

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA - PROPAR

DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES INDUSTRIAIS

ANDRÉ STEIN LACCHINI

Heitor da Costa Silva, Arq. Ph.D.
Orientador

Porto Alegre, março de 2010.

ANDRÉ STEIN LACCHINI

DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES INDUSTRIAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos de avaliação para obtenção do título de Mestre em Arquitetura.

Heitor da Costa Silva, Arq. Ph.D.
Orientador

PORTO ALEGRE

2010

*Dedico este trabalho aos meus pais
Antônio Cláudio Martins Lacchini e Lara Stein Lacchini,
por todo o apoio e confiança investidos em minha educação,
e a Carolina, pelo apoio incondicional às minhas decisões.*

*Agradeço ao meu professor orientador Heitor da Costa Silva,
pelo ensino, interesse e apoio desprendidos.*

RESUMO

O presente trabalho apresenta os resultados de estudo realizado através da utilização do programa computacional *EnergyPlus* para verificação do desempenho termoenergético de edificações industriais. O objetivo da dissertação é sistematizar resultados de horas de conforto geradas pelo frio ou pelo calor em um modelo computacional, através da modificação de parâmetros físicos, classificando-os em níveis de desempenho, como forma de melhorar as condições ambientais e de consumo energético de edificações industriais. Para o entendimento do estudo, a revisão bibliográfica apresenta conceitos que definem os seguintes temas: conforto térmico, trocas térmicas e termorregulação humana, balanço energético, variáveis que influenciam no conforto térmico, voto médio previsto, e zona de conforto. A metodologia apresenta o programa computacional utilizado para realizar as simulações, bem como o modelo computacional proposto. Após, são apresentadas pesquisas sobre técnicas de modificação de materiais construtivos, como forma de alterar as condições térmicas do ambiente. Para a análise são comparados os valores obtidos de temperatura de bulbo seco, dentro de faixa de conforto proposta, para obtenção de resultados de horas de desconforto. Os resultados demonstraram que a variação dos materiais construtivos que compõem a envoltória de uma edificação altera de forma considerável as condições térmicas ambientais. Por fim, a partir de uma discussão técnica sobre os resultados numéricos obtidos, é proposta uma planilha de avaliação do desempenho de edificações industriais.

Palavras-chave: conforto, desempenho, energia, indústria, simulação computacional.

ABSTRACT

This thesis presents the results of study realized using the software Energyplus, to verify thermal and energy performance of industrial buildings. The aim of this study is systematize discomfort hours results generated by cold or heat in a computer model, by the modification of physical parameters, classifying in performance levels, to improve the environment and energy consumption conditions of industrial buildings. Therefore, the literature review was based on the following fundamentals: thermal comfort, thermal changes, energy balance, thermal comfort variables, predicted mean vote, and comfort zone. The methodology presents the software used to realize the simulations, as well the computer model proposed. After, the thesis presents research about constructive materials modification techniques, to alter the thermal environment. The dry temperature results obtained, in a comfort range suggested, are compared to obtain the discomfort hours results. Results showed that the constructive materials variation alter considerably the environment thermal conditions. Conclusively, after a technical discussion about the numerical results obtained, is suggested na assesment method to verify the thermal and energy performance of industrial buildings.

Keywords: comfort, performance, energy, industries, computer simulation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1 APRESENTAÇÃO.....	18
1.2 OBJETIVO.....	19
1.3 INTRODUÇÃO À PESQUISA.....	21
1.4 METODOLOGIA.....	30
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	31
2. CONFORTO TÉRMICO.....	33
2.1 AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO.....	34
2.2 TERMORREGULAÇÃO HUMANA.....	44
2.3 BALANÇO ENERGÉTICO.....	45
2.4 ZONA DE CONFORTO.....	47
3. METODOLOGIA.....	51
3.1 PROGRAMA.....	54
3.2 MODELO.....	58
4. PARÂMETROS FÍSICOS.....	74
4.1 ELEMENTOS VERTICAIS.....	84
4.2 COBERTURA.....	85
4.3 ISOLAMENTO TÉRMICO.....	87
4.4 ABSORTÂNCIA.....	88
5. RESULTADOS E ANÁLISES.....	91
5.1 ELEMENTOS VERTICAIS.....	92
5.2 COBERTURA.....	102
5.3 ISOLAMENTO TÉRMICO.....	112
5.4 ABSORTÂNCIA.....	122

5.5 ESTUDO DE CASOS.....	132
5.6 DISCUSSÃO.....	140
6. CONCLUSÃO.....	148
7. BIBLIOGRAFIA.....	153
7.1 BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR.....	162
7.2 BIBLIOGRAFIA INDICADA.....	166
ANEXO 1 – PLANILHAS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES INDUSTRIAIS.....	168
ANEXO 2 – CÁLCULO DA INFILTRAÇÃO DE AR.....	173
ANEXO 3 – PESQUISAS REALIZADAS COM O USO DO <i>SOFTWARE</i>	175
ANEXO 4 – RESULTADOS NUMÉRICOS DAS TEMPERATURAS PARA OS DIAS TÍPICOS DE INVERNO E VERÃO ESTUDADOS.....	178

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1.1	Consumo setorial final de eletricidade em 2003.....	29
------------	---	----

CAPÍTULO 2

Tabela 2.1	Taxa metabólica para várias atividades.....	40
------------	---	----

Tabela 2.2	Resistência térmica da vestimenta (Icl).....	41
------------	--	----

Tabela 2.3	Escala de percepção do ambiente térmico.....	43
------------	--	----

CAPÍTULO 3

Tabela 3.1	Descrição de equipamentos elétricos.....	71
------------	--	----

Tabela 3.2	Rotina de utilização de equipamentos elétricos.....	71
------------	---	----

Tabela 3.3	Rotina de utilização do sistema de iluminação artificial.....	71
------------	---	----

Tabela 3.4	Cotidiano anual.....	72
------------	----------------------	----

Tabela 3.5	Cotidiano diário.....	72
------------	-----------------------	----

CAPÍTULO 4

Tabela 4.1	Características termofísicas de materiais isolantes.....	79
------------	--	----

Tabela 4.2	Características termofísicas e de propriedades de materiais isolantes.....	80
------------	--	----

Tabela 4.3	Absortância para radiação solar em superfícies.....	82
------------	---	----

Tabela 4.4	Resistência térmica superficial interna e externa.....	83
------------	--	----

Tabela 4.5	Características termofísicas de materiais construtivos utilizados em elementos verticais de edificações.....	85
------------	--	----

Tabela 4.6	Características termofísicas de materiais construtivos utilizados em coberturas de edificações.....	86
------------	---	----

Tabela 4.7	Características termofísicas de materiais construtivos utilizados no isolamento térmico de edificações.....	87
------------	---	----

Tabela 4.8	Características termofísicas de câmaras de ar não ventiladas.....	88
------------	---	----

Tabela 4.9	Características termofísicas de absortância de revestimentos e materiais construtivos.....	89
------------	--	----

CAPÍTULO 5

Tabela 5.1.1	Valores de horas de desconforto simuladas para alteração dos materiais dos elementos verticais do modelo.....	93
Tabela 5.2.1	Valores de horas de desconforto simuladas para alteração dos materiais da cobertura do modelo.....	103
Tabela 5.3.1	Valores de horas de desconforto simuladas para inserção de materiais isolantes térmicos.....	112
Tabela 5.4.1	Valores de horas de desconforto simuladas para inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorvâncias térmicas.....	122
Tabela 5.5.1	Materiais construtivos aplicados nos estudos de caso.....	133
Tabela 5.5.2	Valores de horas de desconforto simuladas para os estudos de caso de análise de desempenho.....	134
Tabela 5.5.3	Valores de horas de desconforto simuladas para os estudos de caso de análise de infiltração.....	134

