

**Universidade Federal de Minas Gerais**  
Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído Patrimônio Sustentável

**Jussara Grosch Ludgero Ramos**

**EFEITO DA INÉRCIA TÉRMICA EM  
EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS:  
ESTUDO DE CASO EM BELO HORIZONTE, MG**

**Belo Horizonte  
2010**

---

Jussara Grosch Ludgero Ramos

**EFEITO DA INÉRCIA TÉRMICA EM  
EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS:  
ESTUDO DE CASO EM BELO HORIZONTE, MG**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável.

Área de concentração: Bens Culturais, Tecnologia e Território

Orientadora: Profa. Eleonora Sad de Assis

Co-orientador: Prof. Fábio Gonçalves Jota

**Belo Horizonte  
Escola de Arquitetura da UFMG  
2010**

Autorizo a reprodução e a divulgação total ou parcial deste trabalho, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

#### FICHA CATALOGRÁFICA

R175e

Ramos, Jussara Grosch Ludgero.

Efeito da inércia térmica em edifícios de escritórios [manuscrito] : estudo de caso em Belo Horizonte, MG / Jussara Grosch Ludgero Ramos. - 2010.

161f. : il.

Orientadora: Eleonora Sad de Assis  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Conforto térmico. 2. Arquitetura e clima. 3. Edifícios comerciais – Belo Horizonte (MG). I. Assis, Eleonora Sad de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD: 720.47


---

## Universidade Federal de Minas Gerais

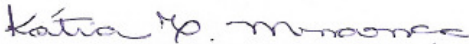
Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído Patrimônio Sustentável

Dissertação intitulada “*Efeito da Inércia Térmica em Edifício de Escritórios: Estudo de Caso em Belo Horizonte, MG*”, de autoria da mestranda Jussara Grosch Ludgero Ramos.

Comissão Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Fabio Gonçalves Jota (EEUFMG – co-orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Eleonora Sad de Assis (EAUFMG - orientadora)

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Kátia Cordeiro Mendonça (Pontifícia Universidade Católica do Paraná)

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Lucila Chebel Labaki (Universidade Estadual de Campinas)

Belo Horizonte, 02 de setembro de 2010.

***A Deus Pai Todo Poderoso***

*“A lei do Senhor é perfeita, e refrigera a alma; o testemunho do Senhor é fiel, e dá sabedoria aos simples” Sl 19:7*

---

## AGRADECIMENTOS

A meu senhor Deus, meu Salvador, que me resgatou e me deu uma vida nova, que está sempre ao meu lado, que me perdoa, ensina e me deu sabedoria para que cumprisse meu legado.

Agradeço especialmente à prof.<sup>a</sup> Eleonora Sad de Assis, que não apenas foi minha orientadora, foi companheira e amiga. Agradeço pelo seu ensino e ensinamentos, pelo primor científico e, ainda, pelo exemplo de conduta.

Ao prof. Fábio Gonçalves Jota, pela excelente orientação e pelos conhecimentos científicos instruídos.

À Raquel Rodrigues, bolsista pesquisadora participante desta pesquisa, pelo auxílio na árdua tarefa desempenhada e pelo procedimento exemplar.

Aos bolsistas do Programa de Vocação Científica Iara, Matheus e Ana Flávia pelo auxílio na coleta de dados.

Ao prof. José Rubens, sempre solícito, pelo exemplar ensino, pelo auxílio nesta pesquisa e na instrução em uma nova área de conhecimento.

Ao Laboratório de Controle e Processos Industriais, em especial à Hudson de Oliveira e Hugo Mendes no desenvolvimento e instalação do sistema de monitoramento ambiental utilizado na presente pesquisa.

Ao Departamento de Estradas e Rodagens de Minas Gerais, pela autorização do desenvolvimento da pesquisa do edifício sede e pela simpatia. Em particular ao Eng. Fernando Gomes (presidente da Comissão Interna de Conservação de Energia). À toda equipe da zeladoria, em especial Antônio Márcio (chefe do departamento), Agmar e Paulo. À gerência administrativa, em especial Paulo Márcio (diretor administrativo), Jéssica e Celma. À diretoria geral, em especial Dr. João Baeta (diretor-chefe), Dra. Conceição e Dawison. À diretoria financeira na pessoa da Dra. Geralda. À diretoria jurídica, em especial a Dr. Ronaldo, Mônica e Ronaldo. À procuradoria. Ao departamento de cálculo, em particular a Luis Henrique e Mairon. Ao departamento de convênios, em particular a Adilson, José Luis e Carmelo.

À Fundação Estadual do Meio Ambiente, Gerência de Gestão da Qualidade do Ar, pela concessão dos dados e auxílio na instalação de equipamento da UFMG junto à estação climatológica da praça Rui Barbosa. Em particular à Elisete Gomides (gerente), Rúbia Francisco (colega de mestrado), Álvaro, Edward e Charles.

À REGAP/PETROBRÁS na pessoa de Lourdes, pela autorização da instalação de equipamento da UFMG junto à estação climatológica da praça Rui Barbosa.

À Amós da COHIDRO pela instalação e instalação de equipamento da UFMG junto à estação climatológica da praça Rui Barbosa.

---

Ao 5º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia pela concessão dos dados climatológicos de Belo Horizonte. Em particular a Fulvio Cupolillo, Marco Túlio, Jorge, Silvio e Silvana.

Ao GreenSolar da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, pelo fornecimento de dados na pessoa do Prof. Lauro Vilhena.

À Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, Laboratório de Vazão de Gás do Setor de Testes Físicos na pessoa de Ramon Zeferino, Ricardo Teixeira e Maria Luiza dos Santos.

Às professoras Patrícia Romeiro da Silva Jota e Maria Eugênia Almeida Freitas pelo auxílio na pesquisa.

Às colegas Iraci Pereira, Camila Ferreira e Simone Hirashima, pela ajuda científica, pelo apoio e companheirismo.

Ao prof. Eduardo Cabaleiro, pela amizade, conselhos, ensinamentos e senso de humor.

À toda equipe do Laboratório de Conforto Ambiental da UFMG pela parceria, em especial à profa. Roberta Souza, pelo apoio e compreensão profissional dado num momento decisivo, à colega Jacqueline Vilela, pelos conselhos, à profa. Grace Gutierrez pelas sugestões de pesquisa dadas.

Aos colegas de mestrado pelo auxílio e companheirismo na caminhada durante o curso.

Às secretárias Victória, pelo trabalho prestado e por me lembrar de fazer a matrícula, e Arlete, pela ajuda presente.

Especialmente, a meu melhor amigo e eterno namorado, Leonardo, pela ajuda sempre presente, por sofrer e se alegrar junto. A ele meu eterno amor e agradecimento.

À minha família. Agradeço meus pais, Antônio e Corina, pelo apoio, ajuda, cuidado e amor. A eles meus eternos agradecimentos. Agradeço à Dorinha, minha sogra preferida, pela amizade e ajuda nos momentos difíceis e a meu irmão Murilo pelo zelo. Agradeço à querida e eterna vovó Eutália, exemplo de vida, de fé e de amor. Agradeço meus padrinhos Georgette e Vicente pelo apoio presente.

À minha conselheira e psicóloga, Ana Paula.

A meus amigos pela compreensão e apoio nesse momento de dedicação e ausência.

À todos que, de alguma forma, contribuíram para o cumprimento desta pesquisa.

---

## RESUMO

Tendo em vista a importância do desempenho térmico no consumo de energia de edifícios comerciais, este trabalho apresenta um estudo realizado num dos principais grupos consumidores do Brasil, o edifício escritório. Sabe-se que nesse tipo de edifício, as propriedades termo-físicas dos materiais e componentes da envoltória são as que têm maior influência no desempenho térmico da edificação, sendo responsáveis pelo elevado consumo por uso de condicionamento artificial do ar. Dessa forma, este estudo apresenta a análise da influência do fenômeno da inércia térmica de um edifício de escritórios através do estudo de caso situado na cidade de Belo Horizonte, MG. Utilizou-se como metodologia a análise experimental através de simulação computacional parametrizada no programa *EnergyPlus*<sup>®</sup> validada empiricamente. A validação utilizou os recursos de medição de variáveis climáticas e monitoramento das variáveis ambientais internas. Os experimentos parametrizados são baseados na alteração das características arquitetônicas e construtivas da fachada. Os protótipos sofrem variação dos seguintes parâmetros: classes de inércia das paredes externas, área envidraçada da fachada, inclusão de proteção solar das áreas transparentes. Observou-se que a inércia térmica é função da tipologia da fachada da edificação e varia conforme os fatores de percentual de área envidraçada da fachada, variação climática local, orientação solar da fachada, proteção solar das áreas transparentes da fachada, infiltração do ar, e, em menor grau, segundo a massa térmica das paredes externas. Concluiu-se que, para a tipologia de edifício escritório, que o material construtivo das paredes não possui influência significativa sobre as temperaturas do ar interno. Os resultados obtidos acrescentam conhecimento na descrição teórica do fenômeno da inércia térmica, bem como na avaliação de desempenho térmico de edifícios escritórios situados em clima tropical de altitude.

Palavras-chave: inércia térmica, edifício escritório, desempenho térmico, validação empírica, monitoramento, simulação térmica.

## ABSTRACT

In regard of the importance of the thermal performance in the energy consumption on commercial buildings, this dissertation presents a study about one of the most important consumer groups in Brazil, the office building. It is known that in this kind of building the thermo-physical properties of envelope materials and components have the great influence in the building thermal performance, being responsible for the high consume by the use of artificial air condition. Therefore, this dissertation presents an analysis of the influence of the thermal inertia of a typical office building by a case study in Belo Horizonte, MG. The methodology used was the experimental analysis by means of a parametric computational simulation in the *EnergyPlus*<sup>®</sup> program and empirically validated. The validation was made by the measurement of climatic variables and internal environmental variables monitoring. The parametrics experiments are based on the changing of the architectural and constructive characteristics of the façade. The prototypes vary in function of the following parameters: classes of inertia of the external walls, glazed area of the façade, inclusion of solar protection of the translucent areas. It was observed that the thermal inertia is function of the building façade typology and varies in accordance with the percentage of the glazed area of the façade, the solar protection of the façade translucent areas, air infiltration, and, at lesser extent, the thermal mass of the external walls. It was concluded that, for the office building typology, the constructive material of the walls do not have expressive influence on the internal air temperature. The results obtained contribute to a theoretical understanding of the thermal inertia phenomena, as well as the thermal performance valuation of the office buildings situated in tropical climate of altitude.

Key words: thermal inertia, office building, thermal performance, empirical validation, monitoring, thermal simulation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo de avaliação do desempenho térmico de edificações não condicionadas (adaptado de Akutsu e Vittorino, 1991) .....	16
Figura 2 - Esquema de programação do <i>EnergyPlus</i> <sup>®</sup> . (Fonte: adaptado e traduzido de DOE, 2010a, p. 5) .....	19
Figura 3 - Efeito de Inércia Térmica segundo Szokolay. Fonte: adaptado de Roriz (1996, p. 18) .....	27
Figura 4 - Efeito de Inércia Térmica segundo Rivero. Fonte: Adaptado de Rivero (1986, p. 44) .....	28
Figura 5 - Distribuição de temperatura de uma placa finita em qualquer instante temporal, ambas as faces sofrem a mesma variação periódica de temperatura. Fonte: Groeber, 1921 apud Jakob, 1949, p. 301).....	30
Figura 6 - Foto da fachada principal da edificação retirada às margens da Avenida dos Andradas .....	37
Figura 7 - Localização do estado de Minas Gerais, do município de Belo Horizonte e das localidades analisadas: edifício e estações climatológicas dentro da cidade. Fonte: mapa da esquerda (disponível em: < <a href="http://www.wikipedia.org">http://www.wikipedia.org</a> >, acesso em junho de 2010); mapa da direita (adaptado do catálogo de Belo Horizote da TELEMAR, 2001)..	38
Figura 8 - Dados climatológicos de Belo Horizonte. Fonte de dados de BRASIL (1992).	39
Figura 9 - Diagrama Bioclimático de Givoni plotado sobre carta psicrométrica de Belo Horizonte. Valores médios mensais das normais climatológicas período 1961-1990 (Fonte de dados: BRASIL, 1992).....	40
Figura 10 - Foto aérea do entorno próximo ao edifício sede do DER-MG. Fonte: Disponível em: < <a href="http://maps.google.com.br">http://maps.google.com.br</a> >, acesso em: junho de 2010 .....	41
Figura 11 - Diagrama sequencial dos procedimentos metodológicos .....	46
Figura 12 - Exemplo de tabela para levantamento em campo das características da edificação e das fontes internas de calor.....	48
Figura 13 - Exemplo de tabela síntese: descrição dos componentes e cargas internas	50
Figura 14 - Plantas esquemáticas do 3º e 4º pavimentos (em destaque os ambientes analisados).....	51

---

Figura 15 - Foto dos sensores junto à torre metálica da estação climatológica da FEAM. Anemômetro da SOLAR instalado logo abaixo do sensor padrão da estação climatológica.....	53
Figura 16 - Foto do sistema de monitoramento integrado ao ambiente analisado .....	55
Figura 17 - Fotos do conjunto sensores-transmissores e sensores magnéticos instalados .....	57
Figura 18 - Setorização dos ambientes analisados e disposição do cabeamento do sistema de monitoramento.....	57
Figura 19 - Perspectiva do modelo tridimensional do modelo 1 - parede envidraçada	66
Figura 20 - Planta esquemática das zonas térmicas do 3º e 4º pavimentos com destaque para os ambientes analisados: sala nordeste (3NE – sala na fachada NE situada no 3º pavimento) e sudoeste (4SO – sala na fachada SO situada no 4º pavimento) .....	67
Figura 21 - Fotos dos detalhes das frestas da esquadria (indicadas com setas).....	71
Figura 22 - Perspectiva do modelo 2 – janela de 18% da área de piso, sem proteção solar.....	75
Figura 23 - Perspectiva do modelo 3 - janela de 18% da área de piso, com proteção solar.....	75
Figura 24 - Perspectiva do modelo 4 – janela de 10% da área de piso, sem proteção solar.....	75
Figura 25 - Carta solar de Belo Horizonte com traçado em vermelho da orientação solar das fachadas principais (nordeste, azimute 33° e sudoeste, azimute 213°) da edificação. Fonte: Carta solar gerada pelo programa SOL-AR 3.2 produzido pela UFSC86	
Figura 26 - Localização das estações climatológicas utilizadas e do edifício analisado	128
Figura 27 - Foto da sala de controle com medição dos equipamentos do tipo HOBO U12-012. Em (a), foto da sala com ambiente fechado e localização da mesa no centro do ambiente; em (b), detalhe do equipamento sobre a mesa no centro da sala. ....	137
Figura 28 - Foto dos equipamentos tipo HOBO U12-012 dentro do abrigo da estação principal do INMET/5DISME em Belo Horizonte.....	138

---

Figura 29 - Foto do equipamento HOBO U12-012 junto aos sensores de monitoramento .....	138
--	-----

---

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variação de Temperatura do ar interno no período de monitoramento, sala nordeste (dias 16 e 17 de agosto). .....	81
Gráfico 2 - Variação de Temperatura do ar interno no período de monitoramento, sala nordeste (dias 23 e 24 de agosto). .....	81
Gráfico 3 - Variação de Temperatura do ar interno no período de monitoramento, sala nordeste (dias 30 e 31 de agosto). .....	82
Gráfico 4 - Variação de Temperatura do ar interno no período de monitoramento, sala sudoeste (dias 16 e 17 de agosto). .....	82
Gráfico 5 - Variação de Temperatura do ar interno no período de monitoramento, sala sudoeste (dias 23 e 24 de agosto). .....	83
Gráfico 6 - Variação de Temperatura do ar interno no período de monitoramento, sala sudoeste (dias 30 e 31 de agosto). .....	83
Gráfico 7 - Correlação de Temperatura do ar interno monitorada contra a simulada, sala nordeste (dias 16, 17, 23, 24, 30 e 31 de agosto). .....	84
Gráfico 8 - Correlação de Temperatura do ar interno monitorada contra a simulada, sala sudoeste (dias 16, 17, 30 e 31 de agosto).....	85
Gráfico 9 - Variação de Temperatura interna e externa dos experimentos, período de verão, sala nordeste.....	88
Gráfico 10 - Variação de Temperatura interna e externa dos experimentos, período de verão, sala sudoeste .....	89
Gráfico 11 - Variação de Temperatura interna e externa dos experimentos, período de inverno, sala nordeste.....	90
Gráfico 12 - Variação de Temperatura interna e externa dos experimentos, período de inverno, sala sudoeste .....	91
Gráfico 13 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala nordeste, P1 .....	95
Gráfico 14 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala nordeste, P2P ...	96
Gráfico 15 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala nordeste, P2L....	96
Gráfico 16 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala nordeste, P3P ...	97

---

Gráfico 17 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala nordeste, P3L....	97
Gráfico 18 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala nordeste, P4P ...	98
Gráfico 19 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala nordeste, P4L....	98
Gráfico 20 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala sudoeste, P1 .....	99
Gráfico 21 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala sudoeste, P2P ...	99
Gráfico 22 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala sudoeste, P2L .	100
Gráfico 23 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala sudoeste, P3P .	100
Gráfico 24 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala sudoeste, P3L .	101
Gráfico 25 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala sudoeste, P4P .	101
Gráfico 26 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala sudoeste, P4L .	102
Gráfico 27 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala nordeste, P1	102
Gráfico 28 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala nordeste, P2P .....	103
Gráfico 29 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala nordeste, P2L .....	103
Gráfico 30 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala sudoeste, P1	104
Gráfico 31 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala sudoeste, P2P .....	104
Gráfico 32 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala sudoeste, P2L .....	105
Gráfico 33 - Percentual das cargas internas média dos períodos de verão e de inverno dos protótipos P1 e P4P em função da orientação da fachada .....	108
Gráfico 34 - Variação de temperatura superficial dos protótipos P1, P2P e P2L, período de verão, sala nordeste.....	111
Gráfico 35 - Variação de temperatura superficial dos protótipos P1, P2P e P2L, período de verão, sala sudoeste.....	111
Gráfico 36 - Variação de temperatura superficial dos protótipos P1, P2P e P2L, período de inverno, sala nordeste.....	112

---

Gráfico 37 - Variação de temperatura superficial dos protótipos P1, P2P e P2L, período de inverno, sala sudoeste.....	112
Gráfico 38 - Correlação de temperatura de bulbo seco do ar entre FEAM e INMET-Pampulha, período de 01 de agosto a 02 de setembro .....	129
Gráfico 39 - Correlação de temperatura de bulbo seco do ar entre FEAM e INMET/5DISME, período de 01 de agosto a 02 de setembro .....	129
Gráfico 40 - Correlação de umidade relativa do ar entre FEAM e INMET-Pampulha, período de 01 de agosto a 02 de setembro .....	130
Gráfico 41 - Correlação de umidade relativa do ar entre FEAM e INMET/5DISME, período de 01 de agosto a 02 de setembro .....	130
Gráfico 42 - Variação de Radiação Solar do INMET-Pampulha e do Green-Solar da PUC-MG, período 07 a 11 de julho.....	131
Gráfico 43 - Correlação de Radiação Solar entre os dados das estações do INMET-Pampulha e GREEN-Solar da PUC-MG, período 07 a 11 de julho .....	132
Gráfico 44 - Variação de temperatura dos equipamentos tipo HOBO U12-012 na sala de controle. ....	137
Gráfico 45 - Variação de temperatura do HOBO U12-012 e dos equipamentos do INMET/5DISME.....	140
Gráfico 46 - Correlação entre temperatura do HOBO U12-012 e termômetro de vidro do INMET/5DISME. ....	140
Gráfico 47 - Variação de umidade relativa do HOBO U12-012 e do termohigrógrafo do INMET/5DISME. ....	141
Gráfico 48 - Correlação entre umidade relativa do HOBO U12-012 e do termohigrógrafo do INMET/5DISME. ....	141
Gráfico 49 - Variação de temperatura do ar, ajuste dos dados monitorados contra o equipamento padrão. ....	142
Gráfico 50 - Correlação entre valores de temperatura do ar do equipamento padrão contra os dados ajustados do sistema de monitoramento. ....	142
Gráfico 51 - Consumo horário do Ar Condicionado em <i>standby</i> do 3º e 4º pavimento no período de monitoramento.....	150

---

Gráfico 52 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala nordeste, P3P .....	151
Gráfico 53 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala nordeste, P3L .....	151
Gráfico 54 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala nordeste, P4P .....	152
Gráfico 55 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala nordeste, P4L .....	152
Gráfico 56 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala sudoeste, P3P .....	153
Gráfico 57 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala sudoeste, P3L .....	153
Gráfico 58 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala sudoeste, P4P .....	154
Gráfico 59 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala sudoeste, P4L .....	154

---

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Transmissão térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa .....	32
Tabela 2 - Classe de inércia .....	32
Tabela 3 - Coeficiente de inércia segundo o peso e resistência térmica do revestimento da superfície envoltória .....	33
Tabela 4 - Fator de amortecimento de acordo com a classe de inércia do ambiente ...	33
Tabela 5 - Coeficientes de amortecimento e atraso do fluxo de calor para construções típicas .....	34
Tabela 6 - Classificação do tipo de construção segundo Fator de Resposta .....	35
Tabela 7 - Características das estações climatológicas utilizadas .....	41
Tabela 8 - Descrição das características dos ambientes analisados.....	52
Tabela 9 - Especificações técnicas dos equipamentos de medição das variáveis climáticas.....	54
Tabela 10 - Valores de vazão de ar calculados conforme Creder (1996) .....	56
Tabela 11 - Valores de vazão de ar calculados conforme ASHRAE (1993) .....	56
Tabela 12 - Descrição da condição das variáveis climáticas coletadas .....	63
Tabela 13 - Descrição do tratamento dos dados das variáveis monitoradas .....	64
Tabela 14 - Exemplo do ajuste do valor dos dados monitorados de temperatura de bulbo seco pela equação de regressão linear e da variação de tempo .....	65
Tabela 15 - Características geométricas do ambiente analisado e do modelo de validação.....	68
Tabela 16 - Características dos materiais construtivos do modelo de validação .....	70
Tabela 17 - Dados de carga interna dos ambientes analisados .....	71
Tabela 18 - Valores calculados de fluxo de infiltração .....	72
Tabela 19 - Valores de rotinas de uso do modelo de simulação.....	73
Tabela 20 - Descrição dos Protótipos .....	74

---

Tabela 21 - Composições e características das paredes dos protótipos 2, 3 e 4 .....	76
Tabela 22 - Características dos materiais construtivos dos protótipos 2, 3 e 4 .....	77
Tabela 23 - Resultados estatísticos de comparação entre os dados monitorados e simulados.....	85
Tabela 24 - Dados de radiação solar total incidente nas fachadas .....	87
Tabela 25 - Valores de temperaturas internas, atraso e amortecimento da temperatura do ar .....	94
Tabela 26 - Dados de saldo diário de calor transmitido ao ambiente por convecção pelas superfícies nos diversos protótipos.....	107
Tabela 27 - Valores de atraso e amortecimento da temperatura superficial simuladas. ....	113
Tabela 28 - Especificações técnicas dos equipamentos de aferição do sistema de monitoramento. ....	136
Tabela 29 - Dados de temperatura e umidade relativa do ar registrado pelo HOBO padrão e pelos instrumentos da estação principal de Belo Horizonte (5ª DISME/INMET).....	139
Tabela 30 - Dados Finais Tratados do Monitoramento Ambiental, sala nordeste. ....	143
Tabela 31 - Dados Finais Tratados do Monitoramento Ambiental, sala sudoeste. ....	146

---

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APO	Avaliação Pós-ocupação
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers</i>
CABO	<i>Council of American Building Officials</i>
CEFET-MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CICE	Comissão Interna de Conservação de Energia
CMUF	Centro de Monitoramento de Usos Finais
COP	Coeficiente de performance
CPEI	Centro de Pesquisa em Energia Inteligente
CTF	<i>Conduction Transfer Function</i>
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DOE	<i>United States Department of Energy</i>
DPI	Densidade de potência interna
EMPD	<i>Effective Moisture Penetration Depth</i>
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FIC	Fontes internas de calor
FR	Fator de resposta
HAMT	<i>Combined Heat and Moisture Transfer</i>
HVAC	<i>Heating Ventilating and Air Conditioning</i>
IECC	<i>International Energy Conservation Code</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ISO	International Organization for Standardization
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
LABCON	Laboratório de Conforto Ambiental da Escola de Arquitetura da UFMG
LCPI	Laboratório de Controle e Processos Industriais
NBR	Norma brasileira
PAF	Percentual de área de abertura na fachada
PJF	Percentual de área de janela na fachada
PLEA	<i>Conference on Passive and Low Energy Architecture</i>

---

PMV	<i>Predicted mean vote</i>
PPD	<i>Predicted percentage of dissatisfied</i>
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PUC	Pontifícia Universidade Católica do Estado de Minas Gerais
SERPRO	Serviço Federal de Processamento de Dados
TBS	Temperatura de bulbo seco
TRM	Temperatura radiante média
TRY	<i>Typical Reference Year</i>
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A_i$	Área da superfície envoltória ( $m^2$ )
$A_p$	Área de piso do ambiente ( $m^2$ )
$A_{te}$	Amplitude da temperatura máxima externa ( $^{\circ}C$ )
$A_{ti}$	Amplitude da temperatura máxima interna ( $^{\circ}C$ )
$c$	Calor específico ( $kJ/kg^{\circ}C$ )
$C_t$	Capacidade térmica do componente ( $kcal/m^2^{\circ}C$ )
$C_{text}$	Capacidade térmica da camada externa do componente ( $kcal/m^2^{\circ}C$ )
$I$	Fator de inércia
$L$	Espessura do material (m)
$\tilde{q}$	Desvio da taxa de fluxo térmico em torno da sua média ( $W/m^2$ )
$q''_{ki}$	Fluxo de calor por condução na face interna ( $W/m^2$ )
$q''_{ko}$	Fluxo de calor por condução na face externa ( $W/m^2$ )
$qa$	$\Sigma AY =$ taxa do fluxo térmico da admitância total do ambiente ( $W/^{\circ}C$ )
$qc$	$\Sigma AU =$ taxa do fluxo térmico devido à condução ( $W/^{\circ}C$ )
$qv$	Taxa do fluxo térmico devido à ventilação ( $W/^{\circ}C$ )
$R_{nv}$	Número de renovações por hora
$R_t$	Resistência térmica de superfície a superfície do componente ( $m^2^{\circ}C/W$ )
$S_{ep}$	Superfície equivalente pesada ( $m^2$ )
$T$	Período da onda (h)
$\tilde{t}$	Desvio da temperatura ambiental em torno da sua média ( $^{\circ}C$ )
$T_i$	Temperatura superficial interna ( $^{\circ}C$ )
$T_o$	Temperatura superficial externa ( $^{\circ}C$ )
$V$	Volume do ambiente ( $m^3$ )
$x$	Distância (m)
$X_j$	Coeficiente CTF exterior
$Y$	Admitância da vedação ( $W/m^2^{\circ}C$ )
$y$	Coeficiente segundo o peso e resistência térmica do revestimento da superfície
$Y_j$	Coeficiente CTF de ventilação cruzada
$Z_j$	Coeficiente CTF interior
$\theta$	Variação temporal
$\theta_s$	Amplitude da temperatura externa do ar ( $^{\circ}C$ )

---

$\rho$	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )
$\Phi_j$	Coefficiente CTF de fluxo
$\omega_s$	Amplitude da temperatura superficial interna de um fechamento (°C)
$\alpha$	Difusividade térmica (m <sup>2</sup> /h ou m <sup>2</sup> /s)
$\varphi$	Atraso térmico (h)
$\lambda$	Condutividade térmica (W/m°C)
$\mu$	Coefficiente de amortecimento térmico
$\pi$	Constante

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	2
1.1. Objeto de trabalho .....	4
1.2. Objetivos .....	4
1.2.1. Geral.....	4
1.2.2. Específicos .....	4
1.3. Estrutura do trabalho.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	7
2.1. Comportamento Térmico dos Edifícios .....	7
2.2. Metodologias de Análise de Desempenho Térmico de Edificações.....	12
2.2.1. Normalizações técnicas.....	12
2.2.2. Metodologias existentes.....	13
2.2.3. Simulação Computacional.....	18
2.2.3.1. O Modelo do Programa EnergyPlus® .....	18
2.2.3.2. Validação Empírica do Modelo de Simulação .....	22
2.2.4. O Monitoramento Contínuo .....	22
2.3. A inércia térmica de edificações.....	23
2.3.1. As variáveis envolvidas no desempenho térmico de edificações .....	23
2.3.2. O Fenômeno da Inércia Térmica .....	24
2.3.2.1. Definição .....	24
2.3.2.2. Modelos de cálculo .....	26
2.3.2.3. Determinação da classe de Inércia.....	31
3. DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO ANALISADO .....	37
3.1. Descrição da localidade .....	37
3.2. Descrição da edificação.....	42
4. METODOLOGIA .....	44
4.1. Coleta de dados da edificação.....	46
4.1.1. Levantamento das características construtivas, fontes internas de calor e rotinas de uso e ocupação .....	47
4.1.2. Estimativa da carga de calor interna: equipamentos e ocupação .....	48
4.1.3. Seleção dos ambientes .....	49
4.2. Variáveis, medição e monitoramento .....	53
4.2.1. Medição das variáveis climáticas do ambiente externo.....	53
4.2.1.1. Descrição dos equipamentos .....	54
4.2.2. Medição das variáveis ambientais da edificação .....	54
4.2.2.1. Instalação do sistema de monitoramento no edifício.....	56
4.3. Validação empírica do modelo de simulação .....	58
4.4. Descrição dos experimentos .....	59
5. TRATAMENTO DA BASE DE DADOS E DESCRIÇÃO DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO..	62
5.1. Tratamento dos dados.....	62
5.1.1. Tratamento dos dados climatológicos.....	62
5.1.2. Tratamento dos dados monitorados da edificação.....	63
5.2. Descrição dos modelos de simulação da edificação .....	66
5.2.1. Modelo de validação empírica .....	66

---

5.2.1.1.	Descrição do modelo tridimensional.....	66
5.2.1.2.	Descrição dos parâmetros de simulação.....	68
5.2.1.3.	Descrição dos materiais construtivos.....	69
5.2.1.4.	Descrição das cargas internas.....	70
5.2.1.5.	Descrição da infiltração e ventilação.....	71
5.2.1.6.	Descrição das rotinas de uso.....	73
5.3.	Modelos edifícios dos experimentos.....	73
6.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	79
6.1.	Resultados da Validação Empírica do Modelo de Simulação.....	79
6.2.	Resultados dos Experimentos.....	86
7.	CONCLUSÃO.....	116
	REFERÊNCIAS.....	120
	APÊNDICES.....	127
1.	Aferição dos equipamentos dos dados climáticos.....	128
2.	Cálculo estimado da radiação solar direta e difusa.....	133
3.	Aferição dos equipamentos de medição de dados ambientais da edificação.....	136
4.	Dados tratados do Monitoramento Ambiental.....	143
5.	Resultados dos Experimentos.....	151
	ANEXOS.....	155

# CAPÍTULO 1

---

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente a energia é significado de qualidade de vida e é utilizada para o crescimento da economia através da indústria e comércio, o que a torna indispensável à sociedade mundial. A crise energética tem ligação com a escassez dos recursos naturais que é uma das grandes fontes de energia, tal como o petróleo, o carvão mineral, o gás mineral. No Brasil, a crise energética está ligada à redução do regime de chuvas que gera problema para a principal fonte de energia elétrica. Além disso, nos últimos anos, ocorre uma tendência de aumento da demanda de consumo ao mesmo tempo em que a capacidade de geração energética diminui. Assim, diversas ações estão sendo feitas em nível mundial para a economia e conservação de energia. Alguns países têm adotado algumas políticas de conservação além da criação de normalização e certificação de eficiência energética em edifícios.

Como solução ao desperdício de energia elétrica em edificações, o Brasil tem adotado políticas de racionalização do uso da energia, entretanto essas iniciativas são recentes e ainda incipientes. Em outubro de 2003, foi instituído o PROCEL<sup>1</sup> Edifica no âmbito do qual foi lançado a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios (Brasil, 2009).

Existe, entretanto, a necessidade do aprimoramento de conhecimento para a determinação de índices de desempenho de eficiência e conservação energéticas através de exigências de soluções arquitetônicas e de engenharia favoráveis ao desempenho ambiental no interior dos edifícios. As bases científicas que estabelecem critérios de desempenho energético em edificações condicionadas naturalmente ainda não são amplamente conhecidas e/ou desenvolvidas, principalmente para as edificações localizadas em regiões tropicais.

No Brasil, observando a participação dos grandes setores de edificações no consumo energético nacional, as edificações comerciais e públicas são o segundo maior consumidor, correspondendo a 22,6% do consumo energético total do país em 2006 segundo o Balanço Energético Nacional (Brasil, 2007). Pode-se dizer que uma das causas desse grande consumo é devido à inadequação bioclimática das edificações, fazendo necessário o uso de sistemas artificiais para o conforto ambiental no interior da edificação. O condicionamento de ar é um dos maiores responsáveis por esse consumo, correspondendo, em média, a 48% do uso final no setor comercial nacional, sendo que nos edifícios escritórios esse uso corresponde a cerca de 34% do consumo,

---

<sup>1</sup> PROCEL é o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica do governo federal.

---

segundo dados do PROCEL (publicados por Lamberts; Dutra e Pereira, 2004). Percebe-se, assim, que o desempenho energético da edificação depende do desempenho térmico, o qual influencia no consumo de sistemas prediais, tais como o sistema de condicionamento de ar.

Assim sendo, torna-se preeminente a necessidade de conservação de energia em edifícios comerciais, através de exigências de soluções arquitetônicas e de engenharia favoráveis ao conforto ambiental no interior dos edifícios, além da diminuição do desperdício na utilização de sistemas artificiais de controle ambiental no setor. Para tal, é necessário obter critérios de avaliação das edificações referentes ao desempenho termo-energético.

Estudos como o de Loura (2006) e Signor (2001) apontam que características da envoltória são fundamentais para o desempenho termo-energético dos edifícios. As principais características da envoltória da edificação que possuem grande participação no comportamento térmico dos ambientes internos, observados na literatura são: orientação solar das fachadas, percentual de área envidraçada da fachada, proteção solar das janelas, transmitância da parede externa, fator solar dos vidros. Outros estudos demonstram que a massa térmica dos componentes construtivos das paredes é uma estratégia bioclimática de grande importância que pode auxiliar na redução das amplitudes das temperaturas internas. Um exemplo é o estudo de Dorneles (2004), o qual indica que a inércia térmica das paredes possui grande influência no desempenho de conforto térmico da edificação.

Tendo em vista a necessidade de aprofundamento dos estudos sobre o desempenho térmico de edificações para os climas do Brasil, este trabalho apresenta uma análise de desempenho térmico de edificações realizado num dos principais grupos consumidores do Brasil, o edifício de escritórios. Analisa-se a influência do fenômeno da inércia térmica através do estudo de caso situado na cidade de Belo Horizonte, MG. O presente trabalho tem como hipótese de que a inércia térmica das paredes da fachada em tipologia de edifício de escritórios possui influência no desempenho térmico do ambiente interno.

Utilizou-se como metodologia a análise experimental através de simulação computacional parametrizada no programa *EnergyPlus*<sup>®</sup>. A descrição dos experimentos é feita a partir da validação empírica do modelo de simulação que garantirá a confiabilidade dos resultados. A validação do modelo de simulação utiliza os recursos de medição de variáveis climáticas e monitoramento das variáveis ambientais internas.

Inicialmente, é feito um levantamento, a partir de técnicas de Avaliação Pós-Ocupação, para a determinação dos ambientes a serem estudados e para o levantamento das características construtivas e das fontes internas de calor. Posteriormente, são feitas as coletas dos dados das variáveis climáticas a partir das estações meteorológicas locais e das variáveis internas a partir do monitoramento remoto instalado nos ambientes escolhidos. O modelo de simulação é desenvolvido a partir da coleta de dados. Assim, é feita a análise comparativa entre as variáveis ambientais medidas e as resultantes da simulação.

Por fim, são feitas as simulações experimentais sob condições de ausência total de fontes internas de calor devidas à ocupação, avaliando a influência exclusiva das variações climáticas e das características construtivas da edificação. Os experimentos possuem diferentes características arquitetônicas e construtivas da fachada conforme os seguintes parâmetros: classes de inércia das paredes externas, área envidraçada da fachada e inclusão de proteção solar das áreas transparentes.

### **1.1. Objeto de trabalho**

Desenvolver análise sobre a influência das fachadas no comportamento da inércia térmica de edifício escritório através de estudo de caso localizado no município de Belo Horizonte, MG, de clima tropical de altitude.

### **1.2. Objetivos**

#### **1.2.1. Geral**

Estudar o efeito da inércia térmica em um edifício escritório a partir de análise parametrizada dos componentes da envoltória através de simulação computacional validada empiricamente.

#### **1.2.2. Específicos**

- Identificar as características da envoltória que influem no efeito da inércia térmica de um edifício do tipo escritório;
- Analisar a influência da envoltória no balanço térmico final do ambiente interno;
- Analisar a variação térmica e os efeitos de atraso e amortecimento das temperaturas do ar e das temperaturas superficiais de experimentos

---

parametrizados, alterando as características da fachada de um edifício escritório;

- Analisar qual a influência da inércia térmica dos componentes de vedação da envoltória sobre os efeitos de atraso e amortecimento das temperaturas do ar do ambiente interno em edifício de escritórios;
- Analisar os efeitos de atraso e amortecimento térmico de paredes com diferentes composições construtivas de classe de inércia leve e pesada;
- Analisar a influência das variáveis climáticas envolvidas no fenômeno da inércia térmica de edificações.

### **1.3. Estrutura do trabalho**

Este trabalho está organizado em 15 partes. Além deste primeiro capítulo, onde o tema e os objetivos são apresentados, outros 6 capítulos compõem o trabalho e mais 5 apêndices e 3 anexos. O Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica – apresenta o marco teórico relacionado ao tema de desempenho térmico em edificações. O Capítulo 3 – Descrição do Caso Analisado – descreve o edifício selecionado como caso de estudo e a localidade em que se encontra, apresentando as características climáticas do município de Belo Horizonte. O Capítulo 4 – Metodologia – expõe os métodos e técnicas utilizados para se alcançar os objetivos do trabalho. O Capítulo 5 – Descrição da Base de Dados – apresenta o tratamento dos dados de medição e descreve as características dos modelos de simulação. O Capítulo 6 – Análise e Discussão dos Resultados – apresenta os resultados encontrados bem como a análise e discussão dos mesmos. Por fim, o Capítulo 7 – Conclusão – expõe as contribuições e limitações do presente trabalho e lista sugestões para trabalhos futuros. Os Apêndices são compostos de 5 partes: Apêndice 1 - Desenvolvimento do termômetro de globo para monitoramento; Apêndice 2 – Aferição dos equipamentos dos dados climáticos; Apêndice 3 – Aferição dos equipamentos de medição de dados ambientais da edificação; Apêndice 4 – Dados do Monitoramento Ambiental; Apêndice 5 – Resultados dos Experimentos.

## **CAPÍTULO 2**

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo apresenta o referencial teórico e científico a respeito do desempenho térmico de edificações, a influência do clima e das características do edifício do comportamento do edifício e no conforto térmico humano, bem como a metodologia aplicada para análise do tema. Será dada ênfase no conhecimento a respeito do fenômeno da inércia térmica, foco deste trabalho.

### 2.1. *Comportamento Térmico dos Edifícios*

Uma edificação com desempenho ambiental possui condições adequadas ao conforto humano em seu interior, mesmo com situações desfavoráveis de clima no ambiente exterior. O Conforto Térmico, que é um dos critérios para a avaliação de desempenho térmico nas edificações, é descrito em normas internacionais. Segundo as normas ASHRAE *Standard 55* (1992) e ISO<sup>2</sup> *Standard 7730* (ISO, 1994), um ambiente confortável é aquele considerado termicamente aceitável por, pelo menos, 80% de seus ocupantes (ASHRAE journal, 1993). Segundo a norma brasileira NBR 15220 - Parte 2 (ABNT, 2005b), conforto térmico é a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente.

O desempenho térmico está relacionado às variáveis ambientais que influem no conforto térmico humano. Conforme Szokolay (2001), o conforto térmico do ser humano é afetado, principalmente, pelas seguintes variáveis ambientais: temperatura de bulbo seco, umidade do ar, radiação e velocidade do ar.

A adequação climática é considerada desde povos antigos, os quais, para minimizarem as sensações de frio e calor, usavam mecanismos que faziam parte de sua cultura e caracterizavam a arquitetura regional (Carrières, 2007). As estratégias de condicionamento passivo, que são conhecidas pelo termo da bioclimatologia, utilizam as condições favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer às exigências de conforto térmico do homem (Olgay e Olgay, 1973). As estratégias de condicionamento passivo de edificações comumente conhecidas são: aquecimento passivo, refrigeração por ventilação, refrigeração evaporativa, orientação solar e massa térmica. Dessa forma, a relação das características da edificação com o clima local determina as condições ambientais do interior do edifício e, assim, o comportamento térmico edifícios.

Em países que possuem inverno e verão rigorosos como os de clima temperado, o isolamento térmico dos materiais construtivos da envoltória é recomendado para se

---

<sup>2</sup> ISO (*International Organization for Standardization*) é a Organização Internacional de Normalização.

---

evitar a transferência das condições extremas de temperatura externa. Melo (2007) diz ainda que o isolamento térmico torna a edificação mais confortável internamente pelo fato de manter a temperatura interna por mais tempo constante, gerando assim uma redução no valor da conta de energia elétrica.

No clima tropical, as estratégias bioclimáticas para edificações estão fundamentadas no resfriamento passivo através do uso de ventilação natural e proteção solar, além da amenização da amplitude térmica exterior através do uso da massa térmica.

As estratégias de condicionamento passivo são capazes de reduzir o *stress* térmico de calor e frio no interior de uma edificação, tendo como consequência direta a possibilidade de redução do gasto energético para condicionamento mecânico. Em climas quentes é interessante evitar o ganho de calor do ambiente exterior bem como retirar o calor gerado pelas fontes internas.

Em condições nas quais as estratégias passivas não são capazes de gerar conforto térmico no ambiente interno, são utilizados mecanismos de condicionamento artificial do ar. A condição de performance do sistema de condicionamento de ar depende da carga térmica interna e das condições de eficiência do sistema de condicionamento. Dessa forma, o desempenho passivo da edificação influi diretamente na performance do sistema e, ao mesmo tempo, no consumo energético (Hui, 1996), pois sabe-se que parte da energia elétrica de uma edificação é utilizada para uso de equipamentos eletrônicos, outra grande parcela tem a finalidade de uso de sistemas mecânicos para gerar o conforto termo-luminoso interno. Pelos princípios da bioclimatologia, o condicionamento artificial em edificações deveria ser usado apenas para suprir variações extremas do clima local, quando as estratégias passivas de condicionamento já não são capazes de sustentar o conforto ambiental interno. Contudo, grande parcela das edificações tem utilizado o condicionamento artificial sem necessidade, levando a um desperdício desnecessário de energia.

Ao se analisar a literatura – inclusive no que diz respeito às normas – sobre a influência das características construtivas e arquitetônicas de uma edificação em seu desempenho térmico, observa-se o importante papel da envoltória nessa questão. Como afirma Barbosa (1997), a maioria das normas internacionais para eficiência energética incorpora prescrições para o envelope (envoltória) da construção, que são determinísticos para paredes, coberturas e superfícies envidraçadas. Normas internacionais de eficiência energética em edificações pontuam a envoltória como um dos quatro principais critérios de análise para avaliar a eficiência e desempenho de

uma edificação, são exemplos as normas dos Estados Unidos: norma 90.1<sup>3</sup> da ANSI/ASHRAE/IESNA; norma 2001<sup>4</sup> do IECC; norma 24<sup>5</sup> do *Californian Building Code*.

No Brasil, a portaria do INMETRO sobre avaliação da Etiqueta Nacional de Eficiência (Brasil, 2009) cita a envoltória como um dos três principais itens a ser analisado. Pesquisas científicas apontam algumas características das edificações que possuem influência importante sobre essa relação. Estudos como o de Loura (2006) demonstraram que dentre as características que são mais relevantes no desempenho de conforto ambiental das edificações estão a orientação das fachadas, o desempenho da envoltória e da proteção solar, a taxa de renovação de ar entre outros. Percebe-se, assim, que o elemento envoltória e abertura têm participação direta sobre essas características arquitetônicas e, conseqüentemente, no desempenho térmico das edificações.

Estudos apontam a influência de diversas características da envoltória da edificação no desempenho termo-energético da edificação, como por exemplo: orientação solar das fachadas, percentual de área envidraçada da fachada, proteção solar das janelas, transmitância térmica da parede externa, fator solar dos vidros, cor do revestimento, entre outras. Carlo (2008) descreve as características da envoltória que interferem nos ganhos de calor: cores da envoltória, propriedades térmicas de materiais e componentes, sombreamento das fachadas. O estudo demonstra que as propriedades termo-físicas da envoltória não representam de forma linear a variação do consumo energético, necessitando de estudos mais aprofundados sobre o tema, tal como relata Carlo:

“Os resultados das simulações de alternativas com diferentes transmitâncias térmicas nas paredes externas mostraram existir uma variabilidade que não é possível ser descrita em uma equação de regressão linear. A Transmitância Térmica de paredes é dependente de suas Capacidades Térmicas, de temperaturas internas e externas e

---

<sup>3</sup> Standard 90.1-2007: *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings* desenvolvida pelo grupo ANSI/ASHRAE/IESNA dos Estados Unidos da América.

ANSI (*American National Standards Institute*) é o Instituto Nacional Americano de Normas. ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) é a Associação Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado. IESNA (*Illuminating Engineering Society of North America*) é a Sociedade de Engenharia de Iluminação da América do Norte.

<sup>4</sup> *Standard 2001* do International Energy Conservation Code (IECC) - 2001 Supplement, mantido pelo Council of American Building Officials (CABO) dos Estados Unidos da América.

<sup>5</sup> *Title 24 do Californian Building Code* <[www.energy.ca.gov/title24](http://www.energy.ca.gov/title24)> faz parte de um dos 26 códigos do *Califórnia Code of Regulations* dos Estados Unidos da América.

---

da volumetria da edificação. A complexidade dos resultados indicou a necessidade de se ampliar o estudo para avaliar o fenômeno perante outros climas” (Carlo, 2008, p. 148).

Signor et al. (2001) desenvolveu equações para estimativa do consumo de energia elétrica de edifícios comerciais. Das oito variáveis envolvidas, cinco são referentes à envoltória, são elas: percentual de janela na fachada; fator de projeção de brises horizontais ou estruturas horizontais de sombreamento; coeficiente de sombreamento dos vidros; transmitância térmica da cobertura; absorvância do telhado à radiação solar.

Uma das características da edificação que influi no desempenho térmico é a área de abertura da envoltória. Nos trópicos as aberturas possuem a função de controle dos fenômenos de iluminação e circulação de ar, sendo um importante elemento da edificação que faz o controle da luz natural e dos ventos. Desse modo, as aberturas possuem potencial de economia energética no uso passivo dos recursos naturais, os quais são fundamentais para a garantia da qualidade da iluminação e do conforto ambiental no ambiente interno, evitando a utilização de sistemas artificiais de condicionamento de ar e iluminação. Entretanto, os elementos vazados de fachada possuem além do potencial de admissão de luz e circulação de ar desejado, a possibilidade da admissão negativa de calor ou frio, dependendo da região. O tamanho das aberturas, também chamado de percentual de área de abertura na fachada (PAF), exerce grande influência sobre os ganhos de calor solar da envoltória. Quanto maior uma abertura, maior a quantidade de calor que pode entrar ou sair do ambiente (Lamberts; Dutra; Pereira, 2004). Para um edifício comercial, Lam<sup>6</sup> (2000, apud Santana e Guisi, 2007) verificou que os ganhos de calor através da janela representavam quase 50% dos ganhos através do envelope da edificação. No estudo de Santana<sup>7</sup> (2006, apud Santana e Guisi, 2007), observou-se que ocorreu um acréscimo no consumo de energia conforme o aumento do percentual de área de janela na fachada (PJF). Santana e Guisi (2007) encontraram uma variação de 41,6% do consumo de energia aumentando o percentual de área de janela (PJF) de 10% para 90% numa determinada condição de absorvância da envoltória e fator solar do vidro.

---

<sup>6</sup> LAM, J. C. *Energy analysis of commercial buildings in subtropical climates. Building and Environment*, v. 35, n. 1, p. 19-26, 2000.

<sup>7</sup> SANTANA, M. V. Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis-SC. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006. 183p.

Esse estudo ainda demonstrou as condições de absorção da fachada aumentando de 10% para 90%, com o percentual de área de janela da fachada fixo em 10%, os valores de consumo de energia aumentam em 21,6%. Carmody<sup>8</sup> (1996 apud Macedo, 2002, p. 1) relata que as aberturas fazem um papel importante para a performance ambiental dos edifícios devido a sua relação com as variáveis climáticas, o que pode representar forte influência no consumo de energia elétrica de uma edificação.

Alguns questionamentos sobre a influência das características termo-físicas no desempenho térmico da edificação foram feitos no estudo de Givoni e Kruger (2003). Neste estudo foram analisadas dezoito habitações unifamiliares com ocupação e concluiu-se que as propriedades termo-físicas da envoltória possuem baixa correlação com as temperaturas internas máximas, sendo observado maior valor de 0,3 do coeficiente de determinação. Foi sugerido que a ocupação do ambiente bem como a ausência de controle das aberturas possui influência significativa nas temperaturas internas afetando o resultado de correlação das propriedades dos materiais e as temperaturas máximas internas.

Uma das estratégias de desempenho de edificações, utilizada para tratar a troca de calor do ambiente exterior é a chamada massa térmica, descrita pelo fenômeno da inércia térmica, que é função das propriedades dos materiais construtivos opacos. A inércia térmica dos componentes construtivos é uma estratégia bioclimática que pode auxiliar na redução das amplitudes das temperaturas internas. Segundo Santamouris e Asimakopoulos (1996 p. 42), o processo de inércia térmica promove um resfriamento passivo, no qual “o frescor é coletado durante a noite e é liberado no outro dia, amenizando o efeito de calor acumulado dentro do edifício”. O uso da inércia térmica na edificação ajuda no atraso e na diminuição dos picos de calor externos. Uma edificação com pouca inércia segue muito próxima a variação da temperatura externa (Papst, 1999). Um sistema construtivo é considerado como de “alta” inércia quando provoca acentuados atrasos e amortecimentos (Roriz, 1996). O fato de armazenar calor dentro da estrutura da edificação funciona como um dissipador de calor, evitando a oscilação e os picos durante o dia, e dissipando o calor mais tarde (Yannas e Maldonado, 1995<sup>9</sup>, apud Papst 1999).

O uso da inércia térmica é recomendado como estratégia bioclimática para climas quentes com grandes amplitudes térmicas, como é o caso do quente e seco. Segundo

---

<sup>8</sup> CARMODY, J., SELKOWITZ, S., HERSCHONG, L. *Residencial Windows, a guide to new technologies and energy performance*. W. W. Norton & Company, New York, 1996.

<sup>9</sup> YANNAS, S., MALDONADO, E., eds. *PASCOOL. Handbook - Designing for summer comfort*. Londres: *Architectural Association Graduate School*, 1995. Cap. 4: *Thermal Inertia*.

---

Dornelles e Roriz (2004), dependendo da variação climática, a inércia pode trazer efeito negativo, neutro ou positivo no desempenho térmico de edifícios.

Dorneles (2004) apresentou um estudo detalhado da influência da inércia térmica através de monitoramento de sete edificações localizadas em São Carlos, SP. Comprovou a eficácia da inércia térmica das paredes no desempenho de conforto térmico do ambiente interno. Foram observadas as variações de temperatura do ar em períodos de setembro a março. Os ambientes foram controlados com fechamento das aberturas e ausência de ocupação.

A partir da revisão apresentada, percebe-se que o assunto da influência das propriedades termo-físicas da envoltória é bastante estudada para as tipologias de casas ou edificações residenciais. Poucos são os estudos feitos para o caso de edifícios comerciais e públicos. Um dos estudos que apresenta o tema para essas tipologias demonstrou que o assunto é complexo e exige estudos mais aprofundados. Além disso, nenhum estudo sobre inércia térmica em edifícios comerciais de múltiplos andares foi observado.

## **2.2. Metodologias de Análise de Desempenho Térmico de Edificações**

Para se fazer uma análise de desempenho térmico e energético de uma edificação é necessário observar os diversos e inúmeros fatores de interferência termo-energética. As normas técnicas descrevem métodos de análise que envolvem uma série de modelos matemáticos. São apresentadas a seguir metodologias e normalizações técnicas a respeito.

### **2.2.1. Normalizações técnicas**

As primeiras normas em eficiência energética em edificações surgiram após a crise do petróleo, na década de 70 para diminuir o consumo de combustível para aquecimento das edificações. Após descobertas do aquecimento global e a escassez dos recursos naturais, diversas outras regulamentações foram criadas a fim de se reduzir o consumo energético.

Pesquisa realizada por Janda e Bush (1992, apud Barbosa, 1997) em sessenta países aponta um panorama das normas de desempenho em edificações. A maioria das normas atenta para a conservação de energia, combinando exigências prescritivas e de desempenho. Grande parcela dos países adota prescrições relativas ao envelope da construção, envolvendo características das coberturas, alvenarias e janelas. Uma

parcela adota prescrições para os sistemas mecânicos e de iluminação. Alguns países adotam normas exclusivas de iluminação.

Dentre as normas internacionais, pode-se destacar a norma americana ANSI/ASHRAE/IESNA *Standard 90.1-2007: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings* como uma das mais importantes, já que é utilizada como referência para diversas normas de outros países. Essa norma prevê exigências relativas ao envelope do edifício; aos sistemas e equipamentos para aquecimento, ventilação e ar condicionado; sistemas de aquecimento de água; sistemas de iluminação; e gerenciamento de energia.

Algumas considerações a respeito das normas internacionais devem ser feitas. Essas normas são adaptadas a critérios de conforto humano e de condições climáticas diferentes das condições do Brasil. Akutsu (1997) diz que esses métodos internacionais mais tradicionalmente usados visam à racionalização do consumo de energia em sistema de aquecimento de ambientes, sendo, portanto próprios de países de clima temperado ou frio. “Nesses países, as condições climáticas apresentam características que permitem uma grande simplificação dos modelos matemáticos para a determinação das cargas térmicas de aquecimento ou das perdas de calor que ocorrem através dos componentes da edificação” (Akutsu, 1997, p. 147).

No Brasil, é utilizada desde 2009 a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) que é o produto obtido através de avaliação dos requisitos contidos no Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). A etiquetagem do edifício é voluntária e aplicável a edifícios com área útil superior a 500 m<sup>2</sup> ou atendidos por alta tensão (grupo tarifário A).

