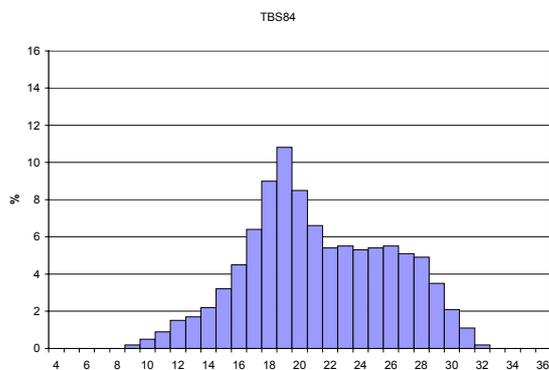
**FIGURA C-5-** Frequência de ocorrência de temperatura 1986



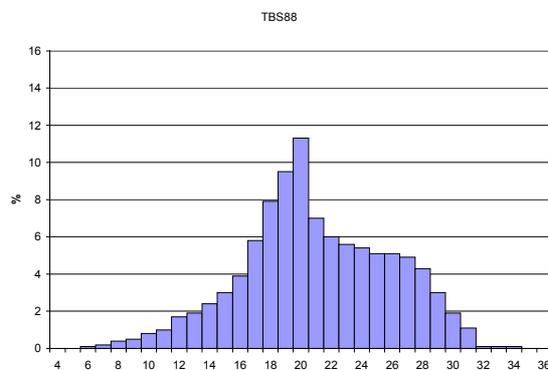
**FIGURA C-2-** Frequência de ocorrência de temperatura 1983



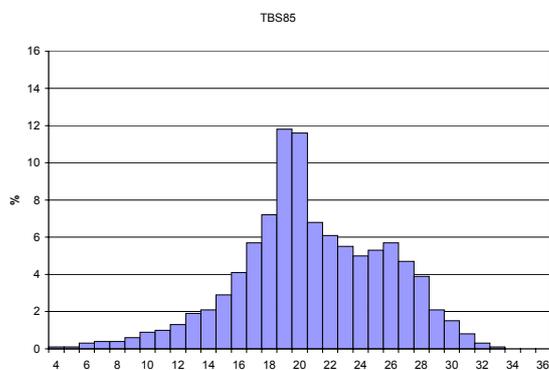
**FIGURA C-6-** Frequência de ocorrência de temperatura 1987



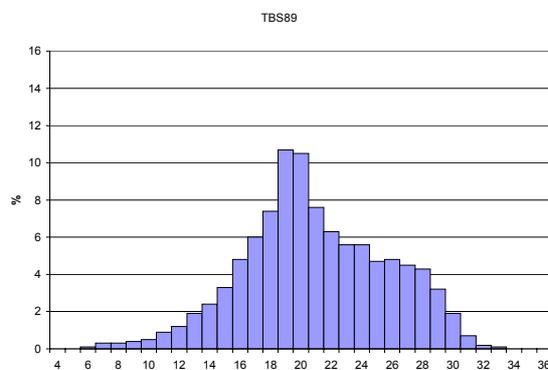
**FIGURA C-3-** Frequência de ocorrência de temperatura 1984



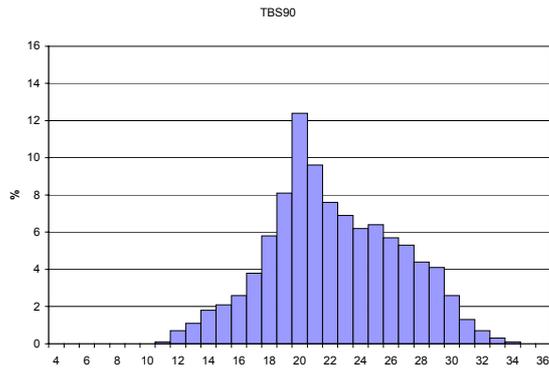
**FIGURA C-7-** Frequência de ocorrência de temperatura 1988



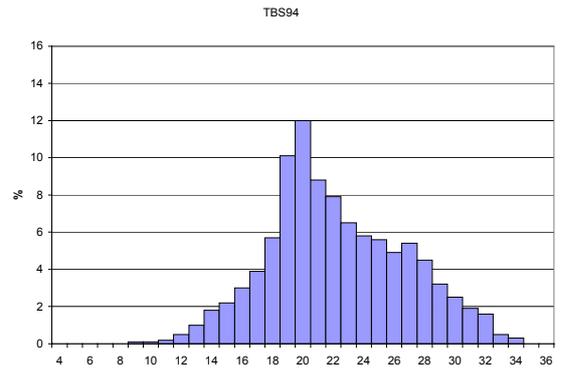
**FIGURA C-4-** Frequência de ocorrência de temperatura 1985