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 3

Figura 3.1	Geometria do modelo de edificação industrial proposto.....	64
------------	--	----

CAPÍTULO 5

Figura 5.1.1	Índices HDF, HDC e THD simulados, representativos da alteração dos materiais dos elementos verticais.....	94
Figura 5.1.2	Índices HDF, HDC e THD simulados, representativos da alteração dos materiais dos elementos verticais.....	94
Figura 5.1.3	Índice PHD, representativo da alteração dos materiais dos elementos verticais.....	95
Figura 5.1.4	Índice PHD, representativo da alteração dos materiais dos elementos verticais.....	95
Figura 5.1.5	Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo da alteração dos materiais dos	

	elementos verticais.....	98
Figura 5.1.6	Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo da alteração dos materiais dos elementos verticais.....	99
Figura 5.1.7	Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo da alteração dos materiais dos elementos verticais.....	99
Figura 5.1.8	Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo da alteração dos materiais dos elementos verticais.....	101
Figura 5.1.9	Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo da alteração dos materiais dos elementos verticais.....	101
Figura 5.1.10	Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo da alteração dos materiais dos elementos verticais.....	102
Figura 5.2.1	Índices HDF, HDC e THD simulados, representativos da alteração dos materiais da cobertura.....	103
Figura 5.2.2	Índices HDF, HDC e THD simulados, representativos da alteração dos materiais da cobertura.....	104
Figura 5.2.3	Índice PHD, representativo da alteração dos materiais da cobertura.....	107
Figura 5.2.4	Índice PHD, representativo da alteração dos materiais da cobertura.....	107
Figura 5.2.5	Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo da alteração dos materiais da cobertura.....	108
Figura 5.2.6	Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo da alteração dos materiais da cobertura.....	109

Figura 5.2.7	Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo da alteração dos materiais da cobertura.....	110
Figura 5.2.8	Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo da alteração dos materiais da cobertura.....	111
Figura 5.3.1	Índices HDF, HDC e THD simulados, representativos da inserção de materiais isolantes térmicos.....	113
Figura 5.3.2	Índices HDF, HDC e THD simulados, representativos da inserção de materiais isolantes térmicos.....	113
Figura 5.3.3	Índice PHD, representativo da inserção de materiais isolantes térmicos.....	114
Figura 5.3.4	Índice PHD, representativo da inserção de materiais isolantes térmicos.....	114
Figura 5.3.5	Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo da alteração dos materiais isolantes térmicos.....	118
Figura 5.3.6	Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo da alteração dos materiais isolantes térmicos.....	119
Figura 5.3.7	Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo da inserção de materiais isolantes térmicos.....	120
Figura 5.3.8	Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo da inserção de materiais isolantes térmicos.....	121
Figura 5.4.1	Índices HDF, HDC e THD simulados, representativos da inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorvâncias térmicas.....	123
Figura 5.4.2	Índices HDF, HDC e THD simulados, representativos da	

	inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorvâncias térmicas.....	123
Figura 5.4.3	Índice PHD, representativo da inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorvâncias térmicas.....	124
Figura 5.4.4	Índice PHD, representativo da inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorvâncias térmicas.....	124
Figura 5.4.5	Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo da inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorvâncias térmicas.....	127
Figura 5.4.6	Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo da inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorvâncias térmicas.....	128
Figura 5.4.7	Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo da inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorvâncias térmicas.....	129
Figura 5.4.8	Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo da inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorvâncias térmicas.....	130
Figura 5.5.1	Índices HDF, HDC e THD simulados, representativos dos estudos de casos.....	135
Figura 5.5.2	Índice PHD, representativo dos estudos de casos.....	136
Figura 5.5.3	Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo dos estudos de casos.....	137
Figura 5.5.4	Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo dos estudos de casos.....	138
Figura 5.5.5	Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo dos estudos de casos.....	139
Figura 5.5.6	Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo dos estudos de casos.....	140

GLOSSÁRIO

Segue abaixo a descrição das unidades de medida e dos símbolos utilizados nesse trabalho. As unidades e os símbolos apresentados serão citados em descrições técnicas ou apresentados em equações.

A	Termo coeficiente constante.....	Adimensional
a	Área da superfície.....	m ²
A _{centr}	Taxa de calor armazenado no centro do corpo.....	W/m ²
ACH	<i>Air Changes Rate</i> (taxa de troca de ar).....	Adimensional
A _d	Área de <i>DuBois</i>	m ²
A _{pel}	Taxa de calor armazenado na pele.....	W/m ²
B	Termo coeficiente de temperatura.....	Adimensional
C	Termo coeficiente de velocidade.....	Adimensional
Co	Convecção de calor.....	W/m ²
Co + R	Perdas de calor sensível pela pele por convecção e radiação.....	W/m ²
C _p	Calor específico do material.....	J/kgK
C _{res}	Taxa de perda de calor convectivo na respiração.....	W/m ²
d	Diâmetro.....	m
D	Termo coeficiente do quadrado da velocidade.....	Adimensional
E	Emissividade solar.....	Adimensional
e	Espessura do material.....	mm
E _{dif}	Taxa de calor dissipado por difusão de água pela pele.....	W/m ²
E _{res}	Taxa de perda de calor evaporativo na respiração....	W/m ²
E _{trsp}	Taxa de calor dissipado na evaporação da transpiração.....	W/m ²
F _{schedule}	Fator de multiplicação do Schedule.....	Adimensional
H	Altura da pessoa.....	m

Hc	Coeficiente de troca de calor por convecção.....	W/m ²
HDF	Horas de desconforto pelo frio.....	hora
HDC	Horas de desconforto pelo calor.....	hora
Hr	Coeficiente de troca de calor por radiação.....	W/m ²
lcl	Resistência térmica das vestimentas.....	m ² °C/W
I _{design}	Taxa de vazão volumétrica de projeto.....	m ³ /s
L	Carga térmica no corpo.....	W/m ²
M	Taxa de produção de energia metabólica.....	W/m ²
M _c	Massa do corpo.....	kg
P	Potência.....	W
Pa	Pressão parcial de vapor de água do ar.....	kPa
PHD	Porcentagem de horas de desconforto no ano.....	%
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i> (voto médio previsto).....	Adimensional
Pv	Pressão de vapor.....	kg/cm ²
Q	Calor líquido dissipado.....	W/m ²
Q _{pel}	Taxa total de calor dissipado pela pele.....	W/m ²
Q _{res}	Taxa total de calor dissipado pela respiração.....	W/m ²
R _s	Radiação solar direta e difusa.....	W/m ²
R	Radiação de calor.....	W/m ²
R _m	Resistência térmica de materiais.....	m ² °C/W
T	Temperatura do ar.....	°C
Tbs	Temperatura de bulbo seco do ar.....	°C
Tbu	Temperatura de bulbo úmido do ar.....	°C
Tg	Temperatura de globo.....	°C
THD	Total de horas de desconforto.....	hora
Tmr	Temperatura média radiante.....	°C
Top	Temperatura operativa.....	°C
T _{odb}	Temperatura externa.....	°C
Tsk	Temperatura da pele.....	°C
T _{zone}	Temperatura da zona.....	°C

U_{rel}	Umidade relativa do ar.....	%
Var	Velocidade do ar.....	m/s
Wa	Conteúdo de umidade.....	kgVA/kgAS
W_{ext}	Taxa de trabalho externo realizado.....	W/m ²
WindSpeed	Velocidade do vento.....	m/s

SÍMBOLOS GREGOS

Segue abaixo a descrição das unidades de medida representadas por símbolos gregos utilizadas nesse trabalho.