A NBR 15220 (ABNT, 2005a) é a norma técnica brasileira referente ao desempenho térmico de edificações. Ela descreve os métodos de cálculo de características termo-físicas dos elementos e componentes da edificação que são intrínsecas às envoltórias, são elas: a transmitância térmica, a capacidade térmica, o atraso térmico e o fator solar. Além do cálculo das características dos materiais construtivos, a norma define o zoneamento bioclimático das regiões do Brasil e descreve os métodos para a medição da resistência e condutividade térmica dos materiais.

### **2.2.2. Metodologias existentes**

Existem algumas metodologias para análise de desempenho térmico das edificações. Alguns métodos são úteis para a fase de concepção de projeto como o caso do método

de Mahoney. Outros métodos servem apenas para a análise de edificações existentes como a Avaliação Pós-ocupação (APO), que utilizam a técnica da medição. Uma análise mais complexa envolve a utilização de modelos analíticos fundamentados em teorias da física ou ainda em modelos empíricos.

As tabelas de Mahoney segundo Koenigsberger *et al* (1977) fazem uma análise das condições de adaptação da edificação ao clima em função das variáveis: temperatura do ar, umidade relativa, precipitação e direção dos ventos. O método consiste em recomendações arquitetônicas relativas a formas de implantação da edificação (orientação e forma geral da planta), espaçamento entre construções, formas de circulação de ar, dimensionamento das aberturas, posicionamento das aberturas, proteção das aberturas (contra sol e/ou chuva), inércia das envoltórias, além de outras recomendações para os espaços exteriores.

O método da Avaliação Pós-ocupação é um dos métodos de avaliação de desempenho de edifícios existentes, no qual são feitas diversas análises de desempenho físico e de satisfação dos usuários. Esse método vem sendo adotado na área das ciências sociais, principalmente a partir da década de 60 do século passado nos EUA e na Europa. Esse método consiste em uma:

“série de técnicas e métodos que diagnosticam fatores positivos e negativos do ambiente no decorrer do uso, a partir da análise de fatores socioeconômicos, de infra-estrutura e superestrutura urbanas, dos sistemas construtivos, conforto ambiental, conservação de energia, fatores estéticos, funcionais e comportamentais, levando em consideração o ponto de vista dos próprios avaliadores, projetistas e clientes, e também dos usuários” (Romero e Ornstein, 2003, p. 26).

As medições são o registro das variáveis ambientais e físicas de um determinado ambiente construído. As medições servem para a avaliação de edificações existentes. Essas análises contribuem para o avanço das pesquisas. Quando são feitas medições utilizando metodologia estatisticamente válida é possível o desenvolvimento de modelos matemáticos baseados nos referentes resultados, conhecidos como modelos empíricos. Assim, os modelos empíricos são algoritmos resultantes de observações e medições de uma dada situação real, que pode ser utilizado única e exclusivamente para a mesma condição ambiental na qual foi baseada.

Os modelos matemáticos teóricos são algoritmos baseados em teorias da física tais como as teorias da termodinâmica e da dinâmica dos fluidos.

---

Um dos mais importantes estudos metodológicos para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil é proposto por Akutsu e Vittorino (1991), baseado numa série de estudos de rotina do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). Segundo Mueller e Frota (2005) o método utilizado pelos autores apresenta etapas que vão desde a caracterização das exigências humanas de conforto térmico, das condições climáticas, da edificação e da sua ocupação, até a determinação do comportamento térmico do edifício através de medições *in loco* ou simulações computacionais, culminando na avaliação do desempenho térmico propriamente dito. A descrição geral do método de Akutsu e Vittorino pode ser visto no organograma da Figura 1.

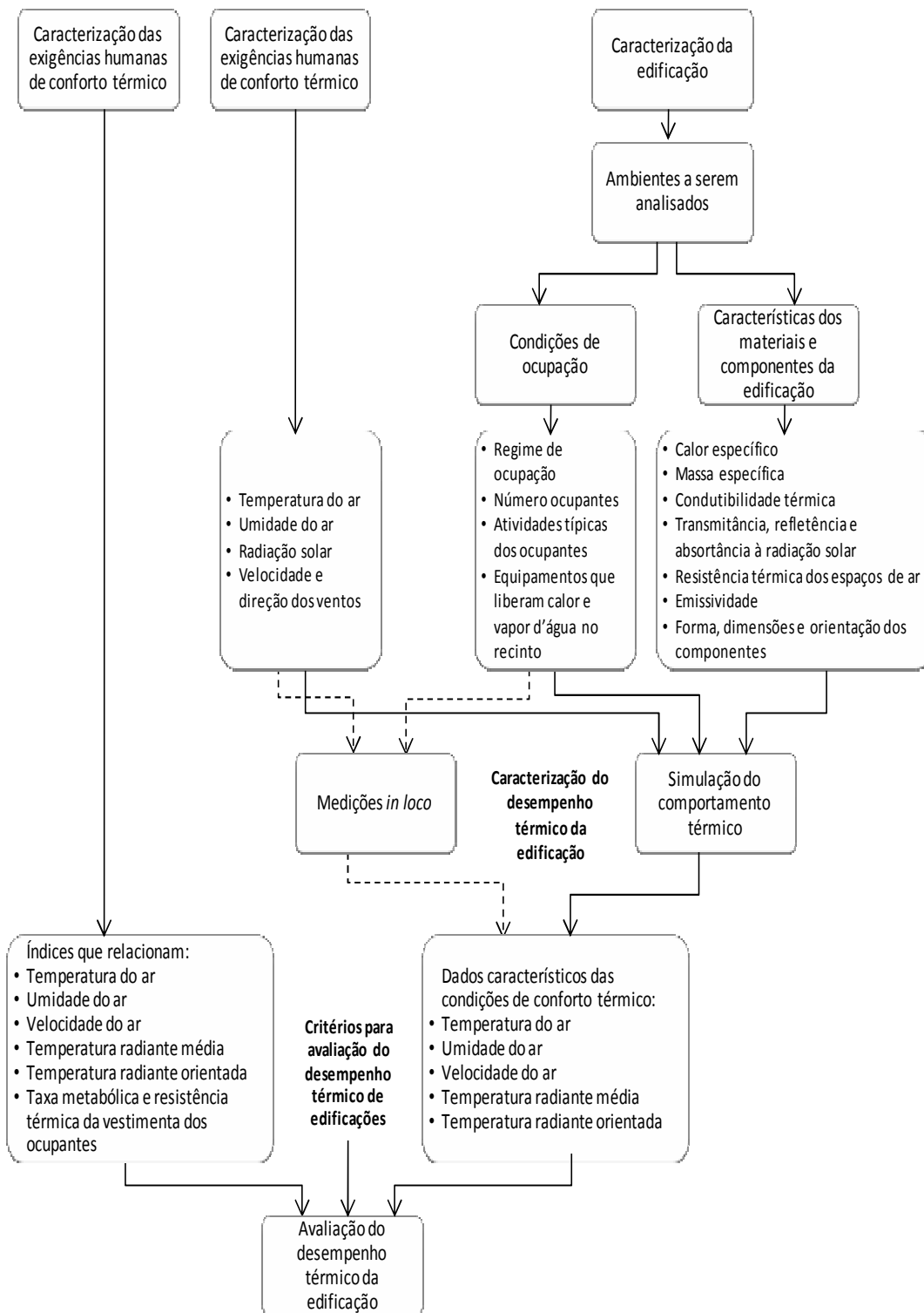


Figura 1 - Fluxograma do processo de avaliação do desempenho térmico de edificações não condicionadas (adaptado de Akutsu e Vittorino, 1991)

O índice de consumo é um método para análise de eficiência energética de edifícios. Um índice de consumo comumente utilizado para avaliação de eficiência energética em edificações é o consumo específico. A partir do consumo específico é possível avaliar o nível de eficiência energética do edifício como um todo ou o nível de eficiência relativo a uma característica específica. O consumo específico é a razão entre a quantidade de energia consumida em relação a uma variável de referência da edificação. No setor industrial, utiliza-se a razão do consumo de energia pela quantidade de bens produzidos. Nas edificações comerciais, o consumo específico muito utilizado é a razão do consumo de energia pela área construída da edificação, dado em kWh/m<sup>2</sup>. Souza e Jota (2006) apresentaram um estudo de consumo específico em escolas públicas, no qual os resultados demonstraram forte correlação com o consumo utilizando três tipos de variáveis como denominador, a quantidade de turnos, de salas ou turmas.

Estudos apontam metodologias de determinação de fatores construtivos que mais influenciam no desempenho térmico e energético das edificações. Um trabalho de destaque é o desenvolvido por Lam, Hui e Chan (1997), o qual apresenta uma metodologia para obtenção de uma equação simplificada preditiva do consumo anual de energia elétrica através de simulação computacional e regressão múltipla de fatores. Outro trabalho de referência é o estudo de Givoni e Vecchia (2001), o qual comprovou que é possível desenvolver fórmulas matemáticas preditivas para um determinado tipo específico de construção e condição climática através de uma base de dados diária das temperaturas internas e externas a partir de medições em duas habitações na cidade de Descalvado. Em 2003, Givoni e Kruger (2003) desenvolveram uma equação preditiva da temperatura interna baseada em medições das propriedades termo-físicas das habitações de interesse social. Nesse estudo foram avaliadas oito propriedades: <sup>(a)</sup> transmitância térmica do telhado, <sup>(b)</sup> transmitância térmica das paredes, <sup>(c)</sup> transmitância térmica equivalente da edificação, <sup>(d)</sup> atraso térmico do telhado, <sup>(e)</sup> atraso térmico das paredes, <sup>(f)</sup> atraso térmico equivalente da edificação, <sup>(g)</sup> o Fator Solar, e <sup>(h)</sup> a razão das aberturas em relação à área de piso. Entretanto, a equação determinada se aplica apenas à tipologia estudada.

Devido à complexidade dos modelos teóricos e de suas inúmeras variáveis, foi desenvolvido o modelo computacional. O procedimento de cálculo de um modelo computacional é conhecido como simulação computacional, feito para facilitar o desenvolvimento de cálculos complexos.

Bull e Lamberts (1995) apresentam um estudo utilizando o mesmo método de simulação parametrizada, no qual analisam um edifício típico de escritório. Os resultados mostram que com a variação de parâmetros de coeficiente de

sombreamento, razão de janela-parede e valores de transmitância e absorvidade térmicas foram encontrados valores de redução de consumo total de energia anual.

### 2.2.3. Simulação Computacional

A modelagem e a simulação são estudos do método indutivo. A simulação computacional reúne um complexo conjunto de algoritmos que agilizam o processo de cálculo, sendo desenvolvido por programação computacional. Esse método é utilizado para cálculos matemáticos complexos, estudos parametrizados e para tomadas de decisão em projeto de edificações.

A simulação computacional é atualmente utilizada como uma das principais ferramentas de estudos de desempenho térmico, luminoso e acústico em edificações.

A simulação termo-energética gera uma estimativa do efeito das inúmeras cargas térmicas em um determinado ambiente, a partir da entrada de dados das fontes de calor externas e internas da edificação, tais como as variáveis climáticas, calor gerado pelas pessoas, equipamentos eletrônicos, iluminação artificial, além das cargas de refrigeração e aquecimento artificiais.

#### 2.2.3.1. O Modelo do Programa EnergyPlus®

O programa *EnergyPlus*® foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) e é um dos mais conceituados e explorados na área da simulação em edifícios. Esse programa é baseado nos programas BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) e DOE-2 desenvolvidos no final da década de 70 e início de 80 (DOE, 2010a) para a simulação de carga térmica e energética.

Esse programa utiliza um método complexo e integrado de cálculo energético de uma edificação, integrando os cálculos de balanço térmico ao dos sistemas mecânicos de condicionamento ambiental, conforme Figura 2. Além disso, o *EnergyPlus*® versão 5.0 contém algoritmos de transferência de calor e de massa, de iluminação natural, de poluição atmosférica, de consumo de energia elétrica e modelos de conforto térmico. A solução gerencial do modelo é baseada nos princípios fundamentais do balanço térmico. Isso significa dizer que as três maiores partes do cálculo, edificação, sistema e planta de condicionamento, são solucionadas simultaneamente através de intervalos de tempo ou “*time steps*” (DOE, 2010a).

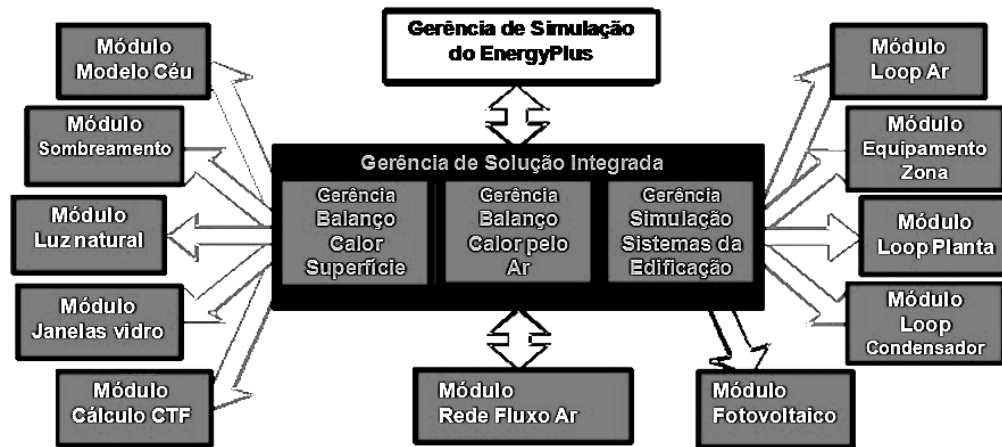


Figura 2 - Esquema de programação do EnergyPlus®. (Fonte: adaptado e traduzido de DOE, 2010a, p. 5)

O balanço térmico final do *software EnergyPlus®* de uma zona é composto por sete diferentes cargas térmicas, conforme DOE (2010c):

- Taxa de ganho de fluxo de calor por convecção devido a cargas internas de cada zona [W] (Zone Air Balance Internal Convective Gains Rate);
- Taxa de fluxo de calor transferido por convecção das superfícies de cada zona [W] (Zone Air Balance Surface Convection Rate);
- Taxa de fluxo de calor transferido devido à mistura de ar entre zonas de cada zona [W] (Zone Air Balance Interzone Air Transfer Rate);
- Taxa de fluxo de calor transferido devido à entrada de ar externo de cada zona [W] (Zone Air Balance Outdoor Air Transfer Rate);
- Taxa de fluxo de calor transferido devido ao sistema de condicionamento de ar de cada zona [W] (Zone Air Balance System Air Transfer Rate);
- Taxa de fluxo de calor armazenado em cada zona [W] (Zone Air Balance Air Energy Storage Rate);
- Taxa de fluxo de calor residual em cada zona [W] (Zone Air Balance Deviation Rate).

#### a. Modelo de cálculo do EnergyPlus®

O modelo de transferência de calor no *EnergyPlus®* se baseia na equação 1 de balanço de fluxo térmico geral da termodinâmica descrito por zonas térmicas (DOE, 2010b).

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{si} - T_z) + \dot{m}_{if} C_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sys} \quad 1$$

onde:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \text{energia armazenada no ar da zona;}$$

$$\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i = \text{soma das cargas internas por convecção;}$$

$$\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) = \text{transferência de calor por convecção das superfícies da zona;}$$

$$\sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{si} - T_z) = \text{transferência de calor devido à mistura de ar entre zonas;}$$

$$\dot{m}_{if} C_p (T_{\infty} - T_z) = \text{transferência de calor devido à entrada de ar externo;}$$

$$\dot{Q}_{sys} = \text{Taxa de calor do sistema de condicionamento de ar.}$$

O modelo do *EnergyPlus*<sup>®</sup>, para o cálculo do fenômeno de condução de calor das superfícies, utiliza métodos de regime transiente através de fluxo unidimensional, em função da variação temporal, baseado na equação 2 de Fourier.

$$\left( \frac{\lambda}{\rho c} \right) \cdot \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) = \frac{\partial T}{\partial \theta} \quad 2$$

onde:

$\lambda$  = condutividade térmica (W/m°C)

$\rho$  = massa específica (kg/m<sup>3</sup>)

$c$  = calor específico (kJ/kg°C)

$T$  = temperatura (°C)

$x$  = distância (m), sendo  $x=0$  na face externa

$\theta$  = variação temporal

Segundo o documento de referência de cálculo do programa (*DOE*, 2010b), o método de cálculo de condução para todo tipo de estrutura da edificação deve conter a variável de massa térmica ou capacitância térmica descrita em função da massa específica, calor específico e volume da sala.

Existem quatro métodos gerais de cálculo de condução:

- *Conduction Transfer Function (CTF)*
- *Conduction Finite Difference Solution*

- *Combined Heat and Moisture Transfer* (HAMT), que inclui cálculos de trocas úmidas.
- *Effective Moisture Penetration Depth* (EMPD), que inclui cálculos de trocas úmidas.

O *Conduction Transfer Functions* (CTF) é um modelo de solução efetiva de séries temporais, no qual considera apenas as trocas secas de calor, ou seja, não inclui o cálculo das trocas úmidas através dos materiais. O método *Conduction Finite Difference Solution* é um modelo que complementa o método CTF. Ele é um algoritmo que faz o cálculo unidimensional de trocas secas de materiais que armazenam e liberam calor durante o processos de mudança de fase. Já os métodos *Combined Heat and Moisture Transfer* e *Effective Moisture Penetration Depth* fazem a integração das trocas secas e úmidas no cálculo da condução do fluxo de calor das superfícies. Para cálculo das trocas úmidas, entretanto, é necessário uma detalhada descrição das características dos materiais que, em geral, no Brasil, não é encontrada nas especificações técnicas dos mesmos.

O método *Conduction Transfer Functions* é utilizado com mais frequência em modelos de simulação no Brasil, como nos trabalhos de Pereira (2004) e Loura (2006), por ser o método mais viável para a descrição das características dos materiais construtivos existentes no Brasil. O algoritmo CTF descreve o fluxo dos dois lados superficiais de um elemento segundo uma série histórica infinita, de acordo com as equações 3 e 4.

Para o fluxo interno usa-se a equação:

$$q''_{ki}(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta} \quad 3$$

Para o fluxo externo usa-se a equação:

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ko,t-j\delta} \quad 4$$

onde:

$X_j$  = coeficiente CTF exterior,  $j= 0,1,\dots,n$ .

$Y_j$  = coeficiente CTF de ventilação cruzada,  $j= 0,1,\dots,n$ .

$Z_j$  = coeficiente CTF interior,  $j= 0,1,\dots,n$ .

$\Phi_j$  = coeficiente CTF de fluxo,  $j= 1,2,\dots,n$ .

$T_i$  = temperatura superficial interna (°C)

$T_o$  = temperatura superficial externa (°C)

$q''_{ki}$  = Fluxo de calor por condução na face interna (W/m<sup>2</sup>)

$q''_{ko}$  = Fluxo de calor por condução na face externa (W/m<sup>2</sup>)

### **2.2.3.2. Validação Empírica do Modelo de Simulação**

Validação empírica do modelo de simulação é o ajuste de um modelo representativo de uma determinada edificação baseada nos valores medidos do mesmo caso real. Um modelo computacional, por melhor que seja, possui limitações e não consegue simular com exatidão a realidade. A simulação é uma simplificação da realidade e, dessa forma, é necessário descrever um modelo com o máximo de precisão. A validação empírica, nesse sentido, garante que o modelo seja capaz de representar, de forma aceitável, o caso real, sendo observados seus limites e incertezas.

O termo validação empírica é visto em vários artigos internacionais, tais como Manz *et al* (2006), Jensen (1995) e Barrio e Guyon (2004). Jensen (1995) diz que a validação empírica é considerada por muitos como a técnica mais poderosa em estudos de validação.

Pedrini (1997) descreve uma metodologia para a validação de modelos para simulações termo-energética de edificações. O método pode ser resumido por cinco etapas: <sup>(a)</sup> análise de sensibilidade do comportamento térmico das cargas individualizadas; <sup>(b)</sup> análise das incertezas envolvidas; <sup>(c)</sup> análise da sensibilidade do modelo relativo às variações dos componentes da envoltória; <sup>(d)</sup> análise da influência do arquivo climático no consumo de energia; <sup>(e)</sup> análise da influência da geometria solar.

Manz *et al* (2006) descreve o tratamento estatístico utilizado para a validação empírica de modelo para simulação energética. Utilizou-se a análise estatística de comparação, a qual se baseia na diferença da estatística descritiva, como, por exemplo, a média aritmética da diferença de temperaturas.

### **2.2.4. O Monitoramento Contínuo**

Para uma análise de desempenho de um ambiente construído é necessário fazer a medição das variáveis ambientais e de outras variáveis que afetam tais condições, como as fontes de calor internas. Um dos métodos utilizados é a medição, a qual utiliza equipamentos analógicos ou digitais para se fazer a leitura ou registro dos dados instantâneos. Um problema recorrente da medição nos ambientes ocupados é a colocação de equipamentos que ficam ao alcance das pessoas e que podem sofrer algum tipo de dano na coleta de dados. Outro problema é uso de aparelhos que não possuem um registrador de dados, métodos no quais necessitam da presença de uma pessoa para a coleta, o que acarreta em transtornos nos ambientes de trabalho e até mesmo na interferência do comportamento dos usuários.

O monitoramento automático de variáveis ambientais foi utilizado em resposta à necessidade de um registro contínuo e discreto dos dados. O ideal, segundo Jota, *et. al.* (2007), é que o monitoramento seja feito da maneira imperceptível ao usuário. Esse método foi, inicialmente, desenvolvido para o gerenciamento de energia elétrica, obtendo-se o perfil de consumo energético em edificações. O sistema CMUF (Centro de Monitoramento de Usos Finais), por exemplo, foi concebido para analisar edificações que passam por processos de efficientização, sendo de fácil instalação e operação, e de baixo custo. Esse sistema foi instalado em diversas edificações, tais como no Edifício-Sede da CEMIG, no Edifício-Sede do DER-MG, no Hemocentro de Belo Horizonte, no SERPRO, no Hospital João XXIII, no Fórum Lafaiete, as escolas municipais de Belo Horizonte, Anísio Teixeira e Paulo Freire, no CEFET-MG (campi I e II) e na UFMG (LCPI).

Posteriormente, o monitoramento automático foi utilizado para medições de variáveis ambientais. Tal sistema foi desenvolvido pelos pesquisadores Melissa Seixas, Fábio Jota e Eleonora Assis em 2007 (Seixas, 2007) e instalado no edifício do CEPEI (Centro de Pesquisa em Energia Inteligente) do CEFET-MG. O objetivo da pesquisa foi a análise conjunta de consumo energético e conforto ambiental em um edifício que teve como concepção princípios da arquitetura bioclimática.

### **2.3. A inércia térmica de edificações**

O fenômeno da inércia térmica em edificações está relacionado ao processo de transferência de calor entre os ambientes externos e internos através de elementos construtivos da envoltória.

#### **2.3.1. As variáveis envolvidas no desempenho térmico de edificações**

O fenômeno da transferência de calor de um ambiente de uma edificação é complexo e dinâmico. A análise de desempenho de edificações não condicionadas é simplificada e utiliza-se, principalmente, da análise dos processos de ganhos de carga térmica interna e de troca de calor pela envoltória.

As cargas térmicas internas são geradas por equipamentos e pessoas, sendo denominadas fontes internas de calor (FIC). Essas cargas térmicas internas podem também ser acumuladas nos diversos objetos de um ambiente, tais como elementos construtivos e mobília.

As trocas de calor através da envoltória são analisadas através da descrição do clima local e das propriedades termo-físicas dos elementos construtivos da envoltória.

As variáveis envolvidas na análise de desempenho térmico de edifícios envolve as variáveis internas e externas do ambiente. De forma abrangente, conforme se observa na literatura, o desempenho térmico de um ambiente interno está relacionado a três principais variáveis:

- Temperatura de bulbo seco (TBS);
- Umidade relativa;
- Velocidade do ar.

As principais variáveis climáticas locais utilizadas na análise de desempenho térmico de edificações são:

- Radiação solar direta e difusa;
- Temperatura do ar (TBS);
- Umidade relativa do ar;
- Velocidade e direção de vento.

Granja (2002) descreve uma variável que engloba ambos os fatores da radiação solar e da temperatura do ar exterior, a temperatura sol-ar. Segundo o autor, “A temperatura sol-ar combina, portanto, os efeitos da temperatura do ar e da radiação solar sobre a densidade de fluxo de calor no ambiente externo” (Granja, 2002, p. 9).

### **2.3.2. O Fenômeno da Inércia Térmica**

#### **2.3.2.1. Definição**

A inércia térmica é o conceito utilizado para descrever o efeito da transferência de calor entre o ambiente externo e o ambiente interno, no qual as ondas de calor sofrem efeito de armazenamento e atraso através de materiais construtivos. As ondas de calor variam através de determinado período de tempo segundo um regime variável periódico. O conceito de inércia térmica está ligado à capacidade da edificação de reduzir o pico de calor transferido e de liberá-lo posteriormente (Dorneles e Roriz, 2004).

De acordo com a literatura, a inércia térmica pode ter dois enfoques, a inércia térmica pode servir de referência para a classificação de componentes da envoltória bem como da edificação como um todo. A inércia de um componente é descrita para um elemento construtivo do fechamento externo, ou seja, de um elemento específico da

envoltória exclusivamente opaco. A classificação da envoltória é função da variação das temperaturas superficiais externas e internas, a qual não observa a transferência de calor ao ar interior, ou seja, analisa-se apenas a transferência de calor de superfície a superfície por condução. Papst (1999) analisou o fenômeno da inércia térmica referente ao ambiente, e não ao fechamento, sendo o amortecimento térmico diário calculado pela a relação entre a amplitude interna pela amplitude externa.

A classificação de inércia térmica da construção remete-se à análise de uma edificação como um todo, observando todos os processos da física envolvidos na transferência de calor de meio a meio. Observa-se não apenas a temperatura superficial, mas a temperatura do ar, sendo esta resultante dos processos de fluxos de calor através da convecção, radiação e condução. Contudo, Frota e Schiffer (2001) atestam que a inércia térmica da edificação é função da descrição de um recinto volumétrico apenas, ou seja, o método não analisa a totalidade da edificação, analisa-se apenas uma sala isolada.

De forma geral, a análise de inércia é feita de forma simplificada observando, apenas, materiais construtivos que compõem a envoltória de uma edificação. Contudo, segundo Rivero (1986, pág. 138), “a temperatura interior não é resultante somente das propriedades dos fechamentos exteriores, mas também da capacidade térmica de todos os corpos que se encontram no interior”.

O fenômeno de inércia térmica é comumente analisado segundo um regime transiente ou variável. Conforme Dreyfus (1960), Rivero (1986), Roriz (1996) e Granja (2002) o estudo da inércia térmica tem como pressuposto que o fenômeno da transmissão de calor para o ambiente interior de uma edificação ocorre sob efeito do regime variável do tipo periódico. Nos países tropicais, do ponto de vista do conforto térmico ambiental, o intervalo de 24 horas é o período de tempo mais representativo para a análise do fenômeno.

“A variação cíclica da temperatura externa e da radiação solar, associada à capacidade de armazenamento de calor pelos elementos construtivos da envolvente, reflete uma situação mais próxima à realidade e caracteriza o estudo da transmissão de calor em regime periódico”(…). “A transmissão de calor em regime permanente raramente ocorre em situações reais, devido às contínuas flutuações no ambiente térmico externo” (Granja, 2002, p. 6).

### **2.3.2.2. Modelos de cálculo**

A inércia térmica é caracterizada principalmente por dois parâmetros, o atraso e o amortecimento da onda de calor. O atraso térmico ( $\varphi$ ) é o tempo decorrido do pico da onda de calor de um meio a outro através de um fechamento construtivo. Segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005a), atraso térmico é tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor. O amortecimento térmico, segundo Papst (1999), é a capacidade do fechamento de diminuir a amplitude das variações térmicas.

O conceito do fenômeno de inércia térmica é relacionado com diferentes propriedades dos materiais construtivos do edifício. Segundo Papst (1999), o conceito de inércia térmica está relacionado com a capacidade térmica da estrutura do edifício. Já segundo Dreyfus (1960) e Roriz (1996), a inércia é função da difusividade térmica do material construtivo. Contudo, percebe-se que em todos os modelos de cálculo encontram-se as mesmas variáveis primárias dos elementos construtivos, a saber: massa específica, calor específico, condutividade térmica e espessura.

Um modelo de cálculo abrangente foi desenvolvido por Granja (2002). O fenômeno de inércia térmica é descrito analiticamente para fechamentos opacos em edificações situadas na cidade de Campinas, SP. Caracterizaram-se dias típicos de projeto a partir das temperaturas sol-ar e dos índices de nebulosidade do céu. O algoritmo baseou-se em regime periódico através de equação diferencial de condução de calor e unidirecional baseada nas séries de Fourier para o período de 24 (vinte e quatro) horas. Devido à significativa influência dos fatores climáticos e termo-físicos no efeito dos coeficientes de condutância e resistência térmica superficial.

São apresentados a seguir os modelos de cálculo simplificados para as variáveis do fenômeno de inércia, atraso e amortecimento térmico. Os modelos de cálculo (apresentados a seguir) de Rivero, Dreyfus e da norma brasileira referem-se à análise da temperatura superficial de paredes, já o modelo de Szokolay (2001) refere-se à temperatura do ar do ambiente. Todos os métodos consideram o fenômeno sob efeito do regime transiente do tipo periódico.

#### **a. Modelo de Cálculo de Szokolay**

As trocas térmicas segundo o regime transiente periódico, tendo como pressuposto o princípio da "admitância" (Szokolay<sup>10</sup>, 1987 *apud* Roriz, 1996), o qual considera que na ausência de cargas térmicas solares e fontes internas, a média da temperatura interior

---

<sup>10</sup> Szokolay, S. V. *Thermal Design of Buildings*. Raia Education Division, Canberra, Austrália, 1987.

será igual à média da temperatura exterior. “Quaisquer ganhos solares ou internos provocarão um incremento na média da temperatura interior e deverão ser, portanto, dissipados por condução e ventilação” (Roriz, 1996, p. 22). Roriz (1996) define o coeficiente de amortecimento ( $\mu$ ) como a razão entre as amplitudes das temperaturas máximas internas e externas subtraídos de 1, representando que quanto maior o seu valor, maior a capacidade de amortecimento, de acordo com a equação 5.

$$\mu = 1 - \frac{A_{ti}}{A_{te}}$$

5

Onde:

$\mu$  = amortecimento térmico

$A_{ti}$  = amplitude da temperatura máxima do ar interna

$A_{te}$  = amplitude da temperatura máxima do ar externa

O atraso térmico, definido pelo mesmo autor como retardamento ( $\phi$ ), é gerado pela diferença temporal do pico da onda de calor do exterior ao pico interior, conforme Figura 3.

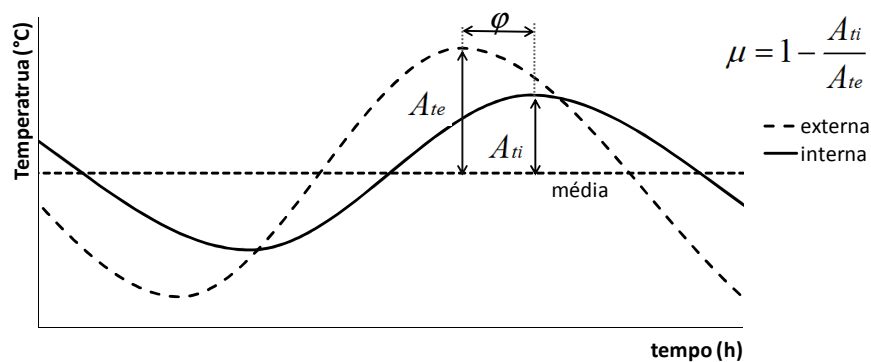


Figura 3 - Efeito de Inércia Térmica segundo Szokolay. Fonte: adaptado de Roriz (1996, p. 18)

#### **b. Modelo de Cálculo de Rivero**

Rivero (1986), considerando um regime transiente periódico, define o coeficiente de amortecimento ( $\mu$ ) como a razão entre a amplitude da temperatura superficial interna de um fechamento ( $\omega_s$ ) pela amplitude da temperatura externa do ar ( $\theta_s$ ), de acordo com Figura 4. As amplitudes são relativas à diferença entre a temperatura máxima e a média do período de 24h. O atraso térmico ( $\phi$ ) é gerado pela diferença temporal do extremo da onda de calor do exterior ao extremo interior.

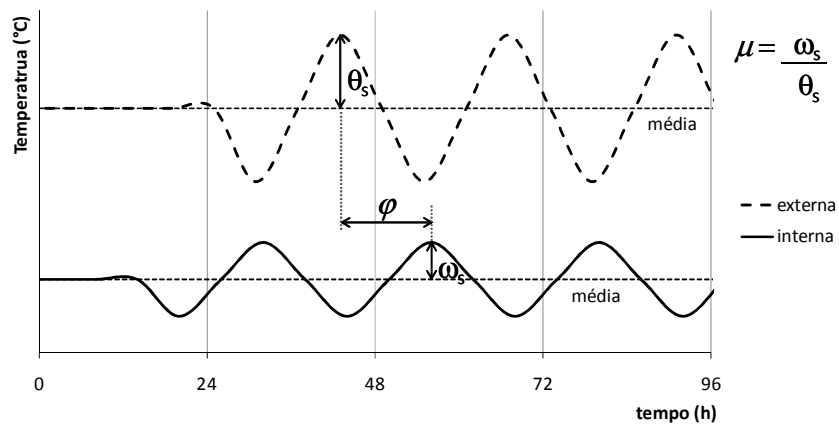


Figura 4 - Efeito de Inércia Térmica segundo Rivero. Fonte: Adaptado de Rivero (1986, p. 44)

### c. Modelo de Cálculo de Dreyfus

Segundo Dreyfus (1960) ambos os parâmetros de atraso e amortecimento são determinados em função da difusividade térmica ( $\alpha$ ), uma propriedade física do material, definida pela equação 6.

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \times c} \quad 6$$

onde:

$\alpha$  = difusividade térmica ( $m^2/s$ )

$\lambda$  = condutividade térmica ( $W/m^\circ C$ )

$\rho$  = massa específica ( $kg/m^3$ )

$c$  = calor específico ( $kJ/kg^\circ C$ )

Para um material homogêneo são definidas as equações de atraso ( $\varphi$ ) e amortecimento ( $\mu$ ) dadas pelas equações 7 e 8:

$$\varphi = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{T}{\pi \times \alpha}} \quad 7$$

$$-L \sqrt{\frac{\pi}{\alpha \times T}} \quad 8$$

$$\mu = e$$

onde:

$L$  = espessura do material (m)

$T$  = período da onda (h)

$\alpha$  = difusividade térmica ( $m^2/h$ )

Para um material heterogêneo são definidas as equações de atraso ( $\varphi$ ) e amortecimento ( $\mu$ ) dadas pelas equações 9, 10, 11 e 12:

$$\varphi = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T}{\pi}} A^2 B \quad 9$$

$$\mu = e^{-\sqrt{\frac{\pi}{T}} A^2 B} \quad 10$$

Sendo:

$$A = \sum \frac{L}{\lambda} \quad 11$$

$$B = \frac{1,1}{A} \left[ \sum \left( \frac{L}{\lambda} \right) \cdot \lambda \rho c \right] + \frac{\lambda \rho c}{A} \left[ \left( \frac{L}{\lambda} \right)_e - 0,1 \left( \frac{L}{\lambda} \right)_i - etc... \right] \quad 12$$

onde:

T = período da onda (h)

$\lambda$  = condutividade térmica (W/m°C)

$\rho$  = massa específica (kg/m<sup>3</sup>)

c = calor específico (kJ/kg°C)

O modelo de Dreyfus (1960) para inércia térmica leva em consideração o algoritmo de condução de calor unidimensional, em função da variação temporal, proposto por Fourier, apresentado anteriormente (equação 13):

$$\left( \frac{\lambda}{\rho c} \right) \cdot \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) = \frac{\partial T}{\partial \theta} \quad 13$$

onde:

$\lambda$  = condutividade térmica (W/m°C)

$\rho$  = massa específica (kg/m<sup>3</sup>)

c = calor específico (kJ/kg°C)

T = temperatura (°C)

x = distância (m), sendo x=0 na face externa

$\theta$  = variação temporal

Esse método de cálculo representa uma análise harmônica da variação cíclica de temperatura em regime periódico. Em uma transferência de calor por uma placa de espessura finita, podem ser representadas conforme curvas cujas amplitudes diminuam com o aumento da distância através do material (Jakob, 1949), conforme Figura 5.

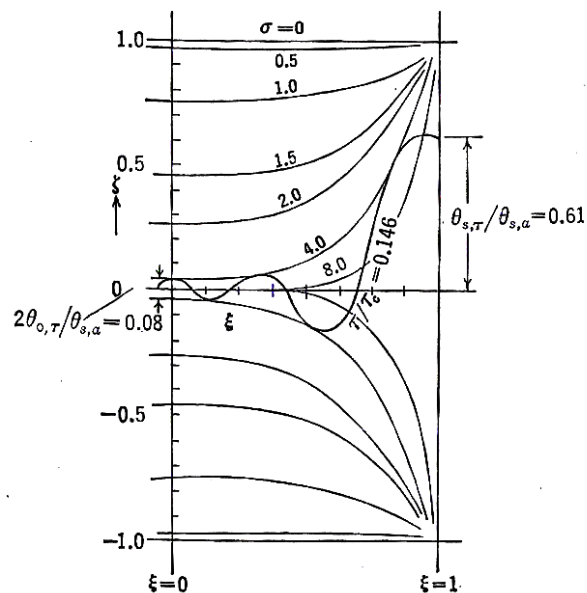


Figura 5 - Distribuição de temperatura de uma placa finita em qualquer instante temporal, ambas as faces sofrem a mesma variação periódica de temperatura. Fonte: Groeber, 1921 apud Jakob, 1949, p. 301)

#### d. Modelo de Cálculo da Norma 15220

Segundo a norma 15220 – Parte 2 (ABNT, 2005b) atraso térmico é o “Tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor”. O algoritmo para cálculo do atraso térmico é dado por equações para materiais homogêneos e heterogêneos.

Para materiais homogêneos (equações 14 e 15):

$$\varphi = 1,382e \sqrt{\frac{\rho c}{3,6\lambda}} \quad 14$$

$$\varphi = 0,7284 \sqrt{R_t \cdot C_t} \quad 15$$

onde:

$\varphi$  = atraso térmico;

$e$  = espessura da placa;

$\lambda$  = condutividade térmica do material;

$\rho$  = massa específica aparente do material;

$c$  = calor específico do material;

$R_t$  = resistência térmica de superfície a superfície do componente;

$C_t$  = capacidade térmica do componente.

Para materiais heterogêneos (equações 16, 17, 18 e 19):

$$\varphi = 1,382R_t\sqrt{B_1 + B_2} \quad 16$$

onde:

$R_t$  = resistência térmica de superfície a superfície do componente;

$B_1$  = dado pela equação 17;

$B_2$  = dado pela equação 18<sup>11</sup>.

$$B_1 = 0,226\frac{B_o}{R_t} \quad 17$$

$$B_2 = 0,205\left(\frac{(\lambda\rho c)_{ext}}{R_t}\right)\left(R_{e,xt} - \frac{R_t - R_{e,xt}}{10}\right) \quad 18$$

onde:

$$B_o = C_T - C_{T_{ext}} \quad 19$$

onde:

$C_T$  = capacidade térmica total do componente;

$C_{T_{ext}}$  = capacidade térmica da camada externa do componente.

### 2.3.2.3. Determinação da classe de Inércia

Encontram-se na literatura variadas classificações de inércia térmica. É apresentado um modelo descritivo, de Chichierchio (Brasil, 1983); e três modelos quantitativos, de Szokolay<sup>12</sup> (1987 *apud* Roriz, 1996), NBR 15220 e de Croiset (1968). O modelo de Szokolay (1987 *apud* Roriz, 1996) não utiliza o termo inércia, mas descreve o fenômeno de armazenamento de calor através do termo “capacidade térmica”. Os modelos de Szokolay, Croiset e Chichierchio fazem a classificação de inércia térmica para a edificação ou construção. Já a norma brasileira classifica a inércia de superfícies construtivas das vedações, não considerando o comportamento térmico do ambiente.

<sup>11</sup> Nas equações, o índice “ext” se refere à última camada do componente, junto à face externa. Considerar  $B_2$  nulo caso seja negativo.

<sup>12</sup> Szokolay, S. V. *Thermal Design of Buildings*. Raia Education Division, Canberra, Austrália, 1987.

### a. Classificação segundo NBR 15220

Segundo a norma NBR 15220 (ABNT, 2005b, anexo C) as vedações possuem classificação de inércia térmica em função da transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa**

Vedações externas		Transmitância Térmica – U (W/m <sup>2</sup> .K)	Atraso Térmico – φ (horas)	Fator Solar - FS <sub>o</sub> (%)
Paredes	Leve	U ≤ 3,0	φ ≤ 4,3	FS <sub>o</sub> ≤ 5,0
	Leve Refletora	U ≤ 3,6	φ ≤ 4,3	FS <sub>o</sub> ≤ 4,0
	Pesada	U ≤ 2,2	φ ≥ 6,5	FS <sub>o</sub> ≤ 3,5
Coberturas	Leve	U ≤ 2,0	φ ≤ 3,3	FS <sub>o</sub> ≤ 6,5
	Leve Refletora	U ≤ 2,3.FT	φ ≤ 3,3	FS <sub>o</sub> ≤ 6,5
	Pesada	U ≤ 2,0	φ ≥ 6,5	FS <sub>o</sub> ≤ 6,5

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005b, anexo C)

### b. Classificação segundo Croiset

O fator de inércia (I) de uma edificação ou ambiente é determinado pelo método simplificado descrito por Croiset<sup>13</sup> (1968) apresentado em Frota e Schiffer (2001), onde a inércia de um recinto é classificada com base na razão entre a superfície equivalente pesada e a área de piso do local (equação 20) e classificada segundo a Tabela 2.

$$I = \frac{S_{ep}}{A_p} \quad 20$$

onde:

S<sub>ep</sub> = superfície equivalente pesada (m<sup>2</sup>)

A<sub>p</sub> = área de piso do ambiente (m<sup>2</sup>)

**Tabela 2 - Classe de inércia**

Classificação de inércia	Inércia - I	Condição
Muito fraca	I < 0,5	
Fraca	0,5 < I < 1,5	
Média	I ≥ 1,5	sem cumprir a condição definida para inércia forte
Forte	I ≥ 1,5	se a metade das paredes pesarem mais de 300 kg/m <sup>2</sup> )

Fonte: Adaptado de Croiset (1968, apud Frota e Schiffer, 2001, p. 50).

<sup>13</sup> Croiset, Maurice. *L'hygrothermique dans Le batiment*. Paris: Éditions Eyrolles, 1968.

A superfície equivalente pesada é determinada pela equação 21:

$$S_{ep} = \sum_{i=1}^n A_i \times y \quad 21$$

onde:

$A_i$  = área da superfície envoltória  $i$  ( $m^2$ )

$y$  = coeficiente segundo o peso e resistência térmica do revestimento da superfície (adimensional), dado na Tabela 3.

**Tabela 3 - Coeficiente de inércia segundo o peso e resistência térmica do revestimento da superfície envoltória**

Peso da superfície * ( $kg/m^2$ )	Resistência térmica do revestimento da superfície ( $m^2C/W$ )		
	$R < 0,15$	$0,15 < R < 0,50$	$R > 0,50$
$P > 200$	1	2/3	0
$100 < P < 200$	2/3	1/3	0
$50 < P < 100$	1/3	0	0
$P < 50$	0	0	0

\* peso do elemento envolvente do recinto, sendo calculada a metade da espessura quando o elemento for dividido por outro recinto

Fonte: Adaptado de Croiset (1968, apud Frota e Schiffer, 2001, p. 50).

As superfícies das envoltórias de um ambiente são as paredes externas e internas, piso e teto. Como cada uma dessas superfícies divide dois ambientes, considera-se apenas a metade de sua espessura na determinação do peso da superfície, posto que a outra metade será considerada como do recinto vizinho. Uma vez determinada a razão de inércia ( $I$ ) do recinto, o amortecimento ( $\mu$ ) será dado na Tabela 4.

**Tabela 4 - Fator de amortecimento de acordo com a classe de inércia do ambiente**

Classe	Razão de Inércia ( $I$ )	Amortecimento ( $\mu$ )
Inércia muito fraca	$I < 0,5$	0,4
Inércia fraca	$0,5 < I < 1,5$	0,6
Inércia média	$I \geq 1,5$ , mas sem cumprir a condição para inércia forte	0,8
Inércia forte	$I \geq 1,5$ e a metade das superfícies envoltórias pesar mais que $300 kg/m^2$	1,0

Fonte: Adaptado de Frota e Schiffer (2001, p. 50).

### c. Classificação segundo Chichierchio (Brasil, 1983)

**Tabela 5 - Coeficientes de amortecimento e atraso do fluxo de calor para construções típicas**

Tipo de edifício	Amortecimento - $\mu$	Atraso Térmico - $\varphi$
Construções com materiais muito leves, chapas metálicas e outros materiais com espessuras menores do que 2cm, apoiadas sobre solo e contendo partes transparentes.	0,5	< 1 hora
Construções com materiais leves, como painéis de concreto com espessura menor do que 5cm, contendo 30% das fachadas ou 20% da cobertura compostas por material transparente e apoiada sobre solo.	0,35	1 ou 2 horas
Construção com materiais comuns, como alvenarias e lajes de concreto, porém com mais de 30% das fachadas envidraçadas e tendo superfícies internas recobertas por materiais isolantes térmicos, tais como tapetes, ocrinas pesadas, madeiras, cortiça, forros de lã de vidro.	0,35	< 1 hora
Construção semi-pesada ou pesada composta por alvenaria de tijolos ou blocos de concreto, apoiadas sobre solo, cobertura de telhado e forro com espaço de ar ventilado, aberturas nas fachadas ocupando até 25% da área e recebendo insolação.	0,25	2 a 3 horas
Idem à anterior com aberturas protegidas contra insolação.	0,15	3 a 6 horas
Construção pesada em alvenaria com mais de 30cm de espessura, cobertura idem anterior, aberturas pequenas e protegidas.	0,10 ou menos	6 a 15 horas
Construção semi-enterrada com poucas aberturas e protegidas.	0,10 ou menos	12 a 20 horas
Construção enterrada a pelo menos 2 metros de profundidade.	Aprox. 0,0	Vários dias ou meses

Fonte: Brasil, 1983. Módulo 8, p. 73.

### d. Classificação segundo Szokolay

A capacidade térmica da construção pode ser compreendida segundo a classificação do parâmetro Fator de Resposta (FR) adotado por Szokolay (1987 *apud* Roriz, 1996). Segundo Roriz (1996), o Fator de Resposta é função da taxa de fluxo térmico da admitância total de um ambiente, da taxa de fluxo térmico devido à condução e da taxa de fluxo térmico devido à ventilação, conforme equações 22 e 23. O Fator de Resposta classifica a construção em três tipos, de acordo com Tabela 6.

$$FR = \frac{qv + qa}{qv + qc} = \frac{(0,33.Rnv.V) + \sum AY}{(0,33.Rnv.V) + \sum AU}$$

$$Y = \frac{\tilde{q}}{\tilde{t}}$$

23

Onde:

$Y$  = admitância da vedação ( $W/m^2\text{°C}$ )

$A$  = área de superfície ( $m^2$ )

$U$  = transmitância térmica ( $W/m^2\text{°C}$ )

$\tilde{q}$  = desvio da taxa de fluxo térmico em torno da sua média ( $W/m^2$ )

$\tilde{t}$  = desvio da temperatura ambiental em torno da sua média ( $\text{°C}$ )

$qv$  = taxa do fluxo térmico devido à ventilação ( $W/\text{°C}$ )

$qa = \sum AY$  = taxa do fluxo térmico da admitância total do ambiente, igual à soma dos produtos entre a área de cada superfície e a respectiva admitância ( $W/\text{°C}$ )

$qc = \sum AU$  = taxa do fluxo térmico devido à condução, igual à soma dos produtos entre a área de cada superfície e a respectiva transmitância térmica ( $W/\text{°C}$ )

$Rnv$  = número de renovações por hora

$V$  = volume do ambiente ( $m^3$ )

**Tabela 6 - Classificação do tipo de construção segundo Fator de Resposta**

Tipo de construção	Fator de Resposta
Leve	$FR \leq 3$
Média	$3 < FR \leq 5$
Pesada	$FR \geq 5$

Fonte: Szokolay (1987 *apud* Roriz, 1996)

## **CAPÍTULO 3**

### 3. DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO ANALISADO

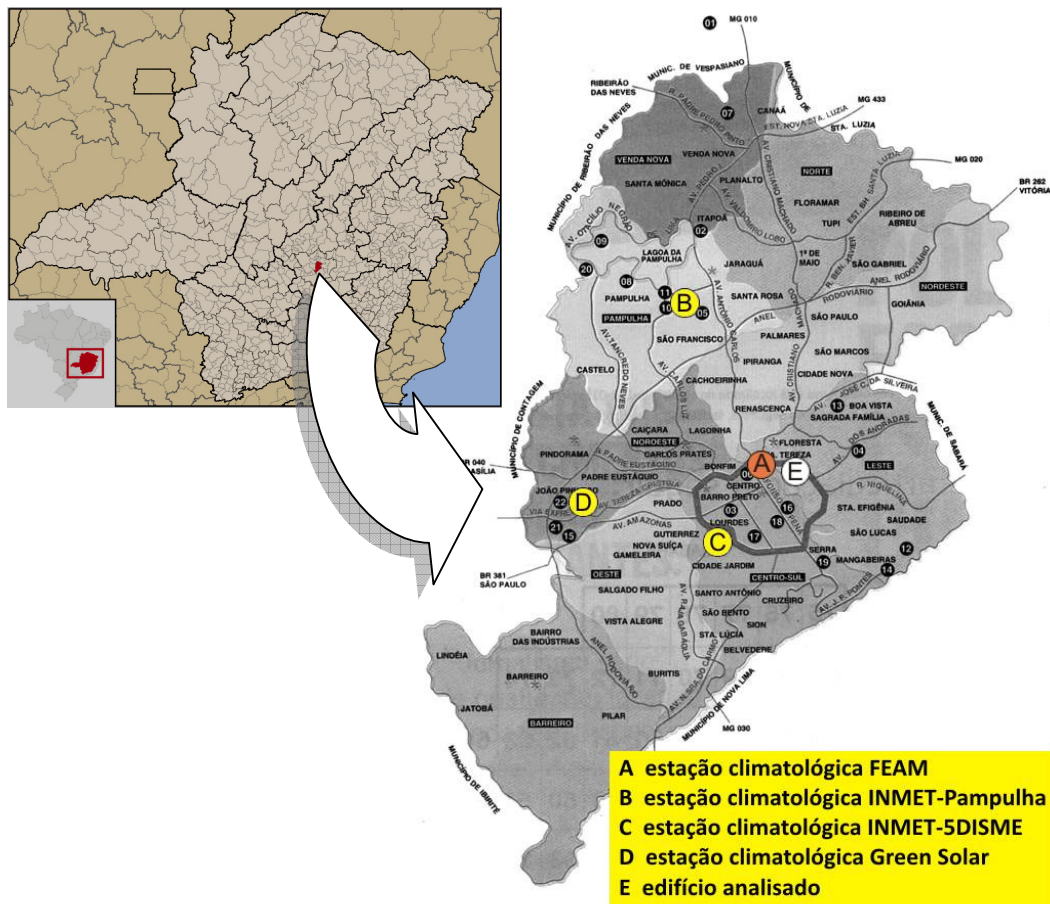
O edifício escolhido para o Estudo de Caso foi o edifício sede do Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DER/MG) - bloco B (vide Figura 6), situado no município de Belo Horizonte. A seleção do caso a ser analisado foi feita pela sua representatividade da categoria de edifício público climatizado, de tipologia de escritório paisagem com cortina de vidro (fachadas envidraçadas), típico de edifícios escritórios a partir da década de 70. Além disso, o edifício possui instalação do sistema CMUF que faz o monitoramento do consumo dos sistemas de condicionamento de ar e de iluminação. Isso é importante, pois foi possível ter o controle das cargas térmicas provenientes desses sistemas.



Figura 6 - Foto da fachada principal da edificação retirada às margens da Avenida dos Andradas

#### 3.1. *Descrição da localidade*

O município de Belo Horizonte pertence ao estado de Minas Gerais, região sudeste do Brasil, conforme Figura 7. A sede da capital mineira encontra-se a 852,19 metros de altitude, sendo limitada a sudeste por um conjunto de serras de altitude entre 1.001 e 1.150 metros.

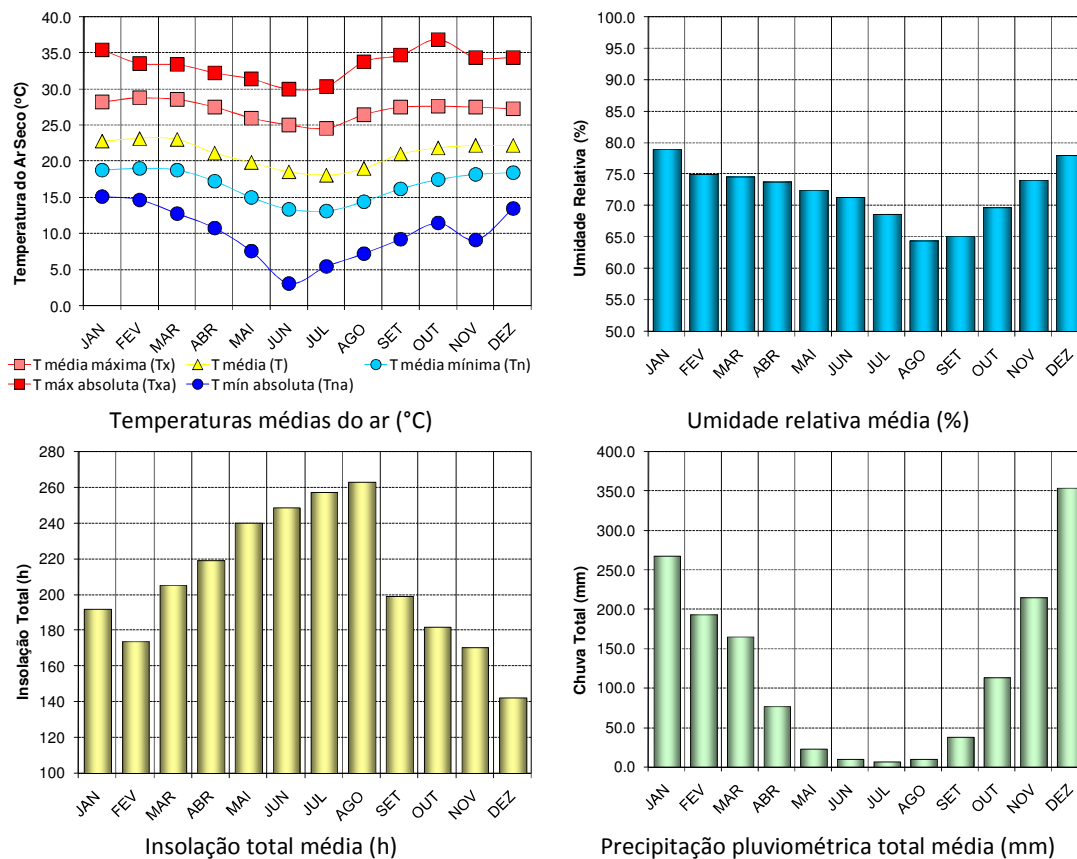


**Figura 7 - Localização do estado de Minas Gerais, do município de Belo Horizonte e das localidades analisadas: edifício e estações climatológicas dentro da cidade. Fonte: mapa da esquerda (disponível em: < <http://www.wikipedia.org>>, acesso em junho de 2010); mapa da direita (adaptado do catálogo de Belo Horizonte da TELEMAR, 2001)**

Belo Horizonte, segundo a Classificação Climática de Köppen, está sob domínio do clima temperado de inverno suave, com temperatura média do mês mais frio abaixo de  $18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  e do mês mais quente acima de  $22,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Cwa). Os dados climatológicos do período de 1961-1990 (Brasil, 1992), segundo Figura 8, mostram que a temperatura média normal anual é de  $21,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . O período de solstício de verão possui temperaturas e índice de chuva elevado, enquanto que o inverno apresenta baixas temperaturas e pouca precipitação. A temperatura média varia, ao longo do ano, de  $17,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $27,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . No mês mais quente, fevereiro, a temperatura média normal das máximas do mês é de  $28,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , no mês mais frio, julho, a temperatura é de  $13,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . As amplitudes térmicas mensais variam de  $10,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (no verão) a  $11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (no inverno).