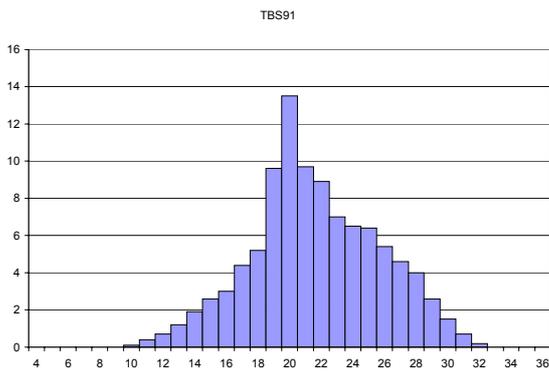
**FIGURA C-8-** Frequência de ocorrência de temperatura 1989



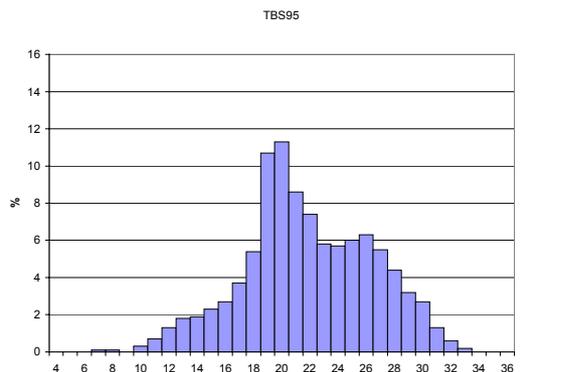
**FIGURA C-9-** Frequência de ocorrência de temperatura 1990



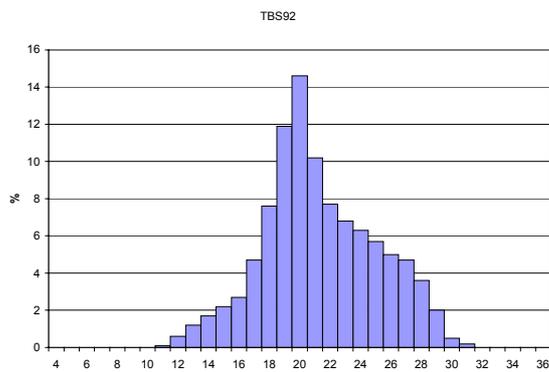
**FIGURA C-13-** Frequência de ocorrência de temperatura 1994



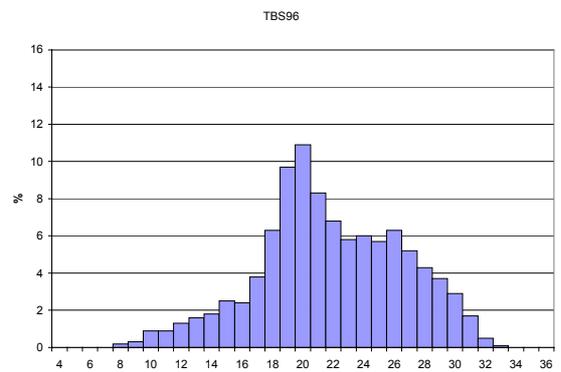
**FIGURA C-10-** Frequência de ocorrência de temperatura 1991



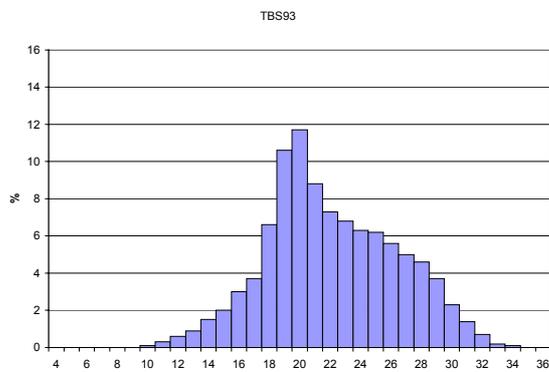
**FIGURA C-14-** Frequência de ocorrência de temperatura 1995



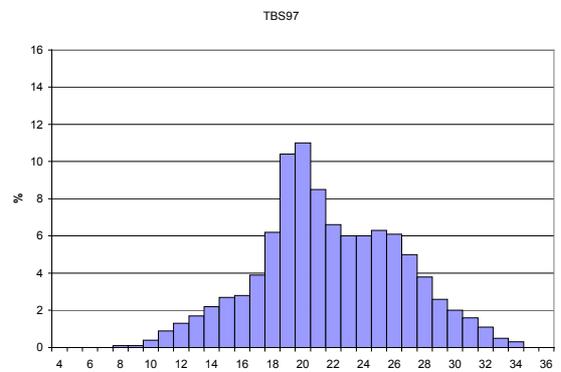
**FIGURA C-11-** Frequência de ocorrência de temperatura 1992