ΔT	Amplitude térmica.....	°C
ΔT_{bs}	Varição da temperatura de bulbo seco do ar.....	°C
ΔT_{mr}	Varição da temperatura média radiante.....	°C
α_s	Absortividade solar.....	Adimensional
α_t	Absortividade térmica.....	Adimensional
α_v	Absortividade visível.....	Adimensional
κ	Condutividade térmica do material.....	W/mK
ρ	Densidade do material.....	kg/m ³

SUBÍNDICES

Segue abaixo a descrição dos subíndices utilizados nesse trabalho. A aplicação dos subíndices se restringe às unidades de medida descritas no glossário e nos símbolos gregos.

centr	Centro
d	DuBois
design	Projeto
ext	Externo
pel	Pele
p	Específico
pa	Parcial
res	Respiração
t	Total
dif	Difusão
trsp	Transpiração
m	Materiais
odb	Externo
rel	Relativa
schedule	Tabela
zone	Zona térmica

TERMOS E SIGLAS

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BBCC	<i>Building Bio-Climatic Chart</i>
BEN	Balanco Energético Nacional
BLAST	<i>Building Loads Analysis and Thermodynamics</i>
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
DOE	<i>Department of Energy</i>
IDF	<i>Input Data File</i>
OIT	Organização Internacional do Trabalho
ONU	Organização das Nações Unidas

1. INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O presente trabalho é uma dissertação de mestrado que apresenta os resultados de estudo realizado através da utilização do programa computacional de simulações *EnergyPlus* para verificação do desempenho termoenergético de edificações industriais.

No desenvolvimento do trabalho são abordados conceitos e definições sobre conforto térmico, ambientes industriais de trabalho, arquitetura

sustentável, materiais construtivos, uso racional da energia em edificações e sobre o programa computacional de simulação termoenergética *EnergyPlus*. O delineamento da pesquisa demonstra, no capítulo *metodologia*, a forma de funcionamento e abastecimento de informações do *software* utilizado, bem como as fontes bibliográficas de coleta de dados técnicos, necessárias ao desenvolvimento da simulação computacional.

O desenvolvimento do estudo apresenta técnicas de modificação do ambiente térmico de edificações através da alteração ou inserção de materiais construtivos em modelo computacional proposto.

A conclusão da pesquisa apresenta um estudo comparativo entre os resultados coletados por meio de simulações, classificando-os em níveis de desempenho, como forma de melhorar as condições ambientais e de consumo energético de edificações industriais ou de grande porte.

1.2 OBJETIVO

O objetivo dessa dissertação é sistematizar e contabilizar resultados de horas de conforto geradas pelo frio ou pelo calor em um modelo computacional, através da modificação de parâmetros físicos, classificando-os em níveis de desempenho, como forma de melhorar as condições ambientais e de consumo energético de edificações industriais.

Para estabelecer a classificação dos resultados, foram realizados estudos comparativos do comportamento termoenergético de modelo computacional de edificação industrial, e de variações de seus parâmetros físicos, através de simulações computacionais.

A análise apresentada é baseada em modelo computacional e simulações de variações, utilizando o *software EnergyPlus*¹, versão 2.2.0.023. Nas simulações, é avaliada a influência sobre o conforto térmico e o consumo de energia dos seguintes parâmetros construtivos:

- Materiais construtivos de elementos verticais, a saber: tijolos de barro vazados, tijolos de barro maciços, argamassa para reboco, bloco de concreto, chapa metálica galvanizada, chapa metálica de alumínio, fibrocimento, e concreto leve;
- Materiais construtivos de coberturas, a saber: chapa metálica galvanizada, chapa metálica de alumínio, fibrocimento, telha dupla em alumínio com isolamento, zinco, cobre, concreto leve, concreto e terra, e concreto e proteção mecânica;
- Técnicas de isolamento térmico, a saber: lã de rocha, lã de vidro, poliestireno expandido, poliestireno extrudado, espuma rígida de poliuretano, gesso, espuma de polietileno reflexiva, parede isolada com poliestireno e plástico PVC, e parede isolada com lã de vidro e plástico PVC;
- Cores dos elementos externos, a saber: paredes verdes, paredes amarelas ou pardas, paredes brancas foscas, paredes brancas reflexivas, paredes com cerâmicas brancas reflexivas, cobertura branca reflexiva, e cobertura com manta aluminizada.

¹Programa Computacional de Simulação *EnergyPlus*, versão 2.2.0.023. Disponível em: <www.eere.energy.gov/buildings/energyplus>.

1.3 INTRODUÇÃO À PESQUISA

Segundo Peres², 2005, com a revolução industrial, a população rural passou a agrupar-se em cidades e seu trabalho artesanal foi reorganizado como atividade de produção em série. As fábricas apresentavam condições inóspitas de calor, ventilação e umidade, por se tratarem de galpões improvisados. As edificações ofereciam riscos e as conseqüências tornaram-se críticas a ponto de haver reivindicações, inclusive de órgãos governamentais de Inspeção do Trabalho, exigindo um mínimo de condições humanas para as atividades laborais. A seguir são relacionados, cronologicamente, os principais atos de instituição da Inspeção do Trabalho no Brasil, que também exigiam condições de salubridade nas edificações:

- A Inspeção do Trabalho foi instituída no Brasil em 1891, conforme decreto número 1313, expedido após a Proclamação da República do Brasil, prevendo em seu artigo 1º:

“É instituída a fiscalização permanente de todos os estabelecimentos fabris (...).”

- Getúlio Vargas criou o Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio em 1930, através do Decreto número 19433, e, através do Decreto número 19671-A organiza o Departamento Nacional do Trabalho ao qual ficaram afetos: organização, higiene, segurança e inspeção do trabalho, previdência social, patrocínio operário e atuariado.
- Em 1943 foi aprovada a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), tendo sido a inspeção do trabalho enquadrada no título VII “Do Processo Administrativo das Multas Administrativas”.

² PERES, Cláudio C.. **Introdução à Engenharia de Segurança do Trabalho**. Engenharia de Segurança do Trabalho. UFRGS, 2005.

- Em 1957 foi ratificada pelo Brasil a Convenção número 81 da OIT – Organização Internacional do Trabalho. Pelo Decreto, o Congresso aprovou e determinou o seu integral cumprimento.
- Em 1965 foi aprovado o regulamento da inspeção do trabalho.
- Em 1971 o governo Médici denunciou a Convenção número 81, prejudicando sua regulamentação sobre a inspeção do trabalho.
- A Convenção número 81 passou a vigorar no Brasil em 1987, através do Decreto número 95461, que cita em seu artigo 3º:

“O sistema de inspeção do trabalho será encarregado de assegurar a aplicação das disposições legais relativas às condições de trabalho e à proteção dos trabalhadores no exercício de sua profissão (...).”

Segundo a FUNDACENTRO³, 1981, pode-se estimar em torno de 1930 o início da revolução industrial no Brasil. Porém, a expansão do parque industrial brasileiro pode ser datada a partir da década de 1970, iniciada com as indústrias de bens de consumo. Essa nova fase foi marcada pela produção de bens de capital e de materiais básicos como derivados do petróleo.

Foi também a partir da década de 70 que o país foi classificado como recordista em acidentes do trabalho, segundo a FUNDACENTRO⁴, 2008, conforme a classificação da ONU – Organização das Nações Unidas – e OIT – Organização Internacional do Trabalho. Essa classificação, não casualmente, está relacionada com o fato histórico já descrito de que em 1971 o governo Médici denunciou a Convenção número 81 da OIT, prejudicando sua regulamentação sobre a inspeção do trabalho. Em 1972 foram

³ A **Fundacentro** é a única entidade governamental do Brasil que atua em pesquisa científica e tecnológica relacionada à segurança e saúde dos trabalhadores.