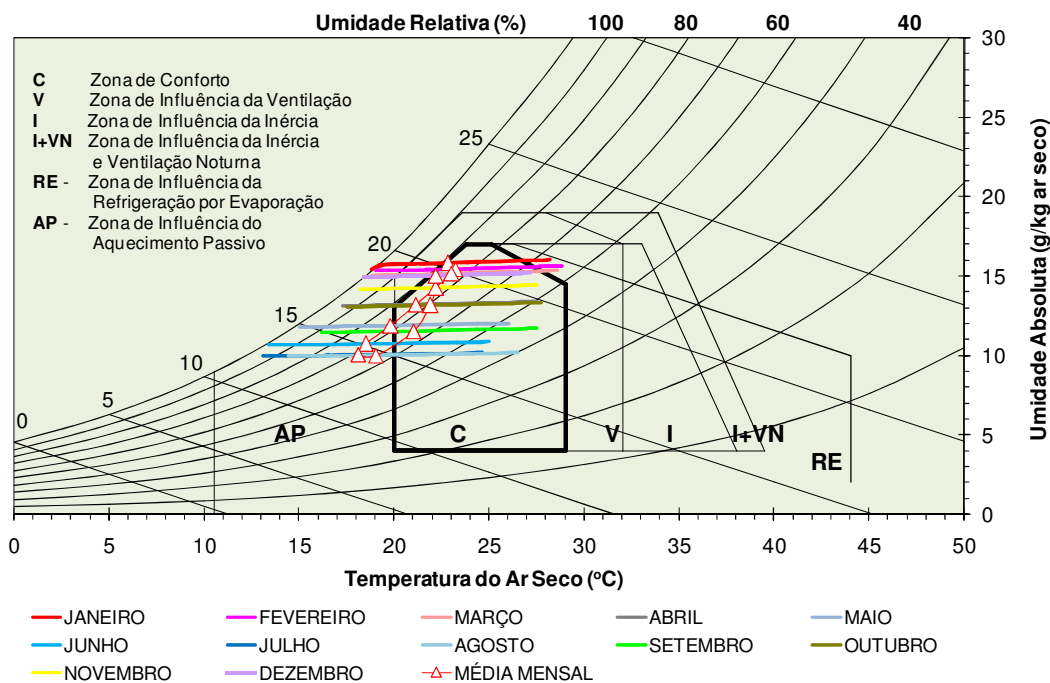
A umidade relativa média normal anual é de 72,2%. A média normal anual de precipitação total é de 1.473,4 mm, sendo dezembro o mês mais chuvoso (354,2 mm) e julho o mais seco (6,5 mm). A média normal anual de insolação total é de 2494.7 horas, sendo agosto o mês mais ensolarado (263,4 horas, cerca de 8,3 horas diárias de

sol) e dezembro o que apresenta a mais baixa insolação (142,3 horas, cerca de 4,6 horas diárias de sol). A Figura 8 mostra os dados climáticos desse período.



**Figura 8 - Dados climatológicos de Belo Horizonte. Fonte de dados de BRASIL (1992)**

No Diagrama Bioclimático de Givoni foram plotados valores das normais climatológicas (Figura 9). Observa-se que, em grande parte do ano, as condições médias são adequadas ao conforto térmico. Fora da zona de conforto, parte significativa das horas do ano encontra-se na zona de aquecimento passivo e outra parte na zona de influência de inércia e ventilação noturna. Sabe-se, também, que os valores extremos podem gerar desconforto nos horários de grande incidência de radiação solar.



**Figura 9 - Diagrama Bioclimático de Givoni plotado sobre carta psicrométrica de Belo Horizonte. Valores médios mensais das normais climatológicas período 1961-1990 (Fonte de dados: BRASIL, 1992).**

Segundo a NBR 15220 – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT, 2005c) e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social de desempenho térmico de edificações, Belo Horizonte está situada na zona bioclimática 3. As estratégias de desempenho envolvem aberturas para ventilação médias, vedações externas constituídas de paredes de inércia leve refletora, com ventilação cruzada para o período de solstício de verão e aquecimento solar no solstício de inverno.

Neste trabalho foram analisados dados climatológicos de quatro estações climatológicas, cujas informações são detalhadas na Tabela 7. A estação da FEAM, localizada na Praça Rui Barbosa (Praça da Estação), foi utilizada como base de coleta principal dos dados, devido à sua proximidade à edificação em estudo, com menos de 1 km de distância (vide Figura 7). Outras duas estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET – foram utilizadas para a aferição e comparação dos dados: a estação convencional (localizada no 5º Distrito de Meteorologia -5DISME) e a estação automática de Belo Horizonte (localizada na região da Pampulha). A

estação de iluminação natural do Green Solar/PUC-MG<sup>14</sup> foi utilizada para a comparação dos dados de radiação solar.

**Tabela 7 - Características das estações climatológicas utilizadas**

Estação climatológica	identificação	Calibração	Latitude	Longitude	Altitude
INMET – 5DISME	Convencional 83587	calibrada	-19.93°	-43.93°	915 m
INMET - PAMPULHA	Automática A521	calibrada	-19.88°	-43.97°	869 m
FEAM	Automática Praça da estação	calibrada	-19.92°	-43.94°	852
Green Solar	Automática	descalibrada	-19.92°	-43.99°	–



**Figura 10 - Foto aérea do entorno próximo ao edifício sede do DER-MG.**

Fonte: Disponível em: <<http://maps.google.com.br>>, acesso em: junho de 2010

A edificação está localizada às margens do rio Arrudas, na Avenida dos Andradas, próximo ao parque municipal (Figura 10). O edifício é um dos mais elevados, sendo o entorno próximo de baixa altimetria. À margem lateral oeste possui vegetação de grande porte, tanto do próprio lote quanto do parque. A orientação geográfica do eixo

<sup>14</sup> Green Solar é o Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Térmica da Pontifícia Universidade Católica do Estado de Minas Gerais.

---

longitudinal da edificação é nordeste-sudoeste, sendo fachada principal normal a 33° de azimute do Norte Geográfico.

### **3.2. Descrição da edificação**

A fachada principal da edificação está voltada para av. do Andradas (Figura 6). A tipologia do edifício é de fachada envidraçada, de estrutura de concreto aparente, composto por duas fachadas envidraçadas e duas cegas. Os cômodos são divididos por divisórias, existindo paredes de alvenaria apenas no núcleo dos elevadores, das instalações sanitárias e das circulações verticais. Os ambientes de trabalho são distribuídos perpendicularmente à fachada sendo interligados por uma circulação única. O sistema de condicionamento de ar é de expansão direta do tipo *self-contained*. O sistema de distribuição é dividido em duas regiões: região a oeste dos elevadores e região a leste dos elevadores. Isso significa que os ambientes das fachadas envidraçadas (nordeste e sudoeste) são zonas interligadas pelo condicionamento do ar.

## **CAPÍTULO 4**

## 4. METODOLOGIA

O trabalho utiliza como abordagem o método indutivo através dos métodos de procedimento de estudo de caso e da pesquisa experimental. Os métodos são utilizados para investigar o comportamento hipotético de um edifício construído submetido a diversas condições específicas, que não são factíveis de serem observadas em condições reais, tais como a alteração dos elementos construtivos.

O estudo de caso foi utilizado para investigar o comportamento de uma tipologia de edifício de escritórios representativa no Brasil. O estudo de caso, segundo Yin, se trata de uma forma de “investigar um tópico empírico [em seu contexto] seguindo-se um conjunto de procedimentos pré-especificados (...)” (Yin, 2005, p. 33, 36). Nesse sentido, foi utilizado o método do estudo de caso, porque buscou-se desenvolver uma pesquisa explanatória através de medições e observações do edifício existente, além de experimentos que simulam o comportamento da edificação sob condições específicas.

No presente trabalho foi também utilizado o método experimental através da simulação que, assim como a pesquisa experimental, tem como objetivo a comparação entre um grupo de tratamento através da manipulação de determinadas variáveis através do controle de um determinado contexto. Conforme Wang e Groat (2002), a “pesquisa de simulação também isola contextos e manipula variáveis; nesse sentido, ela está relacionada à pesquisa experimental”.

O trabalho se desenvolveu em duas etapas, a primeira etapa constitui-se da coleta de dados *in loco* da edificação de acordo com as técnicas da Avaliação Pós-ocupação (APO, a segunda etapa consiste exclusivamente nos experimentos através da simulação de diversas tipologias de edificação baseadas no caso real.

A primeira etapa é constituída, inicialmente, no levantamento das características da edificação, posteriormente, na medição das variáveis ambientais que influem no desempenho térmico da edificação, conforme os procedimentos e técnicas da APO. As características da edificação coletadas foram: características construtivas da edificação, instalações físicas, fontes internas de calor, bem como rotinas de uso e ocupação para a seleção da amostra de ambientes para análise. Foram feitas as medições para a coleta das variáveis ambientais internas e dos dados climatológicos. As variáveis ambientais internas foram coletadas através de monitoramento contínuo. As variáveis climatológicas foram coletadas através de estações climatológicas localizadas próximas ao edifício analisado.

O fim da primeira etapa constitui-se no desenvolvimento de um modelo computacional semelhante às condições reais na quais foram submetidas as medições

---

e feita sua validação empírica. Os dados coletados da edificação foram descritos no modelo computacional e os dados ambientais comparados com os resultados de saída da simulação. Dessa forma, o levantamento de dados da edificação serviu de base para a aplicação e validação da simulação térmica computacional hipotética.

A segunda etapa constitui-se do desenvolvimento de simulação parametrizada para análise térmica de diversos protótipos através de simulação computacional do modelo validado. Os protótipos, nesse estudo, são modelos representativos de diferentes tipologias de edificações com diferentes classes de inércia. O termo “protótipo” foi originalmente utilizado na dissertação de Papa (2005) e no presente estudo para caracterizar um modelo de edifício para a simulação computacional.

As simulações foram feitas para a observação da influência específica da envoltória no fluxo de calor do exterior ao ambiente interno, anulando o efeito das fontes internas de calor, refrigeração e ventilação natural. O efeito de inércia foi observado a partir da análise da influência da participação da envoltória na transferência de calor entre ambientes.

As análises estatísticas foram utilizadas ao longo dos procedimentos nas etapas de aferição dos equipamentos, análise de tratamento dos dados, além da validação empírica do modelo de simulação. Uma visão global da metodologia utilizada pode ser observada na sequência de diagramas da Figura 11.

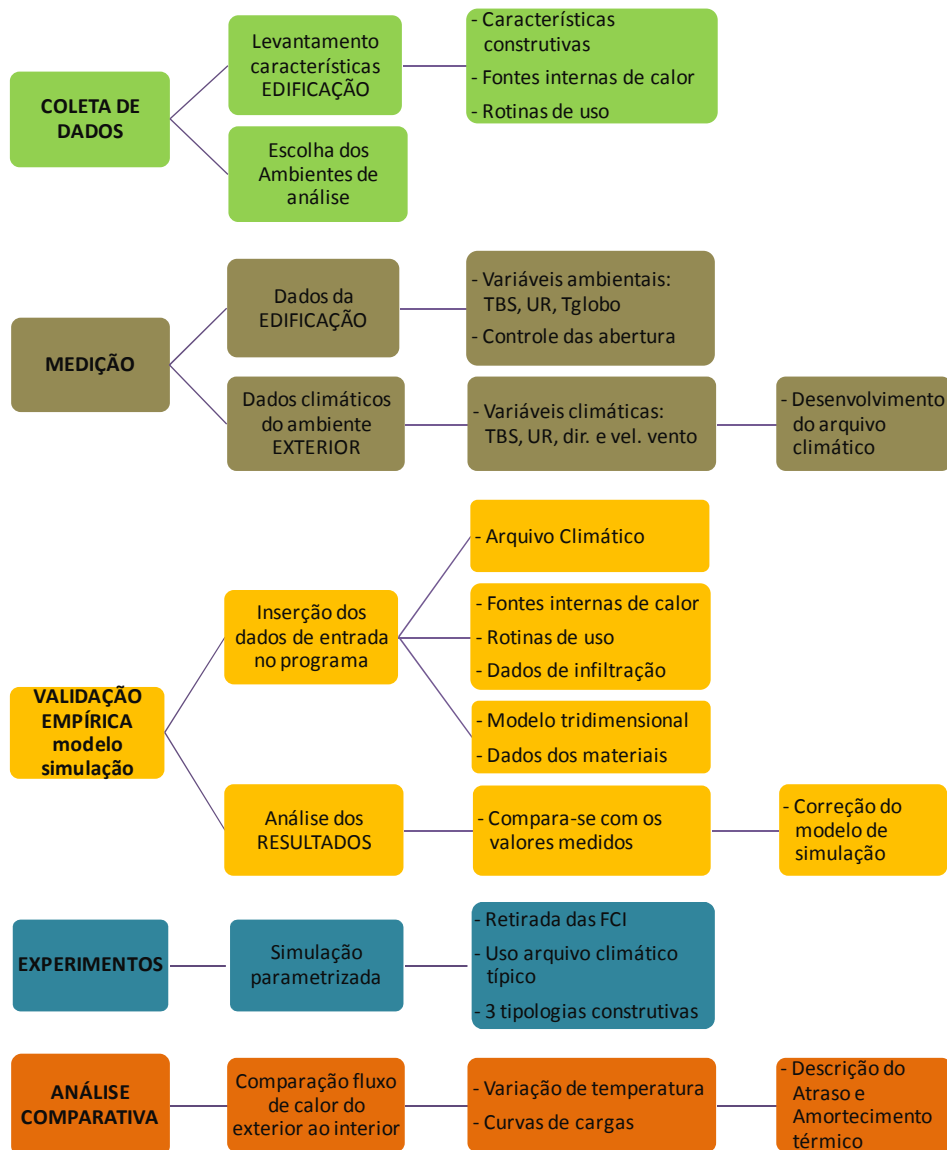


Figura 11 - Diagrama sequencial dos procedimentos metodológicos

#### 4.1. Coleta de dados da edificação

O levantamento de dados da edificação serviu, em primeiro lugar, como base para uma seleção criteriosa de salas fundamentada no propósito de se obter quatro ambientes com semelhança de carga térmica interna, ambientes nos quais foram utilizados como casos base da pesquisa. Em segundo lugar, a coleta de dados foi utilizada para a definição da carga térmica interna, a qual serviu para a descrição do modelo de simulação.

Além da semelhança dos ambientes térmicos analisados, um critério de seleção foi a orientação solar, que gera uma diferenciação da radiação solar ao longo do dia, tendo

---

sido selecionadas duas salas em cada pavimento, uma com orientação nordeste e outra com orientação sudoeste.

#### **4.1.1. Levantamento das características construtivas, fontes internas de calor e rotinas de uso e ocupação**

Inicialmente, definiu-se a quantidade de quatro salas da edificação a serem analisadas. Os pavimentos cujas salas seriam analisadas foram previamente determinados conforme critério de consumo energético do sistema de condicionamento do ar. O terceiro e o quarto pavimentos foram escolhidos por serem os que apresentaram maior estabilidade nos dados de consumo de condicionamento de ar, elemento importante para análise de carga térmica. A seleção dos ambientes de análise é feita com base no levantamento de dados da edificação.

Para o levantamento inicial, foram montadas tabelas respectivas a cada andar, contendo a planta, a numeração das salas sob avaliação e espaços destinados ao preenchimento do andar, setor, horário de funcionamento, assim como dos dados de padrão e revestimentos construtivos. É importante explicitar que as salas localizadas nos extremos leste e oeste foram excluídas do processo de avaliação, pois sofrem influência diferenciada de carga térmica devido ao contato das fachadas laterais com o ambiente externo. As paredes laterais estão suscetíveis a uma variação de temperatura superficial mais elevada devido o contato com variáveis do clima local, tais como a radiação solar direta e temperatura do ar externo.

Foram elaboradas tabelas, como o exemplo da Figura 12, para cada ambiente, com o objetivo de levantar a quantidade de funcionários, o número e o tipo de equipamentos, havendo um espaço destinado para observações (como a presença ou não de película protetora nas janelas). As plantas dos pavimentos selecionados foram plotadas em uma escala adequada para possibilitar o desenho do layout das salas, a marcação da localização dos insufladores de condicionamento de ar (realizada com símbolos diferentes de acordo com a tipologia) e colocação de observações sobre as divisórias entre as salas.

TABELA 1		Data: 18 / 02 /2009	
<b>Acabamento Construtivo</b>			
Andar:	4º (QUARTO)	Setor:	DIRETORIA GERAL
Horário de Funcionamento:			
Mapa-chave			
<p>PLANTA DO 4º PAVIMENTO - BLOCO B ESCALA 1:100</p>			
Componente construtivo:	Tipo revestimento	Cor	
Paredes internas			
Piso			
Teto			
OBSERVAÇÃO:			

Figura 12 - Exemplo de tabela para levantamento em campo das características da edificação e das fontes internas de calor.

#### 4.1.2. Estimativa da carga de calor interna: equipamentos e ocupação

A potência instalada é a soma das potências nominais de equipamentos elétricos de mesma espécie instalados na unidade consumidora e em condições de entrar em funcionamento.

A partir do levantamento inicial da pesquisa podem-se utilizar os dados referentes aos equipamentos utilizados nas salas pré-selecionadas para calcular a potência instalada de equipamentos para cada uma delas. São eles: computador; impressora e ventilador. Foi estimada a potência nominal de cada equipamento a partir de pesquisas realizadas em catálogos de fabricantes e em lojas de informática. A potência nominal é a potência que uma ferramenta elétrica consome a partir da fonte de energia (também denominada de potência absorvida). Convencionou-se utilizar, por motivos práticos, o mesmo valor de potência para tipos semelhantes de aparelhos, como computadores novos ou antigos.

No caso da iluminação, foi realizado um levantamento no terceiro e quarto pavimentos do DER que serviu de base para os cálculos, assim como pesquisa realizada em catálogos de fabricantes acerca de lâmpadas e reatores para lâmpadas. Utilizou-se como fonte principalmente catálogos técnicos acerca desses elementos, procedentes de empresas que possuem credibilidade no mercado brasileiro, como Phillips e Indelpa. Além disso, contou-se com o documento “Projeto de Eficientização Energética na Iluminação - Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais”<sup>15</sup> para identificação dos tipos de reatores utilizados no Bloco B. Visto que para cada duas lâmpadas há um reator e que as características das lâmpadas utilizadas nas salas pré-selecionadas foram obtidas a partir do levantamento, calculou-se a potência nominal de cada luminária (conjunto lâmpada-reator) e por fim a potência instalada de iluminação para cada sala.

O cálculo da carga de ocupação foi fundamentado <sup>(a)</sup> no número de funcionários de cada uma das salas do terceiro e quarto pavimentos do Bloco B que sofreram avaliação no levantamento inicial da pesquisa; <sup>(b)</sup> na estimativa de quantidade de calor sensível cedido ao ambiente por indivíduo, quando ele realiza atividade moderada de escritório é de 65 W (Frota e Schiffer, 2001); <sup>(c)</sup> na rotina diária de trabalho (considerou-se o valor de dez horas diárias – fixo para cada funcionário por questões práticas – estimado a partir do horário comercial do DER); <sup>(d)</sup> no número de dias úteis no mês (ponderado para também se adotar um valor fixo – 20). Calculou-se então a energia resultante (kWh/mês) dos conjuntos de salas correspondentes ao 3º e 4º andar, respectivamente, tendo sido a soma desses dois resultados dividida pela soma das áreas dos conjuntos de salas em questão. Isso permitiu a avaliação da carga de ocupação por metro quadrado relativo ao conjunto 3º e 4º pavimentos. A multiplicação desse valor pela soma das áreas de todas as salas do 3º e do 4º pavimentos originou na carga de ocupação total do conjunto referente a esses andares (kWh/mês). A escolha deste método ocorreu para que o cálculo pudesse ser realizado sem a necessidade de se executar outro levantamento – do mesmo tipo, porém mais vasto – simplificando o processo.

#### 4.1.3. Seleção dos ambientes

Iniciou-se pela pré-seleção dos ambientes e foram determinados os seguintes critérios de comparação entre ambientes: área; número de funcionários; potência instalada de iluminação e de equipamentos; componentes construtivos da edificação. A partir dessa etapa, foram elaboradas tabelas síntese (vide Figura 13) para comparação entre as salas, contendo as características construtivas e cargas internas de calor: orientação da fachada; área; quantidade de funcionários; potência instalada de equipamentos;

---

<sup>15</sup> Trabalho desenvolvido pela Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE) do Departamento de Estradas e Rodagem do Estado de Minas Gerais – DER.

potência instalada de iluminação; componentes construtivos e tipo de insuflamento de ar condicionado.

Sala: 402		
Componentes construtivos		
Componente construtivo:	Tipo revestimento	Cor
Paredes internas	LAMINADO MELAMÍNICO (EUCATEX)	BRANCA
Piso	CARPETE	VÁRIAS CORES
Teto	FORRO DE PLACA DE FIBRA MINERAL	BRANCA
Uso e Ocupação		
Quantidade de funcionários: 04 (quatro) funcionários		
Equipamento:	Quantidade:	Marca:
Computador(es)	02 (dois)	Samsung
Impressora(s)	02 (duas)	1Hp deskej 5650, 1 Samsung SCX4725FN
Cálculo da potência instalada de equipamentos:		
Computador(es): $2 \times 350W = 700W$		
Impressora(s): $2 \times 20W = 40W$		
TOTAL = 740W		
Cálculo da potência instalada de iluminação (baseado no levantamento de iluminação):		
02 (luminárias) x 02 (lâmpadas) → 4 lâmpadas de 32W = 128W		
02 (luminárias) x 01 (reator) → 2 reatores de 12W = 24W		
TOTAL = 240W		
Observações: A divisória da sala em questão com a sala vizinha 401 é classificada como divisória até o teto. A divisória da sala em questão com a sala vizinha 403 é classificada como divisória com vidro. Sem uso de insuflim. Uso total de persiana.		

Figura 13 - Exemplo de tabela síntese: descrição dos componentes e cargas internas

A seleção foi baseada na semelhança dos ambientes para possibilitar a comparação entre eles. Quanto mais parecidas forem entre si, evitam-se desvios nas análises, que envolvem as cargas térmicas tanto de fontes internas quanto externas. As cargas internas possuem correlação com os usuários, equipamentos e iluminação do ambiente, enquanto as externas têm correlação com o calor devido à diferença de temperatura externa e insolação.

Por fim, foram elaboradas tabelas descritivas das salas escolhidas, semelhante às tabelas síntese citadas anteriormente, mas acrescidas da carga de ocupação. Foram selecionadas duas salas da fachada sudoeste e duas da nordeste (ver Figura 14). Elas possuem, em termos gerais, a mesma área de piso e semelhantes cargas internas. Cada sala recebeu uma nomeação específica, de acordo com o andar (os números 3 ou 4 referem-se ao terceiro e quarto pavimentos respectivamente), de acordo com a orientação (NE para Nordeste e SO para sudoeste) e de acordo com a denominação funcional estabelecida pelo próprio DER: sala de cálculos (3NE), sala do setor jurídico (3SO), sala de convênios (4NE) e sala da diretoria (4SO).

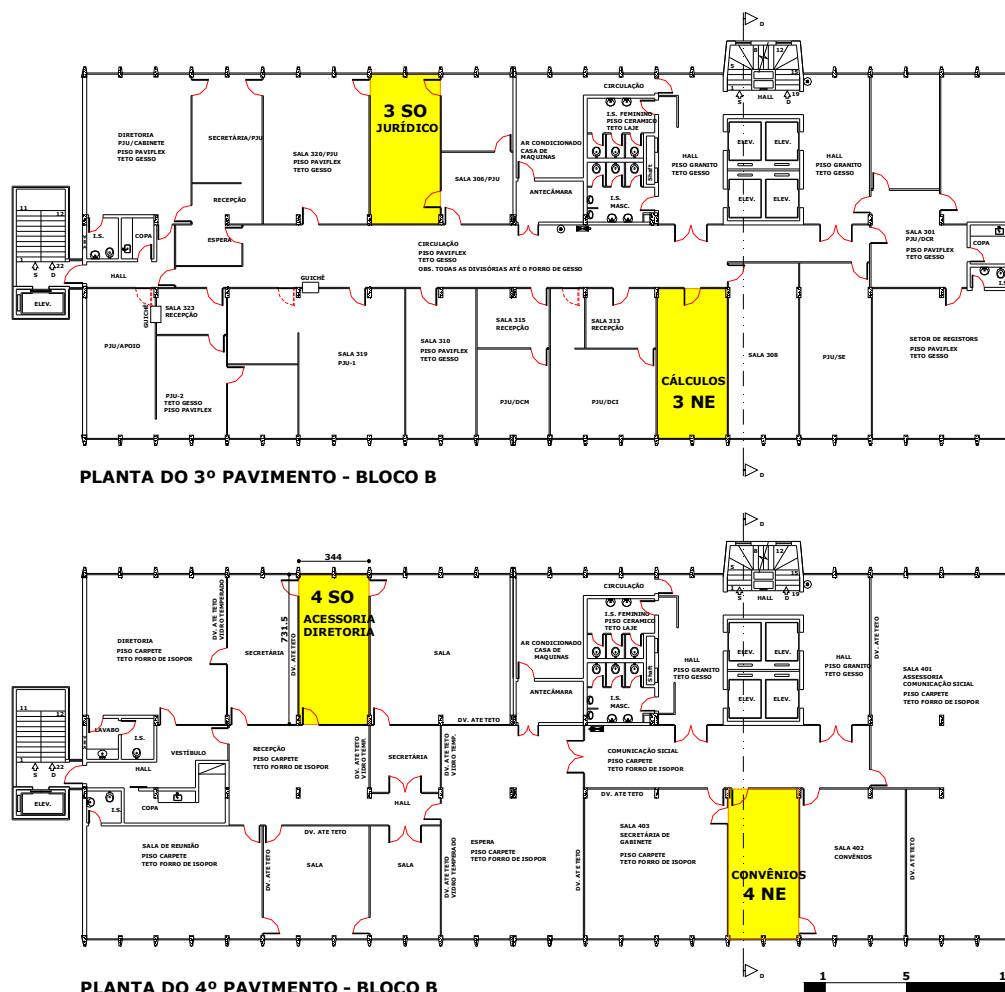






Figura 14 - Plantas esquemáticas do 3º e 4º pavimentos (em destaque os ambientes analisados)

Segundo levantamento descrito no item 4.1.1 - Levantamento das características construtivas, fontes internas de calor e rotinas de uso e ocupação (ver página 47), faz-se aqui o relato das informações coletadas a respeito das características construtivas dos ambientes analisados.

O terceiro pavimento possui divisórias de madeira com a parte superior envidraçada, piso vinílico e forro de gesso. O quarto pavimento possui divisórias de laminado melamínico; na sala nordeste o piso é vinílico e teto de gesso; já na sala sudoeste o piso é de carpete e o forro de poliuretano expandido flexível para tratamento acústico. Para a proteção solar os vidros da fachada nordeste possuem película protetora. Além disso, são utilizadas persianas horizontais e verticais em todos os ambientes.

A descrição das características específicas de cada ambiente com os tipos de materiais de revestimentos, materiais das paredes internas, bem como uso de persianas ou película de vidro (Tabela 8).

**Tabela 8 - Descrição das características dos ambientes analisados**

Sala	Elementos construtivos	Foto do ambiente
3 NORDESTE	<p>Piso: paviflex cor bege;</p> <p>Teto: forro de gesso, cor branco gelo;</p> <p>Divisórias: divisória de madeira cor marrom (tipo sucupira) até o teto; duas divisórias laterais com vidro fixo na parte superior;</p> <p>Persianas: uso com fechamento total;</p> <p>Película de vidro: presente.</p>	
3 SUDOESTE	<p>Piso: paviflex cor bege;</p> <p>Teto: forro de gesso, cor branco gelo;</p> <p>Divisórias: divisória de madeira cor marrom (tipo sucupira) até o teto; duas divisórias laterais com vidro fixo na parte superior;</p> <p>Persianas: uso entreaberto;</p> <p>Película de vidro: ausente.</p>	
4 NORDESTE	<p>Piso: paviflex cor bege;</p> <p>Teto: forro de gesso, cor branco gelo;</p> <p>Divisórias: laminado melamínico cor branca até o teto;</p> <p>Persianas: uso com fechamento total;</p> <p>Película de vidro: presente.</p>	
4 SUDOESTE	<p>Piso: carpete;</p> <p>Teto: forro poliuretano expandido flexível, cor branco gelo;</p> <p>Divisórias: laminado melamínico cor branca até o teto; uma divisória lateral com vidro fixo na parte superior;</p> <p>Persianas: uso com fechamento total;</p> <p>Película de vidro: ausente.</p>	

## 4.2. Variáveis, medição e monitoramento

### 4.2.1. Medição das variáveis climáticas do ambiente externo

As variáveis climáticas coletadas das estações climatológicas foram:

- Temperatura de bulbo seco do ar (TBS);
- Umidade relativa do ar;
- Velocidade e direção de vento.
- Radiação solar direta e difusa;

A coleta das variáveis externas é extraída de três conjuntos de instrumentação climatológica: <sup>(a)</sup> os dados de temperatura do ar e umidade relativa são provenientes da estação climatológica automática da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), <sup>(b)</sup> os dados de radiação solar da estação automática de Belo Horizonte do INMET e <sup>(c)</sup> os dados de velocidade e direção de vento do equipamento da UFMG instalado junto à torre da FEAM, de acordo com Figura 15.



**Figura 15 - Foto dos sensores junto à torre metálica da estação climatológica da FEAM. Anemômetro da SOLAR instalado logo abaixo do sensor padrão da estação climatológica**

A seleção da estação climatológica da FEAM é devido à sua localização próxima ao edifício em estudo (ver Figura 7). A estação está situada na Praça Rui Barbosa, região central de Belo Horizonte.

O período de coleta das variáveis climáticas foi de 01 de agosto a 10 de outubro de 2009. Foi instalado no dia 26 de agosto o equipamento da estação Solar da UFMG com o sensor anemômetro. O ideal é coletar o maior período de tempo dentro dos limites da pesquisa. Foram obtidos os dados climáticos do período de 70 (setenta) dias. As lacunas do banco de dados coletados através de medição foram preenchidas com dados calculados para completar a série. O procedimento de tratamento dos dados, inclusive o tipo de cálculo utilizado para o preenchimento da série de dados, está descrito no item 5.1.1 - Tratamento dos dados climatológicos (ver página 62).

As variáveis climáticas foram tratadas para gerar o arquivo climático, que serve de base para as simulações computacionais da validação empírica.

Para a confiabilidade dos dados medidos, foi necessário averiguar através de aferição a resposta de medição de todos os equipamentos que não estavam calibrados. Apesar de determinados equipamentos estarem calibrados, foi feita comparação com dados medidos de outras estações climatológicas para se ter confiança no dado a ser utilizado na pesquisa. A descrição da aferição e seus resultados são apresentados no Apêndice 1, página 128.

#### **4.2.1.1. Descrição dos equipamentos**

As especificações técnicas dos equipamentos de medição utilizados são descritas na Tabela 9. A estação climatológica da FEAM utiliza o equipamento termohigrômetro digital da marca MINIPA calibrado em 2008 conforme indica o certificado de calibração no Anexo 1.

A estação climatológica digital da marca SOLAR contém vários sensores de medição. Foi utilizado o anemômetro, sensor que mede direção e velocidade do vento. O equipamento está calibrado já que é um produto novo, adquirido em 2008.

**Tabela 9 - Especificações técnicas dos equipamentos de medição das variáveis climáticas**

<b>Variáveis medidas</b>	<b>Equipamento utilizado</b>	<b>Precisão</b>	<b>Faixa de medição</b>
Temperatura de Bulbo Seco	Termohigrômetro MINIPA	0,1 °C	-20 a 60 °C
Umidade Relativa do Ar	Termohigrômetro MINIPA	0,1 %	0 a 100 %
Velocidade do vento	Anemômetro SOLAR	0,5 m/s	0,5 a 75 m/s
Direção do vento	Anemômetro SOLAR	5 °	0 a 360 °

#### **4.2.2. Medição das variáveis ambientais da edificação**

As variáveis ambientais internas coletadas através do sistema de monitoramento foram a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa. As especificações técnicas

dos equipamentos e o procedimento de aferição encontram-se no Apêndice 1, página 128.

Para a medição das variáveis de temperatura de bulbo seco e da umidade relativa foi utilizado um sistema de monitoramento contínuo desenvolvido pela equipe do Laboratório de Controle e Processos Industriais – LCPI<sup>16</sup> – com base no sistema CMUF (Figura 16). O sistema foi instalado em cada uma das quatro salas selecionadas para a medição das variáveis ambientais.



**Figura 16 - Foto do sistema de monitoramento integrado ao ambiente analisado**

Os valores de infiltração gerada pelas frestas das esquadrias foi calculada através de dois métodos preditivos, conforme Creder (1996) e ASHRAE (1993). Encontrou-se valores de vazão de ar diferentes, sendo que pelo método brasileiro os valores foram maiores que o método americano. No modelo de simulação utilizou-se ambos valores, sendo que o de menor vazão foi usado para o ambiente de fachada de pressão negativa dos ventos e o de maior vazão para o ambiente de fachada de pressão positiva.

No método de Creder (1996) utiliza-se valores referência de trocas de ar segundo Tabela 10, sabendo-se que o volume do ambiente é de 61,5m<sup>3</sup>.

<sup>16</sup> O LCPI pertence ao departamento de Engenharia Eletrônica da Escola de Engenharia Elétrica da UFMG.

Tabela 10 - Valores de vazão de ar calculados conforme Creder (1996)

	Trocas por hora / volume (valor de referência)	Vazão do ar	Vazão do ar/ unidade de área de parede externa
Janelas ou portas em 2 paredes	1 ½	0,026 m <sup>3</sup> /s	0,00226 m <sup>3</sup> /s/m <sup>2</sup>

O método da ASHRAE (1993) utiliza valores referência de vazão de ar de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11 - Valores de vazão de ar calculados conforme ASHRAE (1993)

	Vazão do ar/ unidade de área de fresta (valor de referência)	Vazão do ar	Vazão do ar/ unidade de área de parede externa
Janelas pouco vedadas	0,05574 m <sup>3</sup> /s/f <sup>2</sup>	0,003 m <sup>3</sup> /s	0,00026 m <sup>3</sup> /s/m <sup>2</sup>

#### 4.2.2.1. Instalação do sistema de monitoramento no edifício

O sistema de monitoramento ambiental se estrutura num conjunto de equipamentos que transmite os dados através da internet. O conjunto é composto, basicamente, por quatro equipamentos eletrônicos. Os sensores de medição se conectam a uma placa de leitura de dados elétricos que se conectam a uma placa de transmissão de dados via cabo de rede que, por sua vez, transmite os dados ao *Web-Server* que está ligado à internet.

Os sensores de medição das variáveis ambientais (Figura 17) utilizados são: sensor eletrônico de temperatura termo-resistor LM35D (fabricante: National Semiconductor Corporation) e sensor eletrônico de umidade HIH 4000-004 (fabricante: Honeywell Sensing Control). Com o intuito de obter o controle da ventilação natural dos ambientes analisados foram utilizados sensores de controle de abertura nas janelas e portas das salas (Figura 17), o tipo de sensor é o sensor magnético SMSD de sobrepor por dupla conexão tipo NA (fabricante: Stylus).

Uma haste feita em canaleta de plástico foi utilizada para a afiação do conjunto sensores-transmissores junto ao forro (Figura 17). Foi usado um material leve para que o forro de gesso resistisse ao peso do conjunto.

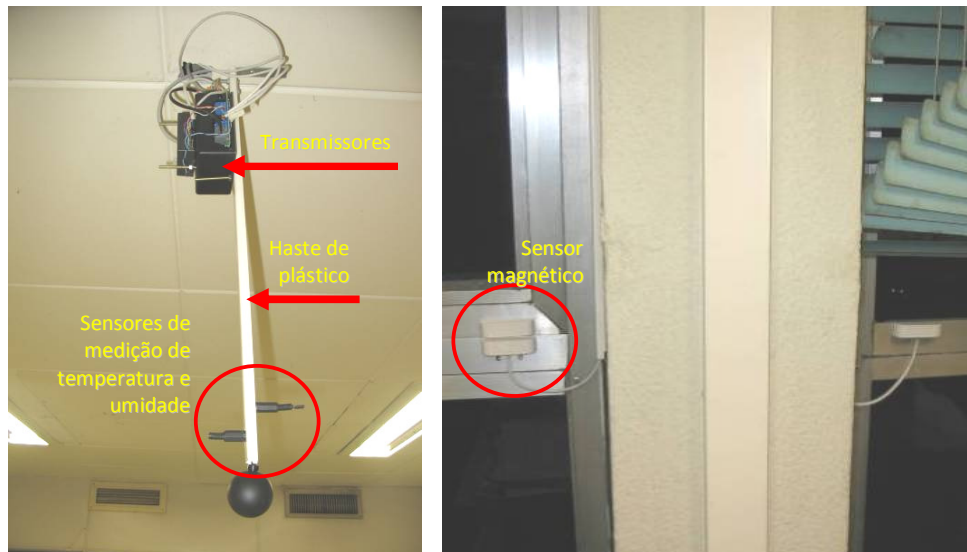


Figura 17 - Fotos do conjunto sensores-transmissores e sensores magnéticos instalados

O sistema de controle foi instalado junto aos terminais de rede do edifício, localizado no 9º andar. Pode-se ver na Figura 18 que a localização dos ambientes analisados no prédio e o trajeto do cabeamento de rede. O sistema funciona pela ligação em série de todos os pontos de coleta de dados. O início do conjunto do sistema é na sala nordeste do 4º andar e o término no *Web-Server*, no 9º andar. A distância total do cabeamento de rede é de 157 m, o que não prejudicou a transmissão de dados, como previsto.

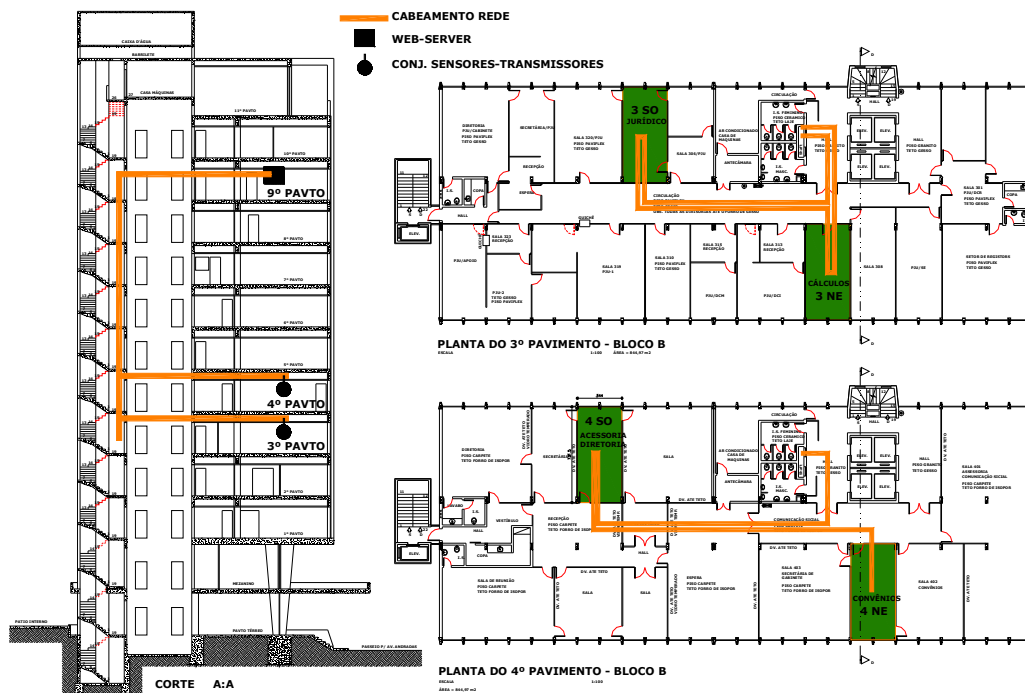


Figura 18 - Setorização dos ambientes analisados e disposição do cabeamento do sistema de monitoramento

Os dados de saída de temperatura do ar no programa *EnergyPlus*<sup>®</sup> considera a norma da ASHRAE, na qual a posição das variáveis correspondem ao centro geométrico do ambiente. A disposição dos sensores nos ambientes deveria estar conforme o dado de saída da simulação. Como o pé-direito do ambiente é de 3.40 m, a altura média seria de 1.70 m. Entretanto, no caso de um ambiente em uso, a instalação dos equipamentos a uma meia altura é impraticável, uma vez que o conjunto de equipamentos atrapalharia na circulação dos usuários. Além disso, os equipamentos poderiam ser danificados facilmente diminuindo o tempo de “vida útil” do sistema. O sistema foi, assim, instalado a uma altura de 2.10 m.

#### **4.3. Validação empírica do modelo de simulação**

O caso analisado é um edifício climatizado no período de funcionamento, de segunda-feira a sexta-feira. Nos finais de semana o prédio não é ocupado e não possui fontes internas de calor e nem refrigeração de ar. Foi possível saber se no período dos finais de semana não havia cargas internas pelo controle do consumo de energia do sistema de condicionamento de ar e pelo controle da movimentação das portas e janelas. O sistema CMUF faz o monitoramento do consumo do sistema de condicionamento de ar a cada dois pavimentos, ou seja, é possível saber se o sistema foi ou não acionado nos determinados pavimentos. Além disso, existe uma política interna de desligamento do disjuntor elétrico da sala após o encerramento das atividades do dia, o que, de certa forma, garante que não há carga de equipamentos fora do período de funcionamento.

O ambiente real possui uma complexidade de fenômenos de transferência de calor, bem como na variação constante de cargas térmicas internas. Além disso, o programa de simulação do *EnergyPlus*<sup>®</sup> possui um complexo modelo de cálculo para o sistema de condicionamento de ar. Devido à dificuldade na operacionalização do programa e ao curto tempo de pesquisa disponível em uma dissertação, não foi possível descrever o módulo de condicionamento de ar.

Assim, optou-se pela descrição do modelo para o período sem funcionamento, mais especificamente o período da madrugada de domingo a segunda de manhã. O objetivo aqui é analisar o ambiente com comportamento exclusivo da influência das variáveis climáticas externas. Neste sentido, foi feita a descrição do modelo com e sem a carga térmica interna do período semanal para constatar que a carga interna não se acumula até o dia de domingo. Com isso, pode-se concluir que o modelo para o dia de domingo não sofre influência da carga térmica interna acumulada pelo período de ocupação da semana.

Inicialmente foi feita a inserção dos dados de entrada no programa simulador. O conteúdo de entrada de dados pode ser separado em três etapas:

- 1ª etapa: Desenvolvimento do arquivo climático. O arquivo climático utilizado foi modelo baseado no TRY (*Typical Reference Year*<sup>17</sup>), porém com os dados substituídos pelos dados medidos do período de agosto a outubro de 2009. Os dados são, inicialmente, inseridos na planilha do *software Excel*®, salvos em formato texto, e, posteriormente, convertidos pelo programa *IDFconverter* do próprio *EnergyPlus*®.
- 2ª etapa: Desenvolvimento do modelo tridimensional. O modelo foi desenvolvido dentro do programa *Google Sketchup Pro*® versão 7.0 através do *plugin OpenStudio*® versão 1.0.5<sup>18</sup>.
- 3ª etapa: Descrição dos dados materiais construtivos, fontes internas de calor, rotinas de uso e dados de infiltração.

A descrição detalhada dos dados de entrada do modelo computacional é feita no capítulo 6 - O modelo de simulação. Após desenvolvimento e simulação do modelo, foi feita a análise comparativa entre os valores medidos e aqueles resultantes da simulação. A análise consta de duas etapas: calcular a incerteza de medição e desenvolver gráficos com a sobreposição das curvas de variação de temperatura.

Observam-se, nessa etapa, os desvios das respostas do modelo com os valores medidos. Analisam-se possíveis erros do modelo, que não são previstos ou mesmo que não têm como ser medidos, tais como propriedades termo-físicas dos materiais, taxa de infiltração e tempo de atraso térmico calculado pelo programa.

#### **4.4. Descrição dos experimentos**

Os experimentos são feitos sob condições de ausência total de cargas internas, bem como de condicionamento do ar. Essas condições representam a situação de influência exclusiva das variações ambientais externas à edificação, o que revela a importância da envoltória no comportamento térmico da edificação.

Os experimentos parametrizados são descritos para duas condições climáticas típicas, para os solstícios de verão e de inverno, através da utilização do arquivo climático do ano típico descrito para Belo Horizonte. O arquivo climático tipo TRY utilizado foi desenvolvido por Pereira (2004), o qual é baseado nos dados da estação meteorológica convencional do INMET/5DISME.

---

<sup>17</sup> TRY (*Typical Reference Year*) é um arquivo climático que descreve as variáveis climáticas de um ano típico descrito conforme a variação das temperaturas. O arquivo contém valores horários para as 8760 horas do ano.

<sup>18</sup> O programa *OpenStudio*® versão 1.0.5 foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), mesmo órgão desenvolvedor do *EnergyPlus*®.

---

Os experimentos são feitos através de simulação parametrizada de 7 modelos de edificação. Esses modelos ou protótipos possuem as mesmas configurações gerais de simulação, sendo alteradas as condições de área envidraçada, proteção solar e inércia térmica das paredes das fachadas principais. As variações de inércia ocorrem através da alteração da área de fachada constituída por elemento opaco e também pela classe de inércia dos mesmos. Foram consideradas duas opções de área envidraçada, uma opção é a área envidraçada de 18% da área de piso que representa a área de abertura da tipologia padrão, outra opção analisada foi a de 10% da área de piso que é considerada pela NBR 15220 – Parte 3 (ABNT, 2005c) como a menor área de abertura para ventilação. A descrição mais detalhada das características dos protótipos é apresentada no item 5.3 - Modelos edifícios dos experimentos.

As classes de inércia foram determinadas a partir da norma técnica NBR 15220 – Parte 2 (ABNT, 2005b). Utilizou-se a classe de material com inércia leve e pesada da norma, além da tipologia do caso real estudado, com fachada envidraçada, a qual é considerada de inércia nula. Neste processo, utilizaram-se os mesmos parâmetros característicos do edifício real, mesma orientação, elementos de sombreamento, barreiras externas, taxa de infiltração e mesma área de abertura.

## **CAPÍTULO 5**

## 5. TRATAMENTO DA BASE DE DADOS E DESCRIÇÃO DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO

### 5.1. *Tratamento dos dados*

#### 5.1.1. Tratamento dos dados climatológicos

As variáveis climáticas são utilizadas para gerar o arquivo climático, que serve de base para as simulações computacionais. Os dados ausentes foram estimados ou completados com os valores das estações climatológicas de referência, localizadas próximo ao edifício. Na Tabela 12, observa-se a fonte das variáveis coletadas e a condição dos dados estimados. Essas variáveis são as mínimas e necessárias para que o programa de simulação gere resultados. Para a descrição do arquivo climático foi necessário calcular os dados horários e transformar para a unidade do arquivo climático.

Os dados de radiação solar direta e difusa foram calculados a partir do modelo de estimativa de radiação solar incidente de acordo com Duffie e Beckman (2006), de acordo com Apêndice 2. O dado de Radiação Solar Média Diária Incidente na Superfície sobre Plano Horizontal inserido no algoritmo é o dado medido da estação de iluminação natural do Green Solar/PUC-MG. A partir do dado de radiação total, pôde-se encontrar o dado de radiação solar direta e difusa. O dado de número médio mensal teórico de horas de sol foi calculado a partir do cálculo do ângulo de pôr do sol de Duffie e Beckman (2006), já que não foi coletado o dado de nebulosidade.

Os equipamentos digitais podem sofrer atrasos em relação à hora local. Dessa forma, todos os dados tiveram de ser ajustados conforme referencial de horário local, obtido no Observatório Nacional. Por exemplo, observou-se que o horário do equipamento da FEAM estava adiantado em 4 minutos; já os dados das estações do INMET não possuíam alteração nos horários.

Os valores de temperatura e umidade relativa do ar do período de 2 a 30 de setembro foram estimados a partir da equação de regressão linear entre os dados das estações da FEAM e da estação automática de Belo Horizonte do INMET-Pampulha (de acordo com o Apêndice 1, Gráfico 7, página 128, os dados com maior correlação com relação àqueles da estação da FEAM foram os da estação automática de Belo Horizonte do INMET-Pampulha).

Tabela 12 - Descrição da condição das variáveis climáticas coletadas

Variável	Fonte	Tratamento estatístico	Observações sobre dados coletados
Temperatura** (°C)	FEAM*	média horária; período amostral de 15min	* a partir de 2 set - valores estimados provenientes da eq. regressão linear da estação automática INMET-Pampulha (VIDE Apêndice 1, Gráfico 38, página 128)
Umidade relativa** (%)	FEAM*	média horária; período amostral de 15min	* a partir de 2 set - valores estimados provenientes da eq. regressão linear da estação automática INMET-Pampulha (VIDE Apêndice 1, Gráfico 38, página 128)
Direção vento (graus)	ESTAÇÃO SOLAR	moda horária; período amostral de 2 min.	dados até dia 26 de agosto e mês de outubro são valores da mediana extraídos do mês de setembro
Velocidade vento (m/s)	ESTAÇÃO SOLAR	média dos últimos 10min; período amostral 2min.	dados até dia 26 de agosto e mês de outubro são valores da mediana extraídos do mês de setembro
Radiação global** (Wh/m <sup>2</sup> )	INMET - PAMPULHA	média horária da média do minuto; período amostral de 5 seg.	
Radiação direta (Wh/m <sup>2</sup> )	ESTIMADO	média horária.	dados calculados
Radiação difusa (Wh/m <sup>2</sup> )	ESTIMADO	média horária.	dados calculados
Temperatura de Pto. Orvalho** (°C)	INMET - PAMPULHA	média horária da média do minuto; período amostral de 5 seg.	
Pressão Atmosférica** (hPa)	INMET - PAMPULHA	média horária da média do minuto; período amostral de 5 seg.	
Chuva** (mm)	INMET - PAMPULHA	acumulado da média do minuto; período amostral de 5 seg.	

\*\* Dados originalmente tratados pelas próprias instituições FEAM ou INMET.

### 5.1.2. Tratamento dos dados monitorados da edificação

Os dados monitorados (de temperatura e umidade do ar) foram tratados conforme os dados de saída do *software EnergyPlus*<sup>®</sup> como mostra a Tabela 13. Esses dados servem de base de dados para posterior análise comparativa entre as condições ambientais medidas e os resultados de simulação.

Foram feitas aferições do sistema de monitoramento utilizando equipamento padronizado para o ajuste dos valores coletados, para maior confiabilidade desses dados. Concomitantemente, foram feitos ajustes de variação de tempo devido a atrasos do sistema de monitoramento (vide Apêndice 3, página 136).

Inicialmente foram desenvolvidas tabelas com os dados horários a partir de tratamentos estatísticos dos dados brutos coletados. A Tabela 13 apresenta a descrição dos métodos de tratamento estatísticos utilizados para cada variável monitorada. A média e moda horárias se referem aos valores dos minutos até o último minuto antes da hora posterior, por exemplo, a média horária das 10 horas refere-se aos dados de 10h00min a 10h59min.

**Tabela 13 - Descrição do tratamento dos dados das variáveis monitoradas**

Variável	Tratamento estatístico	Observações sobre dados coletados
Temperatura (°C)	média horária; período amostral de 1min	
Umidade relativa (%)	média horária; período amostral de 1min	
Abertura - janelas	moda horária; período amostral de 1min	Observou-se a condição de abertura para o conjunto das janelas. Caso uma das aberturas estivesse aberta, foi considerado como "janelas abertas".
Abertura - porta	moda horária; período amostral de 1min	

O sistema de monitoramento, assim como outros equipamentos digitais, sofre atrasos no horário, principalmente devido ao contínuo registro dos dados e o grande período de tempo de coleta. Assim, os dados monitorados tiveram que ser observados durante todo o período de coleta. Constatou-se que o sistema já iniciou o registro de dados, no dia 7 de julho de 2009, com defasagem de 2 min.; no dia 1 de dezembro de 2009, esse atraso foi para 7 min. Com isso, foi feita uma tabela com o ajuste proporcional do tempo relativo ao número de horas coletadas. Do período de 1 de agosto a 30 de setembro foram 1485 horas, com defasagem de 5 min. neste período.

O tratamento final dos dados monitorados (Tabela 14) foi feito, portanto, através de dois ajustes: <sup>(a)</sup> ajuste pela aferição das variáveis de temperatura e umidade relativa e <sup>(b)</sup> correção da variação temporal proveniente do atraso do sistema de monitoramento. No primeiro caso, o ajuste foi feito através da equação de regressão linear entre os dados monitorados e os do equipamento padrão Apêndice 3 (página 136). Por fim, foi feito o ajuste temporal do valor horário referente ao atraso do sistema de monitoramento.