**FIGURA C-15-** Frequência de ocorrência de temperatura 1996

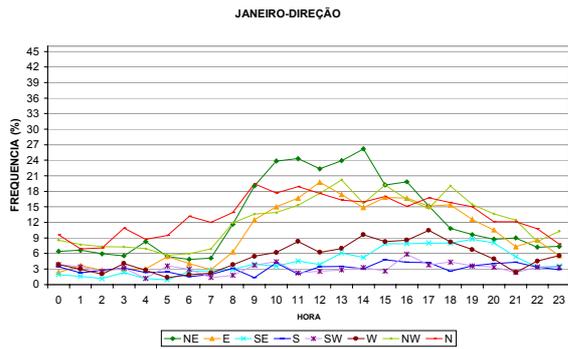


**FIGURA C-12-** Frequência de ocorrência de temperatura 1993

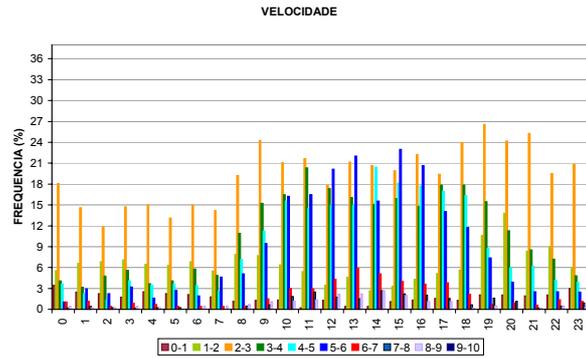


**FIGURA C-16-** Frequência de ocorrência de temperatura 1997

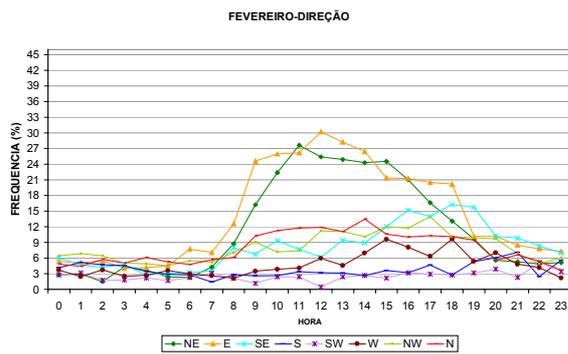
**ANEXO D - FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA HORÁRIA DOS VENTOS (DIREÇÃO E VELOCIDADE)**



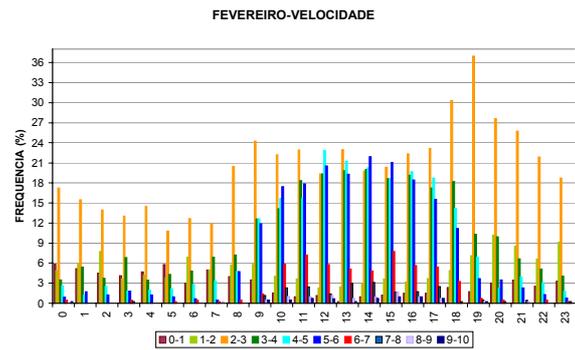
**FIGURA D-1** Frequência de direção- janeiro



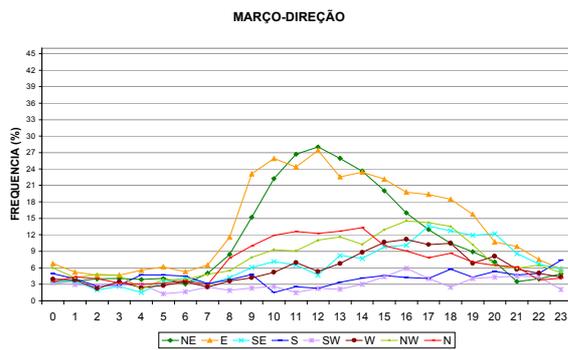
**FIGURA D-2** Frequência de velocidade- janeiro



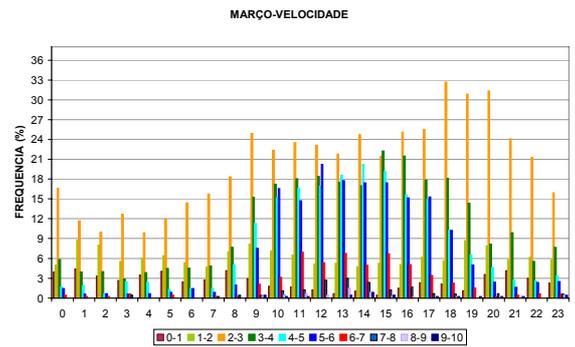
**FIGURA D-3** Frequência de direção- fevereiro