⁴FUNDACENTRO. **Número de Acidentes e Doenças do Trabalho no Brasil de 1970 a 2002.** Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br>
Acesso em: 10 de abril 2008.

registrados 1.504.723 acidentes do trabalho em um total de 8.148.987 trabalhadores segurados, ou seja, com carteira assinada, significando 14,9% de um total que não inclui o trabalho informal.

Parte dos acidentes e doenças registrados pela FUNDACENTRO foi gerada pelas condições inóspitas de conforto higrotérmico, causadas pela inobservância, por parte dos empregadores, da necessidade de se adotar estratégias de projeto que contemplem o bem-estar do usuário.

Os dados apresentados, obtidos na rede mundial de computadores, que demonstram o aumento da incidência de acidentes em função das condições inóspitas de trabalho, delineiam a justificativa para o trabalho proposto e apresentam o problema a estudar. Os sítios da FUNDACENTRO⁵, e da PREVIDÊNCIA SOCIAL⁶, que apresentam os dados descritos sobre segurança e saúde no trabalho, estatísticas de acidentes do trabalho, e causas para acidentes, demonstram a importância do estudo técnico sobre ambientes laborais. Esses itens interferem diretamente na satisfação do usuário e no rendimento das atividades profissionais desenvolvidas.

Portanto, a busca por melhores condições de trabalho e pela qualidade de vida nos ambientes laborais traz, em primeiro plano, benefícios diretos para a saúde do trabalhador e, em segundo plano, modificação no seu rendimento e produtividade. Isto leva à necessidade do estudo de ambientes construídos que gerem maior conforto higrotérmico aos usuários.

Como justificativa para o trabalho proposto, o estudo sobre as características térmicas e energéticas de edificações industriais está embasado, em

⁵FUNDACENTRO. **Número de Acidentes e Doenças do Trabalho no Brasil de 1970 a 2002.** Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br>

Acesso em: 10 de abril 2008.

⁶FUNDACENTRO. **Informações Estatísticas Gerais da Previdência Social.** Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br>

Acesso em: 10 de abril 2008.

especial, na possibilidade de modificação das condições fisiológicas dos usuários, e do consumo gerado pela utilização de equipamentos de climatização. Portanto, como forma de justificar a importância deste estudo, esse capítulo apresenta a descrição de benefícios gerados pela modificação das características físicas das construções.

- **Condições Ambientais**

O trabalho em condições inóspitas, de calor ou umidade, faz com que o corpo humano trabalhe sob estresse, o que determina a necessidade de gerar ou perder calor para manter o corpo em equilíbrio. Segundo ASHRAE⁷, 2001, as condições de desconforto térmico, além de trazerem mal estar e possíveis problemas de saúde, geram redução da produtividade dos trabalhadores.

Para melhoria das condições térmicas de locais de trabalho, muitas vezes torna-se necessária a utilização de sistemas mecânicos de condicionamento. Segundo Pereira⁸, 2004, quando se projeta uma edificação com um sistema de climatização artificial, muitas vezes é instalada uma potência nominal maior que a necessária, caso fossem observados conceitos construtivos de eficiência energética, como o uso de isolamento térmico. Isso amplia o consumo energético da edificação gerando aumento dos custos em energia e em implantação e manutenção dos equipamentos.

A qualidade dos ambientes de trabalho pode ser atingida com uma série de medidas simples realizadas ainda na etapa de projeto da edificação.

⁷ ASHRAE, 2001. **Chapter 8 – Physiological principles and thermal comfort**, ASHRAE Fundamentals Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA..

⁸ PEREIRA, Fábio L., Beyer, P.O., Schwieder, A.O.. Avaliação da Influência Termoenergética de Parâmetros Físicos em uma Edificação com Condicionamento de Ar". In: Mercofrio – IV Feira e Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul, 2004, Curitiba. **Anais**. Curitiba, Brasil.

Segundo Pereira⁹, 2005, são comuns queixas dos ocupantes em relação à temperatura interna alta ou à alta intensidade da radiação solar proveniente das janelas. Segundo Silva¹⁰, 2003, uma das principais formas de ganho e de perda de calor em edificações é através da cobertura.

Observa-se então, a possibilidade de modificação do desempenho termoenergético de edificações através da alteração de parâmetros construtivos como isolamentos, aberturas e tipos de materiais de fechamento e revestimento.

- **Variação de Produtividade**

O estudo da variação das condições térmicas de um ambiente de trabalho leva, também, à seguinte análise: a da variação de produtividade dos trabalhadores. Segundo Frota¹¹, 2003, as temperaturas altas influenciam na quantidade e na qualidade do trabalho que o ser humano pode realizar.

Temperaturas elevadas podem resultar em desconforto, irritabilidade, erros de atenção e em uma redução do rendimento intelectual. Valores extremos originam enfraquecimento das habilidades manuais, acidentes, um menor rendimento nos trabalhos pesados, sobrecarga do sistema circulatório e do coração, fadiga e esgotamento. Uma temperatura demasiado baixa pode resultar diminuição da sensibilidade tátil e da habilidade manual, reações lentas e quebra de atenção. Índices de umidade elevados impedem a eliminação do calor do corpo

⁹ PEREIRA, Fábbyo L.. **Determinação Computacional da Influência de Parâmetros Físicos no Comportamento Termoenergético de uma Edificação**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. Dissertação, Escola de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

¹⁰ SILVA, C.J.C.. **Simulação Termoenergética de um Sistema de Ar Condicionado para Comparação dos Resultados Medidos e Simulados**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. Trabalho de Diplomação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.
Disponível em: <<http://www.mecanica.ufrgs.br/lafrig>>.

¹¹ FROTA, Anésia B. e SCHIFFER, Sueli R, 2003. **Manual de Conforto Térmico**, 6ª ed., São Paulo, Studio Nobel.

através da evaporação na superfície da pele, enquanto valores baixos provocam a irritação das mucosas das vias respiratórias e dos olhos.

A Comissão Americana de Ventilação, já em 1916, efetuou estudos com o objetivo de determinar a influência das condições higrotérmicas no rendimento do trabalho. Tais estudos visaram, principalmente, abordar o trabalho físico do operário em relação aos interesses de produção surgidos com a Revolução Industrial e às situações especiais de guerra, quando as tropas eram deslocadas para regiões de diferentes tipos de climas. A seguir, são apresentados alguns resultados:

- Para o trabalho físico, o aumento da temperatura ambiente de 20°C para 24°C diminui o rendimento em 15% (*).
- A 30°C de temperatura ambiente, com umidade relativa do ar de 80%, o rendimento cai 28% (*).

Segundo Frota e Schiffer¹², 2003, estudos realizados na Inglaterra acerca do rendimento do trabalho em minas mostraram o seguinte: o mineiro rende 41% menos quando a temperatura efetiva é de 27°C, com relação ao rendimento à temperatura efetiva de 19°C. No mesmo país, também foram observadas variações de produção em indústrias, segundo a mudança das estações do ano, havendo, ainda, pesquisas que correlacionam ambientes termicamente desconfortáveis com índices elevados de acidentes no trabalho.

Conclui-se que os dados apresentados, a respeito de pesquisas sobre a influência das condições térmicas no rendimento laboral e na saúde do usuário, indicam que a melhora das condições de conforto higrotérmico dos

¹²FROTA, Anésia B. e SCHIFFER, Sueli R, 2003. **Manual de Conforto Térmico**, 6ª ed., São Paulo, Studio Nobel.

* Os estudos sobre a redução da produtividade de trabalhadores em função do aumento da temperatura foram obtidos na obra de Frota e Schiffer, adaptados da **Comissão Americana de Ventilação**.

trabalhadores gera, conseqüentemente, o incremento da produtividade ocupacional.