**Tabela 14 - Exemplo do ajuste do valor dos dados monitorados de temperatura de bulbo seco pela equação de regressão linear e da variação de tempo**

SALA 3NORTE  
ajuste de 2min além do atraso por dia de:  $2,054794521 = 0,001426941$  min/h

data/hora	TBS ajustada pela eq. regressão (média horária)	Diferença de TBS	Valor sequencial	Atraso (min)	TBS ajustada pela eq. regressão e horário (média horária)
31/8/09 0:00	25,60	-0,23	742	3,06	25,61
31/8/09 1:00	25,40	-0,20	743	3,06	25,41
31/8/09 2:00	25,21	-0,19	744	3,06	25,22
31/8/09 3:00	24,99	-0,23	745	3,06	25,00
31/8/09 4:00	24,76	-0,23	746	3,06	24,77
31/8/09 5:00	24,52	-0,23	747	3,07	24,53
31/8/09 6:00	24,33	-0,20	748	3,07	24,33
31/8/09 7:00	24,09	-0,23	749	3,07	24,10
31/8/09 8:00	24,42	0,33	750	3,07	24,40
31/8/09 9:00	25,01	0,60	751	3,07	24,98
31/8/09 10:00	24,70	-0,31	752	3,07	24,72
31/8/09 11:00	25,53	0,83	753	3,07	25,49
31/8/09 12:00	25,97	0,44	754	3,08	25,94
31/8/09 13:00	26,25	0,28	755	3,08	26,23
31/8/09 14:00	26,08	-0,17	756	3,08	26,09
31/8/09 15:00	26,15	0,07	757	3,08	26,14
31/8/09 16:00	25,30	-0,84	758	3,08	25,35
31/8/09 17:00	24,24	-1,06	759	3,08	24,29
31/8/09 18:00	23,83	-0,41	760	3,08	23,85
31/8/09 19:00	25,14	1,31	761	3,09	25,08
31/8/09 20:00	25,31	0,16	762	3,09	25,30
31/8/09 21:00	25,29	-0,02	763	3,09	25,29
31/8/09 22:00	25,19	-0,10	764	3,09	25,20
31/8/09 23:00	25,07	-0,12	765	3,09	25,08

## 5.2. Descrição dos modelos de simulação da edificação

São descritos nesse item os principais dados de entrada e saída para os modelos de simulação da edificação. Primeiro, apresenta-se a descrição do modelo para a validação empírica. Posteriormente, apresenta-se a descrição dos modelos dos experimentos ou protótipos da edificação.

### 5.2.1. Modelo de validação empírica

#### 5.2.1.1. Descrição do modelo tridimensional

O modelo do edifício real para efeito de simulação deve ser descrito o mais próximo possível da realidade, porém o modelo sofre simplificações em função dos objetivos a alcançar e também em função das limitações do próprio programa simulador. O modelo tridimensional foi desenvolvido com o objetivo de analisar os quatro ambientes localizados no 3º e 4º pavimentos. Foram modelados, dessa forma, os dois pavimentos analisados e os pavimentos adjacentes, ou seja, o 2º e 5º pavimentos (Figura 19).

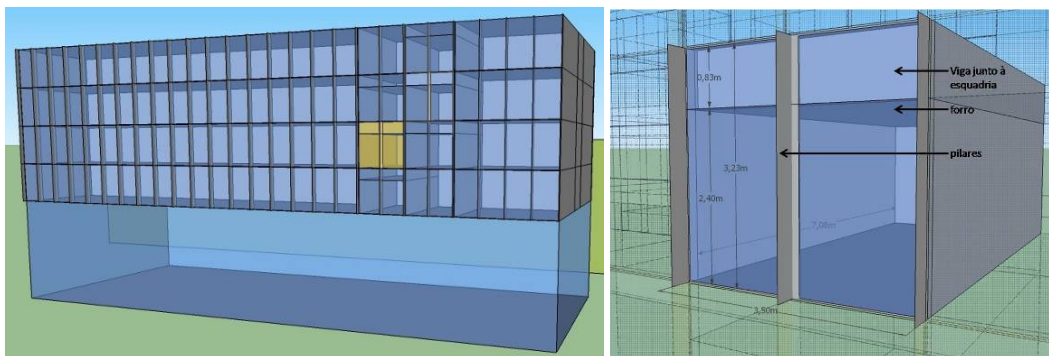
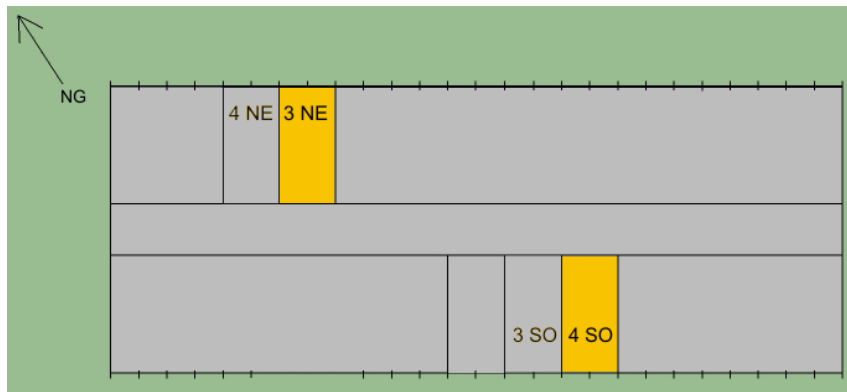


Figura 19 - Perspectiva do modelo tridimensional do modelo 1 - parede envidraçada

Os ambientes são determinados por zonas térmicas. Uma zona térmica representa um ambiente com cargas térmicas semelhantes e é descrita por um conjunto de objetos (zona e superfícies), bem como suas respectivas características termo-físicas. A inclusão de algoritmos de convecção interna e externa para a descrição da zona térmica é opcional. No caso estudado, foram modeladas as quatro salas segundo as áreas físicas reais. Outras zonas térmicas foram descritas pelo agrupamento das salas restantes separadas por uma zona térmica única, correspondente à circulação horizontal de cada pavimento. A planta esquemática das zonas térmicas é representada na Figura 20 (observa-se que a planta é igual para os quatro pavimentos considerados).



**Figura 20 - Planta esquemática das zonas térmicas do 3º e 4º pavimentos com destaque para os ambientes analisados: sala nordeste (3NE – sala na fachada NE situada no 3º pavimento) e sudoeste (4SO – sala na fachada SO situada no 4º pavimento)**

A definição de uma zona térmica é feita pela descrição das suas respectivas superfícies, que são definidas por tipologia. As superfícies do modelo foram descritas a partir de outro programa, o *Google SketchUp Pro®*, e o arquivo assim criado gera superfícies com todos os seus vértices detalhados através de coordenadas tridimensionais. As tipologias de superfícies do modelo são descritas a seguir:

- Superfícies das paredes = 198 objetos (*Building surface: detailed*)
- Superfícies das lajes e forros = 12 objetos (*Roof-ceiling: detailed*)
- Superfícies das aberturas = 56 objetos (*fenestration surface: detailed*)
- Superfícies dos pilares = 220 objetos (*shading building: detailed*)

Os pilares foram descritos como superfícies de sombreamento, pois essa estrutura avança para o exterior em relação à fachada, participando não apenas nos efeitos de transferência de calor, mas de sombreamento da fachada. Esse sombreamento tem apenas um pequeno efeito na redução do fluxo de calor por radiação solar, já que os pilares fazem um sombreamento vertical enquanto que a incidência solar na fachada é horizontalizada ao longo do dia.

Os perfis da esquadria de alumínio não foram descritos no modelo de simulação, mesmo sendo possível descrever esse tipo de elemento dentro do programa simulador. Devido a erros apresentados pelo programa a partir da entrada de dados desse componente, optou-se por descartar o uso desse elemento até a verificação da qualidade dos resultados do modelo em relação ao caso real.

Existem simplificações para o desenvolvimento do modelo tridimensional para descrição das zonas térmicas no programa de simulação. No *EnergyPlus®*, cada

componente arquitetônico é representado por uma única superfície, como pode ser visto na Figura 19. Dessa forma, as dimensões do ambiente em análise sofrem alterações. A Tabela 15 mostra a comparação entre as características geométricas reais e as do modelo de simulação de validação.

**Tabela 15 - Características geométricas do ambiente analisado e do modelo de validação**

	Volume	Área de piso	Área das paredes internas	Percentual área de janela pela área de piso	Percentual área de abertura pela área de piso	Pé direito	Altura do forro
<b>Caso real</b>	61,44 m <sup>3</sup>	25,6 m <sup>2</sup>	101,5 m <sup>2</sup>	41%	17%	2,98 m	2,4 m
<b>Modelo de validação</b>	60,96 m <sup>3</sup>	25,4 m <sup>2</sup>	102,0 m <sup>2</sup>	44%	18%	3,23 m	2,4 m

### 5.2.1.2. Descrição dos parâmetros de simulação

Os parâmetros das configurações gerais de simulação são descritos a seguir:

- Parâmetros Gerais

Controle de simulação: utilização de apenas um único parâmetro de simulação, simulação através de arquivo climático (*Run Simulation for Weather File Run Periods = yes*).

- Parâmetros da edificação

Ângulo do eixo Norte: 213 graus (North Axis);

Tipo de Terreno: cidade (Terrain = city);

Valor de Tolerância de carga térmica: 0,005 W (Loads Convergence Tolerance Value);

Valor de Tolerância de temperatura: 0,005 °C (Loads Convergence Tolerance Value);

Distribuição solar: interior e exterior completo com reflexões (Solar Distribution = FullInteriorAndExteriorWithReflections);

- Parâmetros de cálculo:

Frequência de cálculo de sombreamento: 1 (período de dias). Significa que o período de cálculo é feito a cada dia. (*ShadowCalculation - Calculation Frequency = 1*);

Algoritmo de convecção interna: detalhado

(*SurfaceConvectionAlgorithm:Inside = Detailed*);

Algoritmo de convecção externa: detalhado

(*SurfaceConvectionAlgorithm:Outside = Detailed*);

Algoritmo de balanço térmico: Função de Transferência de Calor por Condução (CTF)

(*HeatBalanceAlgorithm =ConductionTransferFunction*);

- Intervalo de tempo: 4 (quantidade de intervalos por hora). Significa que o período de cálculo é feito a cada 15 minutos. (*Number of Timesteps per Hour = 4*).
- Período de simulação (*Runperiod*):  
Período do arquivo climático a ser simulado: 1 de agosto a 10 de outubro;  
Quantidade de repetições do período de simulação: 1 vez  
(*Number of Times Runperiod to be repeated = 1*).

#### **5.2.1.3. Descrição dos materiais construtivos**

Os ambientes tiveram a descrição das características arquitetônicas descritos conforme o levantamento descrito no item 3.2 - Descrição da edificação. Cada material existente foi descrito no banco de dados do programa *EnergyPlus*<sup>®</sup> de acordo com suas características termo-físicas descritas na Tabela 16. Destaca-se que os revestimentos e objetos internos, tais como a mobília e persianas não foram descritas no modelo de simulação devido a complexidade dos dados.

**Tabela 16 - Características dos materiais construtivos do modelo de validação**

Componente	Propriedades material	Massa específica aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Condutividade térmica (W/(m.K))	Calor específico (J/(kg.K))	Resistência Térmica (m <sup>2</sup> K/W)	Absortância termica	Absortância solar	Espessura (m)
<b>Viga</b>	Concreto armado <sup>(1)</sup> pintado	2400	1.75	1005	0.31	0.40	0.30	0.25
<b>Laje</b>	Concreto armado <sup>(1)</sup> pintado	2400	1.75	1005	0.31	0.40	0.30	0.25
<b>Pilar aparente</b>	Concreto aparente <sup>(1)</sup>	2400	1.75	1005	0.28	0.90	0.65	0.2
<b>Forro gesso</b>	Placa de gesso <sup>(1)</sup>	750	0.35	837	0.20	0.40	0.30	0.012
<b>Forro poliuretano expandido flexível</b>	forro tipo <i>thermacoustic</i> <sup>(5)</sup>	—	0,06	—	0,18	0.40	0.25	0.015
<b>Divisória laminado</b>	Laminado melaminico <sup>(2)</sup>	—	0,17	—	0,21	0.50	0.40	0.035
<b>Divisória madeira</b>	sucupira <sup>(3)</sup>	900 <sup>(3)</sup>	0.29	1340	0.20	0.85	0.65	0.008
<b>Reboco e Assentamento</b>	argamassa comum pintada <sup>(2)</sup>	2100	1.15	1000	0.19	0.40	0.30	0.02
<b>Alvenaria</b>	bloco de concreto <sup>(1)</sup>	2400	1,75	1000	0.30	0.90	0.65	0.19
<b>Vidro</b>	vidro laminado <sup>(4)</sup>	2700	1.20	837	0.19	0.59	0.65 <sup>(6)</sup>	0.008
<b>Esquadria</b>	Alumínio <sup>(2)</sup>	2700	230.00	880	0.17	0.04	0.10	0.006

<sup>1</sup> Fonte: Manual de Conforto Térmico (Frota & Schiffer, 2001).

<sup>2</sup> Fonte: NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações - Parte 2 - Anexo B (ABNT, 2005b).

<sup>3</sup> Fonte: Madeiras brasileiras: suas características e aplicações industriais (Industrial Teco, 1971).

<sup>4</sup> Fonte: Dado do fabricante Blindex®

<sup>5</sup> Fonte: Dado do fabricante AMF®

<sup>6</sup> Fonte: Castro (2006)

#### 5.2.1.4. Descrição das cargas internas

As cargas internas correspondem a todas as fontes internas de calor. Conforme levantamento, foram coletados os dados de: quantidade de usuários, potência instalada dos equipamentos e iluminação artificial, que foram inseridos no modelo de simulação para sua validação, apresentados na Tabela 17.

**Tabela 17 - Dados de carga interna dos ambientes analisados**

Sala	nº usuários	potência instalada iluminação (W)	potência instalada equipamento <sup>(1)</sup> (W)	calor sensível total <sup>(2)</sup> (W)	calor metabólico total <sup>(3)</sup> (W)
3 NORDESTE	3	476	344	195	420
3 SUDOESTE	5	476	142	325	700
4 NORDESTE	3	476	117	195	420
4 SUDOESTE	2	136	340	130	280

<sup>1</sup> potência instalada relativa a 10h/dia de funcionamento, para entrada de dados no EnergyPlus®.

<sup>2</sup> calor sensível por pessoa é de 65 W em atividade de escritório (fonte: Mesquita, 1977).

<sup>3</sup> calor metabólico por pessoas é de 140 W em atividade de escritório (fonte: Mesquita, 1977).

### 5.2.1.5. Descrição da infiltração e ventilação

A taxa de renovação do ar é ocasionada pela infiltração e ventilação; essa troca de volume de ar pode gerar um efeito significativo no ganho ou perda de carga térmica da edificação. Dessa forma, é importante obter os valores de circulação do ar dos ambientes.

A infiltração gerada pelas frestas das esquadrias foi calculada através de dois métodos preditivos, segundo Creder (1996) e ASHRAE (1993), conforme apresentado no item 4.2 - Variáveis, medição e monitoramento (ver página 53). Os dados foram calculados a partir das medidas das esquadrias (Figura 21). Foram medidas as áreas das esquadrias, das aberturas e dimensões das frestas.



**Figura 21 - Fotos dos detalhes das frestas da esquadria (indicadas com setas)**

Foram encontrados valores diferentes segundo os dois métodos, sendo os valores descritos na Tabela 18. Na simulação, foram utilizados os dados de menor e maior infiltração e averiguado qual o melhor resultado, baseado na análise comparativa dos valores estimados de temperatura com os medidos no ambiente real. Após essa análise prévia, constatou-se que as salas à nordeste apresentaram melhores resultados de simulação quando foi utilizado o maior valor de fluxo de infiltração (0,026 m<sup>3</sup>/s), já as salas à sudoeste, utilizando o menor valor de fluxo de infiltração (0,003 m<sup>3</sup>/s). O menor valor de infiltração foi utilizado para as salas sudoeste pelo fato de haver barreiras ao vento no entorno próximo, que não foram mensuradas e nem descritas no modelo de simulação.

**Tabela 18 - Valores calculados de fluxo de infiltração**

	CREDER Método da troca de ar <sup>(1)</sup>	ASHRAE <sup>(2)</sup>
Fluxo por zona ( <i>Design flow rate</i> )	0,026 m <sup>3</sup> /s	0,003 m <sup>3</sup> /s
Fluxo por área de superfície exterior ( <i>Flow per Exterior Surface Area</i> )	0,00226 m <sup>3</sup> /s-m <sup>2</sup>	0,00026 m <sup>3</sup> /s-m <sup>2</sup>

<sup>(1)</sup> considerando valor de referência de 1 ½ trocas/hora.  
<sup>(2)</sup> valores de referência para aberturas pouco vedadas.

Os parâmetros de configuração de infiltração do modelo de simulação são descritos a seguir:

- Infiltração da zona: Taxa de fluxo de projeto

Método de Cálculo (Design Flow Rate Calculation Method): fluxo por área de superfície de parede externa (Flow per Exterior Surface Area);

Valor do fluxo por área de superfície de parede externa (Flow per Exterior Surface Area) - determinado por zona: 0,00226 m<sup>3</sup>/s-m<sup>2</sup> para salas de fachada nordeste e 0,00026 m<sup>3</sup>/s-m<sup>2</sup> para salas de fachada sudoeste;

Coefficiente do termo constante (Constant Term Coefficient): 1, valor padrão do programa;

Coefficiente de temperatura (Temperature Term Coefficient): 0, valor padrão do programa;

Coefficiente de velocidade (Velocity Term Coefficient): 0, valor padrão do programa;

Coefficiente de velocidade quadrática (Velocity Squared Term Coefficient): 0, valor padrão do programa.

O controle de abertura, feito através dos sensores instalados nas janelas e portas, possibilitou descrever uma rotina diária de uso de ventilação natural, a qual possui um

valor fixo de taxa de renovação de ar. Para o modelo de validação empírica a determinação dos horários nos quais as janelas e portas estão abertas é importante para se fazer uma análise detalhada das perdas de carga térmica dos ambientes analisados. Inicialmente, foram desenvolvidas tabelas com todos os resultados dos dados monitorados nas salas, incluindo o controle de abertura das portas e janelas.

O valor típico da taxa de ventilação natural das zonas foi calculado baseando-se no método prescritivo de Van Straaten<sup>19</sup> (1967, *apud* Mascaró, 1985) para janelas do tipo máximo-ar. O valor encontrado pelo cálculo foi de 16 trocas de volume de ar a cada hora, sendo a velocidade média do ar local de 1,9 m/s e a direção predominante dos ventos de 135° (sudeste), valores estes resultantes da medição dos dados climáticos locais, no período em análise.

#### 5.2.1.6. Descrição das rotinas de uso

A descrição das rotinas de funcionamento de equipamentos, ocupação, controle de elementos de sombreamento e de renovação de ar do modelo de simulação encontra-se na Tabela 19.

Tabela 19 - Valores de rotinas de uso do modelo de simulação

Nome da Rotina "Schedule"	módulo do banco de dados	Período de uso	Valor de uso	Valor quando desativado
uso semanal	Ocupação, equipamentos e iluminação "internal gains"	8:00 - 11:00 e 14:00 - 18:00	1	0
uso sombreamento	Pilares "shading building"	sempre	0	-
uso ventilação	Ventilação "zoneventilation"	8:00 - 17:00	1	0
uso contínuo	Infiltração "zoneinfiltration"	sempre	1	-

### 5.3. Modelos edilícios dos experimentos

Conforme item 4.4 - Descrição dos experimentos, os experimentos são feitos através da simulação parametrizada. Foram desenvolvidos quatro modelos de experimentos ou protótipos da edificação, sendo alteradas as condições de área envidraçada, classificadas pelos números dos protótipos, e condições de inércia térmica das paredes das fachadas principais, classificados por pesadas e leves, através das letras P e L,

<sup>19</sup> VAN STRAATEN, J. F. *Thermal Performance of Buildings*. Londres, Elsevier, 1967.

respectivamente. As características geométricas principais dos ambientes analisados para os experimentos são iguais às do modelo de validação<sup>20</sup>. As diferenças arquitetônicas dos protótipos são dadas pelo percentual de área de janela em relação à área do piso e pela e classe de inércia. As características dos protótipos desenvolvidos são apresentados na Tabela 20 e as perspectivas dos modelos 2 a 4 podem ser vistas na Figura 22, Figura 23 e Figura 24.

**Tabela 20 - Descrição dos Protótipos**

Protótipo	Tipo de superfície da fachada	Percentual área de janela pela área de piso	Classe de inércia	Uso de Proteção Solar
<b>P1</b>	envidraçada	44%	–	sem proteção
<b>P2P</b>	possui área opaca	18%	pesada	sem proteção
<b>P2L</b>	possui área opaca	18%	leve	sem proteção
<b>P3P</b>	possui área opaca	18%	pesada	com proteção
<b>P3L</b>	possui área opaca	18%	leve	com proteção
<b>P4P</b>	possui área opaca	10%	pesada	sem proteção
<b>P4L</b>	possui área opaca	10%	leve	sem proteção

O protótipo 1 possui as características arquitetônicas idênticas ao modelo validado empiricamente, ou seja, fachadas principais constituídas por painel envidraçado e estrutura de concreto. Os protótipos 2, 3 e 4 (Figura 22, Figura 23 e Figura 24, respectivamente) são tipologias edilícias que possuem envoltória composta por alvenaria e janelas.

Cada um desses protótipos possui duas variações da constituição do material construtivo da alvenaria: parede com baixa inércia térmica ou leve e parede com alta inércia térmica ou pesada, consideradas de acordo com as prescrições da NBR 15220. Com as variações da inércia térmica das paredes tem-se um total de 7 protótipos.

<sup>20</sup> As características geométricas do ambiente analisado do modelo de validação são apresentadas na Tabela 15.

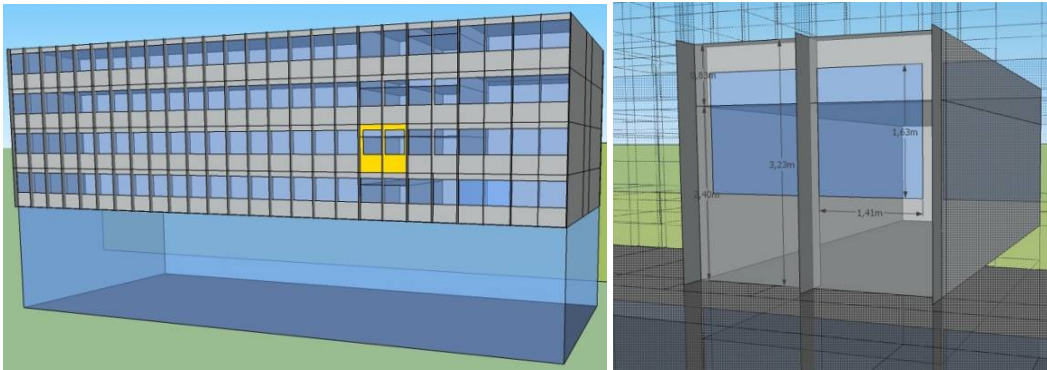


Figura 22 - Perspectiva do modelo 2 – janela de 18% da área de piso, sem proteção solar

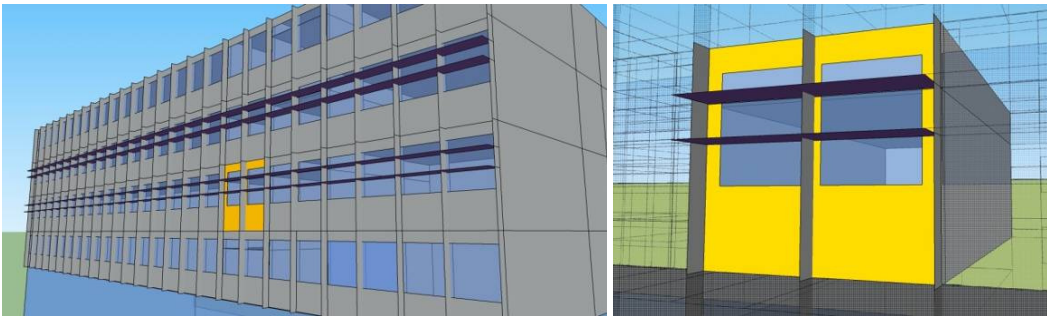


Figura 23 - Perspectiva do modelo 3 – janela de 18% da área de piso, com proteção solar

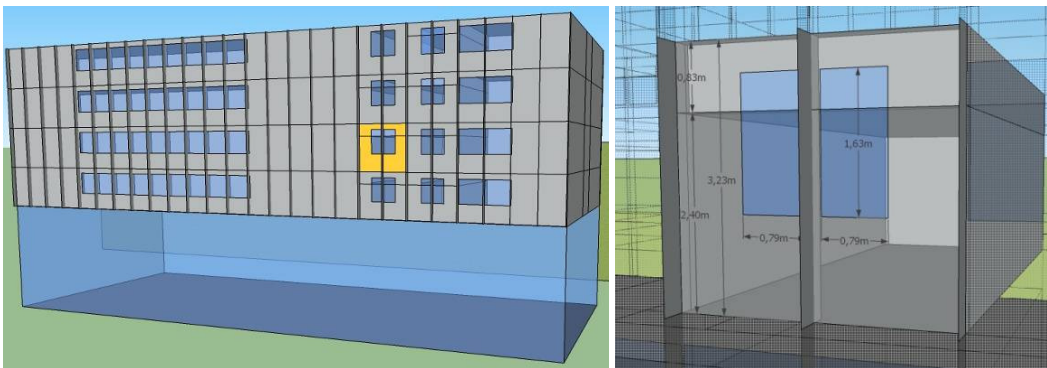


Figura 24 - Perspectiva do modelo 4 – janela de 10% da área de piso, sem proteção solar

As configurações gerais de simulação dos protótipos são iguais às do modelo de validação, os parâmetros de infiltração e rotinas de uso são também idênticos ao modelo de validação. O único parâmetro diferente configurado para os experimentos foi o período de tempo, o qual foi alterado para maior representatividade da resposta de simulação. As configurações do período de tempo são descritas a seguir.

- Intervalo de tempo: 15 (quantidade de intervalos por hora). Significa que o período de cálculo é feito a cada 4 minutos. (*Number of Timesteps per Hour = 15*).

▪ Período de simulação (*Runperiod*):

Período do arquivo climático a ser simulado:

Verão: 11 a 13 de janeiro;

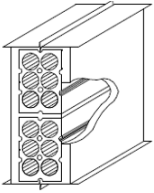
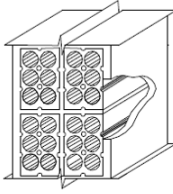
Inverno: 5 a 7 de junho;

Quantidade de repetições do período de simulação: 15 vezes

(Number of Times Runperiod to be repeated = 15).

As composições construtivas dos dois tipos de parede (leve e pesada) são feitas com base nas características construtivas e conforme exemplos apresentados pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005b), de acordo com a Tabela 21. Foi utilizada para a parede leve a alvenaria composta por tijolos cerâmicos furados de 10 cm de espessura, revestida em ambos os lados por argamassa de emboço de 2,5 cm de espessura e assentamento de argamassa de 1 cm de espessura. A parede pesada é composta por parede dupla de tijolos cerâmicos furados de 10 cm de espessura, revestida em ambos os lados por argamassa de emboço de 2,5 cm de espessura e assentamento de argamassa de 1 cm de espessura. As características termo-físicas gerais dos materiais construtivos são descritas na Tabela 22.

**Tabela 21 - Composições e características das paredes dos protótipos 2, 3 e 4**

classe de inércia	parede	descrição	transmitância térmica	capacidade térmica	atraso térmico
			U (W/m <sup>2</sup> K)	C <sub>T</sub> (kJ/m <sup>2</sup> K)	φ (horas)
leve		Parede de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 15,0 cm	2,28	168	3,7
pesada		Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x15,0x20,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 26,0 cm	1,52	248	6,5

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005b).

**Tabela 22 - Características dos materiais construtivos dos protótipos 2, 3 e 4**

Propriedades de Material	unidade	componente arquitetônico	
		reboco e assentamento	alvenaria
		argamassa comum pintada <sup>(1)</sup>	tijolo cerâmico 19x19x39
Massa específica aparente	(kg/m <sup>3</sup> )	2100	1300
Condutividade térmica	(W/(m.k))	1,15	0,70
Calor específico	(J/(kg.K))	1000	920
Resistência Térmica	(m <sup>2</sup> K/W)	0,19	0,54
absortância termica		0,90	0,80
absortância solar		0,30	0,85
Espessura	(m)	0,02	0,19

<sup>1</sup> Fonte: NBR 15220 – Parte 2, Anexo B (ABNT, 2005b)

## CAPÍTULO 6

## 6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 6.1. Resultados da Validação Empírica do Modelo de Simulação

Os dados de temperatura do ar das salas monitorados foram comparados com os resultados do modelo de simulação de validação. Os dados foram comparados através de gráficos de variação de temperatura, gráficos de correlação e análise estatística de comparação. Os valores tratados encontrados pelo monitoramento podem ser vistos no Apêndice 4, página 143.

Os dados monitorados do mês de agosto foram usados para a comparação com os resultados de simulação, uma vez que o arquivo climático<sup>21</sup> do programa de simulação foi preparado com os dados de temperatura do ar, umidade relativa e dados de vento medidos nesse período nas estações climatológicas de localização mais próxima à edificação do DER/MG, na Praça Rui Barbosa.

As respostas de temperatura interna resultantes da simulação da edificação para o período de agosto são consideradas satisfatórias (vide Gráfico 1 a Gráfico 6 ). Dessa forma, para efeito de validação empírica, são apresentados os resultados dos três últimos finais de semana do mês de agosto, sendo o período de 30 a 31 de agosto o mais representativo, pois esse é o período que contém todos os dados medidos descritos no arquivo climático.

A incerteza da medição dos dados monitorados é resultado da soma das incertezas dos processos de aferição e do equipamento de medição. A incerteza total da medição para os dados monitorados de temperatura é de 0,63 °C, resultante das incertezas de medição descritas a seguir:

- 0,10 °C devido à precisão do termômetro de mercúrio;
- 0,26 °C devido ao desvio padrão da diferença ou erro padrão entre os dados do termômetro de mercúrio contra o registrador digital HOBO tipo U12-012;
- 0,27 °C devido ao desvio padrão da diferença ou erro padrão entre os dados do registrador digital HOBO tipo U12-012 contra os dados corrigidos do

---

<sup>21</sup> Como os dados externos de temperatura do mês de setembro tiveram que ser estimados, os dados do mês de agosto foram escolhidos para a validação por estarem mais completos, como visto no item 5.1.1 - Tratamento dos dados climatológicos na página 81. Os dados de vento do período até o dia 26 de agosto são valores estimados, de 27 a 31 os dados são medidos. Os demais dados climáticos são da estação automática INMET/Pampulha.

---

sistema de monitoramento do CMUF, como pode ser visto no item no Apêndice 3, página 136.

A partir da análise dos gráficos de variação de temperatura, observa-se comportamento bastante semelhante entre os dados medidos e os dados simulados. Os melhores resultados encontrados são da sala nordeste (Gráfico 1, Gráfico 2 e Gráfico 3). Para essa sala as curvas se desenvolvem quase paralelamente. A diferença média entre os dados monitorados e os simulados, para os três períodos, é de  $-0,52^{\circ}\text{C}$ , sendo que a maior diferença absoluta encontrada nesses períodos é de  $-2,63^{\circ}\text{C}$ . Os pontos de máxima e mínima estão próximos, sendo a maior diferença de  $0,73^{\circ}\text{C}$ . Para a sala sudoeste os períodos dos domingos de 16 e 30 de agosto (Gráfico 4 e Gráfico 6) apresentam comportamento semelhante, sendo a diferença média de  $-0,78^{\circ}\text{C}$  e a maior diferença absoluta de  $-1,42^{\circ}\text{C}$ . No dia 30 os dados simulados apresentam maior diferença com relação ao pico de temperatura máxima, o que poderia ser explicado pelo efeito do uso de proteção solar não mensurado, como o caso de persianas internas. O período dos dias 23 e 24 de agosto não foi considerado na análise estatística de comparação, pois foi observada grande discrepância entre as curvas de temperatura (Gráfico 5), sendo os valores medidos muito abaixo dos valores simulados. Essa ocorrência inesperada pode ser explicada pelo efeito de ventilação natural proveniente da abertura das janelas já que foi constatada a permanência de abertura de uma das janelas nesse período.

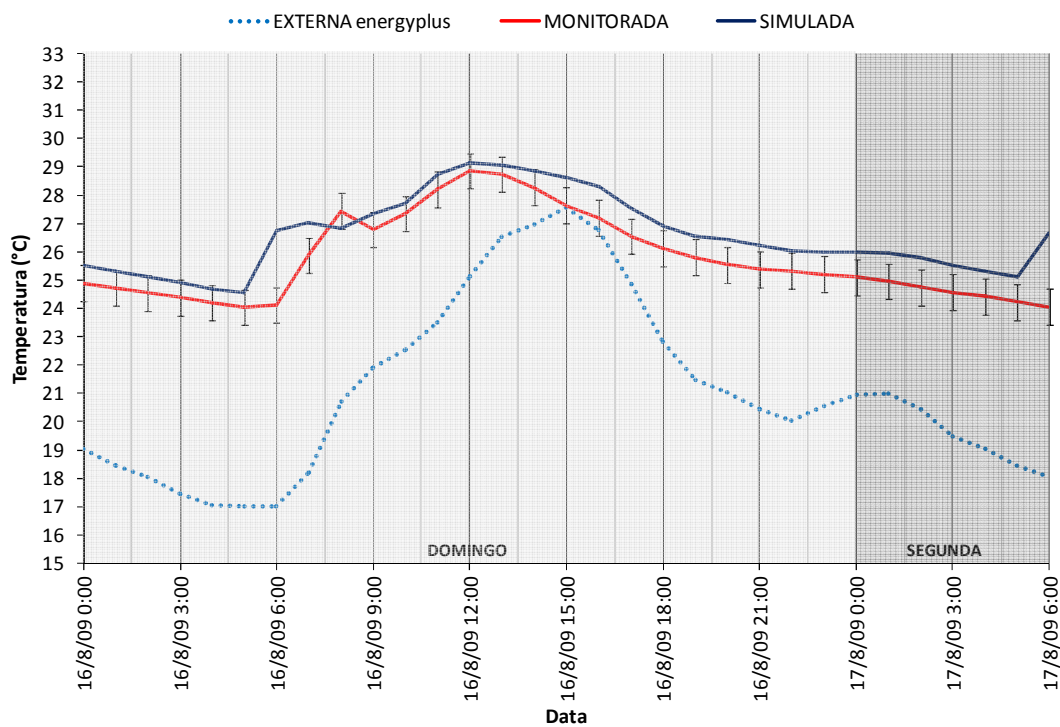


Gráfico 1 - Variação de Temperatura do ar interno no período de monitoramento, sala nordeste (dias 16 e 17 de agosto).

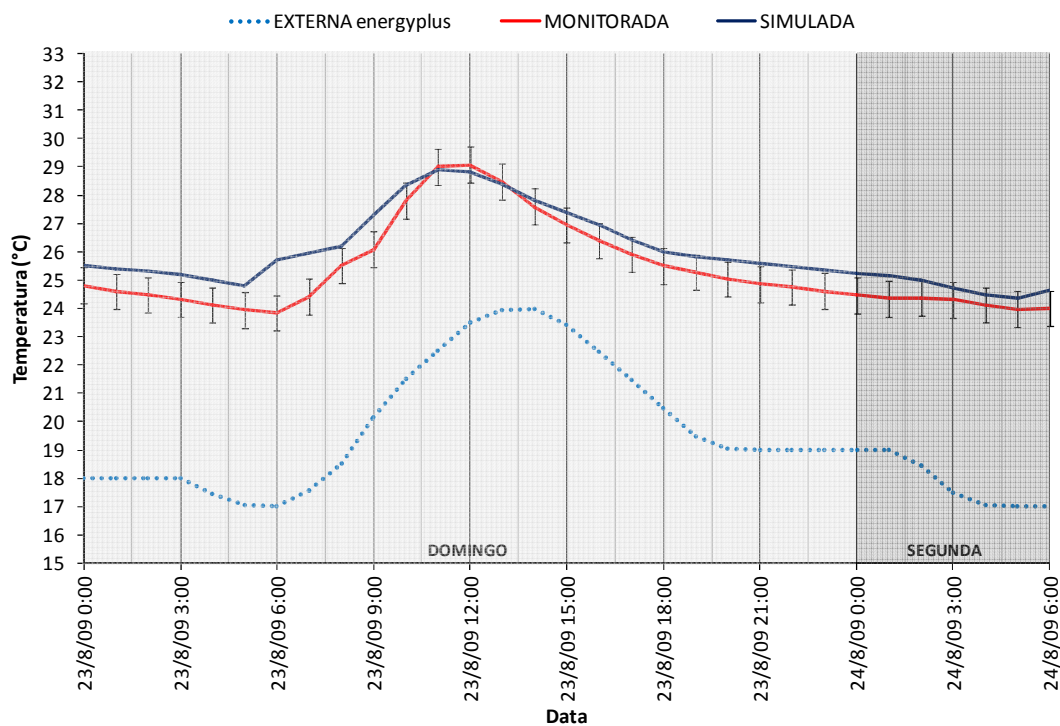


Gráfico 2 - Variação de Temperatura do ar interno no período de monitoramento, sala nordeste (dias 23 e 24 de agosto).

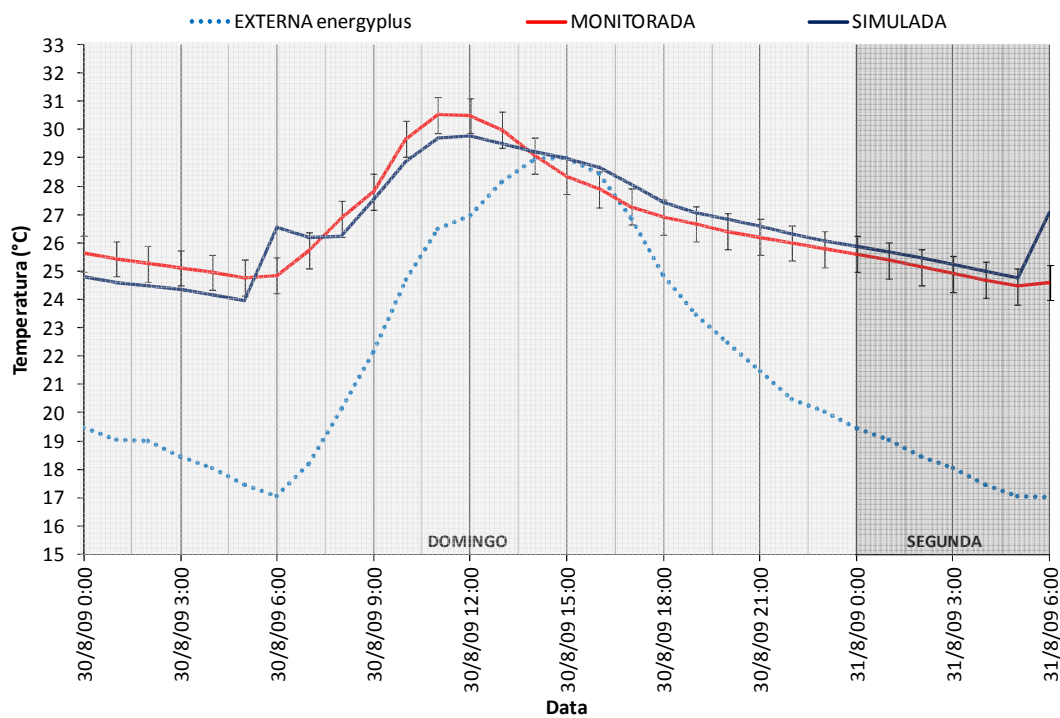


Gráfico 3 - Variação de Temperatura do ar interno no período de monitoramento, sala nordeste (dias 30 e 31 de agosto).

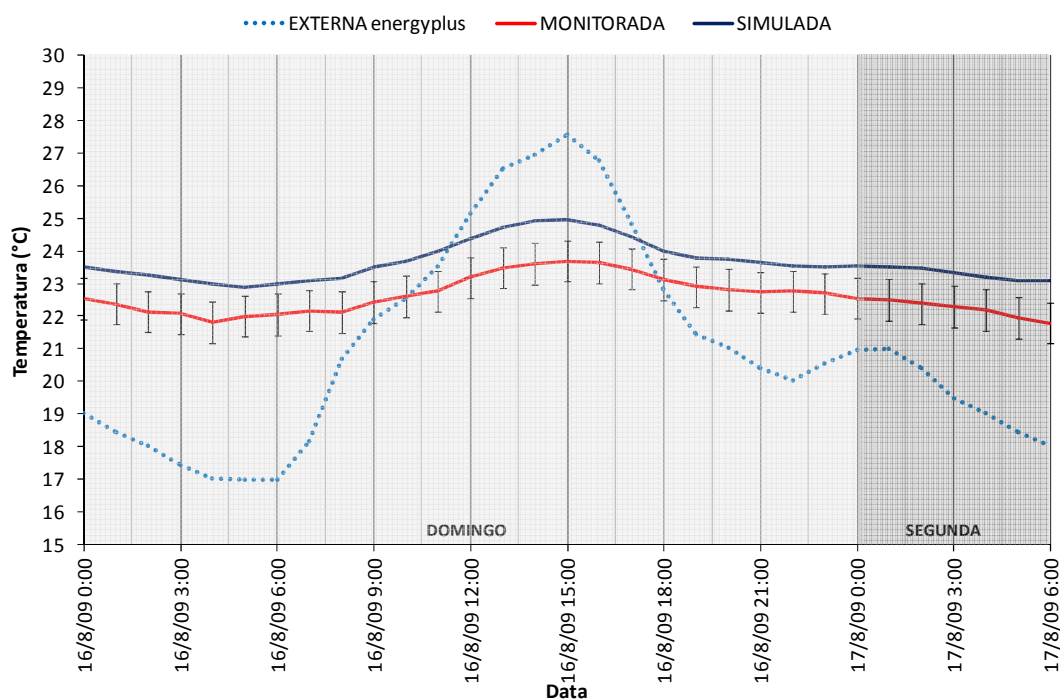


Gráfico 4 - Variação de Temperatura do ar interno no período de monitoramento, sala sudoeste (dias 16 e 17 de agosto).

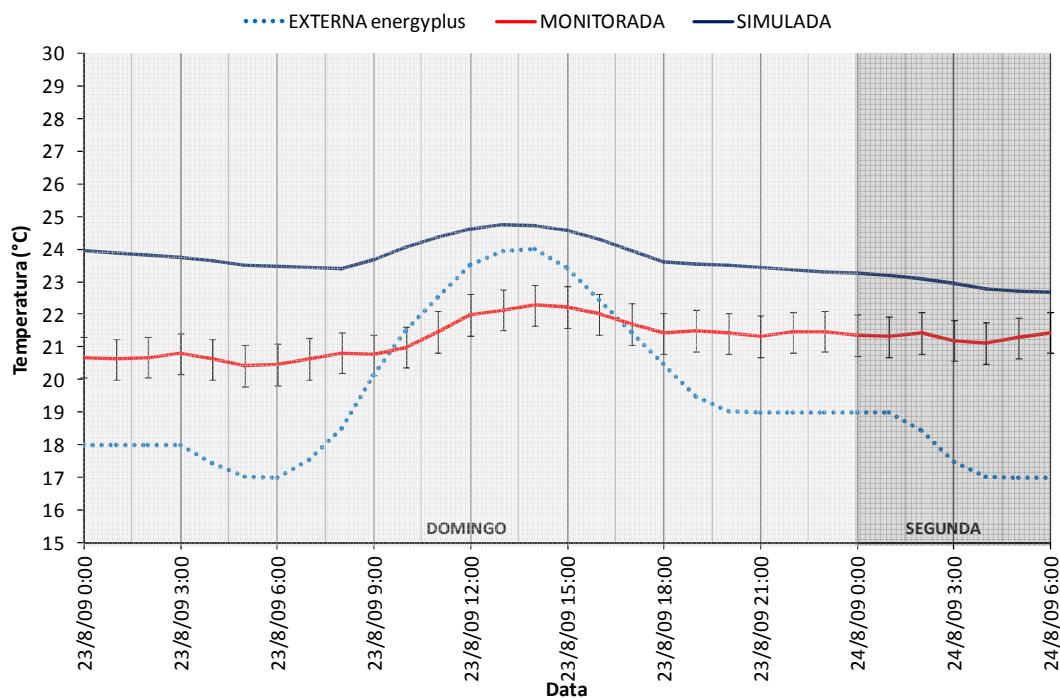


Gráfico 5 - Variação de Temperatura do ar interno no período de monitoramento, sala sudoeste (dias 23 e 24 de agosto).

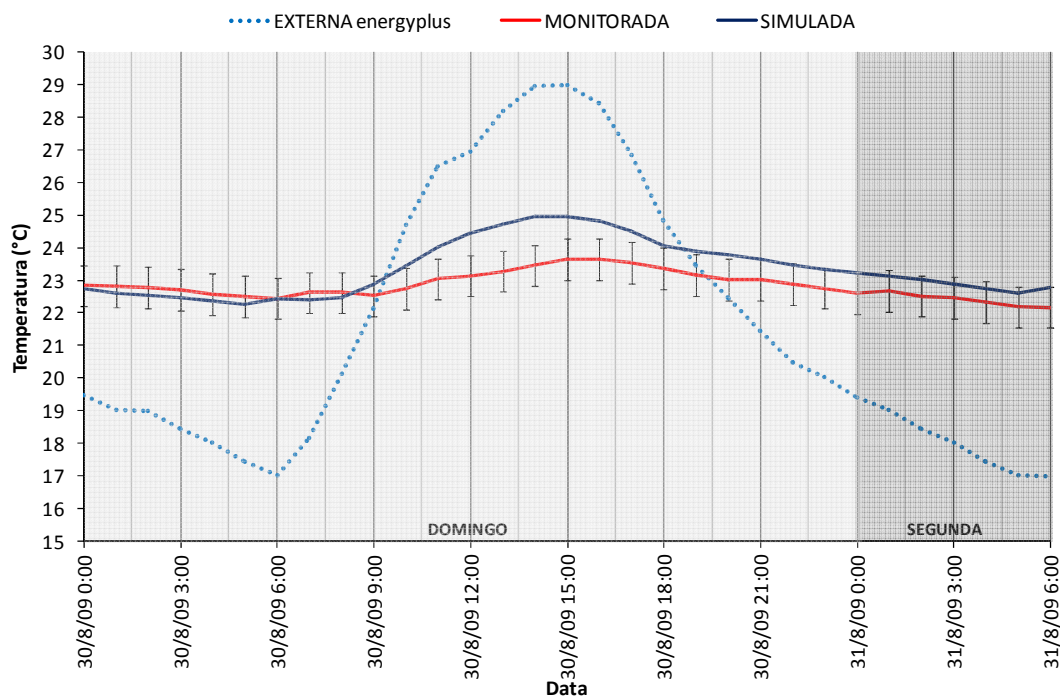


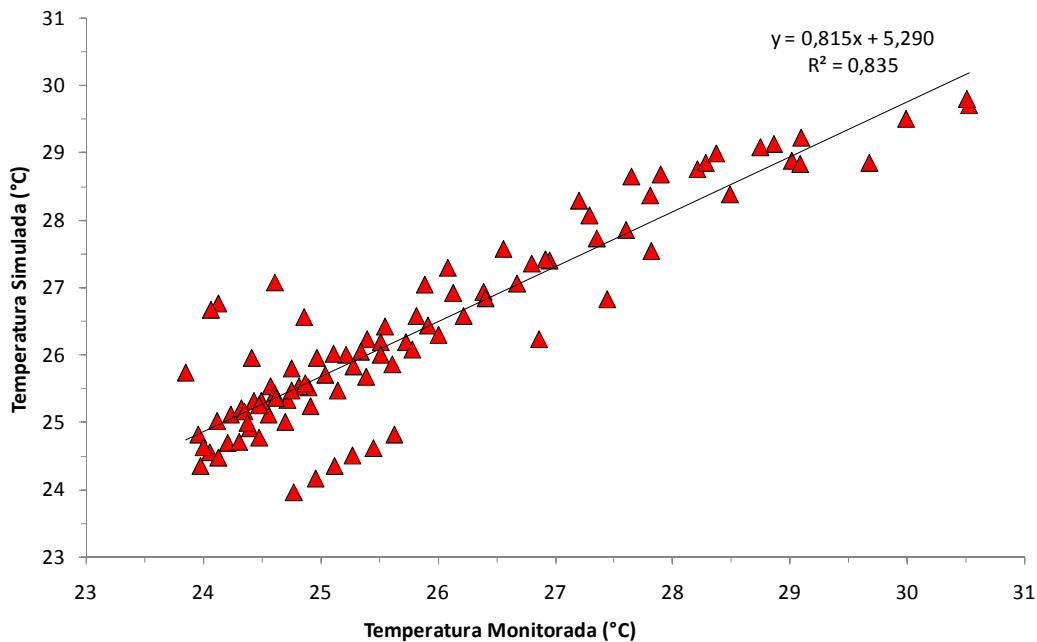
Gráfico 6 - Variação de Temperatura do ar interno no período de monitoramento, sala sudoeste (dias 30 e 31 de agosto).

Os dados estimados através de simulação apresentam para o caso da sala nordeste forte correlação ( $r = 0,91$ ) e coeficiente de determinação de 84% com os dados medidos, e para o caso da sala sudoeste, média correlação ( $r = 0,78$ ) e coeficiente de

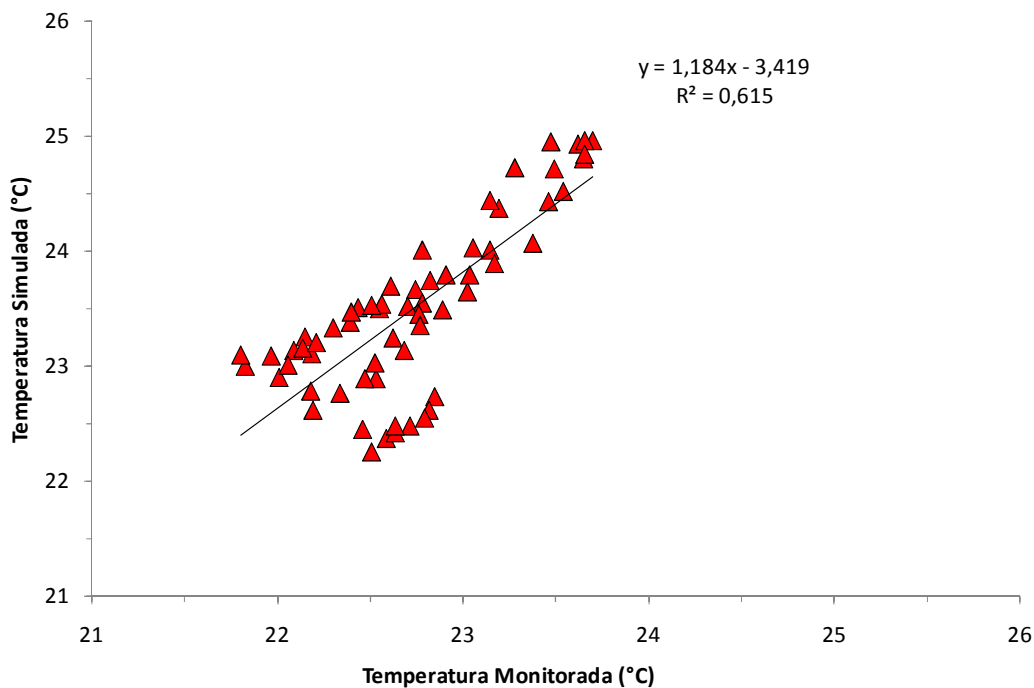
determinação de 62%. Assim, os resultados mostram uma elevada correlação das temperaturas medidas e simuladas para a sala de fachada nordeste, enquanto que para a sala sudoeste, os resultados apresentam média correlação.

A diferença dos resultados entre os dois ambientes com distinta orientação solar pode ser explicada pela grande diferença de capacidade térmica interna proveniente de objetos das salas, tais como a mobília, e proteção solar interior das persianas que não foram descritas no modelo.

Os gráficos de dispersão dos dados de temperatura do ar para as duas salas analisadas são apresentados no Gráfico 7 e no Gráfico 8 .



**Gráfico 7 - Correlação de Temperatura do ar interno monitorada contra a simulada, sala nordeste (dias 16, 17, 23, 24, 30 e 31 de agosto).**



**Gráfico 8 - Correlação de Temperatura do ar interno monitorada contra a simulada, sala sudoeste (dias 16, 17, 30 e 31 de agosto)**

Observa-se, nos dados estatísticos de comparação entre os dados monitorados e os simulados (Tabela 23), que os valores de diferenças médias, do 95º percentil, bem como do erro padrão são menores que 0,80°C de temperatura. Comparando os dados estatísticos com o valor de 0,63°C de incerteza da medição, encontra-se uma incerteza de 0,17°C que pode ser considerada como aceitável, e, dessa forma, considera-se como validado o modelo de simulação.

**Tabela 23 - Resultados estatísticos de comparação entre os dados monitorados e simulados.**

Parâmetro	símbolo	nordeste		sudoeste	
		medido	simulado	medido	simulado
média aritmética	M	25,94	26,46	22,74	23,52
média máxima diária	Mmax	29,49	29,28	23,68	23,52
média mínima diária	Mmin	23,96	24,44	22,15	24,96
desvio padrão	S	1,71	1,52	0,50	0,76
diferença média	D	—	-0,52	—	-0,78
diferença máxima	Dmax	—	0,84	—	0,25
diferença mínima	Dmin	—	-2,63	—	-1,48
média da diferença absoluta	IDI	—	0,72	—	0,83
95º percentil diferença	D <sub>95</sub>	—	0,79	—	0,22
quantidade da amostra	n	90	90	60	60
incerteza padrão	u	0,18	0,16	0,07	0,10
incerteza expandida - 95% significância	U	0,35	0,31	0,13	0,19
erro quadrático médio	EQM	—	6,84	—	6,45
erro padrão		—	0,69	—	0,31

## 6.2. Resultados dos Experimentos

Os resultados dos experimentos são apresentados através de: (a) gráficos de variação de temperatura interna do ar em comparação com as temperaturas do ar e sol-ar do ambiente externo de todos os protótipos; (b) gráficos de carga térmica transmitidas ao ar interno e variação de temperatura de cada protótipo, e (c) gráficos de variação de temperatura superficial comparadas com variação de temperatura do ar externa e radiação solar global incidente na fachada para os protótipos 1 e 2.

Para a análise dos resultados encontrados é de fundamental importância a análise prévia da carga de radiação solar global, à qual as fachadas da edificação estão submetidas. A indicação da orientação das fachadas analisadas sobre a carta solar de Belo Horizonte é apresentada na Figura 25. Observa-se que a fachada nordeste, no solstício de verão, possui praticamente a mesma quantidade de horas de insolação que a fachada sudoeste ao longo do dia, o que se reflete na magnitude similar de radiação solar constata nos dados da Tabela 24 a seguir. No inverno, observa-se que a fachada nordeste possui período de período de insolação (cerca de 9:30h por dia) maior que a fachada sudoeste (cerca de 1:15h por dia).

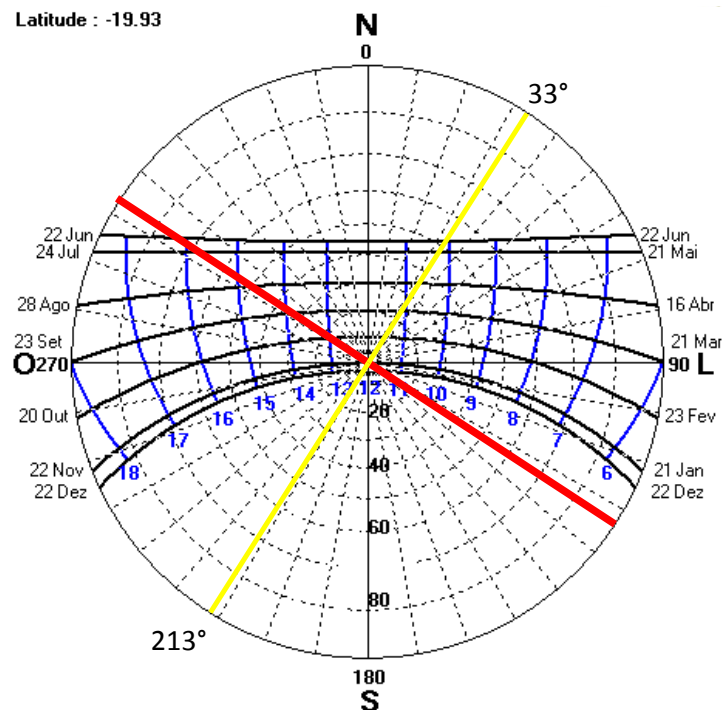


Figura 25 - Carta solar de Belo Horizonte com traçado em vermelho da orientação solar das fachadas principais (nordeste, azimute 33° e sudoeste, azimute 213°) da edificação. Fonte: Carta solar gerada pelo programa SOL-AR 3.2 produzido pela UFSC

A carga diária de radiação solar total incidente nas fachadas é calculada pelo programa EnerguPlus® e é apresentada na Tabela 24 para cada período climático.