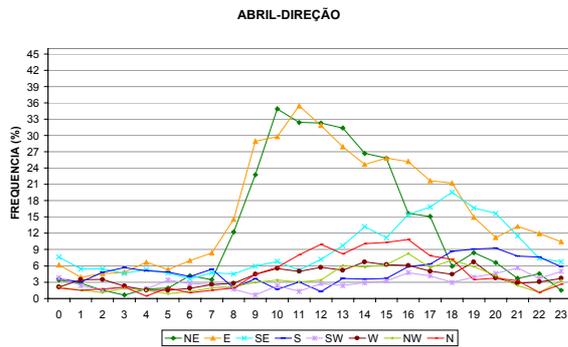
**FIGURA D-4** Frequência de velocidade- fevereiro



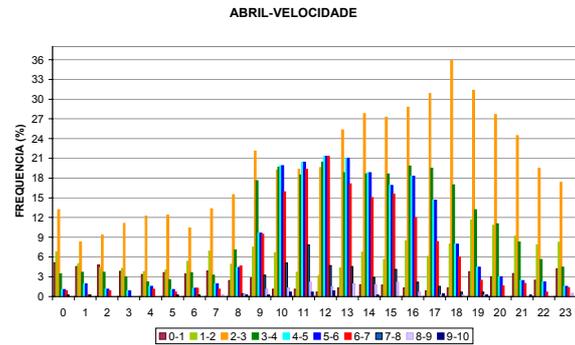
**FIGURA D-5** Frequência de direção- março