- **Comportamento Térmico das Edificações**

○ estudo do comportamento térmico de uma edificação e do ambiente de trabalho que ela conforma aborda questões de salubridade e conforto. Segundo ASHRAE¹³, 2001, o homem tem melhores condições de vida e de saúde quando seu organismo pode funcionar sem ser submetido ao estresse, inclusive térmico, pois este interfere diretamente na satisfação do usuário e no rendimento das atividades profissionais desenvolvidas.

○ organismo humano adquire energia através do metabolismo, transformando parte dela em calor, que deve ser dissipado para que seja mantido o equilíbrio. Essas trocas térmicas entre o ambiente de trabalho e o corpo humano, influenciadas pela atividade desenvolvida e pelas características metabólicas de cada pessoa, podem gerar sensações de desgaste físico excessivo e problemas no funcionamento do organismo, como sobrecarga do sistema circulatório e do coração. Isto representa diretamente queda no rendimento de trabalho, até sua perda total em casos extremos, além de problemas de saúde.

Constata-se que a qualidade dos ambientes laborais interfere diretamente na saúde do trabalhador, no seu rendimento e produtividade. Conclui-se que a realização de pesquisas acerca da qualidade das edificações é um elemento fundamental.

- **Comportamento Energético das Edificações**

○ estudo do desempenho térmico das edificações está

¹³ASHRAE, 2001. **Chapter 8 – Physiological principles and thermal comfort**, ASHRAE Fundamentals Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA..

embasado, também, na questão da racionalização energética. Desde a crise do petróleo na década de 70, os governos buscam fontes alternativas de energia e de redução do consumo. Foi a partir desta data que se iniciaram estudos sobre simulação termoenergética de edificações, na tentativa de minimização do consumo gerado pela necessidade de manutenção dos níveis de temperatura e de umidade interna com sistemas de ventilação ou condicionamento de ar elétricos.

A conservação de energia e o uso responsável das fontes energéticas foram as alternativas encontradas por muitos países na década de 70 para a crise do petróleo. Segundo Balestiere¹⁴, 2002, como consequência, o uso racional de energia passou a ser uma opção vantajosa, devido ao fato de que reduzindo o consumo de energia elétrica não haveria necessidade de realizar novas instalações de fontes de energia. Por fim, o avanço tecnológico passou a apresentar estudos e modelos mais eficientes de materiais e equipamentos, sendo que a busca da eficiência energética tornou-se um conceito importante para as indústrias. Segundo Kaehler¹⁵, 1993, o conceito de eficiência energética está estritamente vinculado ao processo disponibilizado, usos finais (força motriz, refrigeração) e serviços (aquecer ambientes, bombeamento de água); ele se refere à cadeia energética como um todo, isto é, desde a extração (como a extração de petróleo) ou transformação (como a geração hídrica) até o uso final (como em sistemas de refrigeração).

Analisando as variações da demanda de energia em edificações em diferentes localidades, fica evidente a importância de que o projeto seja adequado a cada região. Ou seja, edificações em lugares diferentes deveriam ter formas, materiais construtivos, orientações e características da envoltória

¹⁴BALESTIERE, J. A. P., 2002. **Cogeração: geração combinada de eletricidade e calor**. Editora da UFSC, Florianópolis.

¹⁵KAEHLER, J. W. M., 1993. **Un outil d'Aide à la Décision et de Gestion des Actions pour la Maîtrise de la Demande d'Énergie - de la Conception au Développement**, Tese de Doutorado - Ecole Nationale Supérieure des Mines, Paris.

diferentes, como diferentes materiais construtivos na composição de coberturas ou planos verticais. Segundo Santos¹⁶, 2002, no caso da não consideração destas variações, um mesmo projeto de edificação em locais diferentes pode provocar aumento de até 80% da demanda de energia elétrica, por exemplo, quando se compara Belém e Porto Alegre.

Verifica-se, também, que o setor industrial, em especial, apresenta consumo setorial final de energia elétrica no Brasil, em 2003, consideravelmente superior aos demais setores. Tal fato é demonstrado na Tabela 1.1, em TWh e em porcentagem, respectivamente adaptados do BEN, Balanço Energético Nacional, de 2004.

Tabela 1.1 Consumo setorial final de eletricidade em 2003.

(Fonte: sítio do Ministério de Minas e Energia¹⁷)

SETOR	CONSUMO [TWh]	CONSUMO [%]
Industrial	160,37	46,91
Residencial	76,14	22,27
Comercial	48,38	14,15
Público	29,71	8,69
Agropecuário	14,28	4,18
Energético	12,00	3,51
Transportes	0,98	0,29
TOTAL	341,86	100

Em 2003, no Brasil, segundo dados adaptados do BEN, 2004, juntos, os setores industrial, residencial e comercial consumiram 51,99% de toda a energia gerada no país, considerando todas as fontes de energia. Deste índice, respectivamente 72,41%, 22,23% e 5,36% foram consumidos pelos setores industrial, residencial e comercial.

¹⁶SANTOS, R. F., 2002. *A Arquitetura e a Eficiência nos Usos Finais da Energia para o Conforto Ambiental*. Dissertação de Mestrado. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (IEE/EP/IF/FEA) da Universidade de São Paulo. Área de Concentração: Energia. São Paulo.

¹⁷Sítio do Ministério de Minas e Energia: <http://www.mme.gov.br/site/menu>. Consulta: 10 de outubro de 2008.

A eficiência termoenergética das edificações, através do aperfeiçoamento de seu desempenho térmico, traz uma série de vantagens, além da melhoria da qualidade de vida do trabalhador. São elas:

- Redução dos custos com gastos em energia.
- Redução da emissão de poluentes através da utilização de combustíveis fósseis.
- Redução da necessidade de geração de energia elétrica por parte das concessionárias.
- Modernização de maquinário através da compra de equipamentos mais eficientes.

A partir destes argumentos, também é possível embasar a pesquisa para melhoria do ambiente térmico em edificações. A aplicação de estratégias de projeto que melhorem as condições de um local construído pode reduzir a potência requerida para o funcionamento de sistemas de condicionamento do ar ou ventilação, assim, otimizando o consumo de energia elétrica de tais equipamentos.

1.4 METODOLOGIA

Esse estudo avalia um modelo de edificação base e suas variações paramétricas, para verificação do desempenho termoenergético, através de índices ou indicadores.

Para atingir esse objetivo, a metodologia de investigação utilizada é a realização de estudos paramétricos com o uso da ferramenta de simulação *Energyplus*, para obtenção de simulações de desempenho termoenergético, para classificação de edificações.

Com uma listagem de parâmetros físicos a serem simulados, pretende-se utilizar a técnica de *retrofit*, ou seja: testar, modificar e testar novamente. Para este trabalho, as atividades foram ordenadas da seguinte maneira:

identificação de variáveis físicas e ambientais para avaliação do conforto térmico humano e do desempenho termoenergético de edificações; seleção do software; desenvolvimento de modelo base; determinação de índices de avaliação de conforto; determinação dos parâmetros físicos a alterar no modelo base; simulação parametrizada das variáveis; e avaliação dos resultados.

A partir desta seqüência de atividades, é pretendido obter resultados da modificação do ambiente térmico estudado, com a meta de organizar esses dados para consulta profissional e acadêmica.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura da dissertação está organizada em seis capítulos, os quais se apresentam da forma a seguir:

CAPÍTULO 1: Introdução. O capítulo determina o objetivo da dissertação e a metodologia de trabalho para o alcance da meta proposta. Também apresenta a pesquisa proposta e a justificativa para sua realização. São delineados tópicos históricos da industrialização no Brasil, bem como análises das condições ambientais habituais da tipologia, do consumo energético do setor industrial, e sua influência nas condições de trabalho dos usuários.