**Tabela 24 - Dados de radiação solar total incidente nas fachadas**

	<b>Radiação Solar Total diária incidente na fachada (W/m<sup>2</sup>)</b>	
	<b>NORDESTE</b>	<b>SUDOESTE</b>
<b>solstício de verão</b>	1.689,31	1.465,13
<b>solstício de inverno</b>	3.452,48	596,12

As variações de temperatura do ar interno são mostradas nos Gráfico 9 a Gráfico 12. Observa-se nesses gráficos que a variação temporal da temperatura interna, na ausência de ocupação dos ambientes, para qualquer condição de envoltória analisada apresenta-se como uma curva de tendência bimodal, possuindo dois picos de temperatura ao longo do dia. Os dois picos ocorrem próximo ao período das máximas temperaturas do ar e de sol-ar externas. Pode-se dizer que as curvas de variação de temperatura do ambiente interno são influenciadas tanto pela temperatura externa do ar quanto pela temperatura sol-ar.

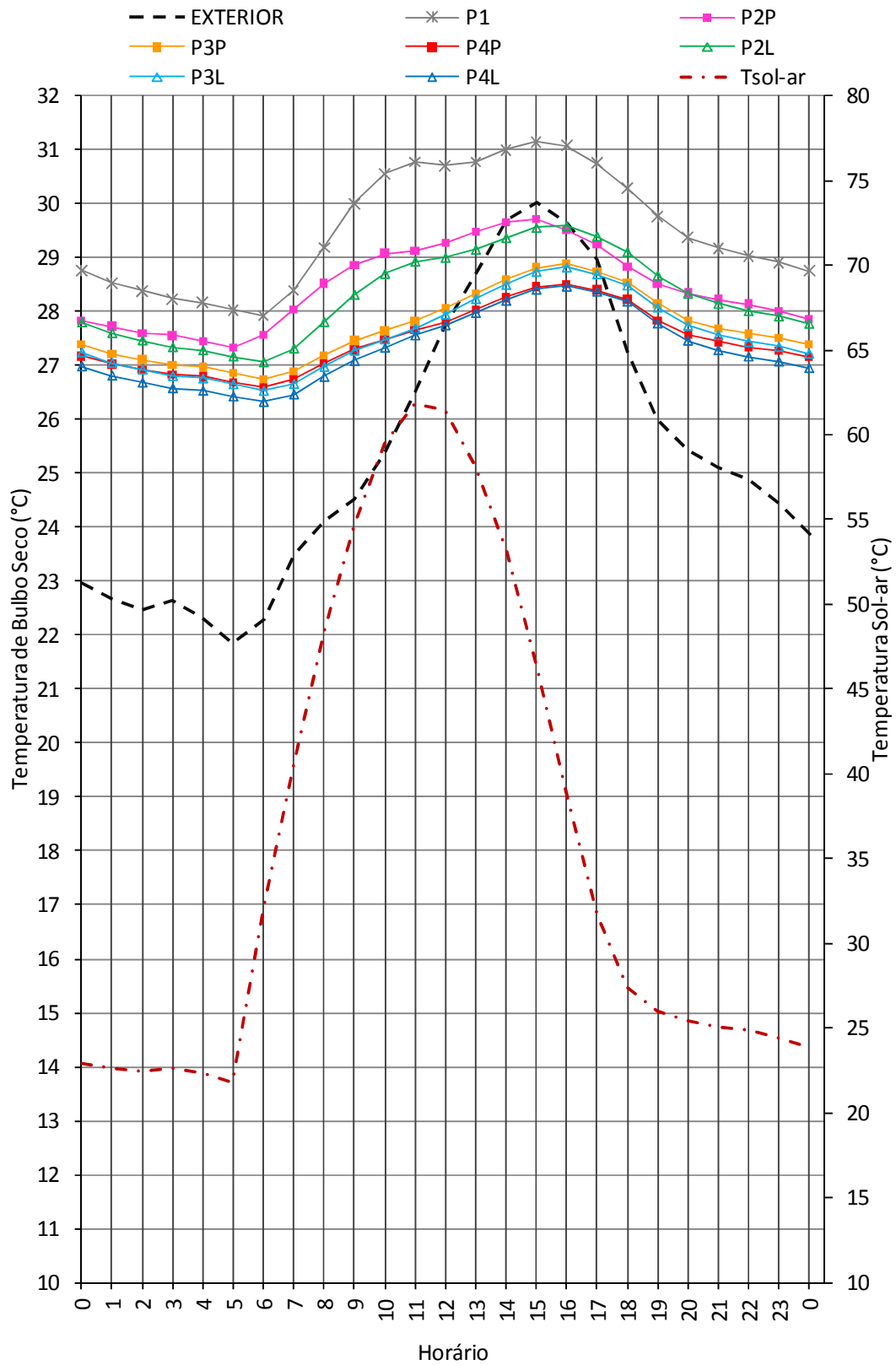


Gráfico 9 - Variação de Temperatura interna e externa dos experimentos, período de verão, sala nordeste

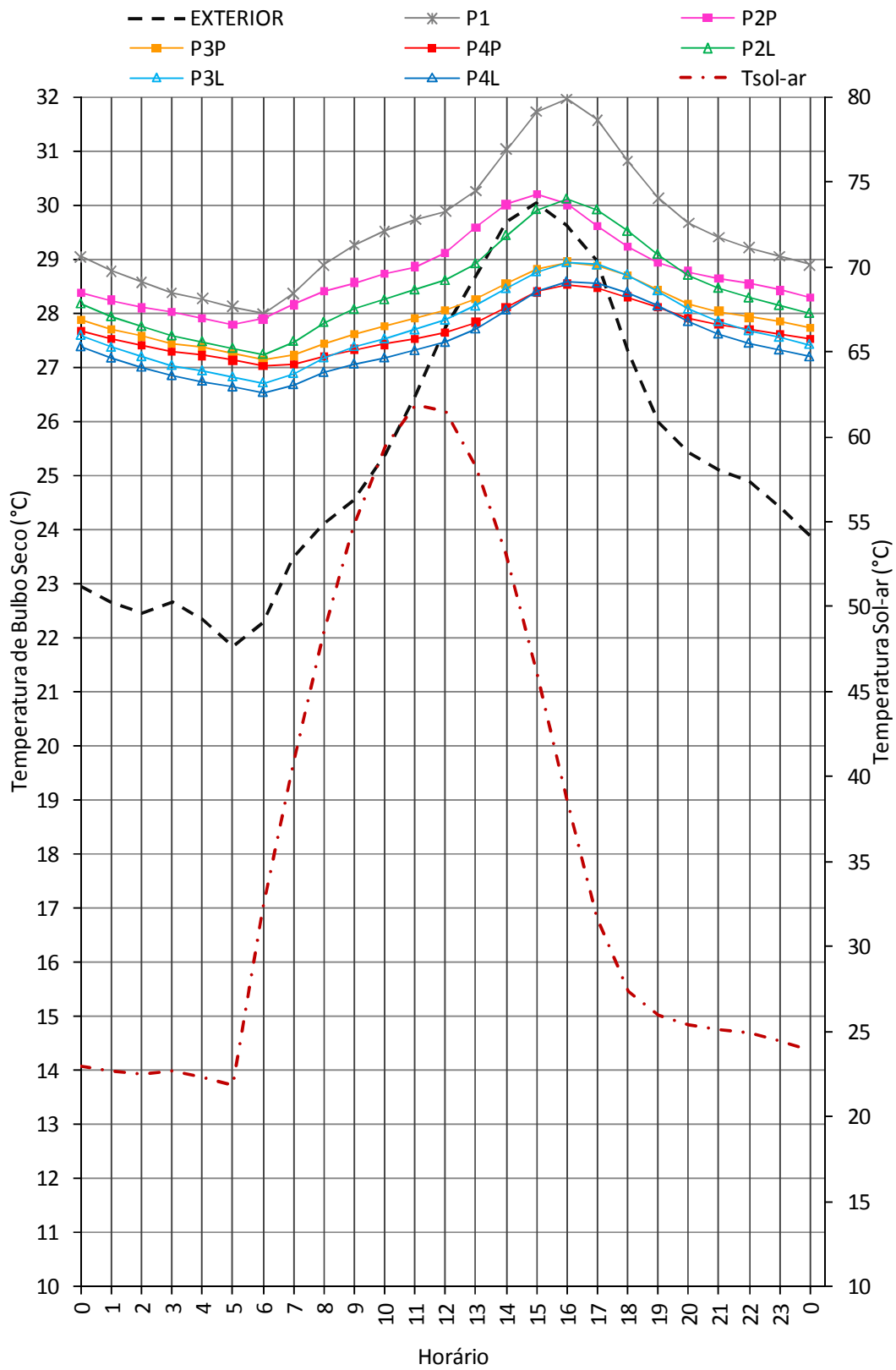


Gráfico 10 - Variação de Temperatura interna e externa dos experimentos, período de verão, sala sudoeste

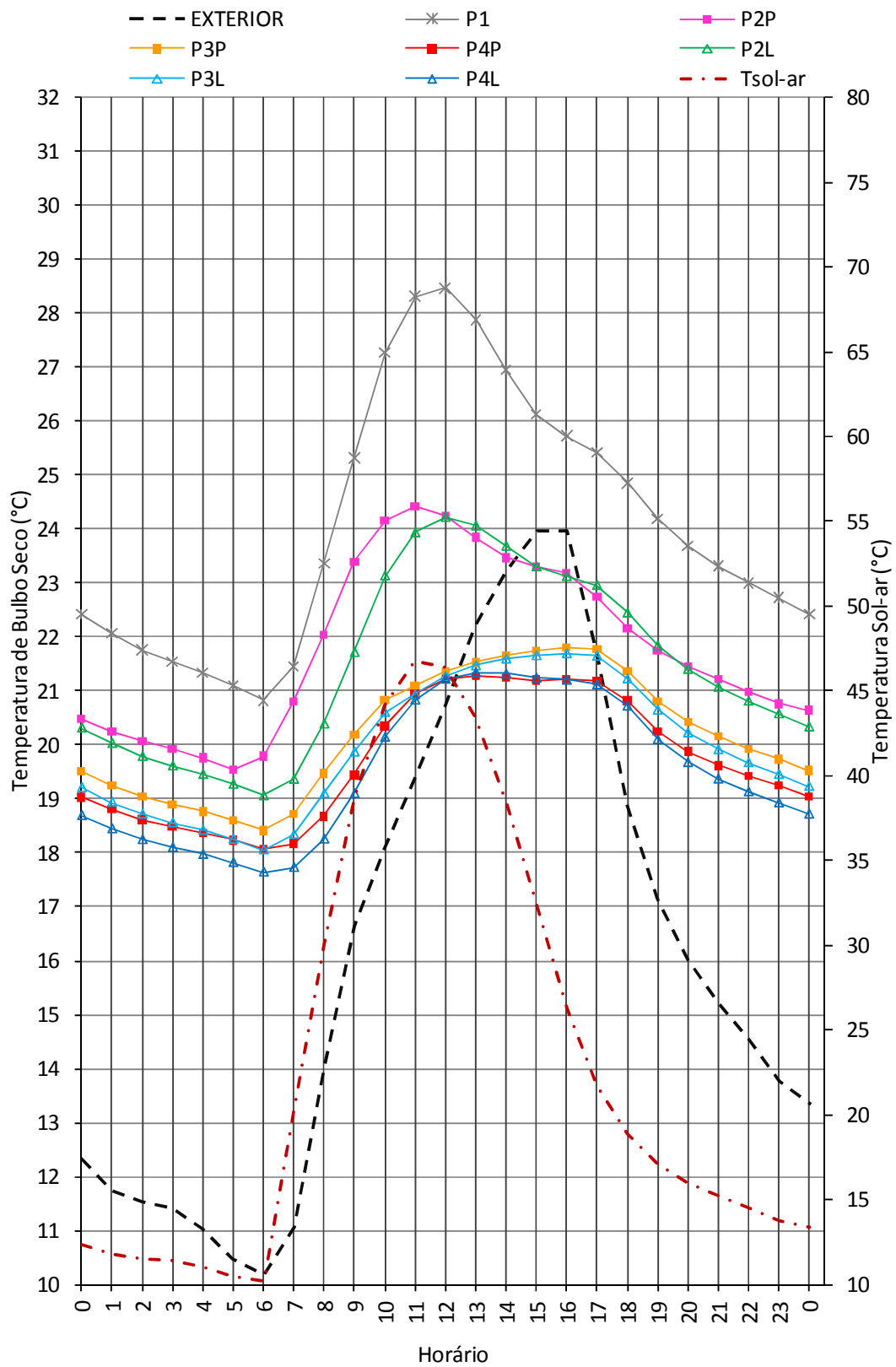


Gráfico 11 - Variação de Temperatura interna e externa dos experimentos, período de inverno, sala nordeste

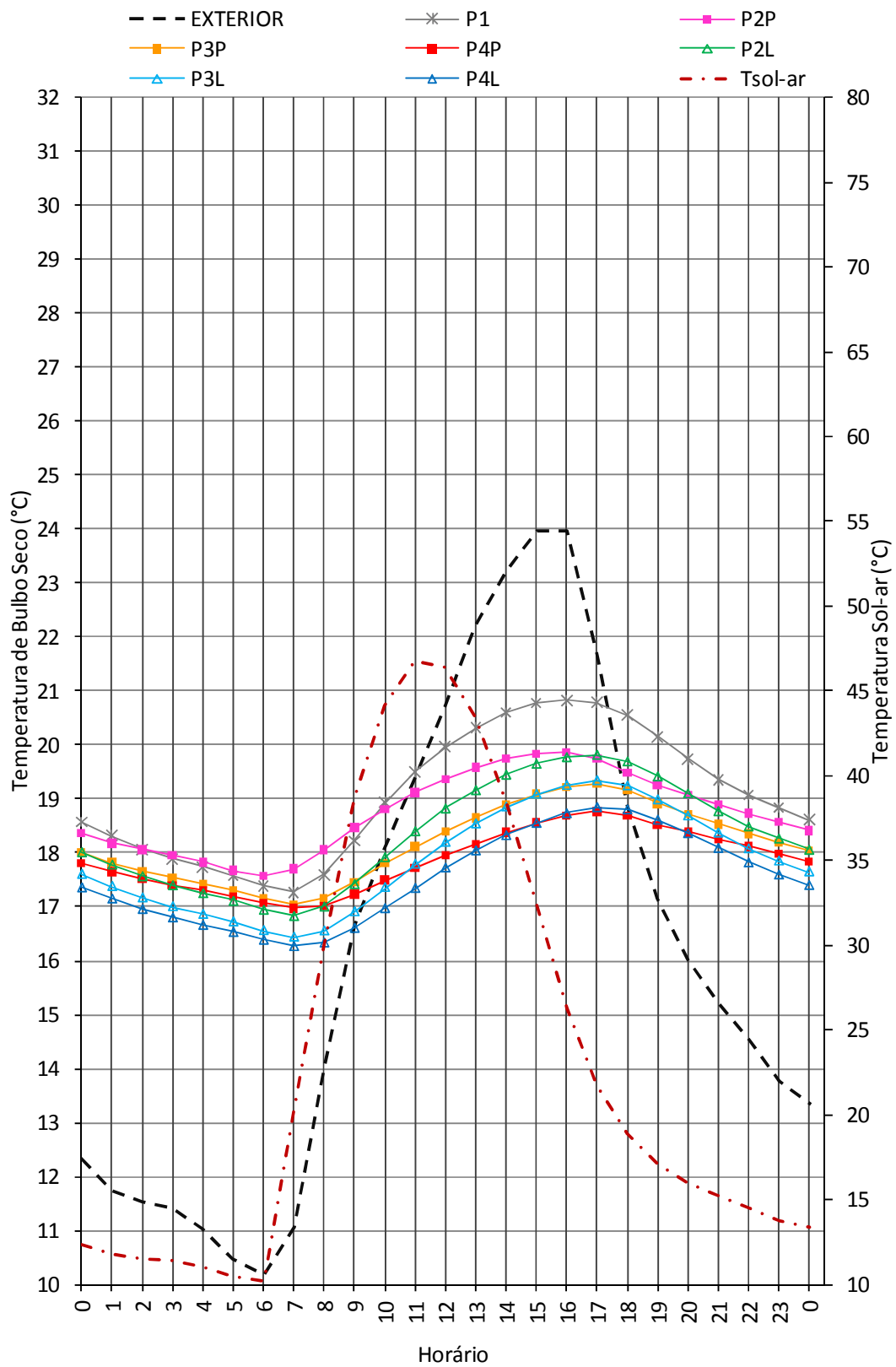


Gráfico 12 - Variação de Temperatura interna e externa dos experimentos, período de inverno, sala sudoeste

O pico correspondente à temperatura máxima diária parece estar vinculado, principalmente, a dois fatores, a orientação solar da fachada e o período do ano. No período de inverno, o ambiente de fachada nordeste, a qual possui maior incidência de radiação solar direta, sofre maior influência da temperatura sol-ar que o da fachada sudoeste. Já no verão, quando a diferença entre as temperaturas externas do ar e sol-ar máximas são maiores que no inverno, o pico de temperatura do ambiente interno é influenciado pela temperatura externa do ar.

As curvas de temperatura dos diversos protótipos, na maioria dos experimentos, variam paralelamente umas às outras, sendo observada uma sequência regular entre os protótipos. Observa-se a redução da temperatura interna do ar com o aumento da área opaca de fachada. Os protótipos de menor área opaca possuem resposta de temperaturas do ar mais elevadas, considerando o protótipo de fachada envidraçada (protótipo P1) o de menor área opaca e o de fachada com 10% de área de janela (protótipo P4) o de maior área.

Percebe-se, ao mesmo tempo, uma variação do comportamento da inércia térmica do recinto em função da classe de inércia do elemento construtivo da fachada, se considerar a influência exclusiva da inércia, analisando separadamente a variação dos elementos construtivos de cada protótipo. Contudo, esta diferença é menor do que a diferença existente entre os diversos protótipos. Isso significa dizer que a variação do percentual de área de fachada é mais significativa na resposta de variação da temperatura do que a variação da inércia térmica dos elementos construtivos da fachada.

Observa-se que o protótipo com proteção solar teve comportamento térmico semelhante ao protótipo de área de janela de 10%, o qual possui maior área opaca de fachada. A diferença entre os resultados das temperaturas máximas dos dois protótipos é menor que 1°C. Pode-se dizer, assim, que a proteção solar, nas condições analisadas, possui desempenho térmico tão satisfatório quanto à redução das áreas envidraçadas de fachada.

Durante o verão e nas fachadas que sofrem menor incidência de radiação solar percebe-se que a variação da temperatura do ar interna é fortemente influenciada pela variação temporal da temperatura externa. Por outro lado, durante o inverno, nas fachadas que têm maior incidência de radiação solar, a variação da temperatura interna sofre maior influência da temperatura sol-ar.

Fazendo uma análise mais abrangente, os gráficos de variações de temperatura interna do ar e a Tabela 25 (a seguir), mostram que, no geral, a orientação solar da fachada tem maior influência na magnitude da temperatura média do ar interno do que o tipo de material construtivo utilizado, para os casos analisados.

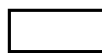
Observando a redução das temperaturas médias e máximas, percebe-se que existe uma lógica no comportamento térmico do edifício em função da tipologia e do período do ano. Há um crescimento do resultado de temperatura interna que é representada na Tabela 25 através de uma seta. A tipologia e o período que apresentaram maiores temperaturas médias foram posicionadas, estrategicamente, mais acima e à esquerda no quadro e, em contraposição, a tipologia e período que apresentaram as menores temperaturas médias foram posicionadas abaixo à direita. Percebe-se que os protótipos, independente do tipo de parede utilizada, possuem comportamento semelhante em todas as situações de variação climática e orientação solar. Percebe-se, assim, uma variação gradual do comportamento térmico dos protótipos em função da temperatura média diária, representada pela seta horizontal na Tabela 25 e listada abaixo, segundo ordem crescente de temperatura interna média:

- Protótipo P1: fachada envidraçada
- Protótipos P2P e P2L: fachada com parcela opaca e janela com 18% da área de piso sem proteção solar;
- Protótipos P3P e P3L: fachada com parcela opaca e janela com 18% da área de piso com proteção solar;
- Protótipos P4P e P4L: fachada com parcela opaca e janela com 10% da área de piso sem proteção solar.

A diferença de comportamento dos protótipos de acordo com o tipo de parede externa utilizada é pequena. Em geral, a parede pesada ocasiona uma diminuição na amplitude da temperatura do ar. Essa redução é gerada, principalmente, pelo aumento da temperatura mínima. A temperatura máxima, na maioria das vezes, não é menor que a da parede leve. A redução entre esses dois tipos de parede é percebida em alguns casos, porém com valores insignificantes. Assim, pode-se considerar que, no geral, as temperaturas máximas e médias resultantes dos protótipos de parede leve e pesada, definidas conforme NBR 15.220, para o tipo climático de Belo Horizonte, praticamente não há variação.

Tabela 25 - Valores de temperaturas internas, atraso e amortecimento da temperatura do ar

	EXT.	P1	P2P	P2L	P3P	P3L	P4P	P4L
<b>VERÃO SUDOESTE</b>								
temp máxima (°C)	30,0	32,0	30,2	30,1	29,0	28,9	28,5	28,6
temp média (°C)	25,3	29,5	28,7	28,4	27,9	27,7	27,7	27,5
amortecimento*		-	-	-	0,8	0,7	0,8	0,8
atraso** (h)		1	0	1	1	1	1	1
<b>VERÃO NORDESTE</b>								
temp máxima (°C)	30,0	31,1	29,7	29,6	28,9	28,8	28,5	28,5
temp média (°C)	25,3	29,5	28,5	28,3	27,7	27,6	27,5	27,3
amortecimento*		-	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8
atraso** (h)		0	0	1	1	1	1	1
<b>INVERNO NORDESTE</b>								
temp máxima (°C)	24,0	28,5	24,4	24,2	21,8	21,7	21,3	21,4
temp média (°C)	16,1	24,1	21,8	21,4	20,2	20,0	19,7	19,5
amortecimento*		-	-	-	0,8	0,8	0,8	0,8
atraso** (h)		-3	-4	-3	1	1	-2	-2
<b>INVERNO SUDOESTE</b>								
temp máxima (°C)	24,0	20,8	19,9	19,8	19,3	19,3	18,8	18,9
temp média (°C)	16,1	19,1	18,7	18,3	18,2	17,9	17,9	17,5
amortecimento*		0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8
atraso** (h)		1	1	2	2	2	2	2



Indicação de maiores valores para amortecimento e atraso térmico.



Indicação de ausência de amortecimento térmico, situação na qual a temperatura máxima interna é maior que máxima externa.



Indicação de ausência de atraso térmico, situação na qual a temperatura máxima interna ocorre antes da máxima externa.



Indicação de crescimento de comportamento térmico pelo critério de diminuição da temperatura média.

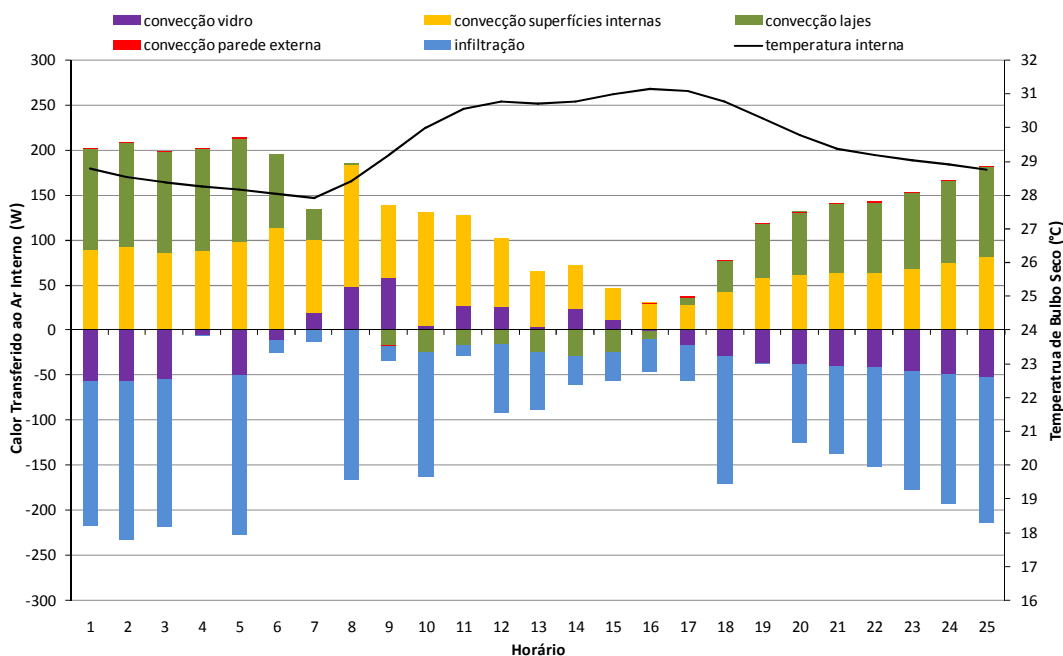
\*Obs: O amortecimento é calculado conforme equação apresentada por Roriz (ver equação 5, página 27).

\*\*Obs: O atraso foi determinado a partir da diferença de temperatura máxima interna e externa dos gráficos 9 a 12. O sinal negativo representa que a temperatura máxima interna ocorre anteriormente à temperatura máxima externa.

Uma análise mais aprofundada das cargas térmicas do ambiente interno foi, também, feita para descrever os principais elementos e características construtivas que influenciam a temperatura interna do ar. Dentre as cargas do balanço térmico final calculado pelo *EnergyPlus*® o modelo do protótipo considera quatro formas de troca de calor: calor por convecção das superfícies, calor devido à entrada de ar externo, calor armazenado, além do calor residual. Essas cargas internas são visualizadas nos gráficos de barras com valores acumulados de perdas e ganhos de calor para as duas salas, nordeste e sudoeste, sob influência das duas situações do ano, solstício de verão

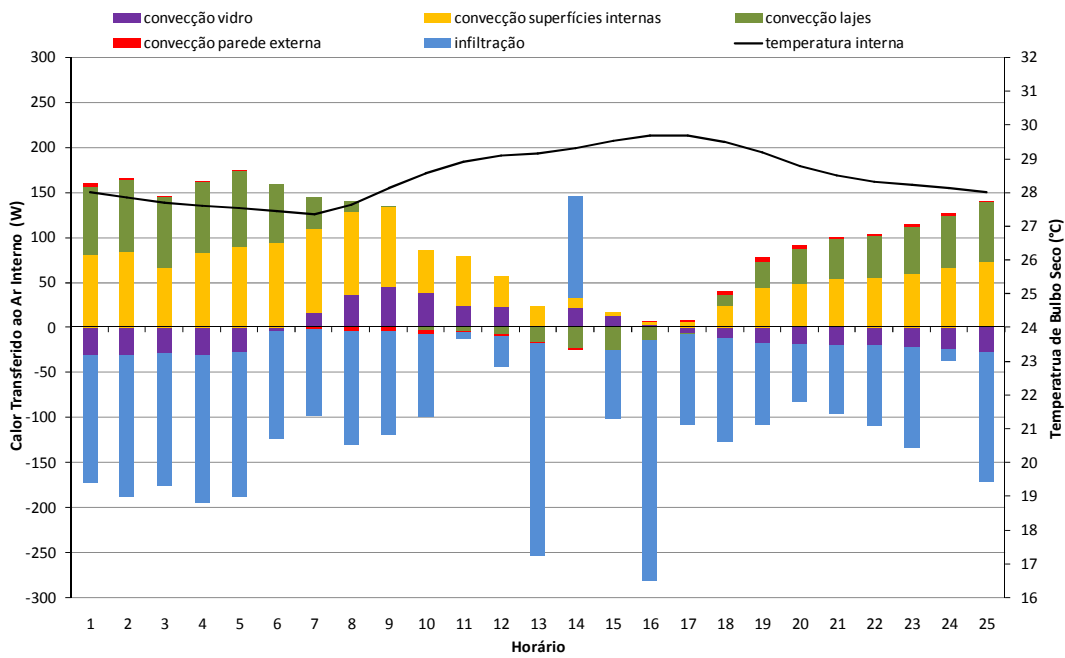
e de inverno. Cabe ressaltar que as cargas de radiação solar são transferidas em forma de calor ao ar do ambiente interno através de convecção das superfícies que recebem incidência da radiação solar tanto diretamente quanto refletida das superfícies internas. Alguns gráficos são apresentados como exemplo a seguir, os demais podem ser vistos no Apêndice 5 - Resultados dos Experimentos, página 151.

Observa-se, de forma geral, nos resultados relativos ao período de solstício de verão (Gráfico 9 e Gráfico 10), os maiores registros de temperatura do ar interna máxima e média ocorrem na sala de fachada sudoeste, enquanto que no inverno (Gráfico 11 e Gráfico 12), as temperaturas mais elevadas ocorrem na sala de fachada nordeste. Esses resultados ocorrem, principalmente devido aos seguintes fatores: (a) no verão, apesar da carga de radiação solar incidente na fachada nordeste ser um pouco maior do que a sudoeste (Tabela 24), a perda de carga por infiltração é mais elevada<sup>22</sup> (vide gráficos da sala sudoeste e nordeste), ocasionando um saldo de perda de carga maior na sala nordeste e, assim, temperaturas menores que na sala sudoeste; (b) no inverno, o ganho de carga por radiação solar é grande (Tabela 24), porém a perda de carga por infiltração não é capaz de reduzir a temperatura interna do ar, ocasionando temperaturas mais elevadas na sala nordeste (vide, como exemplo, Gráfico 28 e 27).

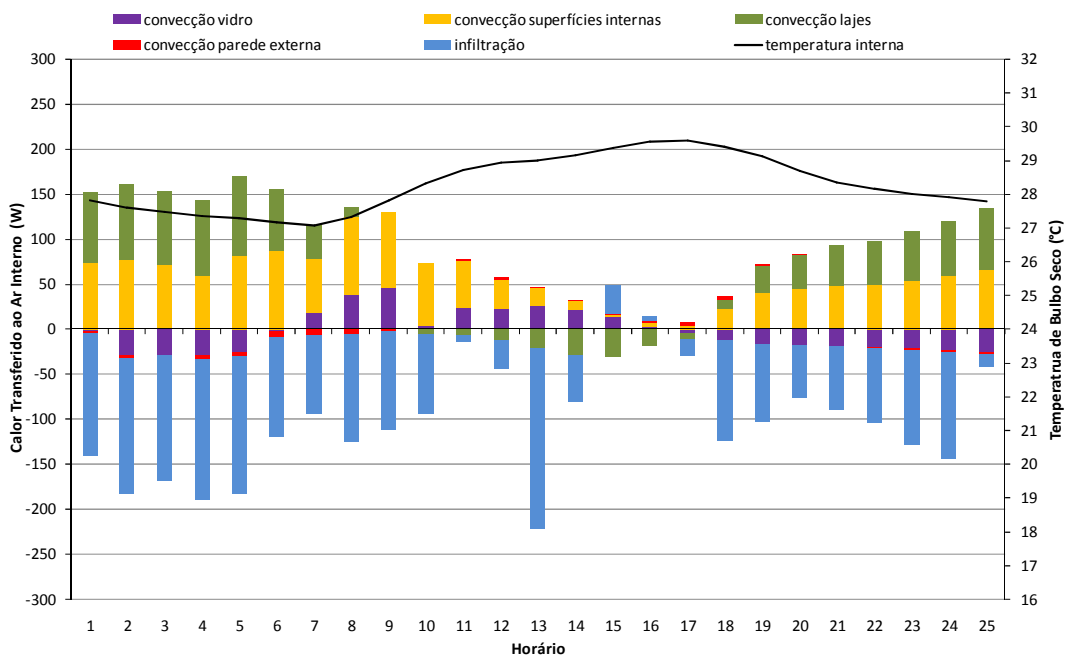


**Gráfico 13 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala nordeste, P1**

<sup>22</sup> Os valores diferenciados encontrados de perda de carga por infiltração se deve, principalmente, o fato de terem sido utilizados como dado de entrada valores de fluxo de infiltração diferentes para as salas à nordeste (0,026 m<sup>3</sup>/s) e para aquelas à sudoeste (0,003 m<sup>3</sup>/s).



**Gráfico 14 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala nordeste, P2P**



**Gráfico 15 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala nordeste, P2L**

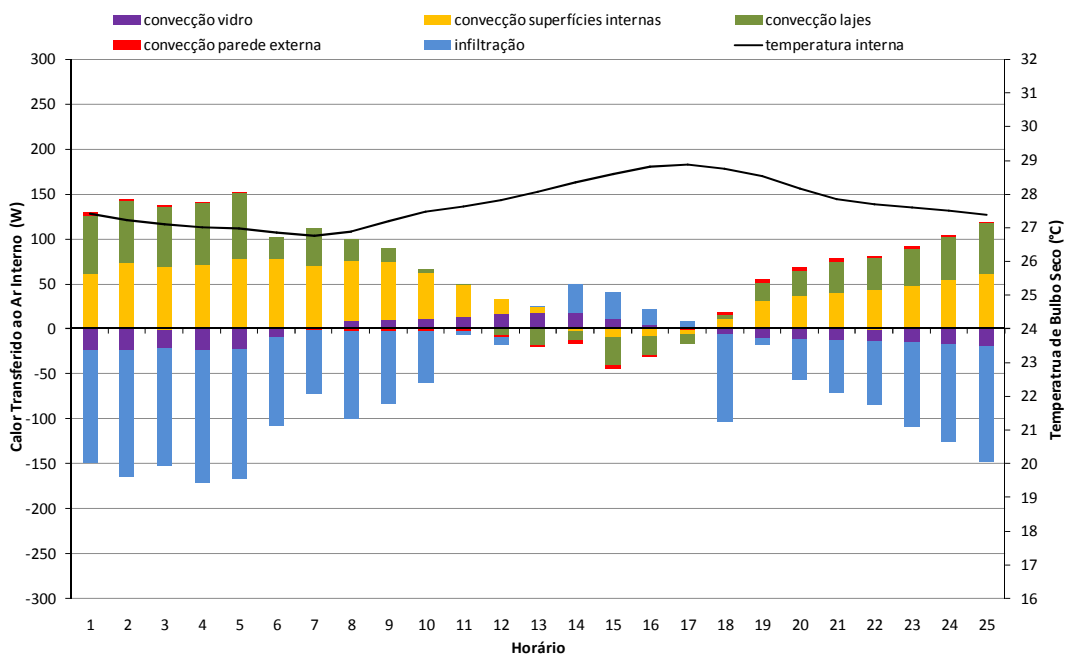


Gráfico 16 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala nordeste, P3P

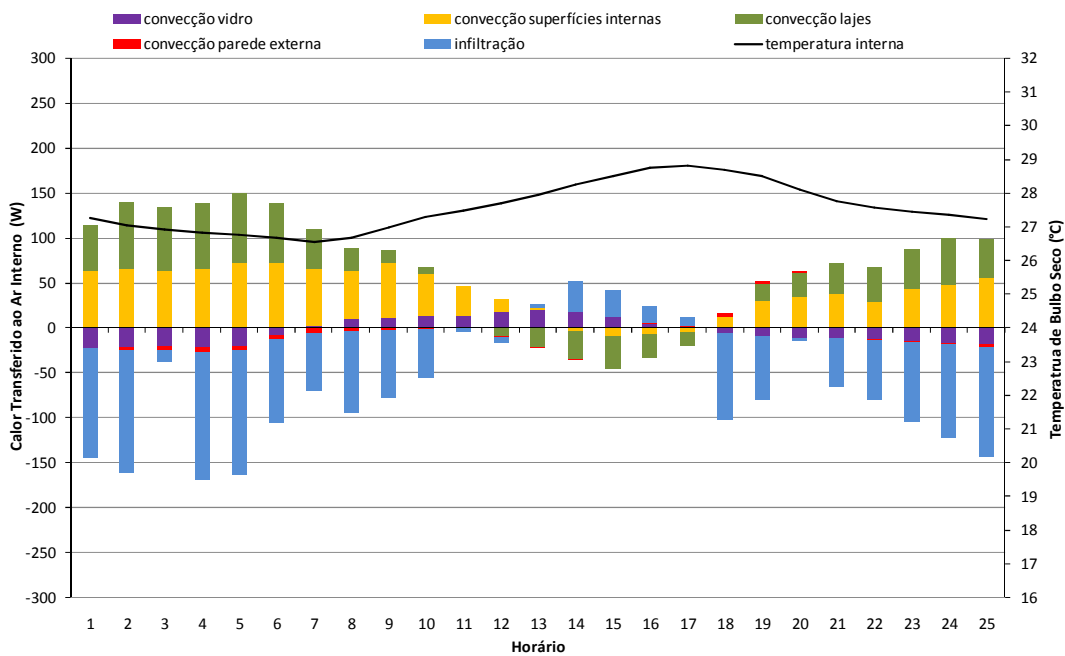
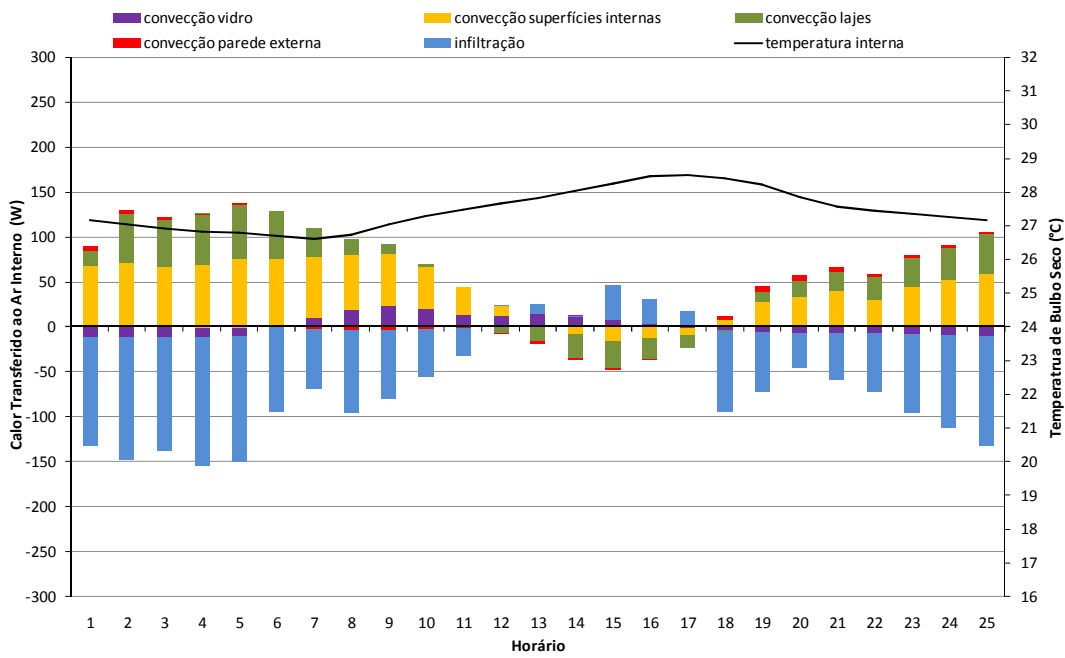
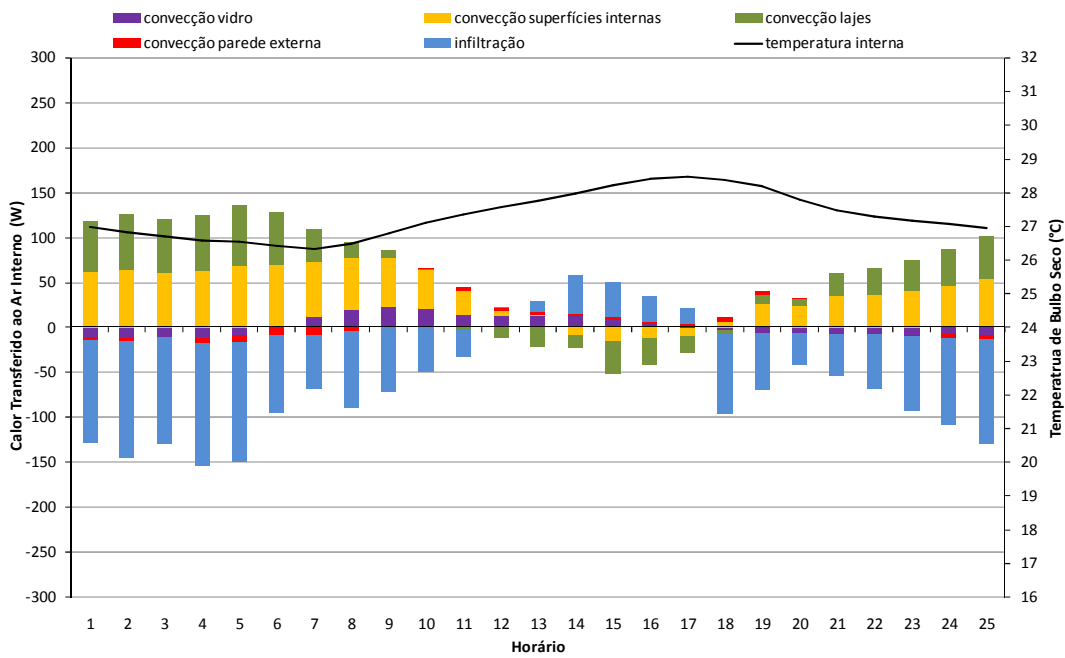


Gráfico 17 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala nordeste, P3L



**Gráfico 18 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala nordeste, P4P**



**Gráfico 19 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala nordeste, P4L**

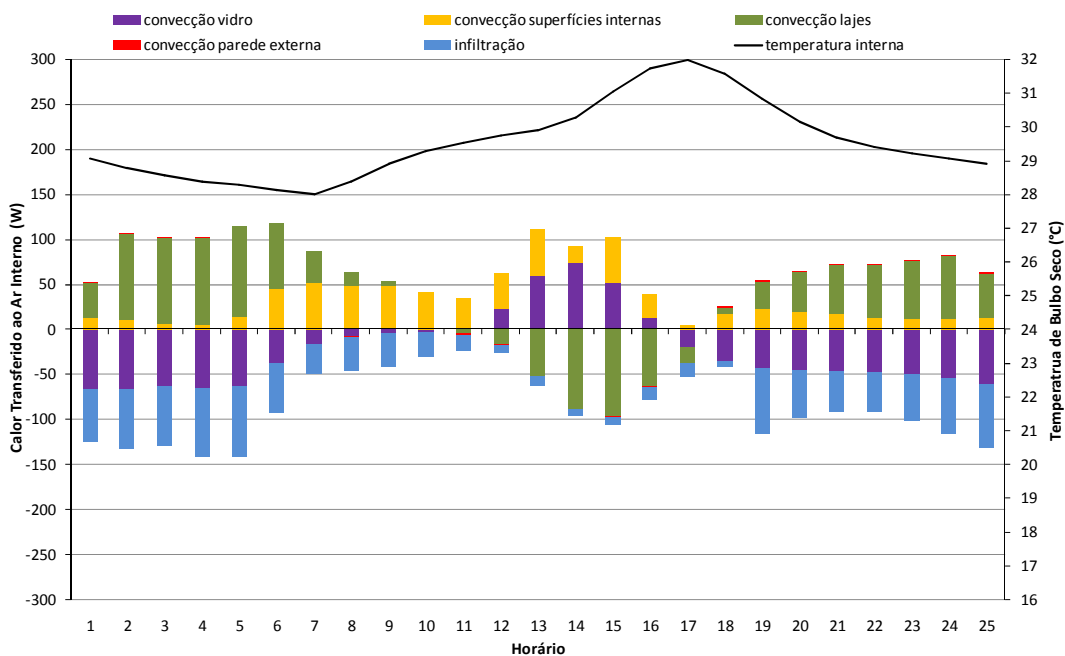


Gráfico 20 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala sudoeste, P1

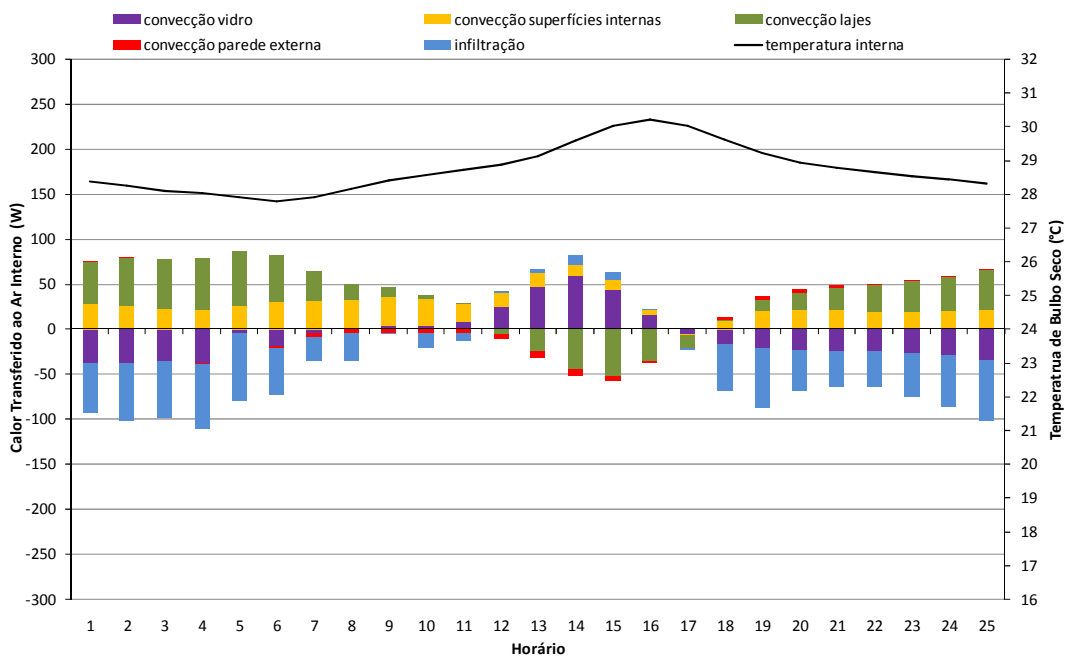


Gráfico 21 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala sudoeste, P2P

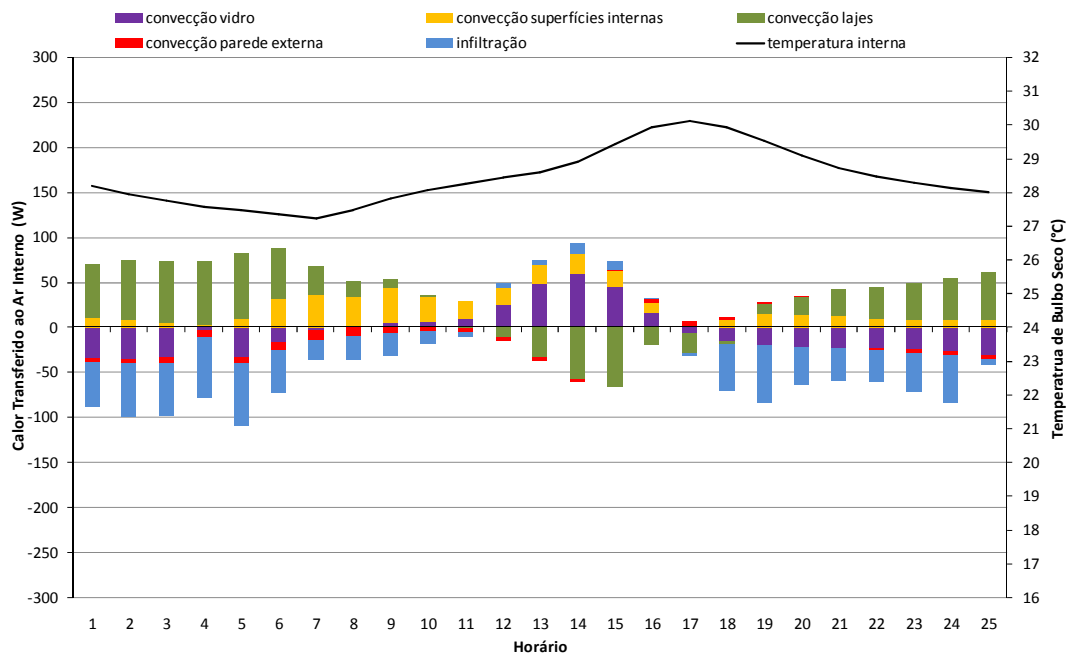


Gráfico 22 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala sudoeste, P2L

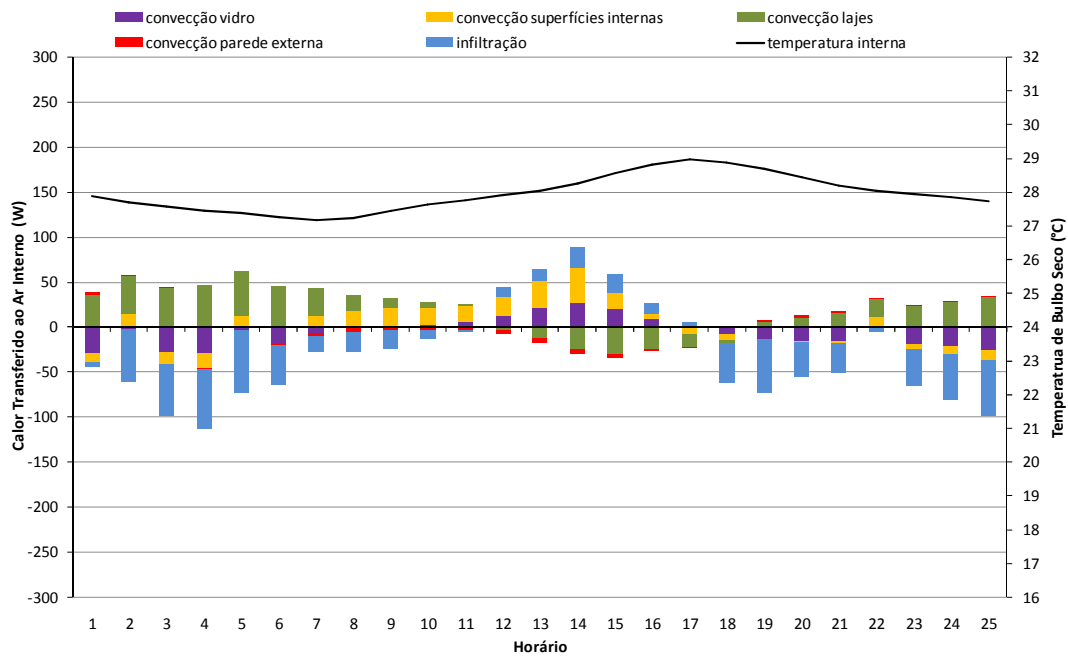


Gráfico 23 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala sudoeste, P3P

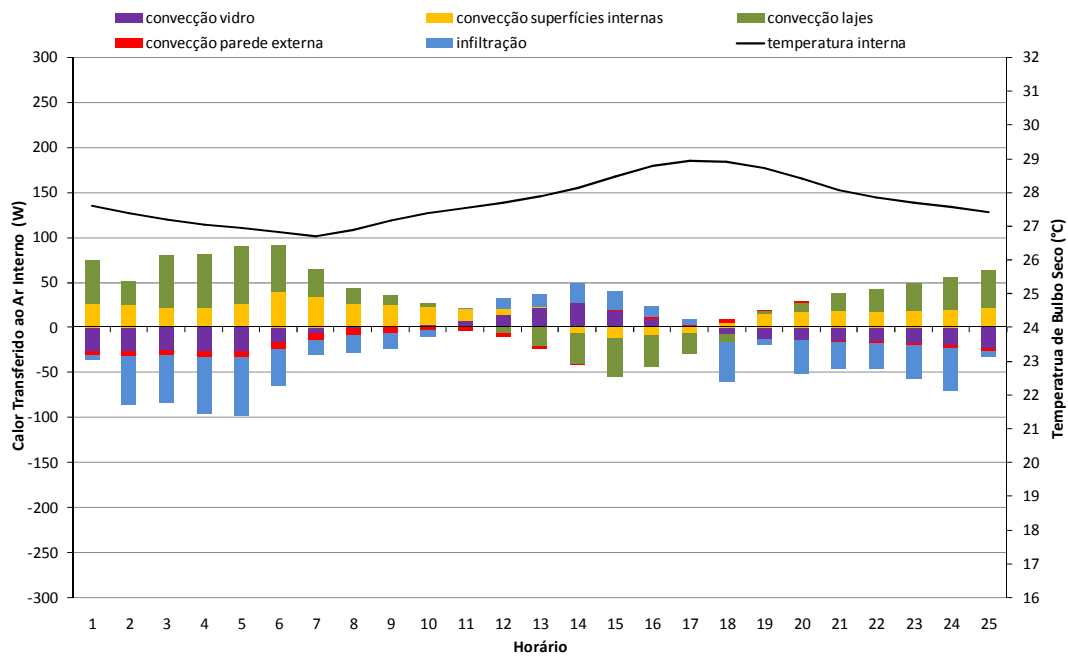


Gráfico 24 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala sudoeste, P3L

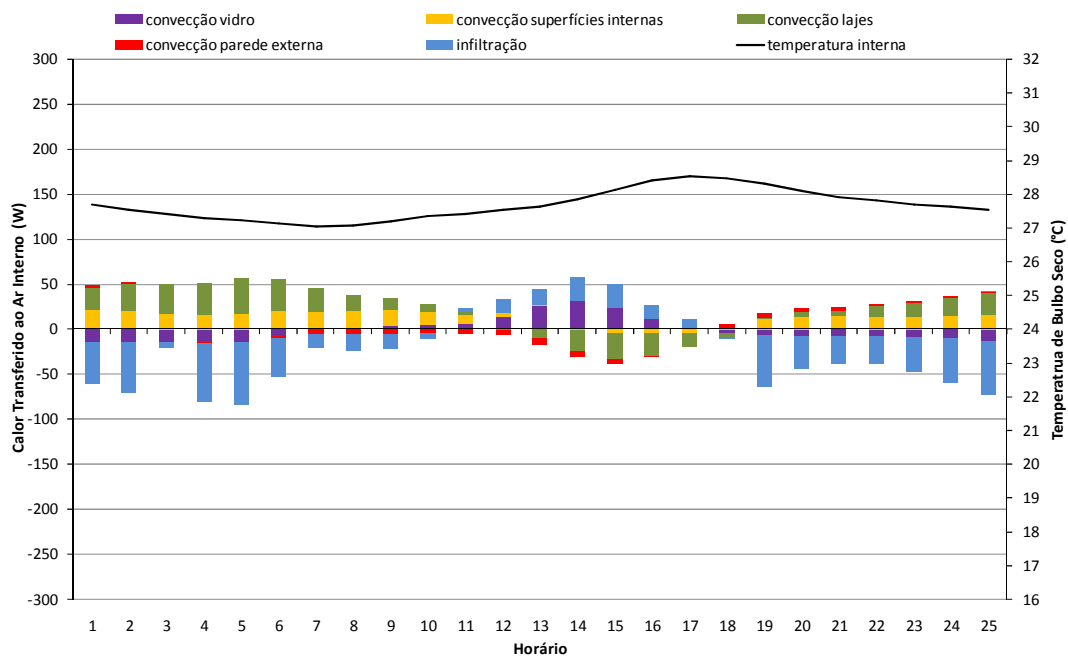


Gráfico 25 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala sudoeste, P4P