**FIGURA D-6** Frequência de velocidade- março



**FIGURA D-7** Frequência de direção- abril



**FIGURA D-8** Frequência de velocidade- abril

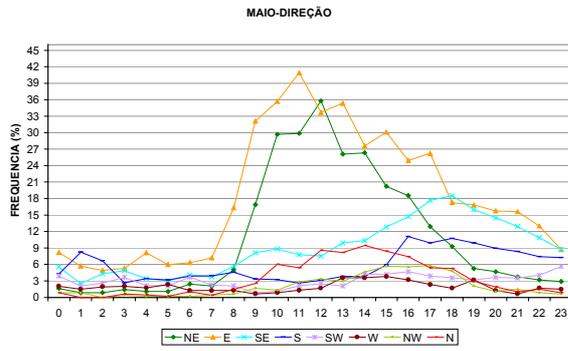


FIGURA D-9 Frequência de direção- maio

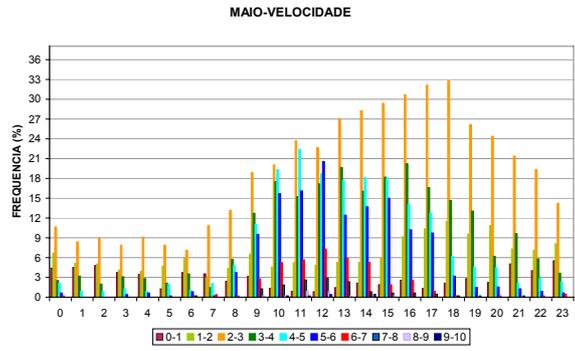


FIGURA D-10 Frequência de velocidade- maio

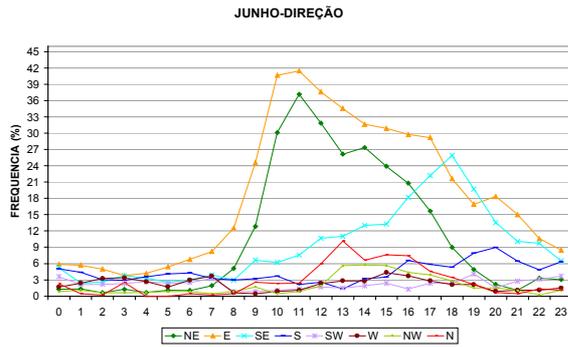


FIGURA D-11 Frequência de direção- junho

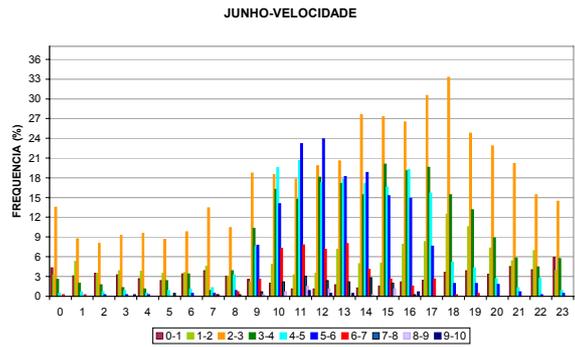


FIGURA D-12 Frequência de velocidade- junho

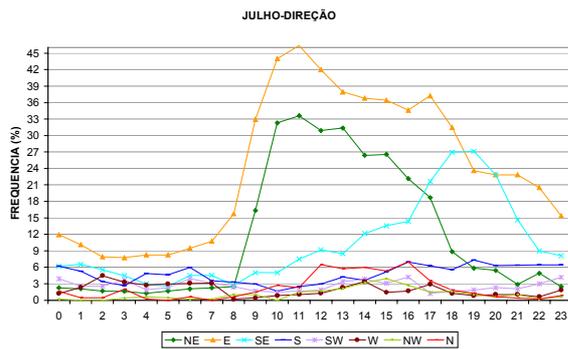


FIGURA D-13 Frequência de direção- julho

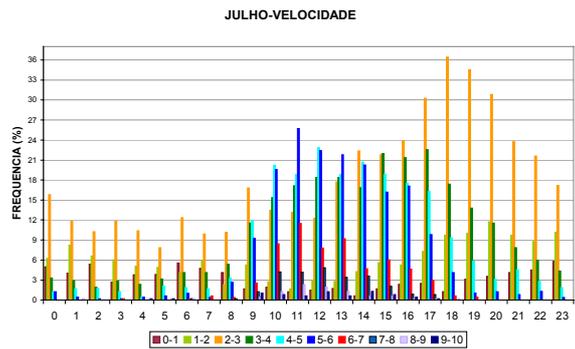


FIGURA D-14 Frequência de velocidade- julho

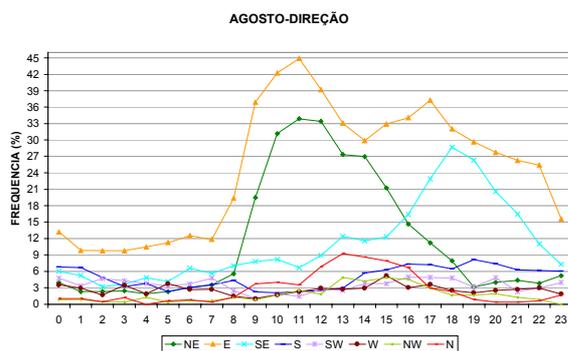


FIGURA D-15 Frequência de direção- agosto

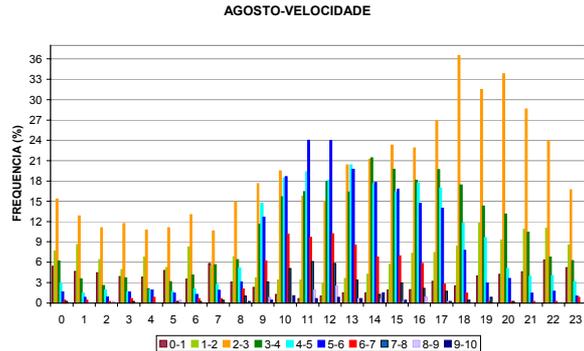


FIGURA D-16 Frequência de velocidade- agosto

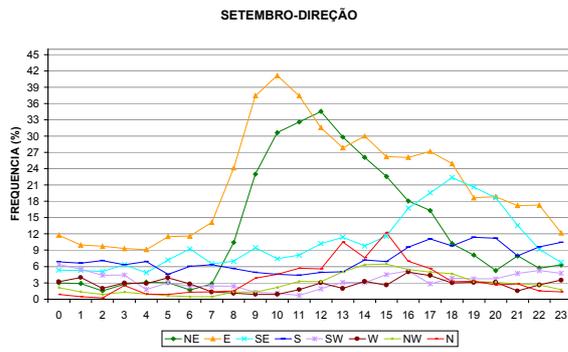


FIGURA D-17 Frequência de direção- setembro