CAPÍTULO 2: Conforto Térmico. Apresenta uma revisão bibliográfica sobre os temas: conforto térmico, trocas térmicas e termorregulação humana, balanço energético, variáveis que influenciam no conforto térmico, voto médio previsto, e zona de conforto. São analisados os conceitos técnicos que definem os temas, necessários para o entendimento do estudo, e para o alcance das metas da pesquisa.

CAPÍTULO 3: Metodologia. Apresenta a metodologia de pesquisa, o programa computacional utilizado para realizar as simulações, bem como o modelo computacional proposto, representativo de uma tipologia de uso industrial. São descritas e definidas as características técnicas geométricas, de

ocupação, climáticas, e de infiltração de ar do modelo proposto, necessárias para realização das simulações.

CAPÍTULO 4: Parâmetros Físicos. Nesse capítulo são apresentadas pesquisas sobre as possíveis técnicas de modificação de materiais construtivos, como forma de alterar as condições térmicas do ambiente. As modificações são divididas entre alterações realizadas nos elementos verticais, na cobertura, na inserção de isolamentos térmicos, e na modificação da absorvência térmica das superfícies externas. A partir da divisão das técnicas, são descritas listas de materiais construtivos a alterar no modelo base proposto, para simulação e análise dos resultados.

CAPÍTULO 5: Resultados e Análises. Nesse capítulo são apresentados os resultados da avaliação do desempenho térmico para os quatro tipos de alterações físicas propostas no modelo simulado. Para a análise são comparados os valores obtidos de temperatura de bulbo seco, dentro da faixa de conforto proposta, para obtenção dos totais de horas de desconforto pelo frio (HDF), horas de desconforto pelo calor (HDC), total de horas de desconforto (THD), e porcentagem de horas de desconforto no ano (PHD). No capítulo 5 também são apresentadas simulações do modelo computacional proposto, na forma de estudos de caso. Esses estudos utilizam as técnicas e materiais construtivos já simulados e que obtiveram maior desempenho, bem como são realizados estudos de infiltração do ar. Por fim, é apresentada uma discussão técnica sobre os resultados numéricos obtidos, e é proposta uma planilha de avaliação do desempenho de edificações industriais.

CAPÍTULO 6: Conclusão. Apresenta a análise conclusiva do estudo, e seus possíveis desdobramentos.

2. CONFORTO TÉRMICO

Esse capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre os seguintes parâmetros e índices técnicos: conforto térmico, trocas térmicas e termorregulação humana, balanço energético, variáveis que influenciam no conforto térmico, voto médio previsto, e zona de conforto. São analisados os conceitos técnicos que definem os temas, necessários para o entendimento do estudo, e para o alcance das metas da pesquisa.

2.1 AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

O homem é um animal homeotérmico, ou seja, seu organismo funciona com a manutenção de uma temperatura interna constante. Segundo Frota e Schiffer¹⁸, 2003, essa temperatura é da ordem de 37°C, com limites muito estreitos – entre 36,8°C para situação de descanso e 37,9°C para situação de exercício intenso –, sendo 28°C o limite inferior e 46°C o limite superior para sobrevivência, em estado de enfermidade.

A energia térmica produzida pelo organismo humano é gerada a partir de reações químicas internas, sendo a mais importante a combinação do carbono e do hidrogênio, introduzido no organismo sob a forma de alimentos, com o oxigênio, extraído do ar pela respiração. Esse processo de produção de energia interna a partir de elementos combustíveis orgânicos é denominado metabolismo.

O organismo humano, através do metabolismo, adquire energia. Parte dessa energia é utilizada para realização das atividades de trabalho e parte restante é transformada em calor, que deve ser dissipado para que o organismo seja mantido em equilíbrio. Segundo ASHRAE¹⁹, 2001, são formas de regulação térmica humana: a dissipação de calor pela pele, com perdas de calor por convecção e radiação (calores sensíveis) e por evaporação e difusão de água (calores latentes); e a dissipação pela respiração, com perdas de calor por convecção (calor sensível) e perda de calor evaporativo (calor latente).

Portanto, caso a dissipação de calor gerado pelo metabolismo humano não fosse controlada por mecanismos de regulação térmica, a temperatura interna do corpo entraria em níveis que levariam à enfermidade ou à morte. A partir desses conceitos, pode-se deduzir conforto térmico como a condição em que o corpo humano dissipa exatamente a mesma quantidade de calor gerada por seu

¹⁸ FROTA, Anésia B. e SCHIFFER, Sueli R, 2003. **Manual de Conforto Térmico**, 6ª ed., São Paulo, Studio Nobel.

¹⁹ ASHRAE, 2001. **Chapter 8 – Physiological principles and thermal comfort**, ASHRAE Fundamentals Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA..

metabolismo, sendo capaz de manter sua temperatura interna em uma faixa entre 36,8 e 37,9°C.

Na prática, o alcance do conforto térmico envolve uma série de fatores individuais. Segundo Fanger²⁰, 1972, em função de o conforto térmico envolver variáveis ambientais ou físicas e pessoais, não é possível satisfazer termicamente todas as pessoas que estão submetidas ao mesmo ambiente térmico. Desta forma, apresentado de maneira subjetiva, o conforto térmico pode ser definido como “a condição da mente na qual é expressa satisfação com o ambiente térmico” (ASHRAE, 2001²¹).

- **Variáveis do Conforto Térmico**

O conforto térmico do ser humano é determinado por uma série de fatores. Esses fatores podem ser inicialmente divididos em três grupos, segundo Berger²²: os fatores psicológicos (ou parâmetros interativos), os fatores fisiológicos (ou os parâmetros subjetivos), e os fatores ambientais (ou os parâmetros objetivos). O autor descreve que a relação entre estes fatores é complexa e variável, e por isso difícil de se propor um índice simples para correlacionar todos os parâmetros envolvidos na sensação de conforto.

Segundo Corbella et al.²³, 2003, as principais variáveis físicas ambientais que interessam para o conforto térmico humano são a temperatura (do ar e das superfícies que rodeiam as pessoas), a umidade relativa (a água que está contida no ar), a radiação ou temperatura radiante (provinda das superfícies que

²⁰ FANGER, P. O, 1972. **Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering**, New York: McGraw – Hill.

²¹ ASHRAE, 2001. **Chapter 8 – Physiological principles and thermal comfort**, ASHRAE Fundamentals Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.

²² BERGER, X. **Thermal Comfort**. CNRS Groupe Echothermique, Laboratoire de Thermodynamique Expérimentale Université de Nice.

²³ CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos, 2003. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável**. Rio de Janeiro: Ed. Revan.

rodeiam as pessoas), a velocidade e direção dos ventos (movimentação do ar), e a radiação solar.

Lamberts et al.²⁴, 2005, descreve que as principais variáveis que influenciam na avaliação do conforto térmico são: taxa metabólica, resistência térmica das vestimentas, temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade relativa e velocidade do ar. As duas primeiras variáveis são chamadas de pessoais ou subjetivas, por não dependerem do ambiente, enquanto as outras são denominadas de variáveis ambientais. Variáveis como idade, sexo, raça, hábitos alimentares, peso, altura etc., também exercem influência nas condições de conforto de cada pessoa.

A partir dos conceitos já apresentados e da avaliação das variáveis que podem influenciar as condições térmicas de um ambiente, bem como da percepção de conforto do usuário, divide-se aqui essas variáveis em três classes: ambientais, pessoais, e fisiológicas.