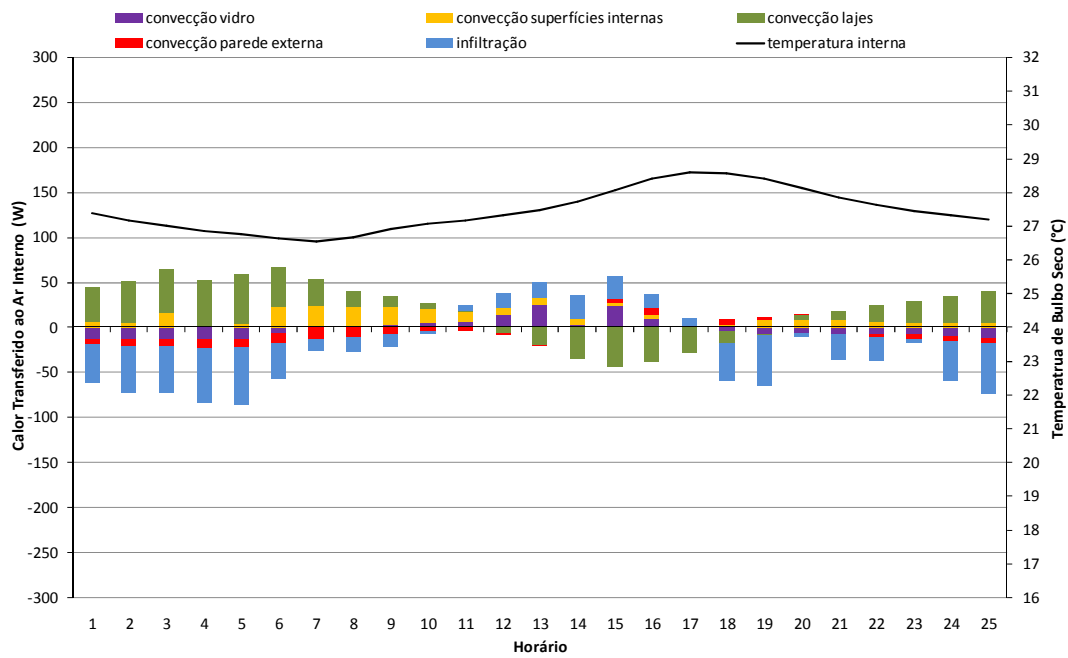


Gráfico 26 - Cargas internas do experimento, período de verão, sala sudoeste, P4L

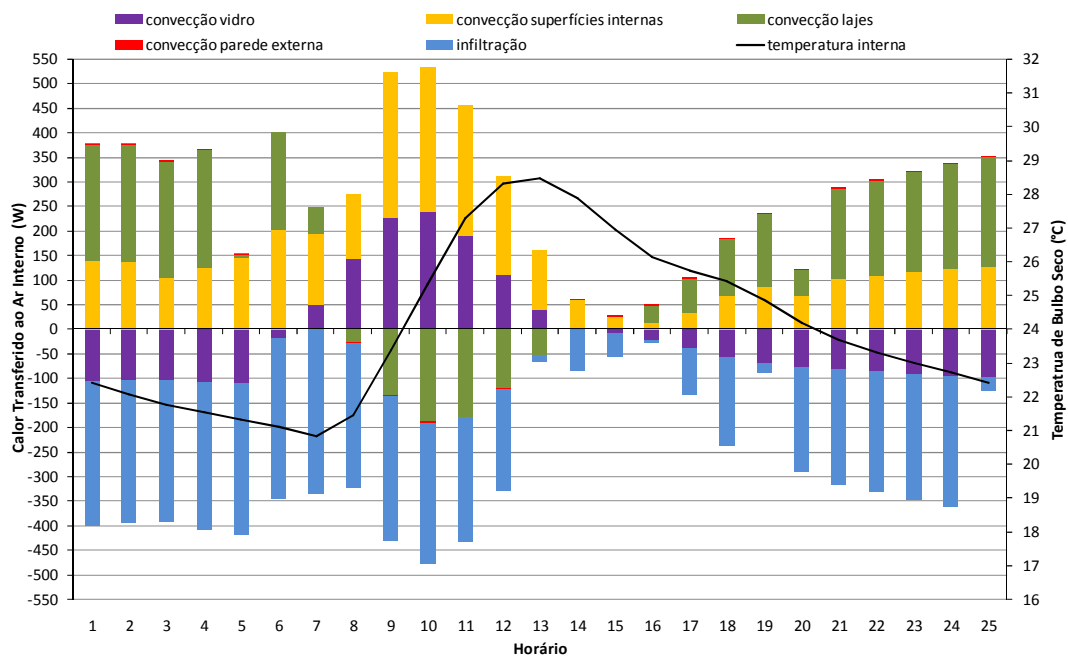


Gráfico 27 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala nordeste, P1

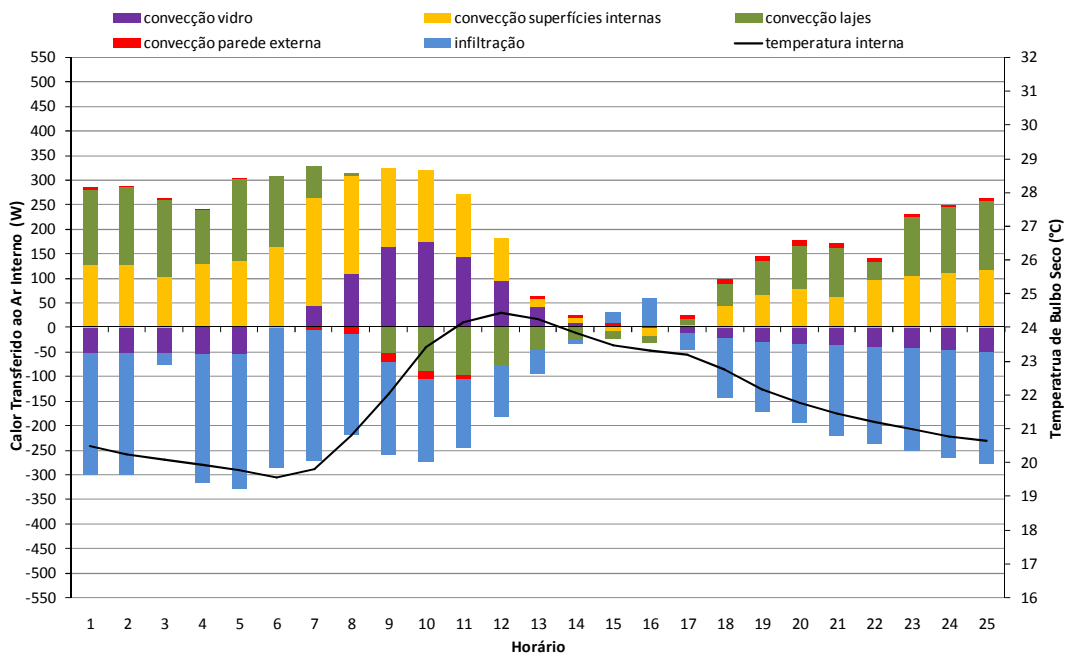


Gráfico 28 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala nordeste, P2P

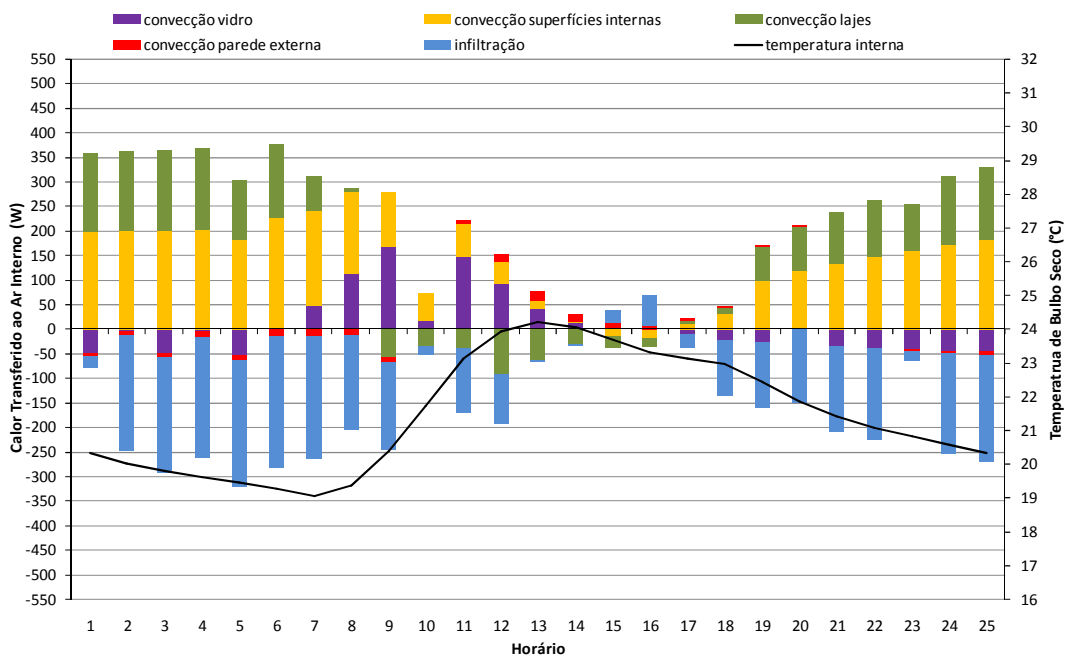


Gráfico 29 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala nordeste, P2L

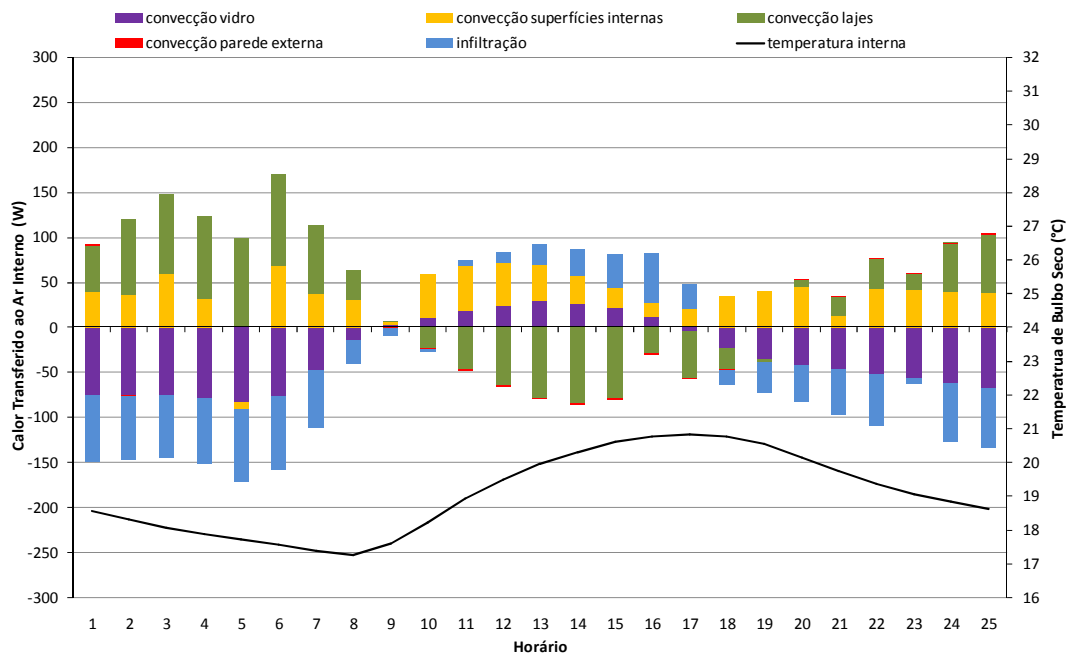


Gráfico 30 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala sudoeste, P1

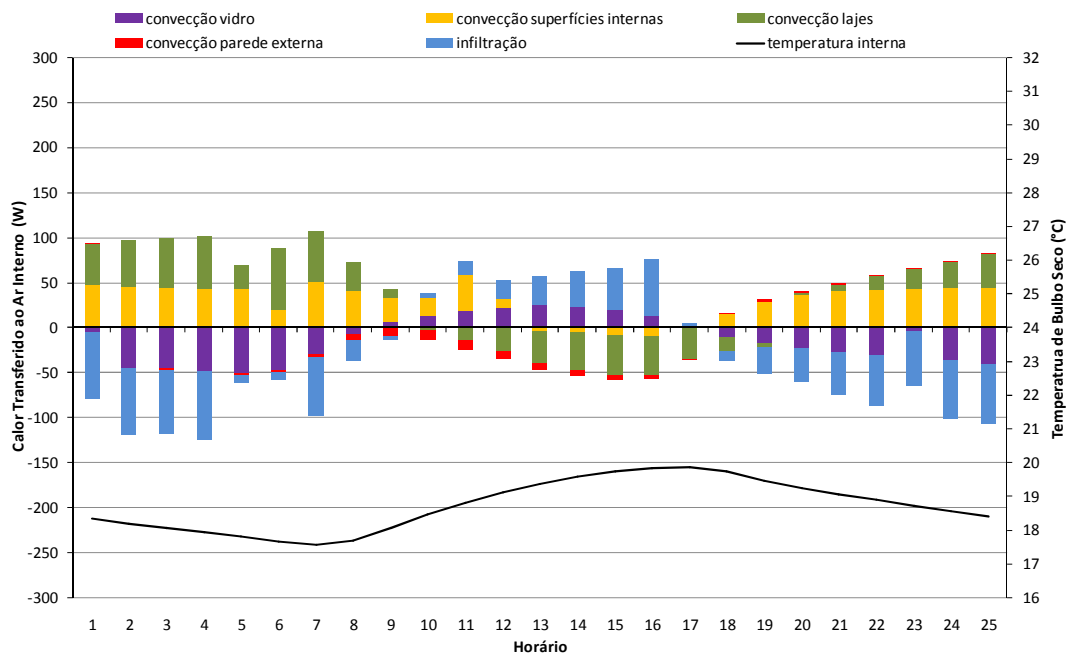
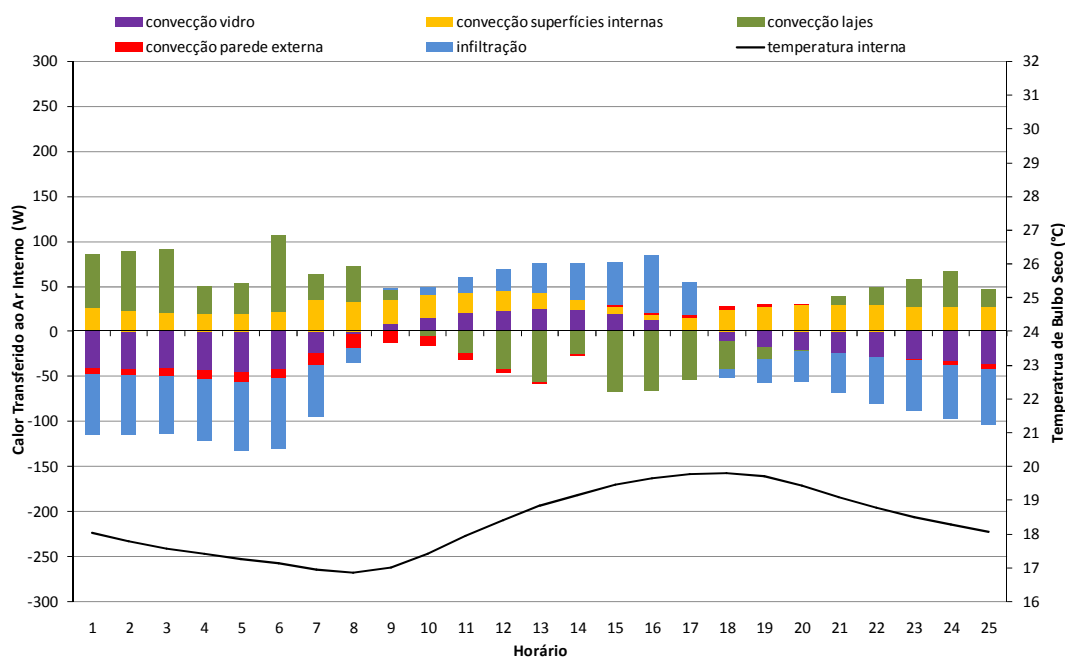


Gráfico 31 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala sudoeste, P2P



**Gráfico 32 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala sudoeste, P2L**

De modo geral, percebe-se que o ganho de calor é função, principalmente, da convecção pelas lajes e paredes internas, apesar dessas cargas inverterem o sinal no período de aumento da temperatura interna. Tanto as paredes internas quanto as lajes tiveram grande participação no ganho de calor final do ambiente, sendo que as lajes possuem valores mais constantes dentre os diversos protótipos. Percebe-se, também, que a maior parcela de perda de carga é função prioritária da infiltração e, em menor escala, da convecção pelo vidro.

Observa-se, nos diversos experimentos, que a carga térmica proveniente das paredes externas devido às superfícies opacas possui pequena contribuição na transferência de calor ao ambiente interno, sendo responsável pelos menores valores dentre todas as cargas, ora por perda ora por ganho de calor.

O registro de temperaturas mínimas mais elevadas nos protótipos de parede pesada em comparação com os protótipos de parede leve pode ser explicado pela maior perda de carga pelas superfícies leves no período noturno, quando as temperaturas são menores (vide Gráfico 21 a Gráfico 26). Em outras palavras, as tipologias com superfícies leves sofrem maior perda de carga térmica pelas paredes externas no período noturno, explicando o porquê das temperaturas mínimas serem menores do que nos protótipos com parede pesada.

Conforme previsto, a parede externa com maior área de superfície opaca, ou seja, de maior massa térmica, ocasiona um atraso no ganho de calor pelo ar interno,

---

explicitando o efeito de inércia térmica. Esse comportamento é observado em todos os experimentos feitos (vide gráficos 20 a 32, e Apêndice 5). Contudo, as cargas por convecção devido às paredes externas são muito pequenas no balanço térmico final quando comparadas às cargas das paredes internas, das lajes e da infiltração. Além disso, a inversão do fluxo de calor para os protótipos de superfície pesadas ocorre em horários posteriores aos de superfície leve.

A infiltração parece ser uma parcela expressiva do valor total da carga, principalmente para as perdas térmicas durante a noite (vide gráficos 16 a 25). Deste modo, o controle da estanqueidade ao ar das aberturas parece ser de fundamental importância para o controle das trocas convectivas, devendo ter, provavelmente, certo impacto no consumo energético para climatização artificial, que precisa ser estudado, não sendo objetivo deste trabalho.

Os valores das temperaturas máximas dos protótipos de parede pesada, em geral, são um pouco maiores do que os de parede leve. Isso pode ser explicado pelo saldo diário de ganhos e perdas de calor, de acordo com a Tabela 26. O saldo da carga térmica por convecção do protótipo de parede pesada é, em todos os casos analisados, maior que o de parede leve. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato das perdas de carga do período noturno do protótipo de parede pesada ser menor do que o de parede leve.

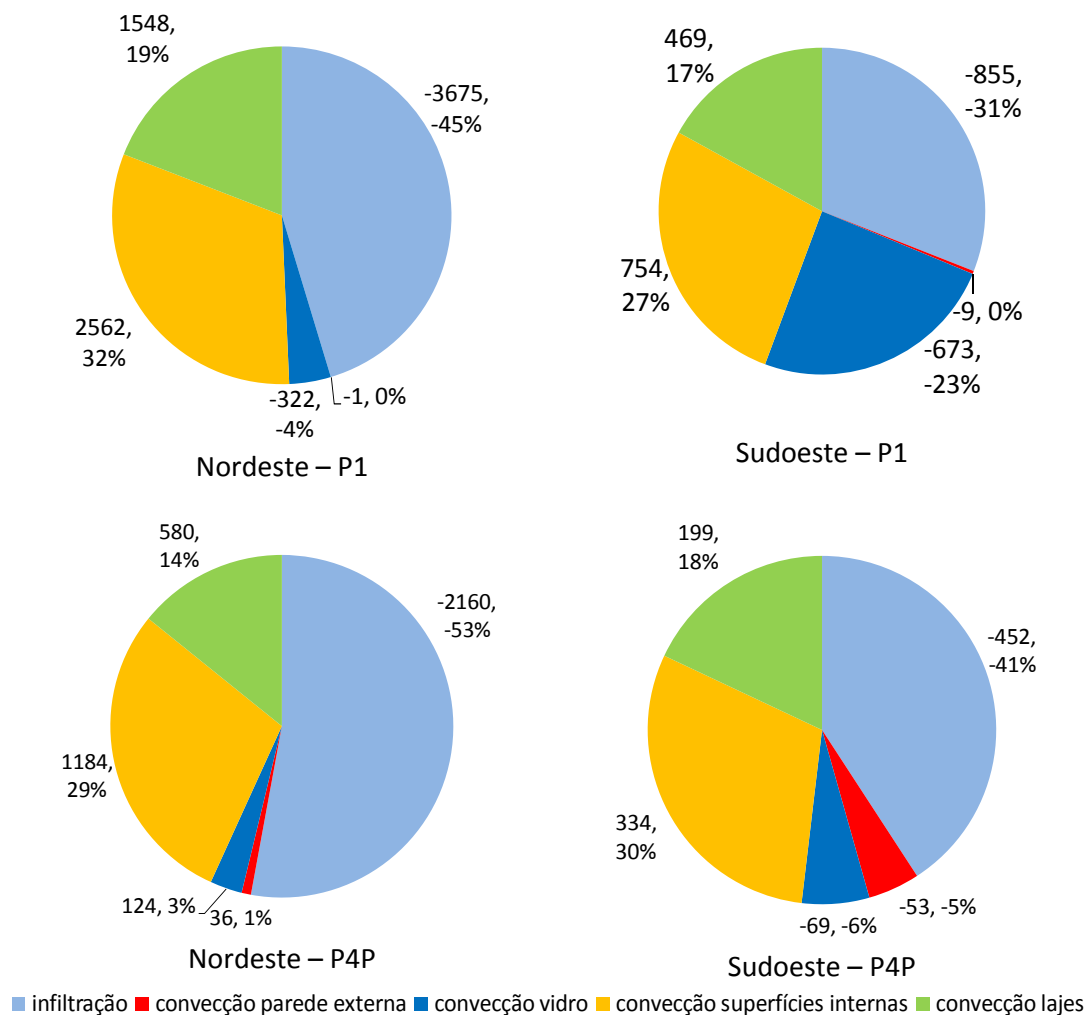
**Tabela 26 - Dados de saldo diário de calor transmitido ao ambiente por convecção pelas superfícies nos diversos protótipos nos solstícios de verão e de inverno.**

Convecção pela parede externa							
	P1	P2P	P2L	P3P	P3L	P4P	P4L
SO verão	-6	-35	-85	-28	-71	-30	-89
NE verão	1	12	-28	3	-33	22	-16
SO inverno	-12	-65	-116	-52	-94	-76	-134
NE inverno	-2	20	-22	31	9	51	28
Convecção pelo vidro							
	P1	P2P	P2L	P3P	P3L	P4P	P4L
SO verão	-575	-177	-132	-144	-182	-30	-43
NE verão	-369	-99	-60	-117	-100	16	26
SO inverno	-770	-328	-334	-278	-230	-109	-85
NE inverno	-276	198	216	-89	-74	232	248
Convecção pela laje							
	P1	P2P	P2L	P3P	P3L	P4P	P4L
SO verão	596	411	473	356	365	242	287
NE verão	1133	758	757	624	618	425	479
SO inverno	343	252	159	291	290	157	225
NE inverno	1964	1295	1418	1273	1139	735	844
Convecção total pelas superfícies internas (somados valores da laje)							
	P1	P2P	P2L	P3P	P3L	P4P	P4L
SO verão	1235	929	872	518	752	533	511
NE verão	3016	2135	2012	1659	1561	1378	1342
SO inverno	1212	950	729	744	717	534	538
NE inverno	5205	3708	4301	2932	2621	2151	2143

Analisando a diferença entre os diversos protótipos, observa-se que o saldo de carga térmica por convecção das superfícies internas (vide Tabela 26) é proveniente da radiação solar que entra pela janela e incide sobre as superfícies internas (lajes, divisórias, etc.). Quando as janelas estão protegidas por um brise-soleil externo (protótipo 3), a convecção pelo envidraçado, que tinha grande influência no valor total da carga térmica no caso anterior, ficou bastante reduzida, tanto para as situações de ganho (dia) quanto de perda térmica (noite). Há, obviamente, uma notável diminuição da convecção pelo vidro no Protótipo 4, cuja área é menor, em valores absolutos, aos demais protótipos. Dessa forma, observa-se, em quase todos os casos, uma redução do saldo de calor devido à convecção pelas superfícies internas à medida que se reduz a exposição do ambiente à incidência de radiação solar total. Assim, observa-se que a proteção solar acarreta em um comportamento ambiental de menor temperatura semelhante aos resultados do protótipo com menor área envidraçada (protótipo 3). A partir dessa análise, pode-se considerar que, para a tipologia estudada, o

comportamento térmico dos protótipos 3 e 4 são semelhantes. Contudo é mais vantajoso usar uma fachada de área envidraçada média com proteção, como o caso do protótipo 3, do que reduzir a área envidraçada da fachada (protótipo 4), por promover melhores condições de iluminação interna.

Fazendo uma análise das principais fontes de troca de carga térmica interna, foram desenvolvidos gráficos do percentual de carga térmica média diária entre o período de verão e inverno nos protótipos de menor e de maior inércia, P1 e P4P, respectivamente, em função das duas orientações de fachada, nordeste e sudoeste (vide Gráfico 33). Cabe ressaltar que não se pode comparar os gráficos em relação aos valores, pois as cargas são muito diferentes entre um experimento e outro.



**Gráfico 33 - Percentual das cargas internas média dos períodos de verão e de inverno dos protótipos P1 e P4P em função da orientação da fachada**

Observa-se, nos gráficos, que as fontes de troca de calor mais significativas no balanço geral da temperatura do ar interna são: infiltração, convecção pelas superfícies

internas, convecção pelas lajes e convecção pelo vidro no caso de edifício envidraçado (protótipo P1). A infiltração e a convecção pelo vidro representam perda de calor em todos os casos. Já a convecção pelas superfícies internas e pelas lajes apresentam-se como as fontes mais significativas de ganho de calor. A convecção pela parede externa não representa carga significativa (menor de 1%), com excessão do ambiente de fachada sudoeste de tipologia P4P, a que possui maior área opaca, representando perda de apenas 5% de calor interno.

Fazendo comparação entre os dois ambientes de orientação solar nordeste e sudoeste observa-se uma diferença significativa entre as cargas da fachada, representada pela soma da carga por convecção do vidro e da parede externa, nos diversos casos. No geral, percebe-se que a carga pela fachada, no ambiente à nordeste, representa menos de 4%; já no ambiente à sudoeste a carga alcança os 23% de perda no caso do protótipo de fachada envidraçada e 11% para o protótipo de maior inércia de fachada. Pode-se afirmar, assim, que a carga dissipada pela fachada é menor no ambiente à nordeste do que à sudoeste.

Ao comparar os protótipos 1, 2 e 4 (gráficos 20, 21, 24 e a Tabela 26), observa-se que, de maneira geral, nos diversos casos estudados, com o aumento de área opaca ocorre a diminuição das trocas por convecção pelas lajes. A mesma tendência é observada no caso dos dois tipos de composição das paredes, o aumento da massa térmica da parede externa acarreta na diminuição da convecção pelas lajes, que é mais acentuada no caso da parede pesada. Isso mostra que, além da área envidraçada, o tipo de material da fachada também poderá influenciar no acúmulo de calor pelas superfícies internas. Contudo, a influência das paredes externas no balanço geral da carga térmica interna mostrou-se pequena conforme o Gráfico 33, sendo 5% o maior valor encontrado para a carga de convecção devido às paredes externas. Desse modo, pode-se dizer que é mais importante a quantidade de área de parede e vidro do que o tipo de material utilizado nas paredes externas, para as tipologias estudadas.

Sobre o fenômeno específico da inércia térmica do ambiente, analisando todas as situações dos experimentos na Tabela 25, observa-se que em alguns casos não ocorre o fenômeno de inércia térmica, condição na qual amortecimento e atraso térmico estão ausentes. O amortecimento térmico é ausente na condição em que a temperatura máxima interna do ar encontra-se acima da temperatura máxima externa do ar. O atraso térmico é ausente na condição em que a temperatura máxima interna do ar ocorre anteriormente ou na mesma hora que a temperatura máxima externa do ar.

As condições nas quais não ocorre amortecimento térmico são:

- Protótipo P1: em todas as situações, exceto na sala sudoeste no solstício de inverno;
- Protótipos P2P e P2L: na sala sudoeste no solstício de verão e na sala nordeste no solstício de inverno;
- Protótipos P3P e P3L: em nenhuma situação;
- Protótipos P4P e P4L: em nenhuma situação.

As condições nas quais não ocorre atraso térmico são:

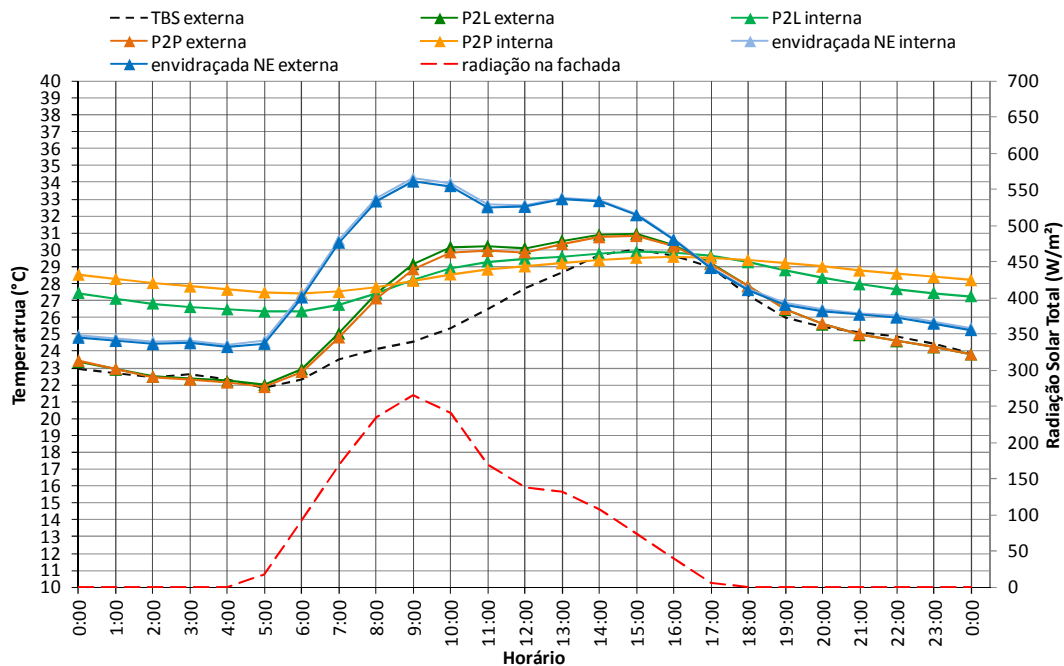
- Protótipo P1: na sala nordeste no solstício de verão e de inverno;
- Protótipos P2P e P2L: na sala nordeste no solstício de inverno, para parede pesada na sala nordeste e sudoeste no solstício de verão;
- Protótipos P3P e P3L: em nenhuma situação;
- Protótipos P4P e P4L: na sala nordeste no solstício de inverno.

Constata-se que o único protótipo que apresentou, nas quatro situações simuladas, o efeito de atraso e amortecimento térmico foi o protótipo 3 para as duas condições de tipos de parede. Os maiores valores de atraso e amortecimento ocorrem na sala de fachada sudoeste no período de inverno. Foi considerado o amortecimento térmico descrito por Roriz (equação 5, página 27).

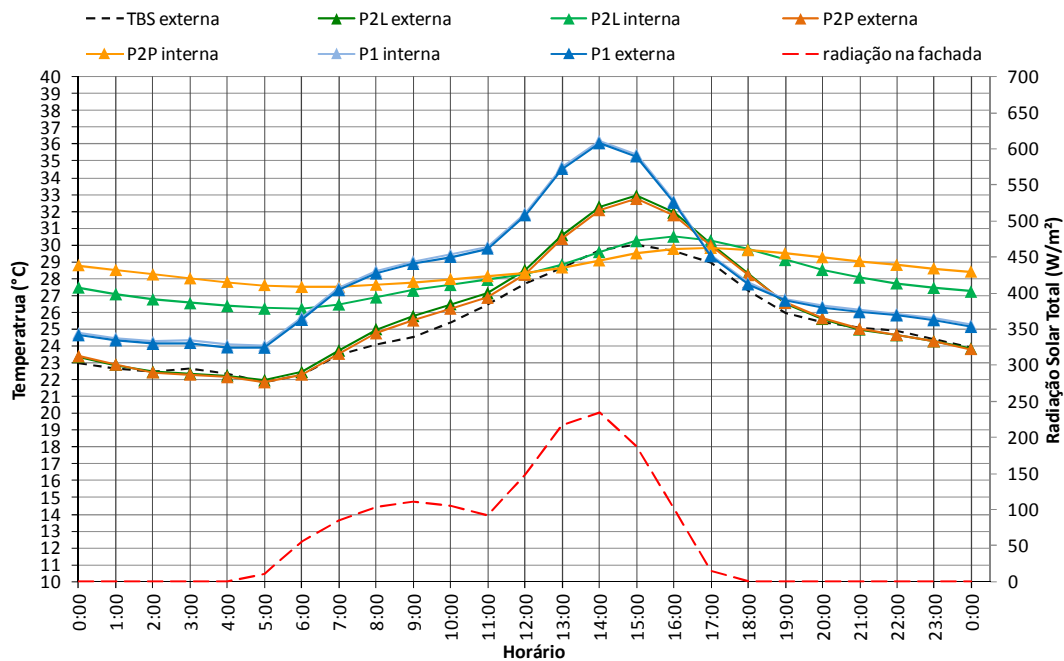
Os atrasos e amortecimentos térmicos das temperaturas do ar internas variam conforme os seguintes fatores observados para a tipologia estudada: área envidraçada da fachada, período do ano, orientação solar da fachada, proteção solar das áreas transparentes da fachada, infiltração do ar, e, em menor grau, de acordo com material construtivo das paredes externas.

Pode-se considerar, para a tipologia de edifício escritório estudada, que o material construtivo das paredes resultante de especificação para a zona bioclimática 3 (zona bioclimática de Belo Horizonte), segundo a definição de parede leve e pesada da NBR 15.220, não mostrou influência significativa sobre as temperaturas do ar interno. O tipo de material construtivo da envoltória interfere principalmente nas temperaturas superficiais dos mesmos. A carga térmica por convecção devido às superfícies externas tem menor influência no balanço térmico final do ambiente do que as cargas térmicas por convecção devido às superfícies internas e por infiltração.

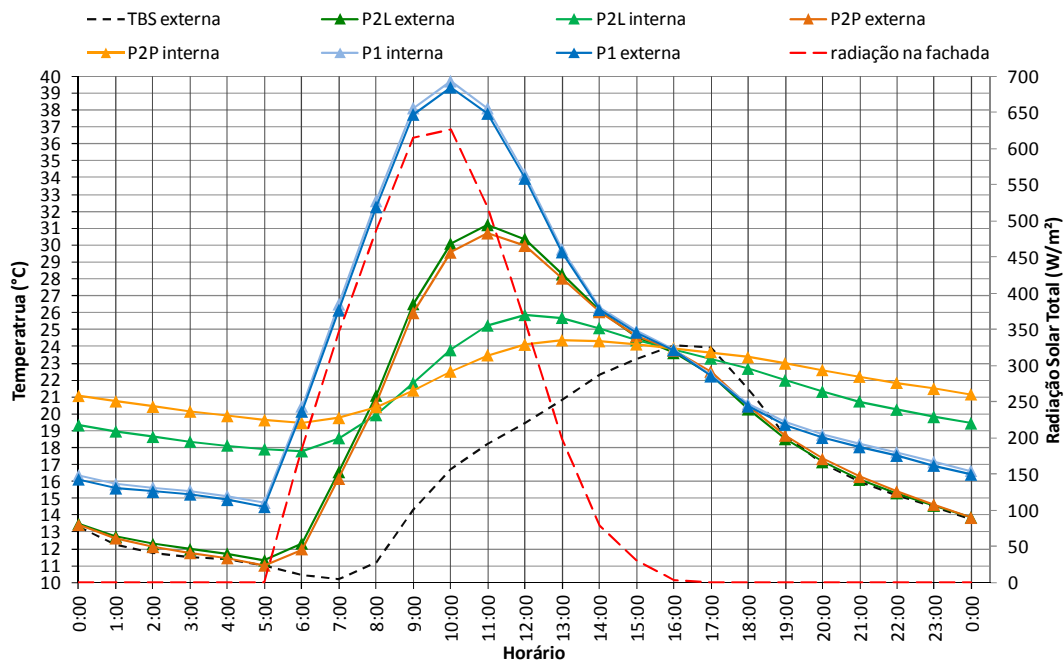
Analisam-se, a seguir, as condições específicas de inércia com relação às temperaturas superficiais externas para os dois tipos de parede, leve e pesada, tendo como referência a fachada externa original em cortina de vidro simples.



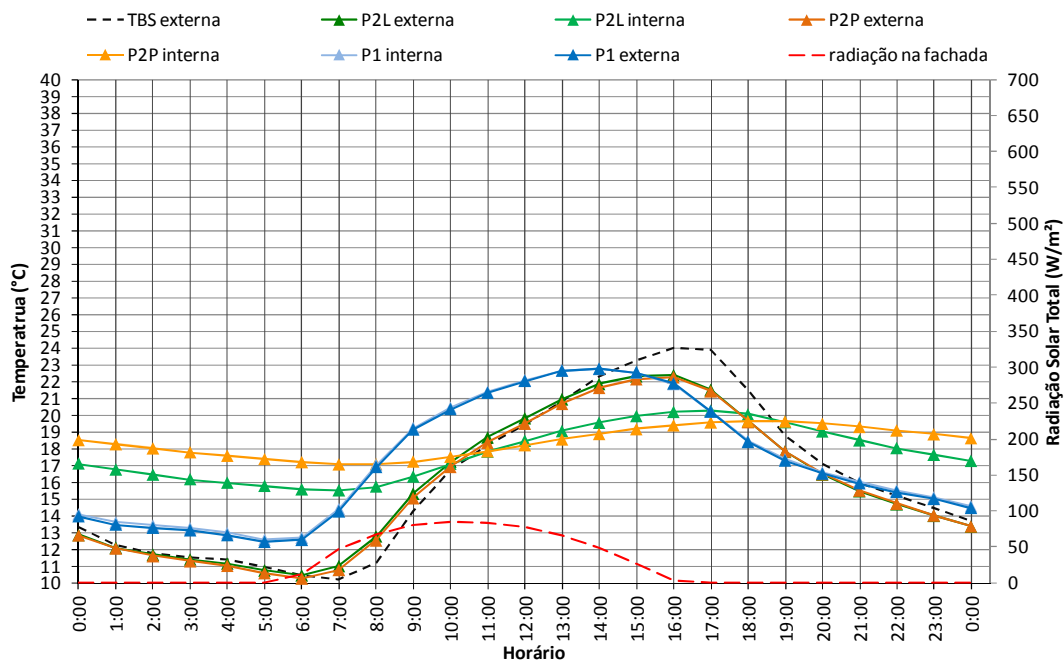
**Gráfico 34 - Variação de temperatura superficial dos protótipos P1, P2P e P2L, período de verão, sala nordeste**



**Gráfico 35 - Variação de temperatura superficial dos protótipos P1, P2P e P2L, período de verão, sala sudoeste**



**Gráfico 36 - Variação de temperatura superficial dos protótipos P1, P2P e P2L, período de inverno, sala nordeste**



**Gráfico 37 - Variação de temperatura superficial dos protótipos P1, P2P e P2L, período de inverno, sala sudoeste**

Analisando os dados de temperatura superficial para os dois tipos de fachada no período de solstício de verão para o protótipo P2P e P2L (vide Gráfico 34, Gráfico 35, Gráfico 36 e Gráfico 37), observa-se que existe o comportamento de inércia térmica em todas as situações. Ocorrem atraso e amortecimento das temperaturas superficiais

internas em relação às temperaturas superficiais externas como previsto pelas teorias de inércia térmica. Entretanto, os valores encontrados de atraso e amortecimento não são constantes, eles variam conforme a orientação solar e condições climáticas do período do ano.

Para se comparar os valores encontrados pelos experimentos e aqueles calculados pelas equações teóricas, foram desenvolvidos os cálculos de atraso e amortecimento térmicos pelas equações de Dreyfus (equações 9 e 10, página 29), conforme apresenta a Tabela 27.

**Tabela 27 - Valores de atraso e amortecimento da temperatura superficial simuladas e calculados por modelos teóricos.**

		Verão sudoeste	Verão nordeste	Inverno sudoeste	Inverno nordeste	Média	Dreyfus	NBR 15220
<b>P1</b>	$\mu$	-0,02	-0,02	0,00	-0,02	-0,02	–	–
	$\varphi$	0	0	0	0	0	–	–
<b>P2P</b>	$\mu$	0,35	0,23	0,40	0,55	0,38	0,84	–
	$\varphi$	2	2	3	2	2,25	7,1	6,5
<b>P2L</b>	$\mu$	0,43	0,26	0,32	0,45	0,37	0,60	–
	$\varphi$	1	0	1	1	0,75	3,5	3,5

$\mu$  = amortecimento térmico

$\varphi$  = atraso térmico (horas)

Os valores de atraso térmico calculados pelas equações de Dreyfus são muito próximos aos valores encontrados pela NBR 15220 (equação 16 e 17, página 31). Os valores de atraso encontrados por Dreyfus para as mesmas características das paredes descritas nos experimentos são para parede leve 3,5 horas e para parede pesada 7,1 horas. Enquanto que pelo modelo de cálculo da norma os valores de parede leve são, respectivamente, 3,5 horas e 6,5 horas. Os valores encontrados através das equações de Dreyfus para amortecimento térmico foram subtraídos de 1 para encontrar valores comparáveis aos resultados, pelo modelo de cálculo apresentado por Roriz. Os valores calculados são: 0,84 para parede pesada e 0,60 para parede leve.

Comparando os valores calculados através dos modelos teóricos apresentados com os valores médios encontrados pela simulação com o programa EnergyPlus®, observa-se que, tanto para o atraso térmico quanto para o amortecimento térmico os valores são bastante discrepantes (máximo de 2,5 horas de atraso e 0,55 de amortecimento), sendo necessário um estudo mais aprofundado sobre o assunto. Como possível resposta a essa questão, pode-se dizer que os dados da simulação computacional não são comparáveis aos dados dos modelos calculados, devido à diferença dos modelos

de cálculo, ou mesmo que os cálculos teóricos utilizados não traduzam o fenômeno de inércia com fidelidade. Salienta-se, contudo, que os cálculos teóricos utilizados são simplificados, baseados no regime transiente periódico, já o modelo computacional faz o cálculo mais complexo em regime periódico com curto período de tempo.

---

## CAPÍTULO 7

## 7. CONCLUSÃO

Esse trabalho analisa o efeito de inércia térmica através de estudo de caso de um edifício de escritórios a partir de experimento de simulação parametrizada com diferentes tipos de características e materiais da fachada, usando o programa *EnergyPlus*<sup>®</sup>. O objetivo principal deste trabalho foi analisar os efeitos de inércia térmica no desempenho do ambiente interno. A abordagem desse trabalho foi motivada pela necessidade de aprofundar o conhecimento sobre a influência dos componentes construtivos das envoltórias sobre a variação interna de temperatura do ar, que é uma das principais variáveis do conforto térmico dos usuários. O estudo de um edifício de escritórios foi feita porque os edifícios comerciais e públicos são um dos maiores consumidores de energia elétrica no Brasil.

O trabalho apresenta contribuições no aprofundamento do conhecimento a cerca do conceito de inércia térmica, do método de apresentação e análise dos resultados, da validação empírica de modelo de simulação computacional, da descrição dos processos de transferência de calor pela simulação no programa *EnergyPlus*<sup>®</sup>.

Para se ter a confiabilidade no modelo de simulação, foi feita a validação empírica, através da coleta de dados climáticos e monitoramento remoto de dados do ambiente interno em um período de dois meses.

Com o modelo validado foram desenvolvidos sete experimentos: um protótipo de fachada envidraçada, como é o caso da edificação existente analisada; dois protótipos com área de janela correspondente a 18% da área de piso sem proteção solar, um de parede leve e outro de parede pesada, definidas segundo a NBR 15.220 para a zona climática da cidade de Belo Horizonte; dois protótipos com área de janela correspondente a 18% da área de piso com proteção solar, um de parede leve e outro de parede pesada; dois protótipos com área de janela correspondente a 10% da área de piso (mínimo previsto pela mesma norma técnica para aberturas de tamanho médio na zona climática em questão) sem proteção solar, um de parede leve e outro de parede pesada.

A revisão bibliográfica mostrou que a maior parte dos estudos disponíveis trata do efeito da inércia térmica em casas térreas unifamiliares, tais como Givoni e Kruger (2003), ou em edificações residenciais, focalizando o desempenho termo-energético final do ambiente interno, como em Papst (1999).

A partir da análise da revisão bibliográfica, conclui-se que a literatura analisa o fenômeno da inércia térmica sob duas formas de abordagem, uma referente à capacidade de atraso e amortecimento de temperaturas superficiais das vedações, a outra diz respeito à resposta da temperatura do ar interior da edificação perante o comportamento térmico das superfícies e, no caso de Szokolay (1987 *apud* Roriz, 1996), sob a influência da renovação do ar. Dessa forma, observou-se que os principais modelos teóricos a respeito do fenômeno da inércia da edificação são simplificados, não abordando a complexidade das variáveis envolvidas.

Os resultados de validação empírica do modelo de simulação demonstraram que, apesar das simplificações próprias de um modelo computacional e dos protótipos da edificação, a simulação conseguiu reproduzir com boa precisão (média a alta correlação) os resultados medidos, principalmente no ambiente situado na fachada nordeste da edificação, considerando-se, assim, validado o modelo de simulação.

Os melhores resultados da validação empírica coincidem com o período de base de dados mais completa das variáveis externas. Constatou-se, assim, que a validação empírica de um modelo de simulação deve utilizar a base completa dos dados climáticos do período medido e, além disso, a descrição mais detalhada possível das características dos ambientes, tais como revestimento, massa térmica proveniente da mobília e objetos internos, além dos elementos de proteção solar internos.

Os resultados dos experimentos revelam que, para o tipo de edifício escritório estudado, o comportamento da inércia térmica dos ambientes analisados está vinculado à variável de temperatura do ar e que o efeito de inércia da vedação externa possui baixa influência no comportamento térmico do ar ambiente. Dessa forma, a partir da análise dos resultados encontrados, não se pode confirmar a hipótese de que a inércia térmica da fachada possui relação com o comportamento da temperatura do ar do ambiente interno para o caso do edifício de escritórios estudado. A classe de inércia da parede externa, no âmbito de inércia térmica das paredes derivada da NBR 15220 para a zona bioclimática 3, não possui efeito significativo sobre o atraso e amortecimento térmico interno, para a tipologia estudada. Salienta-se que para efeito de inércia térmica de fachada não são consideradas as tipologias de fachadas envidraçadas, já que essas não possuem superfícies opacas.

Foi demonstrado que os efeitos de atraso e amortecimento térmico são função da massa térmica dos materiais construtivos das envoltórias, porém parece haver outros fatores intervenientes no comportamento da inércia, principalmente quando se leva em conta a variação interna da temperatura do ar.

A partir da pesquisa realizada, constata-se que a análise do fenômeno de inércia necessita de um estudo complexo a respeito de diversas características e condições da edificação. Deve-se observar que o comportamento de inércia térmica de um ambiente interno varia conforme as condições climáticas, o período do ano, e segundo a tipologia arquitetônica da edificação e de cada ambiente interno. A inércia térmica para a mesma edificação possui diferentes comportamentos, conforme a orientação solar da fachada do ambiente interno a ser analisado. De forma geral deve-se considerar conjuntamente todos os aspectos construtivos a seguir:

- razão de área envidraçada da fachada pela área de piso do ambiente;
- período do ano;
- orientação solar da fachada;
- proteção solar das áreas transparentes e translúcidas da fachada;
- infiltração do ar;

A partir dos resultados deste trabalho, pode-se concluir que o fenômeno de inércia térmica referente às condições de temperatura do ar do ambiente interno é resultante de todos os processos envolvidos na transferência de calor do meio exterior ao meio interior. No que diz respeito ao amortecimento térmico pela fachada constatou-se que a área de parede não representa fonte significativa de trocas térmica no ambiente interno. A fonte de troca térmica mais influente da fachada é a área envidraçada da fachada e o fato de haver ou não proteção solar da mesma. Isso ocorre porque o aquecimento da temperatura do ar de um ambiente interno é também função da incidência de radiação solar total nas superfícies internas que transmitem calor ao ar do ambiente interno. Foi observada uma forte influência das superfícies internas no balanço térmico dos ambientes através da simulação computacional. Assim sendo, pode-se dizer que, ao analisar a inércia da construção, deve ser observado, dentre outras coisas, o conjunto de materiais que armazenam calor dentro de uma edificação, ou seja, da massa térmica interna, dos componentes de alvenaria, dos elementos de revestimento, mobília e objetos internos.

As limitações do trabalho estão relacionadas à validação do modelo de simulação e aos experimentos resultantes da simulação. Um limitador é a extensão da base de dados climáticos coletados que foi função da ausência de dados da estação meteorológica mais próxima para a descrição do arquivo climático e do curto período de tempo da medição. Outro limitador é a simplificação do modelo de simulação dos ambientes o

---

qual não incluiu a descrição da massa térmica interna devido aos objetos, tais como mobília, existentes em um ambiente em uso.

Como sugestões para trabalhos futuros e possíveis aplicações do presente trabalho, propõe-se:

- Avaliar o desempenho de conforto térmico do caso estudado neste trabalho (edificação sede do DER-MG) incluindo a análise da variável de temperatura radiante.
- Fazer a medição das temperaturas superficiais para uma validação do modelo de simulação mais completa;
- Verificar, através de experimentos, a influência da ocupação e da ventilação natural no desempenho térmico a partir de dados de atraso e amortecimento térmico do ar do ambiente interno;
- Desenvolver um índice de desempenho termo-energético relativo aos diversos parâmetros arquitetônicos das fachadas em edifício de escritórios;
- Aprofundar o estudo do efeito da infiltração no balanço térmico dos ambientes interiores;
- Aplicar a metodologia desenvolvida em outros estudos de caso, analisando o comportamento de outras tipologias de edifícios de escritórios e o comportamento da edificação perante outros climas;
- Aplicar o sistema desenvolvido de monitoramento em outras pesquisas para se estudar a viabilidade do uso do sistema de monitoramento integrado à toda edificação, como forma de avaliação pós-ocupação ou, ainda, integrado ao sistema de monitoramento de consumo por usos finais para se ter uma análise de desempenho termo-energético da edificação;
- Aplicar a metodologia desenvolvida para formação de banco de dados para desenvolver diretrizes construtivas para edifício de escritórios.

## REFERÊNCIAS

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

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações** - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

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

AKUTSU, Maria; VITTORINO, Fúlvio. **A Tendência Atual dos Métodos de Avaliação do Desempenho Térmico e Energético de Edificações**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3. Salvador. Anais... São Paulo: ANTAC, 1997. p. 147-151.

\_\_\_\_\_. **Proposta de procedimento para avaliação do desempenho térmico de edificações condicionadas e não condicionadas**. In: ENCONTRO NACIONAL DE NORMALIZAÇÃO LIGADA AO USO RACIONAL DE ENERGIA E AO CONFORTO AMBIENTAL EM EDIFICAÇÕES, 1. Florianópolis: UFSC, 1991. p. 157-171.

ASHRAE. **1993 ASHRAE Handbook Fundamentals**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, 1993. Vol.1.

\_\_\_\_\_. **Standard 55-1992: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1992.

BARBOSA, M. J.; LAMBERTS, R.; GUTHS, S. **Uso de barreiras de radiação para minimizar o erro no registro das temperaturas do ar em edificações**. Ambiente Construído, v. 8, n. 4, 2008 p. 117-136.

BARBOSA, Miriam Jerônimo. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares**. 1997. 307 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

BARRIO, Elena Palomo del; GUYON, Gilles. **Application of parameters space analysis tools for empirical model validation**. Energy and Building, Volume 36, 2004, p. 23-33.

BATISTA, A. P. **Monitoração e Controle de Processos Térmicos em Edificações por Meio de um Sistema Distribuído** (Dissertação de Mestrado Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. **Controle do Ambiente em Arquitetura**. (Apostila do Curso de Especialização por Tutoria à Distância). Módulo 8. Controle térmico de ambientes / Luiz Carlos Chichierchio.- Módulo 11. Controle térmico de ambientes / Márcio Villas Boas.- Módulo 12/13. Controle térmico de ambientes / Paulo Cardoso da Silva.- Módulo 14/16. Controle luminoso / Lúcia Mascaró. Brasília, 1983. 21 v. em 10. Mimeografado.

\_\_\_\_\_, Ministério Agricultura. **Normais climatológicas 1961-90**. Brasília: 1992.

\_\_\_\_\_, Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira: Exercício de 2006**. Balanço Energético Nacional, 2007. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em 09 agosto de 2010.

\_\_\_\_\_, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Portaria INMETRO nº 53: Aprova o Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos**. 27 de fevereiro de 2009. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/legislacao/detalhe.asp?seq\\_classe=1&seq\\_ato=1424](http://www.inmetro.gov.br/legislacao/detalhe.asp?seq_classe=1&seq_ato=1424)>. Acesso em 05 mar. 2009.

BULL, Luiz Angelo; LAMBERTS, Roberto. **Parametrização do Desempenho Térmico de Edifícios Comerciais em Florianópolis**. III Encontro Nacional, I Encontro Latino-Americano, 1995, Gramado. : Anais... São Paulo: ANTAC, 1995.

CARLO, J., LAMBERTS, R. **Elaboração de protótipos para simulação do desempenho termo-energético de edificações**. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 2006, Florianópolis. Anais... São Paulo: ANTAC, 2006. p. 152-161

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-Residenciais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008. 215 f.