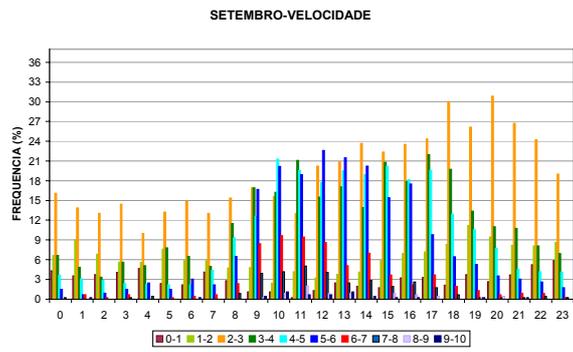


FIGURA D-18 Frequência de velocidade- setembro

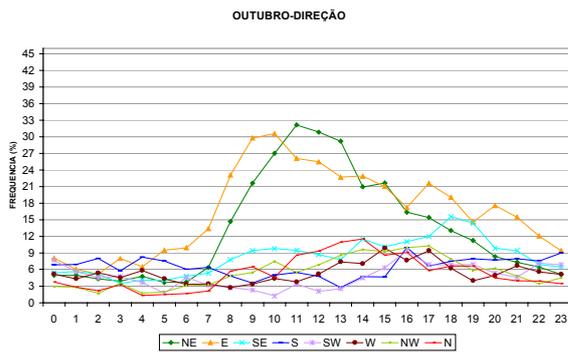


FIGURA D-19 Frequência de direção- outubro

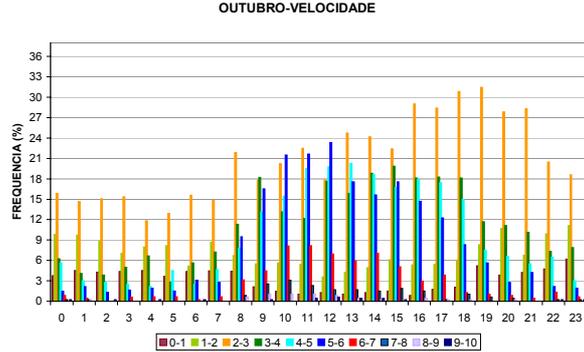


FIGURA D-20 Frequência de velocidade- outubro

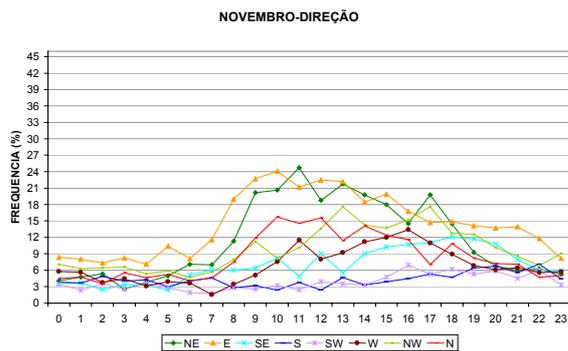


FIGURA D-21 Frequência de direção- novembro

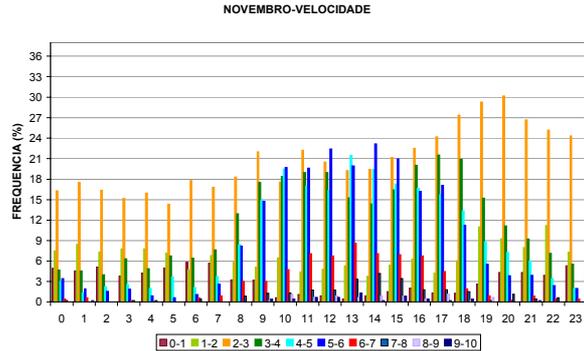


FIGURA D-22 Frequência de velocidade- novembro

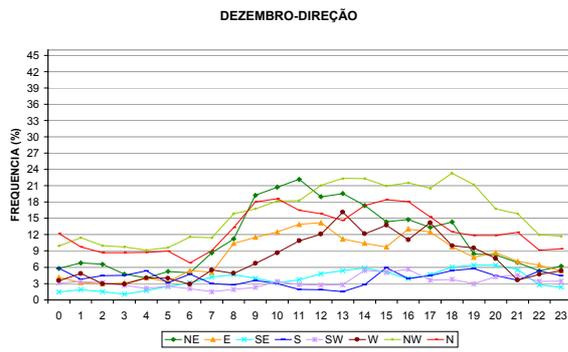


FIGURA D-23 Frequência de direção- dezembro

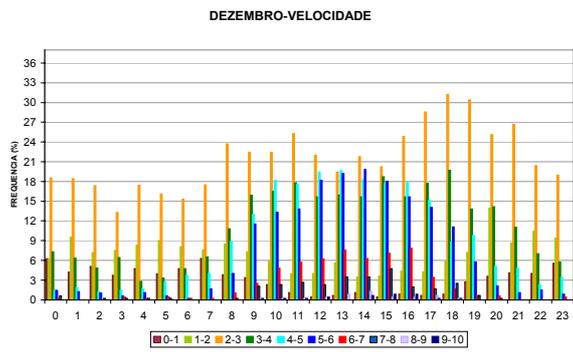


FIGURA D-24 Frequência de velocidade- dezembro

**ANEXO E- TABELAS DE MAHONEY, DADOS CLIMÁTICOS DE 1982 À 1997.**

TABELA 1

|             |                            |
|-------------|----------------------------|
| Localização | Planalto central do Brasil |
| Longitude   | 47° 30'                    |
| Latitude    | 15° 32'                    |