Variáveis Ambientais

Temperatura do Ar (T_{bs}): segundo Baltar²⁵, 2006, é a temperatura de bulbo seco do ar que está em contato com o corpo de um indivíduo. É aferida com termômetro de bulbo seco e expressa em °C, sendo a temperatura em torno da pessoa utilizada para determinação da transferência de calor por convecção entre o indivíduo e o ambiente ao seu redor. A ASHRAE-55, 2004, define a temperatura do ar como a temperatura média do ar atmosférico em torno de uma pessoa.

²⁴ LAMBERTS, R., GHISI, E., ABREU, A., CARLO, J. , 2005, **Apostila de Desempenho Térmico de Edificações**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

²⁵ BALTAR, Marta Garcia , 2006, **Redução da Demanda de Energia Elétrica utilizando Parâmetros Construtivos visando ao Conforto Térmico**. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica, Porto Alegre.

Temperatura Média Radiante (T_{mr}): aferida com termômetro de globo e expressa em °C, segundo a ISO 7726²⁶, 1998, corresponde à temperatura uniforme de um ambiente fechado imaginário em que a transferência de calor radiante vindo do corpo humano é igual à transferência de calor radiante no ambiente real não uniforme. É possível definir, também, como a média de todas as temperaturas superficiais de um ambiente, considerando suas áreas e seu fator de visão. Mesmo sendo aferida com termômetro de globo, segundo Lamberts et al.²⁷, 2002, pode ser determinado um valor aproximado da temperatura média radiante através de valores observados da temperatura de globo, temperatura do ar e velocidade do ar ao redor do globo, conforme a equação²⁸ a seguir:

$$T_{mr} = \left[\frac{(T_g + 273)^4 + 1,1 \cdot 10^8 \cdot V^{0,6} \cdot (T_g - T) \cdot (T_g - T)^{1/4}}{E \cdot d^{0,4}} - 273 \right] \quad (1)$$

Onde:

T_{mr} ; temperatura média radiante [°C];

T_g ; temperatura de globo [°C];

T ; temperatura do ar [°C];

V ; velocidade do ar [m/s];

E = emissividade solar (0,95 para globo negro), adimensional

d ; diâmetro do globo [m].

²⁶ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1998. **ISO 7726: thermal environments – instruments and methods for measuring physical quantities**, Switzerland.

²⁷ LAMBERTS, R., XAVIER, A. A. P., 2002, **Apostila de Conforto Térmico e Stress Térmico**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

²⁸ ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001. **Climatic Design Information. ASHRAE Handbook Fundamentals**, Atlanta.

Temperatura Operativa (Top): segundo Beyer²⁹, 2005, a temperatura operativa pode ser definida como uma média ponderada entre a temperatura média radiante (Tmr) e a temperatura do ar ambiente (Tbs), ponderada pelos coeficientes de troca de calor por convecção e por radiação. O autor cita que isto ocorre visto que uma pessoa constantemente efetua trocas sensíveis por radiação e por convecção. O índice pode ser descrito pela seguinte equação³⁰:

$$Top = (Hr.Tmr + Hc.Tbs)/(Hr + Hc) \quad (2)$$

Onde:

Top; temperatura operativa [°C];

Hr; coeficiente de troca de calor por radiação [W/m²];

Tmr; temperatura média radiante [°C];

Hc; coeficiente de troca de calor por convecção [W/m²];

Tbs; temperatura de bulbo seco [°C].

Porém, é relevante frisar que em ambientes com carga térmica radiante próxima a zero, Tmr se aproxima de Tbs, e considera-se Top = Tbs.

Velocidade do Ar (Var): medida com um anemômetro adequado e expressa em m/s, é o módulo do vetor velocidade do fluxo de ar, definido por sua magnitude e direção. É importante para os estudos de conforto térmico, pois entra na determinação de transferência de calor por convecção e por evaporação.

²⁹ BEYER, Paulo Otto, 2005. **Higiene do Trabalho: conforto térmico**. Departamento de Engenharia Mecânica, Porto Alegre, UFRGS.

³⁰ ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001. **Climatic Design Information. ASHRAE Handbook Fundamentals**, Atlanta.

Conteúdo de Umidade (W_a): representa a quantidade real de massa de vapor de água contida no ar em comparação a uma quantidade real de massa de ar seco. É expressa na forma de proporção de umidade em kg de vapor de água por kg de ar seco, ou pela pressão parcial de vapor de água do ar (Pa) em kPa. Corbella et al.³¹, 2003, define conteúdo de umidade, ou umidade absoluta, como a quantidade de água que contém o ar do ambiente, e se expressa em gramas de água por quilograma de ar seco.

Umidade Relativa do Ar (U_{rel}): é a relação entre o conteúdo de água ou vapor de água existente no ar atmosférico de um determinado ambiente, e o conteúdo de água ou vapor de água necessário para saturação do ar na mesma condição de temperatura e pressão atmosférica, sendo expresso em %. A umidade do ar conjuntamente com a velocidade do ar é um fator de influência no conforto térmico, pois intervém nas perdas de calor por evaporação. Corbella et al.³², 2003, define umidade relativa do ar como a relação entre a mistura de ar e água nas condições do ambiente e a mistura de ar e água nas condições de saturação. Os autores citam exemplo de que se a quantidade de água contida no ar é a metade necessária para sua saturação (capacidade limite de manter a água na forma de vapor), a umidade relativa será de 50%.

Variáveis Pessoais

Taxa Metabólica (M): conforme a ISO 8996³³, 1990, é dada como a conversão de energia química em mecânica e térmica, medindo o custo energético da carga muscular, gerando um índice numérico de atividade. Pode-se definir, também, como a taxa de energia gasta pelo corpo humano durante a

³¹ CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos, 2003. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável**. Rio de Janeiro: Ed. Revan.

³² CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos, 2003. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável**. Rio de Janeiro: Ed. Revan.

³³ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1990. **ISO 8996: ergonomics – determination of metabolic heat production**, Switzerland.

realização de atividades físicas. É determinada por métodos como o apresentado pela ISO 8996, que leva em consideração a taxa de batimentos cardíacos e o consumo de oxigênio, ou por tabelas como a apresentada a seguir.

Tabela 2.1 – Taxa metabólica para várias atividades.

(Fonte: Manual do *EnergyPlus*³⁴, 2008)

ATIVIDADE	NÍVEL DE ATIVIDADE W/pessoa	NÍVEL DE ATIVIDADE W/m ²	Met
<i>Descansando</i>			
Dormindo	72	40	0,7
Reclinado	81	45	0,8
Sentado, quieto	108	60	1
Parado, relaxado	126	70	1,2
<i>Caminhando (em superfície plana)</i>			
3.2 km/h (0.9 m/s)	207	115	2
4.3 km/h (1.2 m/s)	270	150	2,6
6.4 km/h (1.8 m/s)	396	220	3,8
<i>Atividades de Escritório</i>			
Lendo, sentado	99	55	1
Escrevendo	108	60	1
Digitando	117	65	1,1
Arquivando, sentado	126	70	1,2
Arquivando, parado	144	80	1,4
Caminhando	180	100	1,7
Levantando	216	120	2,1
<i>Atividades Ocupacionais Diversas</i>			
Cozinhando	171 até 207	95 até 115	1,6 até 2,0
Limpendo	207 até 360	115 até 200	2,0 até 3,4
Sentado, movimentos	234	130	2,2
<i>Trabalho com Máquinas</i>			
Serrando (mesa)	189	105	1,8
Indústria, eletricidade	207 até 252	115 até 140	2,0 até 2,4
Pesado	423	235	4
Levantar sacos, 50kg	423	235	4
Trabalhos com pás	423 até 504	235 até 280	4,0 até 4,8
<i>Atividades de Lazer Diversas</i>			
Dançando	252 até 459	140 até 255	2,4 até 4,4
Exercícios	315 até 423	175 até 235	3,0 até 4,0
Jogando tênis	378 até 486	210 até 270	3,6 até 4,0
Jogando Basquete	522 até 792	290 até 440	5,0 até 7,6
Luta, competição	738 até 909	410 até 505	7,0 até 8,7

*Um Met = 58,1 W/m²

³⁴ EnergyPlus Manual, 2008. **Input Output Reference**, Version 2.2.0.023, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA.