CARRIÈRES, Kellen Regina Monte. **Desempenho térmico e consumo energético de edifícios de escritórios em São Carlos, SP**. Campinas, SP: [s.n.], 2007. 172 f.

CASTRO, Adriana Petito de Almeida Silva. **Desempenho Térmico de Vidros Utilizados na Construção Civil: Estudo em Células-Teste**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2006. 239 f.

CREDER, Hélio. **Instalações de Ar Condicionado**. 5a ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1996.

CROISET, Maurice. **L'hygrothermique dans Le bâtiment**. Paris: Éditions Eyrolles, 1968.

DOE. **EnergyPlus Manual: Getting Started and Overview**. 2010a. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>> Acesso em: abril de 2010.

\_\_\_\_\_. **EnergyPlus Manual: Engineering Reference**. 2010b. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>> Acesso em: abril de 2010.

\_\_\_\_\_. **EnergyPlus Manual: Input/Output Reference**. 2010c. Disponível em: <<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>> Acesso em: abril de 2010.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Estudo de Casos sobre Inércia Térmica de Edificações na Cidade de São Carlos, SP**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2004.

DORNELLES, Kelen Almeida; RORIZ, Maurício. **Thermal Inertia, Comfort and Energy Consumption in Buildings: A Case Study in São Paulo State – Brazil**. INTERNATIONAL JOURNAL FOR HOUSING SCIENCE AND ITS APPLICATIONS. Ed. Ural & Associates. Great Britain. 2004. VOL 28; PART 2, pages 153-162.

DREYFUS, Jacques. **Le Confort dans l'habitat en Pays Tropical: La Protection des Constructions Contre la Chaleur, Problèmes de Ventilation**. Paris, Éditions Eyrolles, 1960. 363 p.

DUFFIE, J. A., BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. John Wiley & Sons. 3. ed. Canada: John Wiley & Sons, Inc. 2006. 908 p.

FANGER, P.O. **Thermal Comfort Analysis and Application in Environmental Engineering**. Copenhagen: Danish Technical Press. 1970.

FREITAS, Maria Eugênia de Almeida; BATISTA, Ana Paula; JOTA, Fábio Gonçalves. **Avaliação Experimental do Desempenho Energético de um Condicionador de Ar de Expansão Direta**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2, Vitória. Anais... Porto Alegre: ABEE, 2007. 8p.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 243 p.

GIVONI, Baruch; KRÜGER, Eduardo. **An attempt to base prediction of indoor temperatures of occupied houses on their thermo-physical properties**. In: International Conference on Passive and Low Energy Architecture, 20º. Anais PLEA. Santiago. 2003. 5 p.

GIVONI, Baruch; VECCHIA, Francisco. **Predicting thermal performance of occupied houses**. In: International Conference on Passive and Low Energy Architecture, 18º. Anais PLEA. Florianópolis. 2001. p. 701-706.

GRANJA, Ariovaldo Denis. ***Transmissão de Calor em Regime Periódico: Efeito de Inércia Térmica em Fechamentos Opacos***. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002. 132 f.

HUI, C. M. ***Energy Performance of Air-conditioned Buildings in Hong Kong***. Tese (doutorado) Hong Kong, 1996. xxiv, 331 p.

INDUSTRIAL TECO. ***As madeiras brasileiras: suas características e aplicações industriais***. São Paulo, Ed. Industrial Teco, 1971. 93p.

ISO. ***ISO 7726: Thermal environments - Instruments and methods for measuring physical quantities***. Switzerland: International Organization for Standardization, 1985.

\_\_\_\_\_. ***ISO 7730-1984: Moderate Thermal Environments — Determination of the PMV and PPD. Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort***. Switzerland: International Organization for Standardization, 1984.

\_\_\_\_\_. ***ISO 7730-1994: Moderate Thermal environments - Determinations of PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort***. Switzerland: International Organization for Standardization, 1994.

JAKOB, Max. ***Heat Transfer***. Vol. 1. New York: John Wiley & Sons Inc. 1949. 758 p.

JANDA, Kathryn B.; BUSCH, John F. ***Worldwide status of energy standards for buildings***. In: ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. Anais...Berkeley: ACEEE, 1992. V. 6, p. 103 a 105.

JENSEN, Soren Ostergaard. ***Validation of building energy simulation programs: a methodology***. Energy and Building, Volume 22, 1995, p. 133-144.

JOTA, Fábio Gonçalves; JOTA, Patrícia Romeiro da Silva; MARTINS, Euler Cunha; NOBRE, Eduardo Carvalhaes. ***Gerenciamento Efetivo de Energia por Meio de Monitoramento Remoto e Contínuo por Uso Final***. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2. Vitória, 2007. Anais... Porto Alegre: ABEE, 2007.

KOENIGSBERGER, O. H., INGERSOLL, T. G., MAYHEW, A., SZOKOLAY, S. V. ***Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales***. Madri: Paraninfo, 1977.

LAM, Joseph C.; HUI, Sam C. M.; CHAN, Apple L. S. ***Regression analysis of high-rise fully air conditioned office buildings***. In: Elsevier Energy and Buildings, 26. Amsterdam: Elsevier Science. 1997, p. 189-197.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. ***Eficiência Energética na Arquitetura***. 2ª edição, revisada. São Paulo, ProLivros, 2004. 192p.

LOURA, Rejane Magiag. ***Procedimento de identificação de variáveis e análise de sua pertinência em avaliações termo-energéticas de edificações***. Dissertação (Mestrado

em Ciências e Técnicas Nucleares do Departamento de Engenharia Nuclear) Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006. 212f.

MACEDO, Catharina C. **Análise do Desempenho Térmico e Luminoso de Sistemas de Iluminação Natural que utilizam a Luz Direta do Sol**. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002. 135p.

MANZ, H.; P. Loutzenhiser, T. Frank, P.A. Strachan, R. Bindi, G. Maxwell. **Series of experiments for empirical validation of solar gain modeling in building energy simulation codes: Experimental setup, test cell characterization, specifications and uncertainty analysis**. Building and Environment, Volume 41, Issue 12, 2006. p. 1784-1797.

MASCARÓ, Lucia Raffo de. **Energia na Edificação: Estratégia para Minimizar seu Consumo**. São Paulo: Projeto, 1985. 136 p.

MELO, Ana Paula. **Análise da Influência da Transmitância Térmica no Consumo de Energia de Edificações Comerciais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

MESQUITA, A.L.S. **Engenharia da Ventilação**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.

MUELLER, Cecília Mattos; FROTA, Anésia Barros. **A Aplicabilidade das Normas de Medição de Parâmetros Físicos na Avaliação Do Desempenho Térmico De Edificações No Brasil**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15, 2005, Maceió. Anais... São Paulo: ANTAC, 2005. p. 2288-2289.

OLGYAY, Victor. OLGYAY, A. **Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. New Jersey: Princeton University Press, 1973.

PAPA, Renata Pietra. **Metodologia para obtenção de consumo específico em função da temperatura externa**. Dissertação (mestrado em Tecnologia). Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006. 141f.

PAPST, Ana Lúcia. **Uso de inércia térmica em clima subtropical : estudo de caso em Florianópolis-SC**. Orientação de Roberto Lamberts. Florianópolis, SC. UFSC. 1999. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

PEDRINI, Aldomar. **Desenvolvimento de Metodologia de Calibração de Modelos para Simulações Térmica e Energética de Edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 1997. 186 f.

PEREIRA, Iraci Miranda. **Novas Metodologias para Simulação Energética de Edificações: Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares

do Departamento de Engenharia Nuclear) Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2004.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e Clima: Acondicionamento Térmico Natural**. 2ª ed. rev. e ampl. – Porto Alegre: D. C. Luzzatto Editores, 1986. 204 p.

ROHLES, F.H., NEVINS, R.G., SPRINGER, W., FEYERHERM, A.M. **Temperature – Humidity chart for thermal comfort of seated persons**. In: *ASHRAE Transactions*, v.72, part I. 1966.

ROMÉRO, Marcelo de Andrade; ORNSTEIN, Sheila Walbe. **Avaliação pós-ocupação : métodos e técnicas aplicados à habitação social**. Porto Alegre. Anais... São Paulo: ANTAC, 2003. 294p.

RORIZ, Maurício. **Conforto Térmico em Edificações: um Modelo Matemático e uma Aplicação**. Tese (Doutorado em Arquitetura). Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996. 185p.

SANTAMOURIS, Matheos; ASIMAKAPOULOS, Demosthenes. **Passive Cooling of Buildings**. London, UK: James & James (Science Publishers) Ltd. 1996. 473 p.

SANTANA, Marina Vasconcelos; GHISI, Eneidr. **Influência do Percentual de Área de Janela na Fachada e da Absortância de Paredes Externas no Consumo de Energia em Edifícios de Escritório da Cidade de Florianópolis-SC**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17, 2007, Ouro Preto. Anais... São Paulo: ANTAC, 2007.

SEIXAS, Melissa Nascimento de Castro. **Desenvolvimento de Sistema de Monitoramento Automático para Análise Energética e de Conforto Ambiental em Edifícios**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares do Departamento de Engenharia Nuclear) Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

SOUZA, Anádia Patrícia Almeida de Souza; JOTA, Patrícia Romeiro da Silva. **Índices de Desempenho Energético para o setor de Escolas Públicas: Estudo de Caso da Cidade de Itabira, MG**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11, 2006, Florianópolis. Anais... São Paulo: ANTAC, 2006.

SZOKOLAY, Steven V. **Use of the New Effective Temperature: ET in Practice**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITETURE, 2001, Florianópolis. Anais...Florianópolis: [sn], 2001.

WANG, David; GROAT, Linda. **Architectural Research Methods**. United States of America: John Wiley & Sons, Inc. 2002.

YIN, Robert K. *Estudo de Caso: planejamento e métodos*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

---

## APÊNDICES

## 1. AFERIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DOS DADOS CLIMÁTICOS

### *Comparação da temperatura e umidade do ar exterior*

Foi feita a comparação dos dados de temperatura e umidade relativa do ar externo coletados pela estação climatológica da FEAM com os valores de duas outras estações climatológicas de Belo Horizonte, a estação convencional (estação do INMET/5DISME) e a estação automática (estação do INMET/Pampulha), cujo padrão é da WMO. As localizações das estações climatológicas mencionadas em relação à edificação de estudo são vistas na Figura 26.

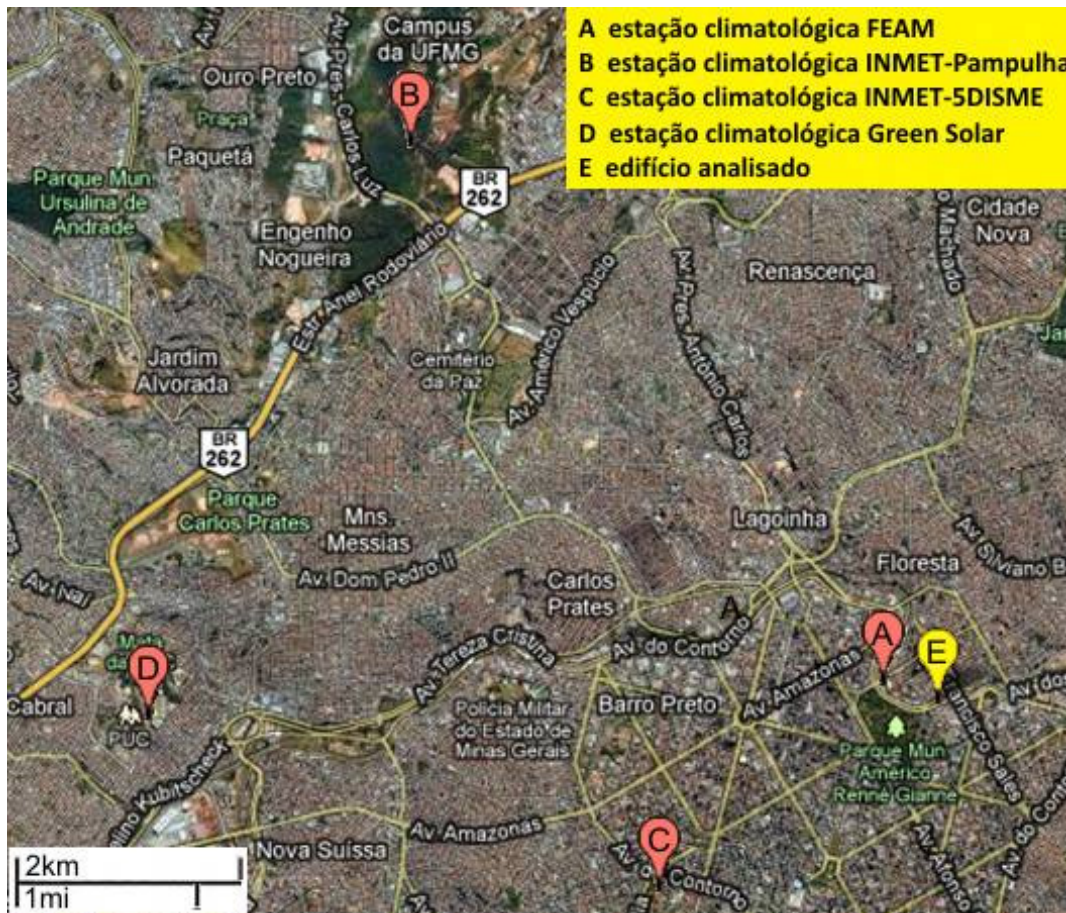


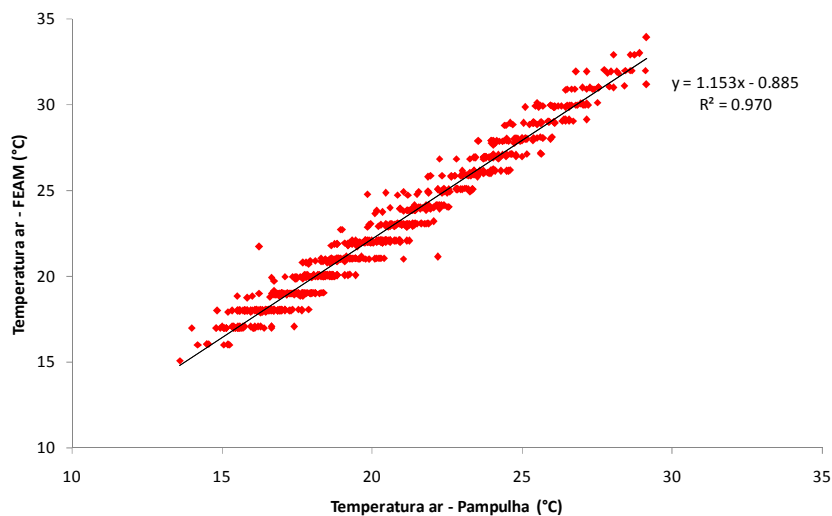
Figura 26 - Localização das estações climatológicas utilizadas e do edifício analisado

Na estação principal, os dados contínuos de temperatura e umidade do ar são registrados em termohigrogramas, os dados de velocidade e direção de vento são registrados em anemogramas. Foi feita a leitura cuidadosa dessas quatro variáveis no período de análise, pois foram utilizadas para averiguar a confiabilidade dos dados medidos na estação da FEAM, que não é padronizada conforme a WMO.

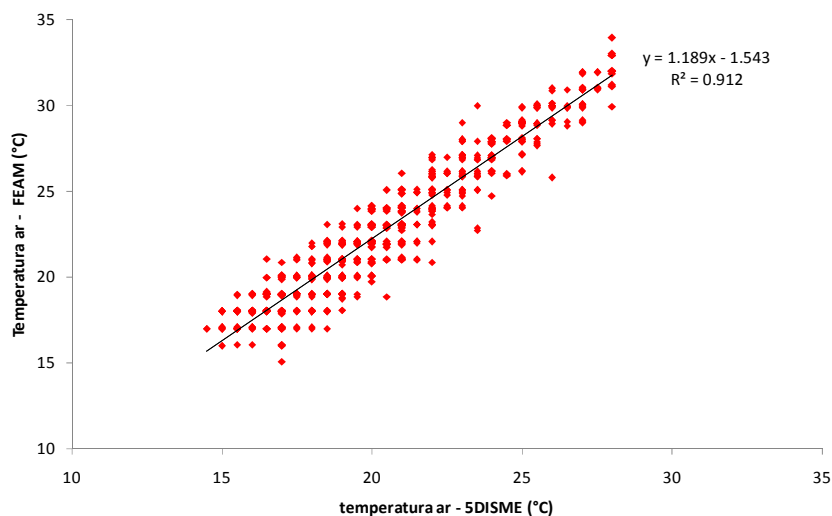
A comparação de temperatura do ar coletada na estação da FEAM apresentou forte correlação para ambas as estações climatológicas do INMET, com valores de

correlação de 98% e coeficiente de determinação de 97% para a estação INMET-Pampulha (Gráfico 38) e de 96% de correlação e 91% de coeficiente de determinação para a estação principal (Gráfico 39).

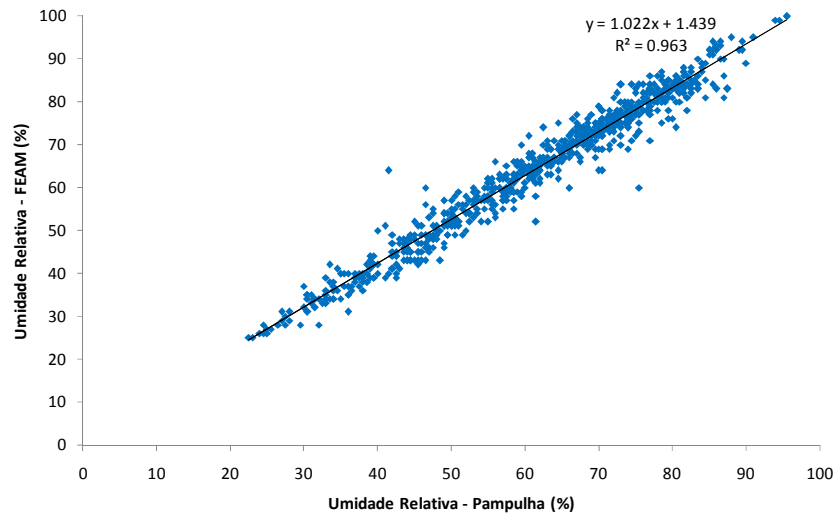
A comparação da umidade do ar coletada na estação da FEAM apresentou correlação de 98% e coeficiente de determinação de 96% para a estação da Pampulha (Gráfico 40) e de 92% de correlação e 87% de coeficiente de determinação para a estação principal (Gráfico 41).



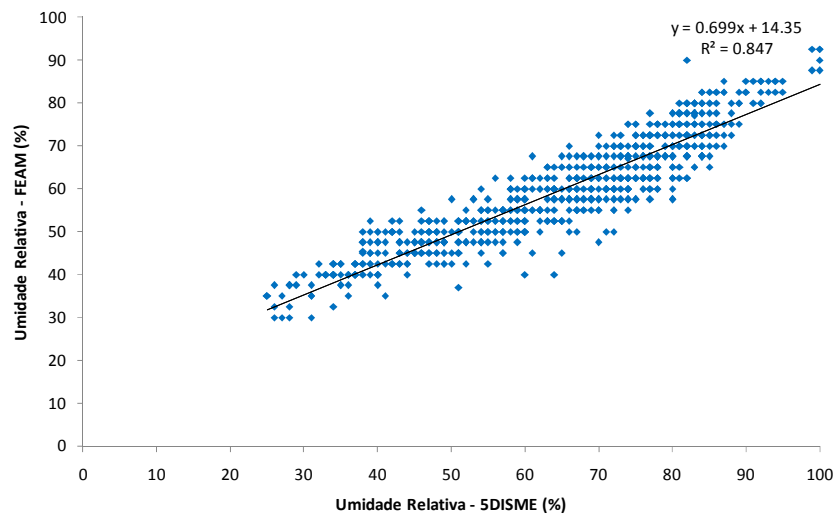
**Gráfico 38 - Correlação de temperatura de bulbo seco do ar entre FEAM e INMET-Pampulha, período de 01 de agosto a 02 de setembro**



**Gráfico 39 - Correlação de temperatura de bulbo seco do ar entre FEAM e INMET/5DISME, período de 01 de agosto a 02 de setembro**



**Gráfico 40 - Correlação de umidade relativa do ar entre FEAM e INMET-Pampulha, período de 01 de agosto a 02 de setembro**

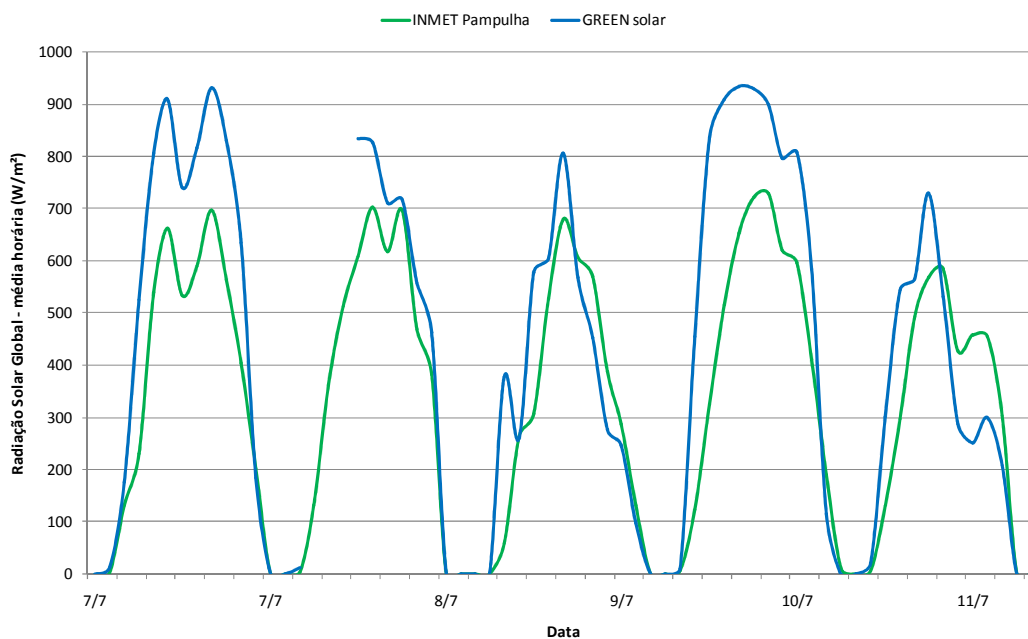


**Gráfico 41 - Correlação de umidade relativa do ar entre FEAM e INMET/SDISME, período de 01 de agosto a 02 de setembro**

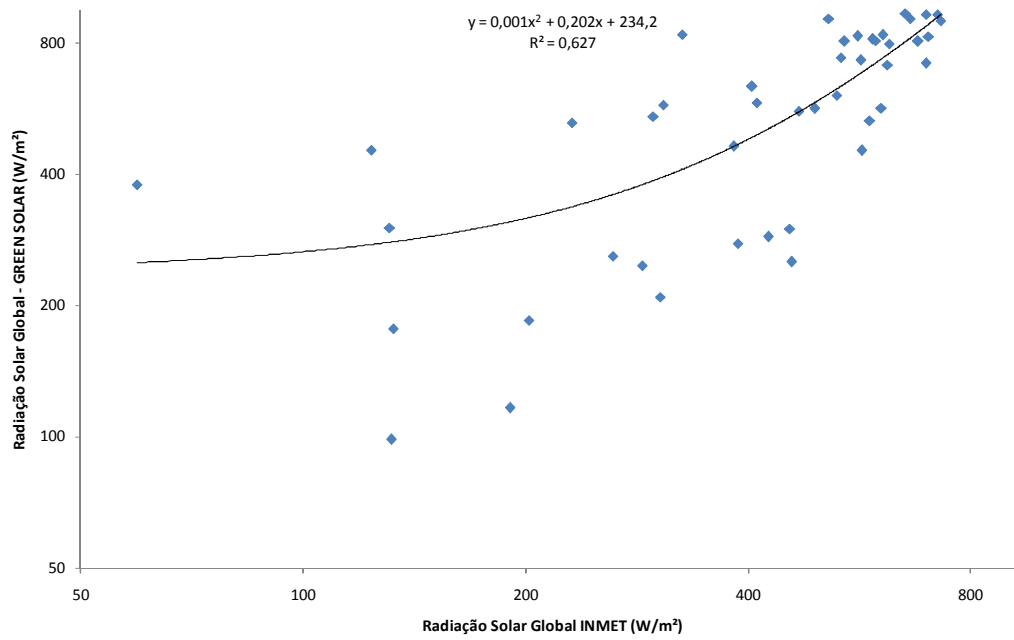
### Comparação de dados de radiação solar

Foi feita a comparação dos dados de radiação solar medidos na estação automática de Belo Horizonte com os dados do Laboratório GREEN-Solar da PUC-MG, no mesmo período. Embora as curvas de variação horária da radiação solar global tenham formas semelhantes (Figura Gráfico 42), obteve-se uma correlação baixa entre os dados das duas estações ( $r = 0,91$ ) e um coeficiente de determinação de 62% para um modelo não linear (equação polinomial de 2ª ordem, figura Gráfico 43). Observa-se que as maiores discrepâncias ocorreram em torno do meio dia solar.

Devido à falta de manutenção periódica na estação do GREEN-Solar no período analisado, conclui-se que os dados do INMET devem ser mais confiáveis para o presente trabalho e, portanto, foram os adotados.



**Gráfico 42 - Variação de Radiação Solar do INMET-Pampulha e do Green-Solar da PUC-MG, período 07 a 11 de julho**



**Gráfico 43 - Correlação de Radiação Solar entre os dados das estações do INMET-Pampulha e GREEN-Solar da PUC-MG, período 07 a 11 de julho**

## 2. CÁLCULO ESTIMADO DA RADIAÇÃO SOLAR DIRETA E DIFUSA

O cálculo estimado da parcela difusa e direta de radiação solar média horária incidente sobre plano horizontal foi feita através de uma série de algoritmos do livro de Duffie e Beckman (2006). O cálculo feito utilizou os dados medidos da radiação solar total média horária sobre plano horizontal coletados pela estação automática do INMET/Pampulha do período de 1 de agosto a 10 de outubro de 2009.

Segue abaixo a descrição geral dos algoritmos utilizados:

### I. Cálculo da radiação solar difusa média horária sobre plano horizontal

Segundo Duffie e Beckman (2006), a razão ( $r_d$ ) da radiação difusa horária ( $I_d$ ) pela radiação difusa diária ( $H_d$ ) é dada por:

$$r_d = \frac{I_d}{H_d} \quad 24$$

Onde:

$r_d$  = Razão da radiação horária difusa pela radiação diária difusa

$H_d$  = Radiação solar difusa média diária sobre plano horizontal

$I_d$  = Radiação solar difusa média horária sobre plano horizontal

Pode-se deduzir que:

$$I_d = H_d \cdot r_d \quad 25$$

### II. Cálculo da razão entre a radiação horária difusa e a diária difusa ( $r_d$ )

A razão ( $r_d$ ) da radiação difusa horária pela radiação difusa diária pode ser também calculada pela equação abaixo, segundo Duffie e Beckman (2006):

$$r_d = \frac{\pi}{24} \cdot \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\text{sen } \omega_s - \frac{\pi \omega_s}{180} \cos \omega_s} \quad 26$$

Onde:

$\omega$  = ângulo do horário solar (graus)

$\omega_s$  = ângulo do pôr-do-sol (graus)

a. Cálculo do ângulo do pôr-do-sol ( $\omega_s$ )

O ângulo do pôr-do-sol é dado pela equação abaixo, segundo Duffie e Beckman (2006):

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \tan \delta \quad 27$$

Onde:

$\delta$  = ângulo da declinação solar (graus)

$\phi$  = ângulo da latitude local (graus)

b. Cálculo da declinação solar ( $\delta$ )

Segundo Cooper<sup>23</sup> (1969, apud Duffie e Beckman, 2006), o ângulo de declinação solar é dado por:

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left( 360 \cdot \frac{284 + n}{365} \right) \quad 28$$

Onde:

$n$  = dia do ano (dia gregoriano)

III. Cálculo da componente difusa da radiação solar média mensal sobre plano horizontal ( $H_d$ )

Segundo Collares-Pereira e Rabl<sup>24</sup> (1979, apud Duffie e Beckman, 2006), a correlação da fração difusa da radiação solar total sobre plano horizontal é dada pela equação abaixo:

$$\frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} = 0,775 + 0,00606(\omega_s - 90) - [0,505 + 0,00455(\omega_s - 90)] \cos(115 \overline{K}_t - 103) \quad \begin{matrix} 2 \\ 9 \end{matrix}$$

Onde:

$\omega_s$  = ângulo do pôr-do-sol (graus)

$\overline{K}_t$  = índice de claridade média diária

a. Cálculo do índice de claridade média diária ( $\overline{K}_t$ )

<sup>23</sup> COOPER, P. I. *The Absortion of Solar Radiation in Solar Stills*. *Solar Energy*, vol 12, n. 3. Elsevier Science Ltd, 1969. p. 333-346.

<sup>24</sup> COLLARES-PEREIRA, M; RABL, A. *The Average Distribution of Solar Radiation – Correlations Between Diffuse and Hemispherical and Between Daily and Hourly Insolation Values*. *Solar Energy*, vol 22, n. 155. Elsevier Science Ltd, 1979. p. 155- 164.

Segundo Duffie e Beckman (2006), o índice de claridade média diária é dada por:

$$\bar{K}_t = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} \quad 30$$

Onde:

$H$  = Radiação solar total média diária sobre plano horizontal

$H_o$  = Radiação solar total média diária no topo da atmosfera

b. Cálculo da Radiação Solar Média Diária no Topo da Atmosfera

$$\bar{H}_o = \frac{24.3600G_{sc}}{\pi} \left( 1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360n}{365} \right) \left( \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \text{sen} \omega_s + \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \text{sen} \phi \cdot \text{sen} \delta \right) \quad \begin{matrix} 3 \\ 1 \end{matrix}$$

Onde:

$G_{sc}$  = Constante Solar (1367 W/m<sup>2</sup>)

$n$  = dia do ano (dia gregoriano)

$\omega_s$  = ângulo do pôr-do-sol (graus)

$\delta$  = ângulo da declinação solar (graus)

$\phi$  = ângulo da latitude local (graus)

### 3. AFERIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE DADOS AMBIENTAIS DA EDIFICAÇÃO

O equipamento utilizado como padrão para a aferição do sistema de monitoramento ambiental foi o registrador digital de dados HOBO tipo U12-012 da marca ONSET, que mede temperatura e umidade do ar. Esse equipamento foi escolhido por ser capaz de fazer a coleta de dados com a mesma frequência de registro que o sistema de monitoramento do CMUF (média a cada 15 minutos de um período de amostragem a cada 1 minuto).

As especificações técnicas dos diversos equipamentos de aferição do sistema de monitoramento são apresentadas na Tabela 28.

**Tabela 28 - Especificações técnicas dos equipamentos de aferição do sistema de monitoramento.**

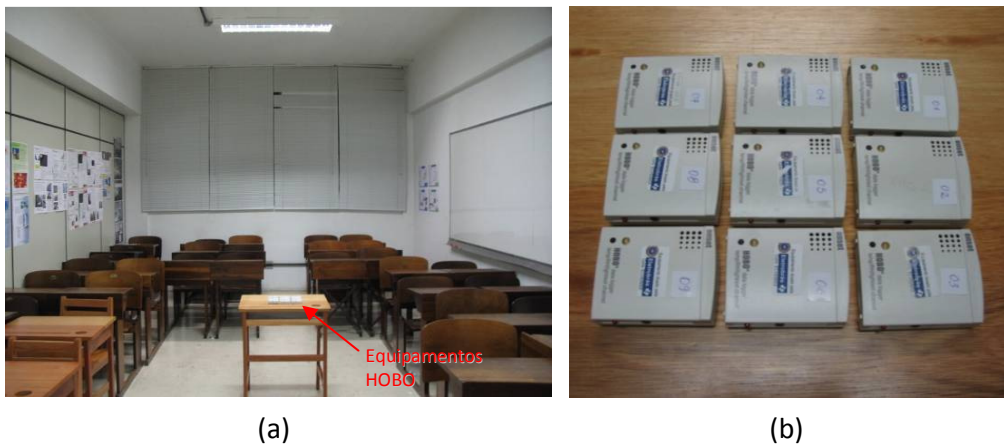
	Sistema Monitoramento*	Equipamento HOBO**	Equipamentos analógicos do INMET/5DISME***
Frequência de coleta	1min	1min	6 horas
Precisão	Temperatura 0,6°C	±0,35°C (0°C a 50°C)	0,5
	Umidade Relativa ±3,5%	±2,5% (10 a 90%)	1%
Resolução	Temperatura –	0,03°C a 25°C	1,0
	Umidade Relativa –	0,03%	1%
Tempo de Resposta	Temperatura 3 min.	6 min.	–
	Umidade Relativa 15 seg. a 25°C e baixa velocidade do ar	1 min.	–

\* O Sistema de monitoramento do CMUF utiliza o sensor eletrônico de temperatura termo-resistor LM35D (fabricante: National Semiconductor Corporation) e o sensor eletrônico de umidade HIH 4000-004 (fabricante: Honeywell Sensing Control).

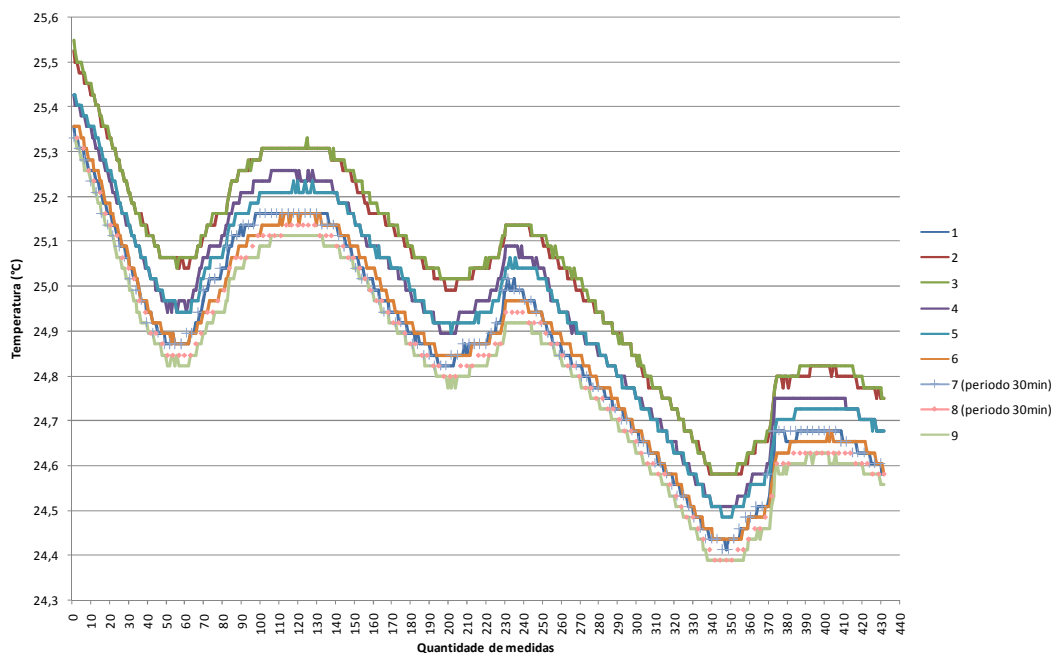
\*\* HOBO tipo U12-012 é um registrador digital de temperatura do ar, umidade relativa e luminosidade (fabricante: ONSET)

\*\*\* Foram utilizados os dados de leitura diária (3 leituras ao dia) dos equipamentos analógicos da estação climatológica convencional do INMET/5DISME, que são o termômetro de mercúrio e o higrômetro.

Inicialmente, foi feita a comparação entre nove equipamentos iguais do tipo HOBO U12-012 para seleção de quatro equipamentos com as respostas mais estáveis e semelhantes. Os equipamentos foram colocados lado a lado sobre uma mesa de madeira no centro de uma sala-controle com o ambiente fechado durante 24 horas, conforme Figura 27. Os dados de temperatura e umidade do ar foram coletados com período de 10 minutos. Os resultados foram comparados e encontrou-se um desvio padrão médio de 0,08 °C. No Gráfico 44 verifica-se a variação de temperatura entre os nove equipamentos.



**Figura 27 - Foto da sala de controle com medição dos equipamentos do tipo HOBBO U12-012. Em (a), foto da sala com ambiente fechado e localização da mesa no centro do ambiente; em (b), detalhe do equipamento sobre a mesa no centro da sala.**



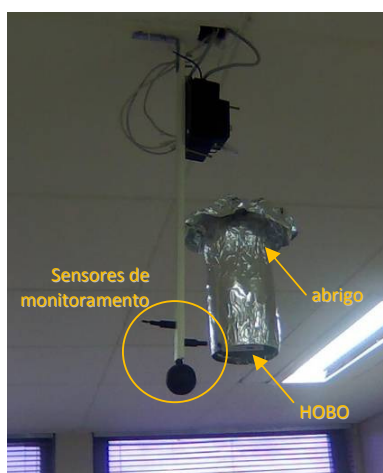
**Gráfico 44 - Variação de temperatura dos equipamentos tipo HOBBO U12-012 na sala de controle.**

Posteriormente foi feita uma aferição do equipamento registrador de dados digital HOBBO U12-012 com a instrumentação padrão do INMET/5DISME (termômetro de mercúrio, dados de três leituras ao dia, e termohigrômetro, registro em termohigrogramas). Os equipamentos foram colocados dentro do abrigo da estação principal do 5º DISME/INMET, junto aos demais instrumentos, de acordo com a Figura 28. O equipamento HOBBO U12-012 teve alta correlação ( $r = 0,99$ ) e coeficiente de determinação de mais de 99% com a instrumentação padrão, para ambas as variáveis.



**Figura 28 - Foto dos equipamentos tipo HOBO U12-012 dentro do abrigo da estação principal do INMET/5DISME em Belo Horizonte**

Por fim, utilizou-se o HOBO tipo U12-012 como padrão para a comparação com as respostas do monitoramento. Foram instalados os registradores HOBO U12-012 em cada uma das quatro salas junto ao sensor de monitoramento para a coleta instantânea, conforme Figura 29. Os registradores foram colocados dentro de um abrigo feito de garrafa de plástico revestida de papel alumínio para evitar a incidência das radiações térmicas provenientes do ambiente no equipamento HOBO tipo U12-012, segundo Barbosa, Lamberts e Guths<sup>25</sup> (2008). O tratamento e coleta dos dados foram feitos exatamente da mesma maneira que o sistema de monitoramento. O período de armazenamento do dado instantâneo foi de 1 minuto. Os dados foram tratados através de média simples com intervalos de 15 minutos.



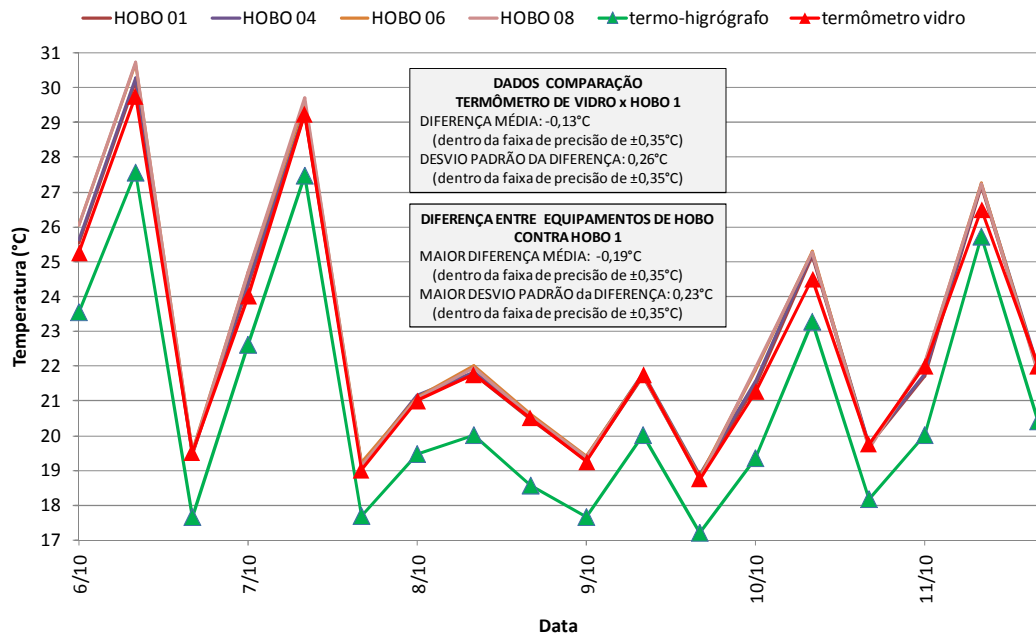
**Figura 29 - Foto do equipamento HOBO U12-012 junto aos sensores de monitoramento**

<sup>25</sup> BARBOSA, M. J.; LAMBERTS, R.; GUTHS, S. *Uso de barreiras de radiação para minimizar o erro no registro das temperaturas do ar em edificações*. Ambiente Construído, v. 8, n. 4, 2008 p. 117-136.

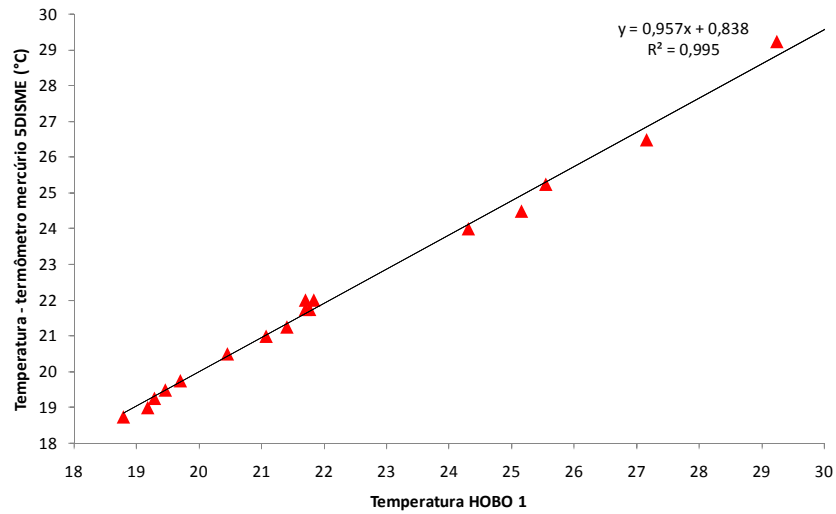
Os resultados de comparação entre os dados dos registradores HOBO U12-012 os dados da estação do INMET/5DISME são apresentados na Tabela 3 e do Gráfico 45 a Gráfico 48.

**Tabela 29 - Dados de temperatura e umidade relativa do ar registrado pelo HOBO padrão e pelos instrumentos da estação principal de Belo Horizonte (5º DISME/INMET).**

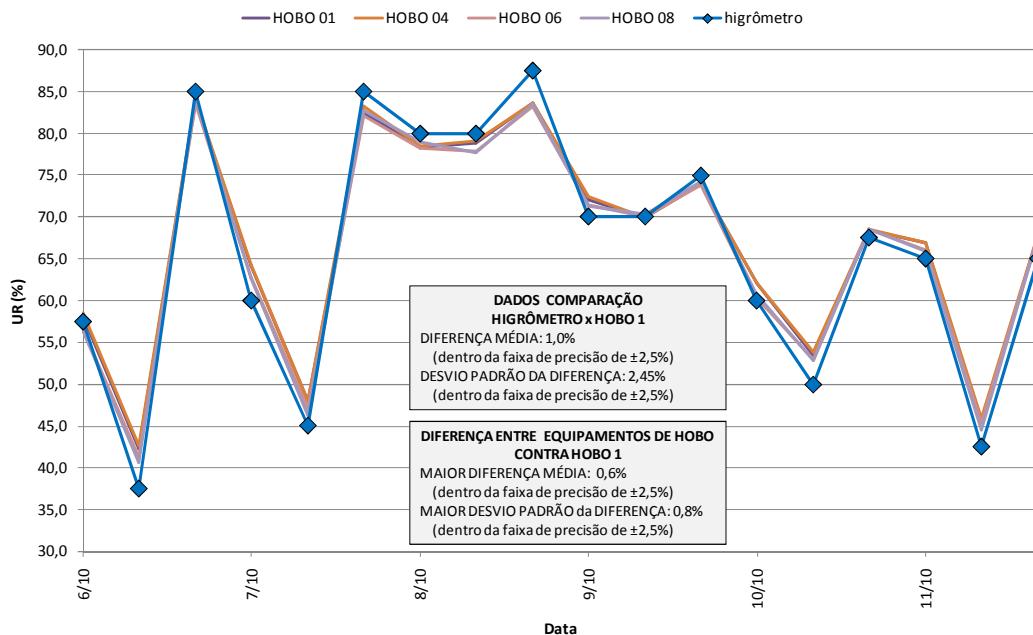
Data	Dados INMET/5DISME outubro 2009			Dados HOBO no abrigo outubro 2009							
	termômetro mercúrio Temp (°C)	higrômetro UR (%)	termo- higrógrafo Temp (°C)	HOBO 01		HOBO 04		HOBO 06		HOBO 08	
				Temp (°C)	UR (%)	Temp (°C)	UR (%)	Temp (°C)	UR (%)	Temp (°C)	UR (%)
6/10/09 9:00	25,25	57,5	23,5	25,5	58,1	25,6	58,5	26,1	56,4	26,1	56,3
6/10/09 15:00	29,75	37,5	27,5	30,2	42,3	30,3	42,6	30,7	41,3	30,7	40,6
6/10/09 21:00	19,5	85	17,6	19,5	83,9	19,5	84,1	19,5	83,6	19,5	84,1
7/10/09 9:00	24	60	22,6	24,3	64,2	24,4	64,3	24,7	62,8	24,7	62,6
7/10/09 15:00	29,25	45	27,5	29,2	47,9	29,3	48,0	29,6	47,0	29,7	46,3
7/10/09 21:00	19	85	17,7	19,2	82,4	19,2	83,3	19,2	82,2	19,1	82,7
8/10/09 9:00	21	80	19,5	21,1	78,4	21,2	78,5	21,1	78,3	21,1	79,0
8/10/09 15:00	21,75	80	20,0	21,8	78,9	21,8	79,1	22,0	77,9	21,9	77,8
8/10/09 21:00	20,5	87,5	18,6	20,5	83,7	20,6	83,7	20,6	83,2	20,6	83,6
9/10/09 9:00	19,25	70	17,6	19,3	72,1	19,4	72,4	19,4	71,5	19,4	71,3
9/10/09 15:00	21,75	70	20,0	21,7	70,0	21,8	69,9	21,7	70,1	21,7	70,3
9/10/09 21:00	18,75	75	17,2	18,8	73,9	18,9	74,0	18,8	73,9	18,7	74,2
10/10/09 9:00	21,25	60	19,4	21,4	62,1	21,5	62,1	21,9	60,4	21,9	60,7
10/10/09 15:00	24,5	50	23,3	25,2	53,5	25,2	53,9	25,3	53,0	25,3	52,9
10/10/09 21:00	19,75	67,5	18,2	19,7	68,5	19,7	68,5	19,7	68,6	19,6	68,6
11/10/09 9:00	22	65	20,0	21,7	66,9	21,8	67,0	22,1	66,0	22,1	65,9
11/10/09 15:00	26,5	42,5	25,7	27,2	45,5	27,2	45,9	27,3	45,4	27,2	44,6
11/10/09 21:00	22	65	20,4	21,8	67,8	21,9	67,9	21,8	67,8	21,8	67,8



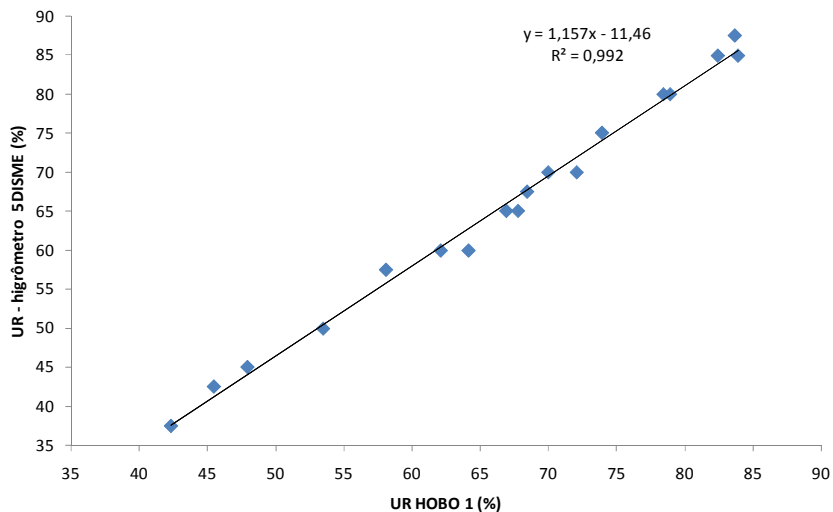
**Gráfico 45 - Variação de temperatura do HOBO U12-012 e dos equipamentos do INMET/5DISME.**



**Gráfico 46 - Correlação entre temperatura do HOBO U12-012 e termômetro de vidro do INMET/5DISME.**

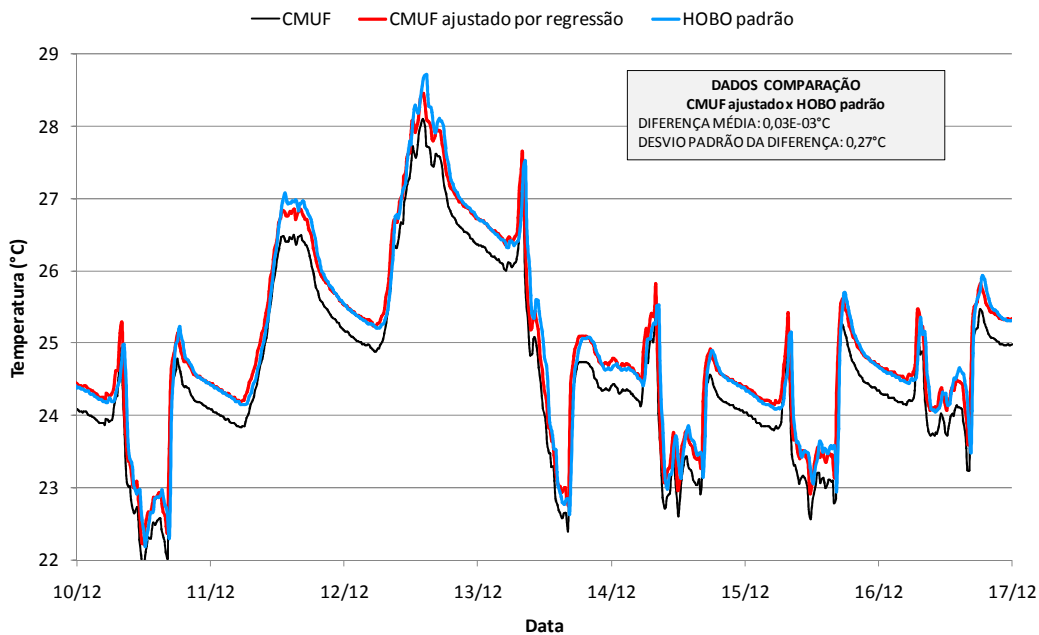


**Gráfico 47 - Variação de umidade relativa do HOBO U12-012 e do termohigrógrafo do INMET/5DISME.**

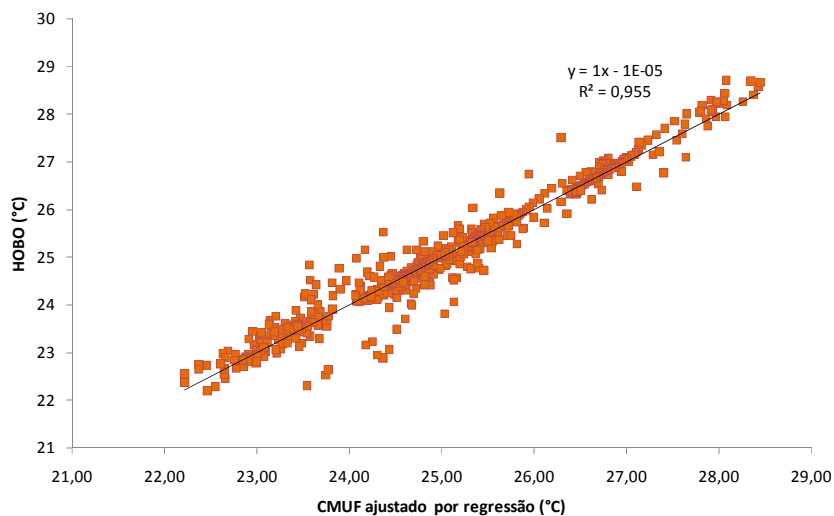


**Gráfico 48 - Correlação entre umidade relativa do HOBO U12-012 e do termohigrógrafo do INMET/5DISME.**

Os resultados de comparação entre os dados dos registradores HOBO U12-012 do sistema de monitoramento são apresentados no Gráfico 49 e Gráfico 50.



**Gráfico 49 - Variação de temperatura do ar, ajuste dos dados monitorados contra o equipamento padrão.**



**Gráfico 50 - Correlação entre valores de temperatura do ar do equipamento padrão contra os dados ajustados do sistema de monitoramento.**

O desvio padrão da diferença ou erro padrão encontrado entre os dados do registrador digital HOBO tipo U12-012 contra os dados corrigidos do sistema de monitoramento do CMUF é de 0,27 °C.

## 4. DADOS TRATADOS DO MONITORAMENTO AMBIENTAL

Tabela 30 - Dados Finais Tratados do Monitoramento Ambiental, sala nordeste.