## Temperatura do Ar °C

|                    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                    | J    | F    | M    | A    | M    | J    | J    | A    | S    | O    | N    | D    |
| Máx. média mensal  | 27,9 | 28,3 | 28,1 | 28,1 | 27,4 | 26,5 | 26,5 | 28,1 | 29,3 | 29,2 | 28,3 | 27,5 |
| Mín. média mensal  | 18,1 | 18   | 18,1 | 17   | 14,9 | 11,9 | 11,7 | 13,4 | 16   | 17,7 | 18   | 18,4 |
| Ampl. média mensal | 9,8  | 10,3 | 10,0 | 11,1 | 12,5 | 14,6 | 14,9 | 14,6 | 13,3 | 11,4 | 10,2 | 9,1  |

## Máx. TMA

|      |      |
|------|------|
| 36,2 | 21,6 |
| 2,2  | 11,8 |

## Mín. AMA

## Umidade Relativa %

|                        |     |     |     |     |     |     |    |    |    |     |     |     |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|
| Máx. média mensal a.m. | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99 | 98 | 99 | 100 | 100 | 100 |
| Mín. média mensal p.m. | 30  | 32  | 33  | 34  | 29  | 22  | 20 | 18 | 16 | 21  | 26  | 31  |
| média                  | 76  | 76  | 78  | 75  | 72  | 67  | 61 | 56 | 58 | 67  | 74  | 76  |
| Grupo de umidade       | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 3   | 3  | 3  | 3  | 3   | 4   | 4   |

|                    |   |                       |               |
|--------------------|---|-----------------------|---------------|
| Grupo de umidade : | 1 | Se a média de UR for: | Abaixo de 30% |
|                    | 2 |                       | 30-50%        |
|                    | 3 |                       | 50-70%        |
|                    | 4 |                       | Acima de 70%  |

## Chuva e Vento

|                 |       |       |       |       |      |     |      |      |      |       |     |       |       |        |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|------|-----|------|------|------|-------|-----|-------|-------|--------|
| Precipitação mm | 241,4 | 214,7 | 188,9 | 123,8 | 39,3 | 8,8 | 11,8 | 12,8 | 51,9 | 172,1 | 238 | 248,6 | Total | 1552 l |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|------|-----|------|------|------|-------|-----|-------|-------|--------|

|                    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Vento predominante | N  | E  | E  | E  | E  | E  | E  | E  | E  | E  | E  | E  | NO |
| Vento secundário   | NE | N  |
|                    | J  | V  | M  | A  | M  | J  | J  | A  | S  | O  | N  | D  |    |

|                      |   |                   |       |             |       |                   |       |
|----------------------|---|-------------------|-------|-------------|-------|-------------------|-------|
| Limites de Conforto: |   | TMA acima de 20°C |       | TMA 15-20°C |       | TMA acima de 15°C |       |
|                      | 1 | Dia               | Noite | Dia         | Noite | Dia               | Noite |
| Grupo de umidade     | 2 | 26-34             | 17-25 | 23-32       | 14-23 | 21-30             | 12-21 |
|                      | 3 | 25-31             | 17-24 | 22-30       | 14-22 | 20-27             | 12-20 |
|                      | 4 | 23-29             | 17-23 | 21-28       | 14-21 | 19-26             | 12-19 |
|                      | 5 | 22-27             | 17-21 | 20-25       | 14-20 | 18-24             | 12-18 |

TABELA 2  
Diagnóstico: °C

|                            | J    | F    | M    | A    | M    | J    | J    | A    | S    | O    | N    | D    |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Máx. média mensal          | 27,9 | 28,3 | 28,1 | 28,1 | 27,4 | 26,5 | 26,5 | 28,1 | 29,3 | 29,2 | 28,3 | 27,5 |
| Conforto diário: superior  | 29   | 29   | 29   | 29   | 29   | 31   | 31   | 31   | 31   | 31   | 29   | 29   |
| Inferior                   | 23   | 23   | 23   | 23   | 23   | 25   | 25   | 25   | 25   | 25   | 23   | 23   |
| Mín. média mensal          | 18,1 | 18   | 18,1 | 17   | 14,9 | 11,9 | 11,7 | 13,4 | 16   | 17,7 | 18   | 18,4 |
| Conforto noturno: superior | 23   | 23   | 23   | 23   | 23   | 24   | 24   | 24   | 24   | 24   | 23   | 23   |
| Inferior                   | 17   | 17   | 17   | 17   | 17   | 17   | 17   | 17   | 17   | 17   | 17   | 17   |
| Stress térmico: diurno     | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    | C    |
| noturno                    | C    | C    | C    | F    | F    | F    | F    | F    | F    | C    | C    | C    |

TMA

21,6

## Indicadores

|       |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | Totais |
|-------|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|
| Umid: | H1 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 0      |
|       | H2 | x | x | x | X | X |   |   |   |   | X | X | 7      |
|       | H3 | X | X |   |   |   |   |   |   |   | X | X | 4      |
| Arid: | A1 |   |   |   |   |   | X | X | X | X | X |   | 5      |
|       | A2 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 0      |
|       | A3 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 0      |

| Aplicável quando significa:   | Indicador | Stress Térmico |       | Precipitação   | Grupo de umidade | Amplitude média mensal |
|-------------------------------|-----------|----------------|-------|----------------|------------------|------------------------|
|                               |           | Dia            | Noite |                |                  |                        |
| Movimento do ar essencial     | H1        | Q              |       |                | 4                |                        |
|                               |           | Q              |       |                | 2,3              | Menos de 10'           |
| Movimento do ar desejável     | H2        | C              |       |                | 4                |                        |
| Proteção da chuva necessária  | H3        |                |       | Acima de 200mm |                  |                        |
| Capacidade térmica necessária | A1        |                |       |                | 1,2,3            | Mais de 10'            |
| Dormitório externo necessário | A2        |                | Q     |                | 1,2              |                        |
|                               |           | Q              | C     |                | 1,2              | Mais de 10'            |
| Proteção contra o frio        | A3        | F              |       |                |                  |                        |

TABELA 3

| Totais indicadores da tabela2 |    |    |    |    |    |
|-------------------------------|----|----|----|----|----|
| H1                            | H2 | H3 | A1 | A2 | A3 |
| 0                             | 7  | 4  | 5  | 0  | 0  |

## Layout

|  |  |  |       |  |  |   |   |  |
|--|--|--|-------|--|--|---|---|--|
|  |  |  | 0-10  |  |  | X | 1 | Orientação norte- sul (eixo maior leste-oeste) |
|  |  |  | 11,12 |  |  |   |   |  |
|  |  |  |       |  |  |   |   |  |
|  |  |  |       |  |  |   | 2 | Planejamento de jardim compacto                |

## Área

|       |  |  |  |  |  |   |   |  |
|-------|--|--|--|--|--|---|---|--|
| 11,12 |  |  |  |  |  |   | 3 | Área aberta para penetração de brisa                 |
| 2-10  |  |  |  |  |  |   | 4 | Como opção3, mas proteção contra vento quente e frio |
| 0,1   |  |  |  |  |  | X | 5 | Lay-out compacto dos conjuntos                       |

## Movimento do ar

|      |      |  |      |  |  |   |   |   |
|------|------|--|------|--|--|---|---|---|
| 3-12 |      |  |      |  |  |   | 6 | Quartos alinhados, provisão permanente de movimento do ar |
| 1,2  |      |  | 0-5  |  |  |   |   |   |
|      |      |  | 6-12 |  |  | X | 7 | Quartos paralelos, provisão temporária de movimento do ar |
| 0    | 2-12 |  |      |  |  |   | 8 | Movimento do ar não requerido                             |
|      | 0,1  |  |      |  |  |   |   |   |

## Aberturas

|                            |  |  |       |  |     |   |    |                                  |
|----------------------------|--|--|-------|--|-----|---|----|----------------------------------|
|                            |  |  | 0,1   |  | 0   |   | 9  | Grandes aberturas, 40-80%        |
|                            |  |  | 11,12 |  | 0,1 |   | 10 | Aberturas muito pequenas, 10,20% |
| Quaisquer outras condições |  |  |       |  |     | X | 11 | Aberturas médias, 20,40%         |

## Paredes

|  |  |  |      |  |  |   |    |                                       |
|--|--|--|------|--|--|---|----|---------------------------------------|
|  |  |  | 0-2  |  |  |   | 12 | Paredes leves, pequeno atraso térmico |
|  |  |  | 3-12 |  |  | X | 13 | Paredes externas e internas pesadas   |

## Coberturas

|  |  |  |      |  |  |   |    |  |
|--|--|--|------|--|--|---|----|--|
|  |  |  | 0-5  |  |  | X | 14 | Leve, isolada  |
|  |  |  | 6-12 |  |  |   | 15 | Cobertura pesada, acima de 8 horas de atraso térmico |

## Dormitório externo

|  |  |  |  |      |  |  |    |  |
|--|--|--|--|------|--|--|----|--|
|  |  |  |  | 2-12 |  |  | 16 | Requerido espaço para dormitório externo |
|--|--|--|--|------|--|--|----|--|

## Proteção da chuva

|  |  |      |  |  |  |   |    |  |
|--|--|------|--|--|--|---|----|--|
|  |  | 3-12 |  |  |  | X | 17 | Necessária proteção contra chuva forte |
|--|--|------|--|--|--|---|----|--|