SALA:		3 NORDESTE						
DIA SEMANA	DATA/HORA	TBS (°C) T interna média horária corrigido pela regressão e ajuste horário	T GLOBO (°C) temperatura de globo média horária corrigida pelo ajuste horário	UR (%) umidade relativa média horária corrigida pelo ajuste horário	JANELA 1	JANELA 2	JANELAS	PORTA
SÁBADO	15/8/09 0:00	24,7	24,5	49,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 1:00	24,6	24,3	51,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 2:00	24,5	24,2	51,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 3:00	24,4	24,1	52,3	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 4:00	24,3	24,1	52,5	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 5:00	24,3	24,0	52,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 6:00	24,1	23,9	52,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 7:00	24,1	23,8	52,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 8:00	24,9	23,8	52,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 9:00	25,8	24,5	50,3	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 10:00	26,2	25,3	48,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 11:00	28,5	25,7	46,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 12:00	30,0	27,9	40,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 13:00	29,9	29,3	37,3	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 14:00	28,8	29,4	37,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 15:00	27,7	28,4	39,2	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 16:00	27,1	27,3	41,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 17:00	26,6	26,7	42,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 18:00	26,2	26,3	42,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 19:00	25,9	25,8	42,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 20:00	25,7	25,5	43,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 21:00	25,4	25,3	43,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 22:00	25,3	25,1	44,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	15/8/09 23:00	25,1	24,9	44,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 0:00	25,0	24,8	53,2	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 1:00	24,9	24,7	66,3	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 2:00	24,7	24,5	64,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 3:00	24,5	24,4	52,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 4:00	24,4	24,2	58,5	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 5:00	24,2	24,0	56,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 6:00	24,0	23,8	66,5	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 7:00	24,4	23,7	71,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 8:00	26,2	24,0	76,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 9:00	27,6	25,7	60,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 10:00	26,5	27,1	45,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 11:00	27,8	26,1	48,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 12:00	28,3	27,2	45,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 13:00	28,8	27,8	43,3	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 14:00	28,7	28,3	41,5	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 15:00	28,2	28,2	41,2	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 16:00	27,6	27,7	42,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 17:00	27,1	27,2	43,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 18:00	26,4	26,7	43,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 19:00	26,1	26,1	45,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 20:00	25,8	25,7	48,3	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 21:00	25,5	25,4	50,3	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 22:00	25,4	25,1	51,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	16/8/09 23:00	25,3	25,0	51,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 0:00	25,2	25,0	50,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 1:00	25,1	24,8	50,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 2:00	24,9	24,7	51,5	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 3:00	24,7	24,6	52,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 4:00	24,6	24,4	53,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 5:00	24,4	24,2	54,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 6:00	24,2	24,0	61,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 7:00	24,2	23,8	74,3	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 8:00	25,9	23,8	59,3	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 9:00	25,4	25,4	53,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	ABERTA

SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 10:00	24,2	25,1	53,6	FECHADA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 11:00	24,5	23,8	50,2	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 12:00	24,6	24,1	61,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 13:00	24,0	24,2	43,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 14:00	24,2	23,6	44,2	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 15:00	23,8	23,9	44,2	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 16:00	23,5	23,5	63,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 17:00	23,3	23,1	78,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 18:00	24,5	22,9	67,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 19:00	24,7	24,1	73,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 20:00	24,7	24,3	73,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 21:00	24,7	24,3	72,3	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 22:00	24,7	24,4	73,5	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 23:00	24,6	24,3	71,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 0:00	25,8	25,6	53,5	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 1:00	25,8	25,5	53,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 2:00	25,7	25,4	53,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 3:00	25,5	25,4	52,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 4:00	25,2	25,2	51,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 5:00	25,0	24,9	50,5	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 6:00	24,8	24,7	49,2	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 7:00	24,9	24,5	48,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 8:00	26,1	24,6	48,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 9:00	27,0	25,6	45,5	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 10:00	28,9	26,6	43,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 11:00	29,0	28,3	40,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 12:00	29,0	28,5	41,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 13:00	29,8	28,5	41,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 14:00	29,5	29,2	40,3	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 15:00	28,4	29,0	41,3	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 16:00	27,4	28,1	43,5	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 17:00	26,9	27,1	45,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 18:00	26,5	26,5	46,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 19:00	26,1	26,1	47,5	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 20:00	25,8	25,8	48,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 21:00	25,6	25,5	48,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 22:00	25,3	25,2	49,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	22/8/09 23:00	25,2	25,0	50,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 0:00	25,0	24,8	50,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 1:00	24,8	24,7	51,5	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 2:00	24,6	24,4	53,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 3:00	24,4	24,3	52,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 4:00	24,3	24,1	52,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 5:00	24,1	24,0	53,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 6:00	23,9	23,8	53,3	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 7:00	23,9	23,6	53,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 8:00	24,6	23,6	53,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 9:00	25,7	24,2	51,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 10:00	26,3	25,3	48,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 11:00	28,3	25,8	47,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 12:00	29,2	27,6	43,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 13:00	28,8	28,6	42,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 14:00	28,3	28,3	43,2	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 15:00	27,5	27,8	44,5	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 16:00	26,9	27,1	46,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 17:00	26,3	26,5	48,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 18:00	25,8	25,9	49,5	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 19:00	25,4	25,5	50,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 20:00	25,2	25,1	52,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 21:00	25,0	24,9	53,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 22:00	24,8	24,7	53,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	23/8/09 23:00	24,7	24,5	56,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 0:00	24,6	24,4	67,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 1:00	24,4	24,2	64,3	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 2:00	24,4	24,1	55,3	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 3:00	24,4	24,0	55,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 4:00	24,3	24,0	54,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 5:00	24,1	23,9	55,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 6:00	24,0	23,7	58,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 7:00	24,0	23,6	84,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 8:00	24,2	23,6	94,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 9:00	25,2	23,9	88,3	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	ABERTA

SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 10:00	24,3	24,8	77,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 11:00	24,3	23,9	84,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 12:00	24,3	23,9	84,5	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 13:00	25,0	23,9	83,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 14:00	25,3	24,5	66,2	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 15:00	24,2	24,9	49,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 16:00	23,6	23,8	49,5	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 17:00	23,3	23,3	82,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 18:00	24,3	23,0	81,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 19:00	24,6	23,9	89,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 20:00	24,6	24,2	93,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 21:00	24,6	24,3	94,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 22:00	24,6	24,2	95,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 23:00	24,6	24,2	95,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 0:00	24,5	24,2	55,5	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 1:00	24,4	24,1	56,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 2:00	24,3	24,0	56,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 3:00	24,1	23,9	56,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 4:00	24,0	23,8	57,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 5:00	23,8	23,6	58,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 6:00	23,8	23,5	58,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 7:00	24,1	23,4	58,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 8:00	25,9	23,7	57,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 9:00	27,2	25,4	52,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 10:00	28,0	26,6	49,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 11:00	29,6	27,4	47,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 12:00	30,3	28,9	42,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 13:00	30,3	29,7	41,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 14:00	29,4	29,8	40,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 15:00	28,5	28,9	41,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 16:00	27,9	28,1	43,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 17:00	27,4	27,5	44,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 18:00	26,9	27,0	44,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 19:00	26,6	26,6	46,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 20:00	26,4	26,2	47,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 21:00	26,2	26,0	48,2	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 22:00	26,1	25,8	48,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SÁBADO	29/8/09 23:00	26,0	25,7	49,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 0:00	25,8	25,6	49,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 1:00	25,6	25,4	50,2	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 2:00	25,4	25,2	50,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 3:00	25,2	25,1	51,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 4:00	25,1	24,9	51,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 5:00	24,9	24,8	51,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 6:00	24,7	24,6	51,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 7:00	25,1	24,4	52,2	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 8:00	25,9	24,7	51,3	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 9:00	27,0	25,4	50,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 10:00	28,2	26,5	47,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 11:00	29,9	27,6	45,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 12:00	30,6	29,3	40,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 13:00	30,4	30,0	38,5	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 14:00	29,8	29,9	38,2	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 15:00	28,9	29,4	39,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 16:00	28,3	28,5	40,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 17:00	27,8	27,9	42,3	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 18:00	27,2	27,4	41,9	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 19:00	26,9	26,9	42,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 20:00	26,6	26,5	43,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 21:00	26,4	26,3	44,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 22:00	26,2	26,0	43,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
DOMINGO	30/8/09 23:00	25,9	25,8	43,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 0:00	25,8	25,6	44,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 1:00	25,6	25,4	44,4	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 2:00	25,3	25,2	44,5	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 3:00	25,1	25,0	44,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 4:00	24,9	24,8	45,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 5:00	24,7	24,5	46,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 6:00	24,4	24,3	46,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 7:00	24,8	24,1	48,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 8:00	25,3	24,4	48,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 9:00	25,1	25,0	49,2	ABERTA	FECHADA	ABERTAS	ABERTA

SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 10:00	25,9	24,7	54,2	ABERTA	FECHADA	ABERTAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 11:00	26,4	25,5	43,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 12:00	26,6	25,9	41,6	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 13:00	26,5	26,2	41,2	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 14:00	26,5	26,1	41,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 15:00	25,6	26,1	41,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 16:00	24,6	25,3	41,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 17:00	24,2	24,3	42,8	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 18:00	25,5	23,9	64,1	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 19:00	25,7	25,1	54,2	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 20:00	25,7	25,3	46,2	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 21:00	25,6	25,3	46,7	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 22:00	25,4	25,2	47,3	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 23:00	25,3	25,1	48,0	FECHADA	FECHADA	FECHADAS	FECHADA

Tabela 31 - Dados Finais Tratados do Monitoramento Ambiental, sala sudoeste.

SALA:		4 SUDOESTE						
DIA SEMANA	DATA/HORA	TBS (°C)	T GLOBO (°C)	UR (%)	JANELA 1	JANELA 2	JANELAS	PORTA
		Temperatura interna média horária corrigida pela regressão e ajuste horário	temperatura de globo média horária corrigida pelo ajuste horário	umidade relativa média horária corrigida pelo ajuste horário				
SÁBADO	15/8/09 0:00	22,6	22,7	58,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 1:00	22,6	22,7	58,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 2:00	22,5	22,6	59,1	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 3:00	22,2	22,3	61,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 4:00	21,8	21,9	63,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 5:00	21,3	21,4	64,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 6:00	21,1	21,2	63,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 7:00	21,4	21,5	61,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 8:00	21,6	21,7	61,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 9:00	21,6	21,7	61,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 10:00	22,2	22,2	59,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 11:00	22,6	22,7	57,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 12:00	22,8	22,9	55,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 13:00	23,1	23,2	53,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 14:00	23,1	23,2	52,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 15:00	23,1	23,2	52,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 16:00	23,1	23,2	53,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 17:00	23,0	23,0	51,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 18:00	22,8	22,9	50,6	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 19:00	22,6	22,7	51,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 20:00	22,5	22,6	51,9	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 21:00	22,5	22,5	52,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 22:00	22,5	22,6	52,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	15/8/09 23:00	22,5	22,6	53,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 0:00	22,3	22,4	54,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 1:00	22,2	22,3	55,6	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 2:00	22,0	22,1	56,9	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 3:00	21,8	21,9	59,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 4:00	21,7	21,8	60,9	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 5:00	21,5	21,6	62,1	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 6:00	21,7	21,8	60,9	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 7:00	21,7	21,8	60,9	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 8:00	21,9	21,9	61,6	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 9:00	21,8	21,9	63,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 10:00	22,1	22,2	62,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 11:00	22,3	22,4	61,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 12:00	22,5	22,6	60,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 13:00	22,9	23,0	58,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 14:00	23,2	23,3	56,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 15:00	23,3	23,3	55,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 16:00	23,3	23,4	54,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 17:00	23,3	23,4	54,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 18:00	23,0	23,1	56,6	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 19:00	22,7	22,8	60,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 20:00	22,5	22,6	62,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA

DOMINGO	16/8/09 21:00	22,5	22,6	62,6	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 22:00	22,4	22,4	61,9	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	16/8/09 23:00	22,4	22,5	60,9	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 0:00	22,3	22,4	61,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 1:00	22,2	22,3	62,6	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 2:00	22,1	22,2	63,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 3:00	22,0	22,1	64,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 4:00	21,9	22,0	64,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 5:00	21,8	21,9	65,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 6:00	21,6	21,7	66,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 7:00	21,4	21,5	67,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 8:00	21,6	21,6	66,6	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 9:00	23,0	23,0	62,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 10:00	23,9	24,0	59,1	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 11:00	24,8	24,9	53,9	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 12:00	25,4	25,5	50,1	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 13:00	25,4	25,5	50,1	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 14:00	25,5	25,6	49,6	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 15:00	25,5	25,7	49,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 16:00	25,6	25,7	49,1	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 17:00	25,5	25,7	48,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 18:00	25,4	25,5	47,6	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 19:00	25,1	25,3	48,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 20:00	24,9	25,1	50,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 21:00	24,1	24,2	52,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 22:00	23,6	23,7	53,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	17/8/09 23:00	23,3	23,5	54,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 0:00	22,6	22,8	67,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 1:00	21,2	21,3	68,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 2:00	20,2	20,3	68,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 3:00	20,1	20,3	65,1	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 4:00	22,0	22,0	58,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 5:00	22,4	22,4	56,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 6:00	21,7	21,9	56,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 7:00	20,5	20,6	59,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 8:00	20,2	20,3	60,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 9:00	19,9	20,0	63,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 10:00	20,9	21,0	61,9	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 11:00	21,6	21,8	61,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 12:00	21,6	21,7	63,1	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 13:00	22,0	22,1	61,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 14:00	22,3	22,4	60,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 15:00	21,9	22,0	62,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 16:00	21,9	22,0	62,1	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 17:00	21,7	21,8	63,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 18:00	21,1	21,3	64,9	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 19:00	21,3	21,4	64,1	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 20:00	21,0	21,1	65,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 21:00	20,6	20,7	67,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 22:00	20,6	20,7	67,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	22/8/09 23:00	20,5	20,6	68,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 0:00	20,4	20,5	69,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 1:00	20,3	20,5	69,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 2:00	20,2	20,3	69,6	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 3:00	20,4	20,5	68,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 4:00	20,4	20,6	67,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 5:00	20,2	20,3	68,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 6:00	20,1	20,2	68,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 7:00	20,2	20,3	67,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 8:00	20,3	20,4	67,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 9:00	20,5	20,6	66,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 10:00	20,4	20,5	67,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 11:00	20,8	20,9	66,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 12:00	21,3	21,4	65,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 13:00	21,7	21,8	64,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 14:00	21,9	22,0	64,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 15:00	22,0	22,1	63,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 16:00	21,8	21,9	64,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 17:00	21,6	21,7	65,6	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 18:00	21,3	21,4	67,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 19:00	21,1	21,2	68,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 20:00	21,2	21,3	68,1	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA

DOMINGO	23/8/09 21:00	21,1	21,2	68,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 22:00	21,0	21,1	69,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	23/8/09 23:00	21,1	21,2	68,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 0:00	21,1	21,3	69,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 1:00	21,0	21,1	69,6	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 2:00	21,0	21,1	69,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 3:00	21,1	21,2	72,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 4:00	20,8	21,0	77,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 5:00	20,8	21,0	76,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 6:00	21,0	21,1	74,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 7:00	21,0	21,1	75,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 8:00	21,0	21,1	76,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 9:00	22,5	22,6	71,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 10:00	23,1	23,2	69,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 11:00	23,7	23,7	67,9	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 12:00	23,9	24,0	67,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 13:00	23,9	24,0	66,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 14:00	24,5	24,6	64,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 15:00	24,9	25,0	62,1	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 16:00	25,1	25,2	60,9	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 17:00	25,1	25,3	60,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 18:00	25,0	25,2	62,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 19:00	24,8	24,9	66,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 20:00	24,5	24,6	67,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 21:00	23,8	23,8	69,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 22:00	23,4	23,5	70,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	24/8/09 23:00	23,2	23,2	70,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 0:00	22,8	22,8	65,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 1:00	22,7	22,7	65,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 2:00	22,4	22,3	66,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 3:00	22,4	22,4	66,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 4:00	22,3	22,3	66,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 5:00	22,1	22,1	66,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 6:00	21,9	21,9	67,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 7:00	22,0	22,0	66,9	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 8:00	22,3	22,2	65,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 9:00	22,5	22,5	65,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 10:00	22,7	22,6	64,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 11:00	22,8	22,8	63,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 12:00	22,9	22,9	62,9	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 13:00	23,1	23,1	60,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 14:00	23,5	23,5	57,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 15:00	23,6	23,6	56,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 16:00	23,7	23,7	55,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 17:00	23,6	23,6	54,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 18:00	23,4	23,4	55,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 19:00	23,2	23,2	56,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 20:00	23,1	23,1	57,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 21:00	23,0	23,0	58,9	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 22:00	22,8	22,8	59,1	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SÁBADO	29/8/09 23:00	22,6	22,6	59,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 0:00	22,5	22,5	60,1	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 1:00	22,5	22,5	60,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 2:00	22,5	22,5	61,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 3:00	22,4	22,5	61,1	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 4:00	22,3	22,3	61,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 5:00	22,2	22,2	61,6	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 6:00	22,1	22,1	61,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 7:00	22,1	22,1	61,9	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 8:00	22,3	22,3	61,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 9:00	22,2	22,2	63,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 10:00	22,2	22,2	63,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 11:00	22,5	22,5	62,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 12:00	22,7	22,7	60,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 13:00	22,8	22,8	57,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 14:00	23,0	23,0	55,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 15:00	23,2	23,1	53,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 16:00	23,3	23,3	50,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 17:00	23,3	23,3	51,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 18:00	23,1	23,2	53,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 19:00	23,0	23,0	54,1	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 20:00	22,8	22,8	54,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA

DOMINGO	30/8/09 21:00	22,7	22,7	53,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 22:00	22,7	22,7	53,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
DOMINGO	30/8/09 23:00	22,5	22,5	53,9	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 0:00	22,3	22,4	54,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 1:00	22,3	22,3	54,1	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 2:00	22,3	22,3	54,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 3:00	22,1	22,1	54,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 4:00	22,1	22,1	54,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 5:00	21,9	21,9	55,6	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 6:00	21,8	21,8	56,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 7:00	21,8	21,8	57,3	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 8:00	22,0	22,0	58,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 9:00	23,4	23,4	55,2	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 10:00	23,8	23,9	52,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 11:00	24,0	24,1	50,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 12:00	24,6	24,6	49,6	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 13:00	24,8	24,9	48,6	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 14:00	25,2	25,3	48,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 15:00	25,4	25,5	47,9	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 16:00	25,6	25,7	45,7	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 17:00	25,8	25,8	46,5	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 18:00	25,6	25,7	47,8	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 19:00	25,2	25,3	49,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 20:00	24,9	25,0	50,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 21:00	24,4	24,4	52,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 22:00	24,0	24,0	53,4	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA
SEGUNDA-FEIRA	31/8/09 23:00	23,8	23,8	54,0	ABERTA	ABERTA	ABERTAS	ABERTA

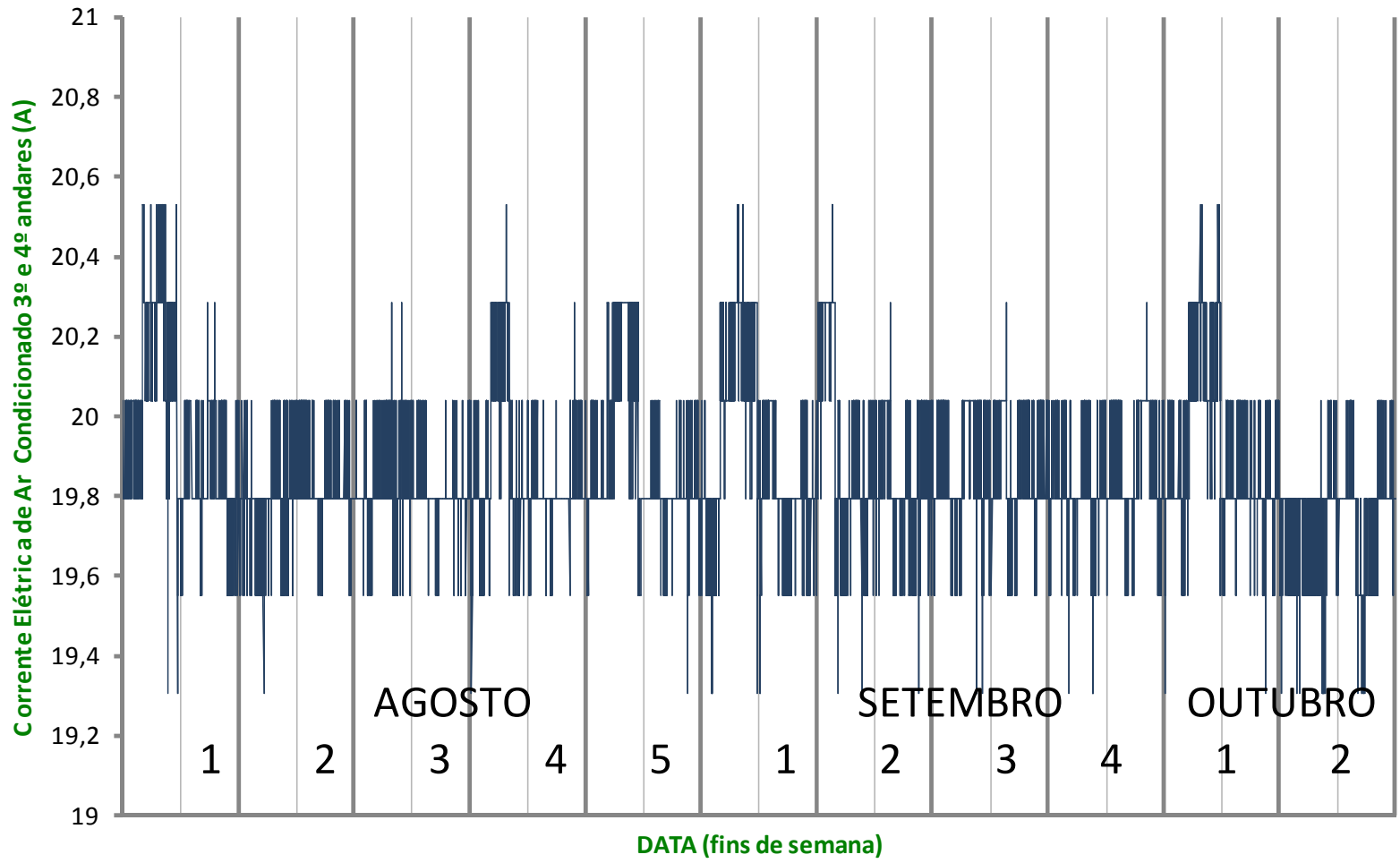


Gráfico 51 - Consumo horário do Ar Condicionado em *standby* do 3º e 4º pavimento no período de monitoramento.

## 5. RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS

Segue gráficos da sala nordeste, período de solstício de inverno:

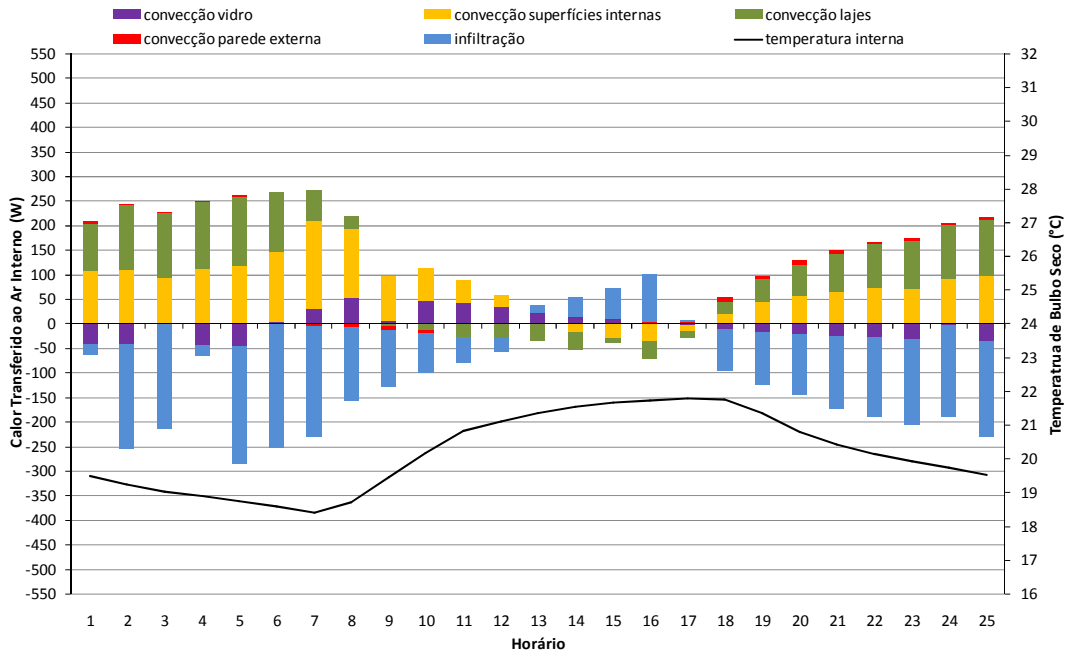


Gráfico 52 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala nordeste, P3P

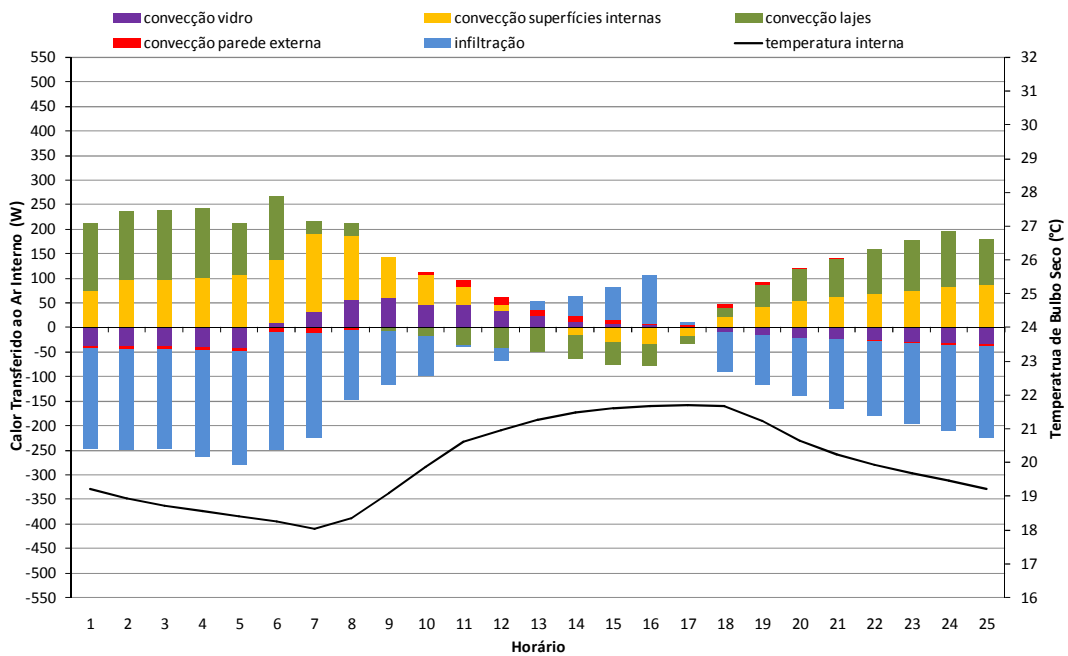


Gráfico 53 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala nordeste, P3L

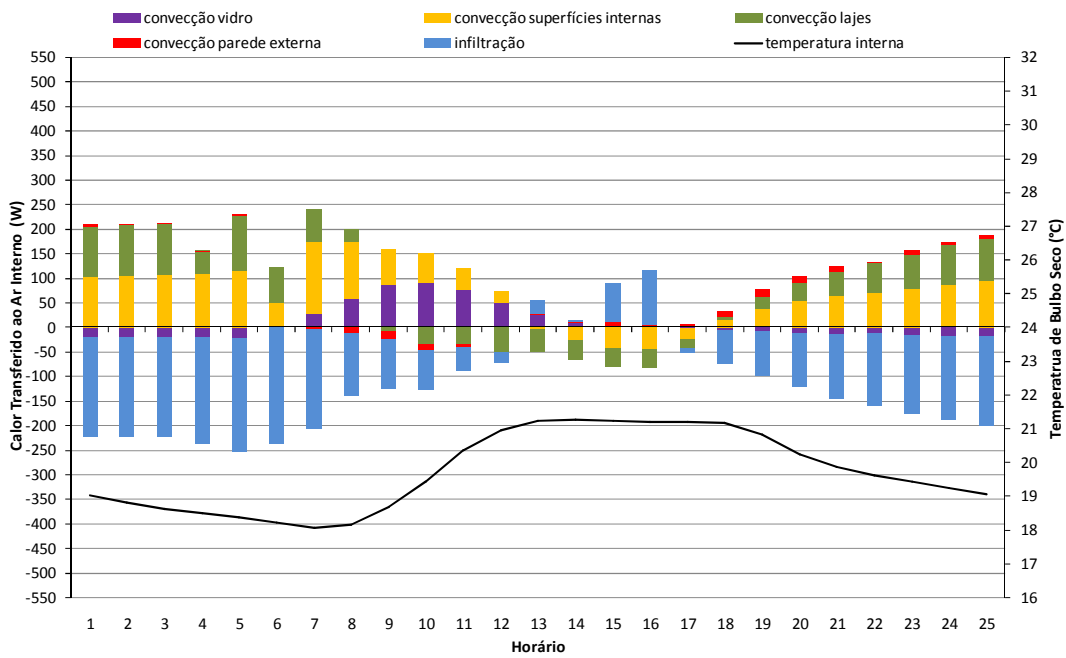


Gráfico 54 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala nordeste, P4P

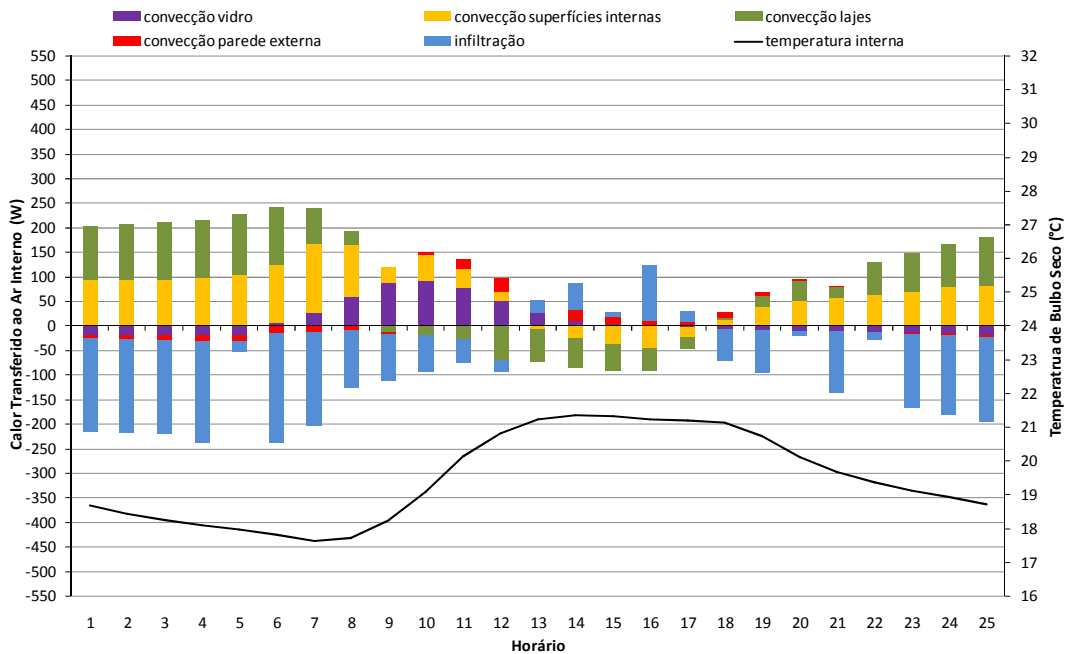


Gráfico 55 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala nordeste, P4L

Segue gráficos da sala sudoeste, período de solstício de inverno:

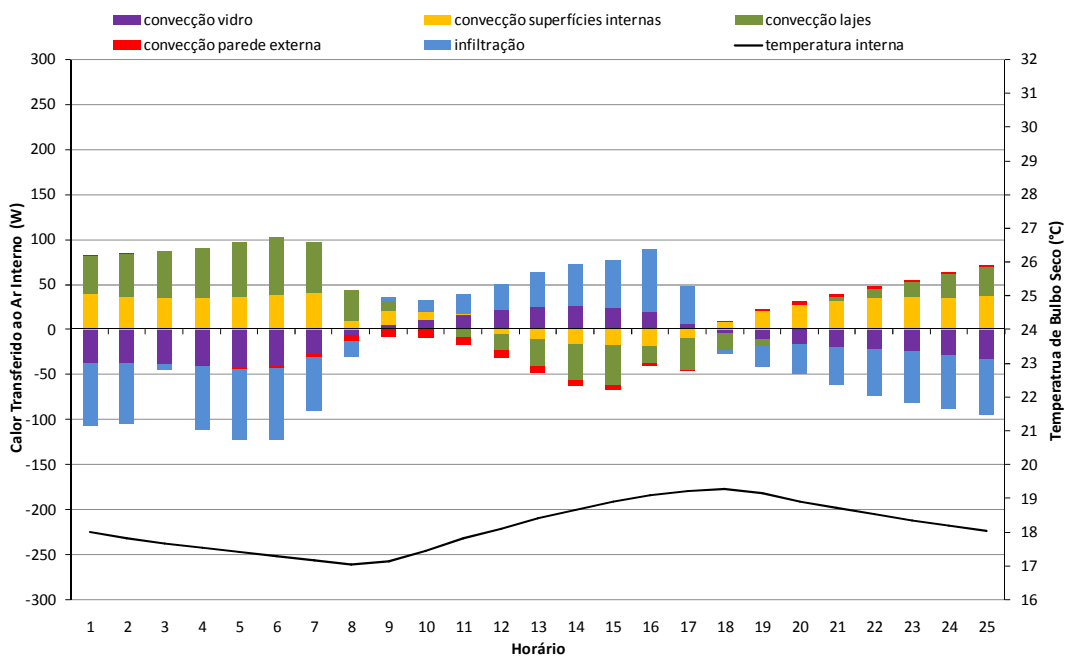


Gráfico 56 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala sudoeste, P3P

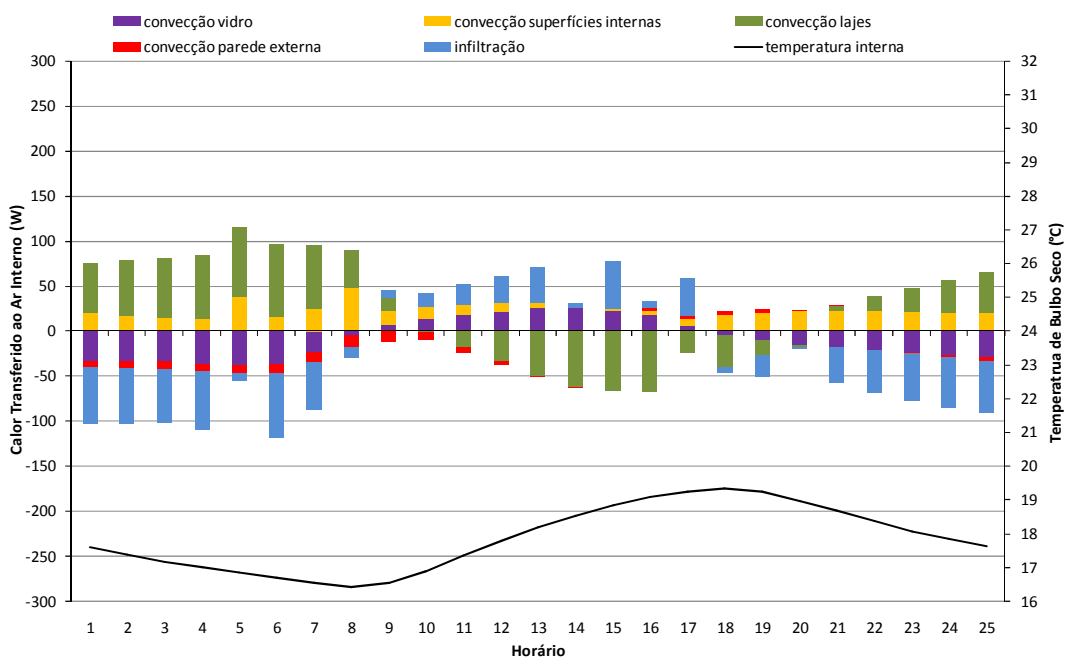


Gráfico 57 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala sudoeste, P3L

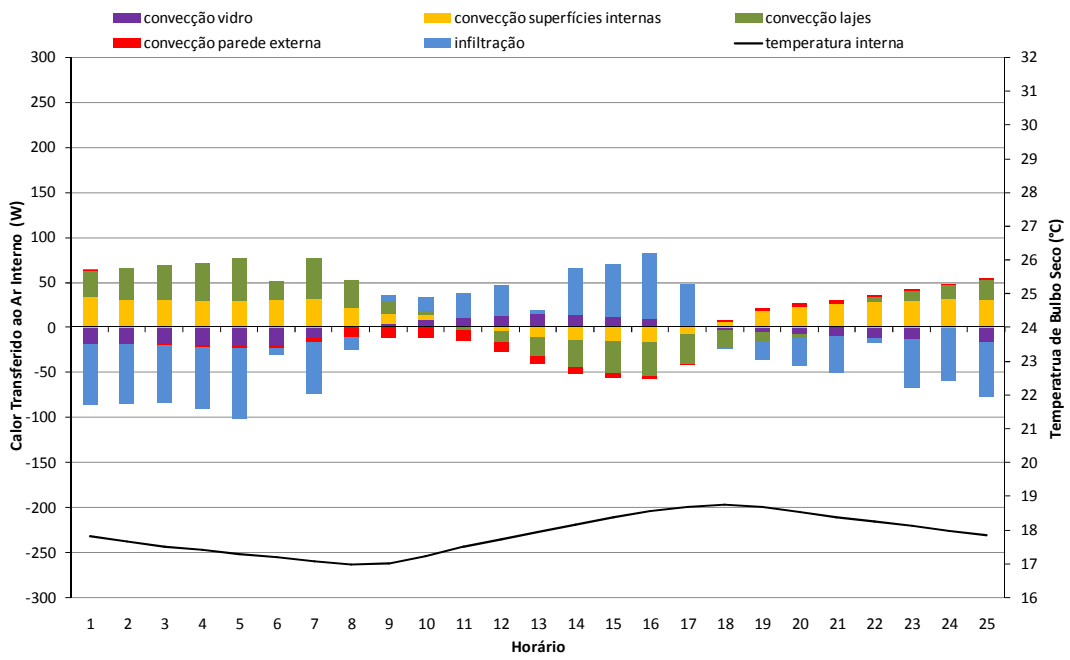


Gráfico 58 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala sudoeste, P4P

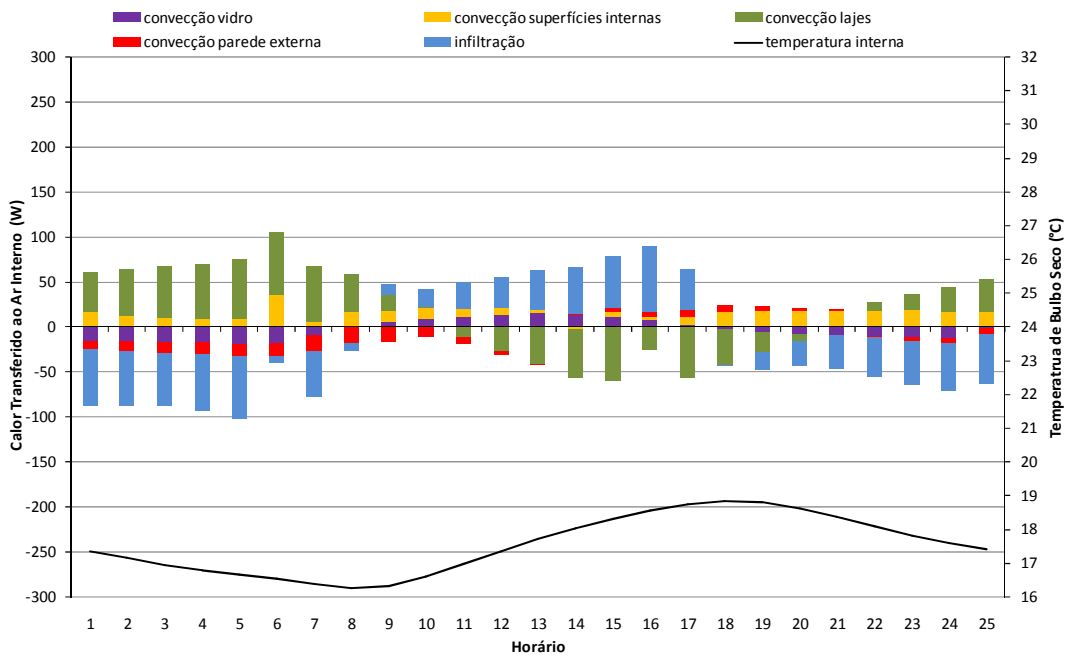
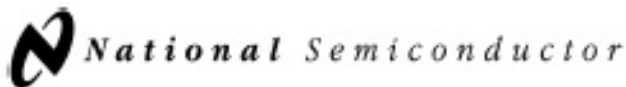


Gráfico 59 - Cargas internas do experimento, período de inverno, sala sudoeste, P4L

---

## ANEXOS





November 2000

## LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

### General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in  $^{\circ}$  Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of  $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$  at room temperature and  $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$  over a full  $-55$  to  $+150^{\circ}\text{C}$  temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only  $60\ \mu\text{A}$  from its supply, it has very low self-heating, less than  $0.1^{\circ}\text{C}$  in still air. The LM35 is rated to operate over a  $-55^{\circ}$  to  $+150^{\circ}\text{C}$  temperature range, while the LM35C is rated for a  $-40^{\circ}$  to  $+110^{\circ}\text{C}$  range ( $-10^{\circ}$  with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

### Features

- Calibrated directly in  $^{\circ}$  Celsius (Centigrade)
- Linear  $+ 10.0\ \text{mV}/^{\circ}\text{C}$  scale factor
- $0.5^{\circ}\text{C}$  accuracy guaranteeable (at  $+25^{\circ}\text{C}$ )
- Rated for full  $-55^{\circ}$  to  $+150^{\circ}\text{C}$  range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than  $60\ \mu\text{A}$  current drain
- Low self-heating,  $0.08^{\circ}\text{C}$  in still air
- Nonlinearity only  $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$  typical
- Low impedance output,  $0.1\ \Omega$  for  $1\ \text{mA}$  load

### Typical Applications

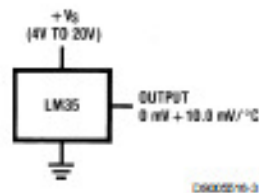
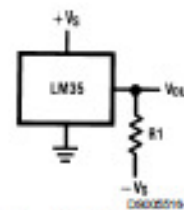


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor  
( $+2^{\circ}\text{C}$  to  $+150^{\circ}\text{C}$ )



Choose  $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$   
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$  at  $+150^{\circ}\text{C}$   
 $= +250\ \text{mV}$  at  $+25^{\circ}\text{C}$   
 $= -550\ \text{mV}$  at  $-55^{\circ}\text{C}$

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

## Anexo 2 – continuação

LM35

**Absolute Maximum Ratings** (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package,	
(Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$ (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

**Electrical Characteristics**

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.2$	$\pm 0.5$		$\pm 0.2$	$\pm 0.5$		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	$\pm 0.3$			$\pm 0.3$		$\pm 1.0$	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MAX}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MIN}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$		$\pm 1.5$	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} < T_A < T_{MAX}$	$\pm 0.18$		$\pm 0.35$	$\pm 0.15$		$\pm 0.3$	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} < T_A < T_{MAX}$	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		mV/mA
	$T_{MIN} < T_A < T_{MAX}$	$\pm 0.5$		$\pm 3.0$	$\pm 0.5$		$\pm 3.0$	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.01$	$\pm 0.05$		$\pm 0.01$	$\pm 0.05$		mV/V
	$4V \leq V_O \leq 30V$	$\pm 0.02$		$\pm 0.1$	$\pm 0.02$		$\pm 0.1$	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_O = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		$\mu\text{A}$
	$V_O = +5V$	105		131	91		114	$\mu\text{A}$
	$V_O = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		$\mu\text{A}$
	$V_O = +30V$	105.5		133	91.5		116	$\mu\text{A}$
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_O \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		$\mu\text{A}$
	$4V \leq V_O \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	$\mu\text{A}$
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$ , for 1000 hours	$\pm 0.08$			$\pm 0.08$			$^\circ\text{C}$

## Anexo 2 – continuação

Electrical Characteristics (Notes 1, 6)								
Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	$\pm 0.5$			$\pm 0.5$		$\pm 1.5$	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.8$	$\pm 1.5$		$\pm 0.8$		$\pm 1.5$	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	$\pm 0.8$		$\pm 1.5$	$\pm 0.8$		$\pm 2.0$	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				$\pm 0.6$	$\pm 1.5$		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				$\pm 0.9$		$\pm 2.0$	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				$\pm 0.9$		$\pm 2.0$	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.3$		$\pm 0.5$	$\pm 0.2$		$\pm 0.5$	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$+10.0$	$+9.8,$ $+10.2$		$+10.0$		$+9.8,$ $+10.2$	$\text{mV}/^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 2.0$		$\pm 0.4$	$\pm 2.0$		$\text{mV}/\text{mA}$
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	$\pm 0.5$		$\pm 5.0$	$\pm 0.5$		$\pm 5.0$	$\text{mV}/\text{mA}$
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.01$	$\pm 0.1$		$\pm 0.01$	$\pm 0.1$		$\text{mV}/\text{V}$
	$4\text{V} \leq V_O \leq 30\text{V}$	$\pm 0.02$		$\pm 0.2$	$\pm 0.02$		$\pm 0.2$	$\text{mV}/\text{V}$
Quiescent Current (Note 9)	$V_O = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		$\mu\text{A}$
	$V_O = +5\text{V}$	105		158	91		138	$\mu\text{A}$
	$V_O = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		$\mu\text{A}$
	$V_O = +30\text{V}$	105.5		161	91.5		141	$\mu\text{A}$
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_O \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		$\mu\text{A}$
	$4\text{V} \leq V_O \leq 30\text{V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	$\mu\text{A}$
Temperature Coefficient of Quiescent Current		$+0.39$		$+0.7$	$+0.39$		$+0.7$	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	$+1.5$		$+2.0$	$+1.5$		$+2.0$	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$ , for 1000 hours	$\pm 0.08$			$\pm 0.08$			$^\circ\text{C}$

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply:  $-55^\circ\text{C} < T_J < +150^\circ\text{C}$  for the LM35 and LM35A;  $-40^\circ\text{C} < T_J < +110^\circ\text{C}$  for the LM35C and LM35CA; and  $0^\circ\text{C} < T_J < +100^\circ\text{C}$  for the LM35D.  $V_O = +5\text{Vdc}$  and  $I_{\text{LOAD}} = 50 \mu\text{A}$ , in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from  $+2^\circ\text{C}$  to  $T_{\text{MAX}}$  in the circuit of Figure 1. Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-48 package is  $400^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to ambient, and  $24^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is  $180^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is  $220^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is  $90^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$  times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in  $^\circ\text{C}$ ).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

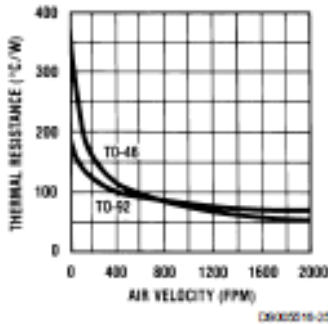
Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

Note 11: Human body model,  $100 \text{ pF}$  discharged through a  $1.5 \text{ k}\Omega$  resistor.

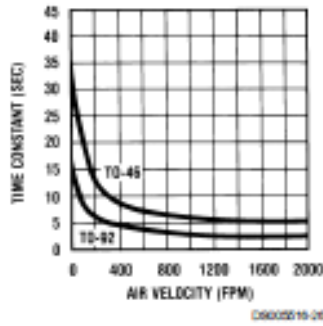
Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

### Typical Performance Characteristics

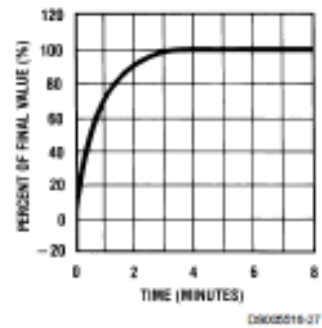
**Thermal Resistance Junction to Air**



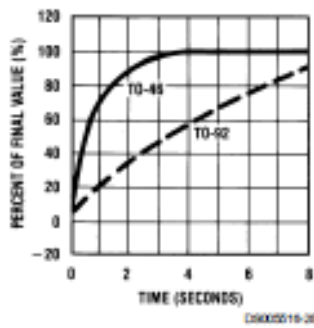
**Thermal Time Constant**



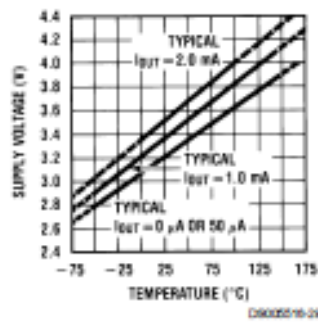
**Thermal Response in Still Air**



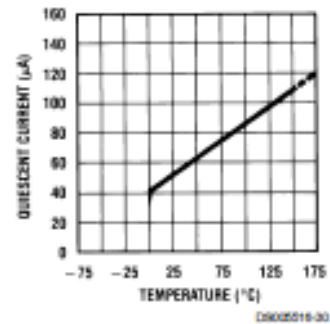
**Thermal Response in Stirred Oil Bath**



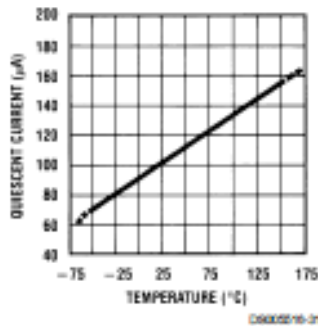
**Minimum Supply Voltage vs. Temperature**



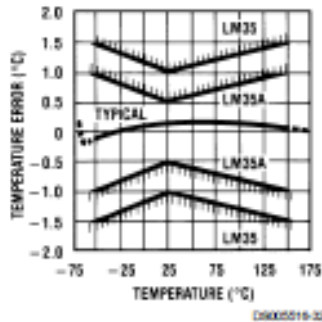
**Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 1.)**



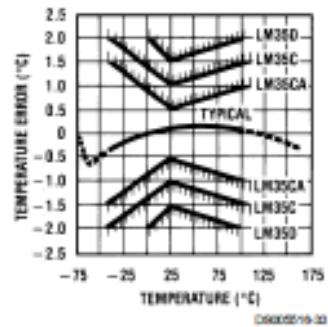
**Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 2.)**



**Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)**



**Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)**



## Anexo 3 – Especificações Técnicas do equipamento registrador de dados HOBO

### HOBO® U12 Temp/RH/Light/ External Data Logger (Part # U12-012)

Inside this package:

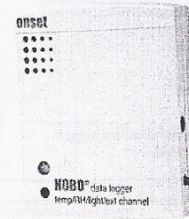
- HOBO U12 Temp/RII/Light/External Data Logger
- Mounting kit with magnet, hook and loop tape, tie-wrap mount, tie wrap, and two screws.

Doc # 7661-B, MAN-U12-012  
Onset Computer Corporation

Thank you for purchasing a HOBO data logger. With proper care, it will give you years of accurate and reliable measurements.

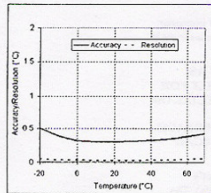
The HOBO U12 Temperature/Relative Humidity/Light/External Data Logger is a four-channel logger with 12-bit resolution and can record up to 43,000 measurements or events. The external channel accepts a variety of sensors, including temperature, and split-core AC current sensors as well as 4-20 mA and voltage input cables (sold separately). The logger uses a direct USB interface for launching and data readout by a computer.

An Onset software starter kit is required for logger operation. Visit [www.onsetcomp.com](http://www.onsetcomp.com) for compatible software.

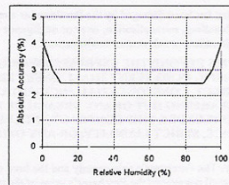


### Specifications

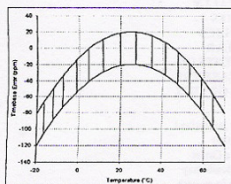
Measurement range	Temperature: -20° to 70°C (-4° to 158°F) RH: 5% to 95% RH Light intensity: 1 to 3000 footcandles (lumens/ft <sup>2</sup> ) typical; maximum value varies from 1500 to 4500 footcandles (lumens/ft <sup>2</sup> ) External input channel (see sensor manual): 0 to 2.5 DC Volts
Accuracy	Temperature: ± 0.35°C from 0° to 50°C (± 0.63°F from 32° to 122°F), see Plot A RH: ± 2.5% from 10 to 90%, see Plot B; conditions above 80% RH and 60°C (140°F) may cause additional error Light intensity: Designed for indoor measurement of relative light levels, see Plot D for light wavelength response External input channel (see sensor manual): ± 2 mV ± 2.5% of absolute reading
Resolution	Temperature: 0.03°C at 25°C (0.05°F at 77°F), see Plot A RH: 0.03% RH
Drift	Temperature: 0.1°C/year (0.2°F/year) RH: <1% per year typical; RII hysteresis 1%
Response time in airflow of 1 m/s (2.2 mph)	Temperature: 6 minutes, typical to 90% RH: 1 minute, typical to 90%
Time accuracy	± 1 minute per month at 25°C (77°F), see Plot C
Operating temperature	Logging: -20° to 70°C (-4° to 158°F) Launch/readout: 0° to 50°C (32° to 122°F), per USB specification
Battery life	1 year typical use
Memory	64K bytes (43,000 12-bit measurements)
Weight	46 g (1.6 oz)
Dimensions	58 x 74 x 22 mm (2.3 x 2.9 x 0.9 inches)
CE	The CE Marking identifies this product as complying with all relevant directives in the European Union (EU).



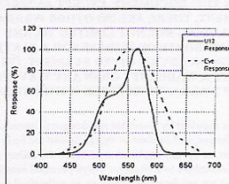
Plot A



Plot B



Plot C



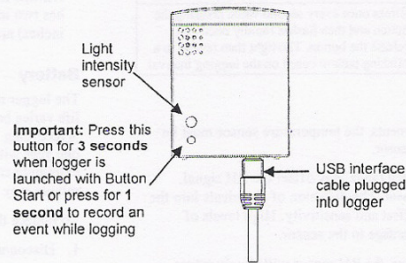
Plot D

### Connecting the logger

The U-Family logger requires an Onset-supplied USB interface cable to connect to the computer. If possible, avoid connecting at temperatures below 0°C (32°F) or above 50°C (122°F).

1. Plug the large end of the USB interface cable into a USB port on the computer.

2. Plug the small end of the USB interface cable into the bottom of the logger as shown in the following diagram.



If the logger has never been connected to the computer before, it may take a few seconds for the new hardware to be detected. Use the logger software to launch and read out the logger.

**Important:** If you configure the logger to start with a button start, be sure to press and hold down the button on the front of the logger for at least three seconds when you want to begin logging.

If using an external sensor, be sure to plug it into the side of the logger before logging begins. Also select the correct sensor and activate the external channel in the logger software when configuring the launch.

**Important:** If you select an external channel, but do not plug the probe in, false data will be recorded for that channel.

You can read out the logger while it continues to log, stop it manually with the software, or let it record data until the memory is full.

Refer to the software user's guide for complete details on launching, reading out, and viewing data from the logger.

### Sample and event logging

The logger can record two types of data: samples and events. Samples are the sensor measurements recorded at each logging interval (for example, the temperature every minute). Events are independent occurrences triggered by a logger activity. Examples of events recorded asynchronously during deployment include when the logger is connected to the host, when the battery is low, the end of a data file once the logger is stopped, and button pushes.

Press the button on the front of the logger for one second to record an event. Both a button up and down event will be recorded. This is useful if you want to mark the datafile at a particular point. For example, if the logger is located in an incubator, you might press the button each time the door is opened.

The logger stores 64K of data, and can record up to 43,000 samples and events combined.

### Using external sensors

The external input channel has a switched 2.5 V output. This signal can be used to power a sensor directly or it can also be used to trigger an external circuit. An external sensor should draw no more than 4 mA total when powered. The switched 2.5 V output turns on about 15 ms before the external channel is measured and stays powered for 48 ms after it is measured, as shown in the following diagram. The striped bar shows the 16 ms period during which the logger samples the input signal.