Todos os valores de metabolismo têm unidade de potência por área, ou seja, W/m². Portanto, a potência é referida à área superficial do corpo, que pode ser calculada pela equação de DuBois:

$$A_d = 0,202M_c^{0,425} \cdot H^{0,725} \quad (3)$$

Onde:

A_d; área de DuBois [m²];

M_c; massa do corpo [kg];

H; altura da pessoa [m].

Resistência Térmica das Vestimentas (Icl): Segundo Givoni³⁵, 1976, a vestimenta funciona como um isolante térmico entre a pele e o meio ambiente, atuando como barreira na transferência de calor por convecção e por irradiação, acabando por interferir no processo de transpiração. Funcionando como uma forma pessoal de ajuste térmico, seus níveis são medidos em unidades de resistência ao fluxo de calor (m²°C/W) ou em *clo*, que representa a resistência de uma vestimenta típica, equivalente a 0,155m²°C/W.

Tabela 2.2 – Resistência térmica da vestimenta (Icl).

(Fonte: adaptado de ASHRAE³⁶, 2005)

VESTIMENTA	clo	m ² °C/W
Shorts	0,1	0,016
Traje tropical	0,3	0,047
Roupas leves de verão	0,5	0,078
Traje de trabalho em ambiente de trabalho	0,8	0,124
Traje de inverno em ambiente interno	1,0	0,155
Traje executivo reforçado	1,5	0,233
Traje de inverno para ambientes frios	3,0	0,465

³⁵ GIVONI, Baruch, 1976. **Man, climate and architecture**. 2ª ed., Londres : Applied Science Publishers Ltd.

³⁶ ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2005. **ASHRAE Handbook Fundamentals**, Atlanta. Table 7, page 8.8 (for clothing ensembles) and Table 8, page 8.9 (for garment values).

Variáveis Fisiológicas

Temperatura da Pele (Tsk): é uma variável fisiológica que influencia a condição de conforto térmico de uma pessoa. Sua variação ocorre de acordo com o tipo de atividade desempenhada pelo indivíduo, ou seja, varia de acordo com o metabolismo. Seu valor decresce com o aumento do metabolismo, devido à transpiração.

Taxa de Secreção de Suor (Etrsp): é uma variável fisiológica que influencia a condição de conforto térmico de uma pessoa. Sua variação, assim como a da temperatura da pele, ocorre de acordo com o tipo de atividade desempenhada pelo indivíduo, ou seja, varia de acordo com o metabolismo.

- **Voto Médio Previsto (PMV – *predicted mean vote*)**

Estudado e desenvolvido por Fanger³⁷, foi posteriormente normatizado pela ISO 7730³⁸, 1994. Este índice prediz a resposta média de um grande grupo de pessoas a respeito de sua sensação térmica em um ambiente, através de uma escala de sensação térmica de 7 pontos.

Fanger desenvolveu o modelo baseado em pesquisas desenvolvidas por ele na Universidade do Estado de Kansas e na Universidade Técnica da Dinamarca. O autor utilizou uma escala térmica de sensações aplicada em numerosos experimentos envolvendo pessoas em vários tipos de ambientes. Fanger correlacionou as respostas das pessoas em relação às variáveis que influenciam a condição de conforto térmico, como as perdas de calor por convecção e por radiação, pela difusão do vapor de água pela pele, pela

³⁷ FANGER, P. O, 1972. **Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering**. New York: McGraw – Hill.

³⁸ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1994. **ISO 7730: Moderate Thermal Environments – determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort**. Geneva, Switzerland.

evaporação da transpiração vinda da pele, pela respiração, e pela transferência de calor da pele até a superfícies das roupas (EnergyPlus³⁹, 2008).

O PMV está relacionado com o balanço energético entre as perdas de calor do corpo, em um ambiente, e a dissipação de calor necessária para que se obtenha conforto durante a realização de determinada atividade (ASHRAE⁴⁰, 2001). Esta relação pode ser apresentada conforme a equação:

$$PMV = [0,303 \exp (-0,036M) + 0,028] L \quad (4)$$

Onde:

PMV; voto médio previsto [adimensional];

M; metabolismo [W/m²];

L; carga térmica no corpo [W/m²].

Para representação da percepção do ambiente térmico, o voto médio previsto utiliza uma escala de identificação de índices conforme tabela da ASHRAE⁴⁰, 2001, apresentada a seguir:

Tabela 2.3 – Escala de percepção do ambiente térmico.

(Fonte: ASHRAE, Handbook of Fundamentals, 2001)

ÍNDICE (PMV)	DESCRIÇÃO
+3	Quente
+2	Morno
+1	Levemente morno
0	Neutro
-1	Levemente frio
-2	Frio
-3	Gelado

³⁹ EnergyPlus Manual, 2008. **Engineering Reference**, Version 2.2.0.023, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA.

⁴⁰ ASHRAE, 2001. **ASHRAE Fundamentals Handbook**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.

2.2 TERMORREGULAÇÃO HUMANA

A atividade metabólica da pessoa resulta na geração de calor, que deve ser dissipado de maneira controlada com o ambiente para manutenção da temperatura interna do corpo.

Segundo Szokolay⁴¹, 1980, o equilíbrio térmico existe se o somatório das perdas por radiação, convecção, condução, e evaporação for igual ao metabolismo basal e muscular. O autor cita exemplo em que, se a temperatura do ar for igual a 18°C e não existir contato do corpo com objetos frios, que representaria perdas por condução, a dissipação do calor se dará da seguinte forma: 45% por radiação, 30% por convecção e 25% devido à evaporação. Mas se este equilíbrio for alterado por fatores internos ou ambientais, o organismo deverá ativar os mecanismos termorreguladores.

Segundo Fanger, 1972, o aparelho termorregulador é fundamental para gerenciar a quantidade de perdas de calor para o meio circundante e manter a temperatura interna do corpo dentro dos valores aceitáveis.

Para obter essa regulação térmica, o corpo humano utiliza determinados mecanismos de trocas térmicas:

- **Perdas de calor pela respiração:** durante a respiração, o corpo humano inspira ar na temperatura ambiente e o expira próximo da saturação em uma temperatura menor do que a interna do corpo. Desta maneira pode ocorrer perda de calor sensível e latente por convecção do calor do fluido e evaporação do vapor de água exalado.
- **Perdas de calor sensível pela pele:** para que ocorram trocas sensíveis entre a pele e o ambiente, o calor deve atravessar a

⁴¹ SZOKOLAY, S.V., 1980. *Environmental Science Handbook: for architects and builders*. Lancaster, England: Pitman.

vestimenta. Ao ocorrer fluxo de calor entre a superfície da pele e a superfície da vestimenta, existe basicamente a condução, sendo que a convecção e a radiação se dão nos espaços de ar entre a pele e a vestimenta.

- **Perdas de calor latente pela pele:** o calor latente é dissipado através da energia consumida para realização da evaporação do suor sobre a pele. A intensidade dessa perda por evaporação de água varia de acordo com a área corpórea e a diferença de pressão de vapor de água entre a pele e o ambiente.

2.3 BALANÇO ENERGÉTICO

Segundo Koenigsberger et al.⁴², 1973, o calor é continuamente produzido pelo corpo, sendo que a maioria dos processos bioquímicos corporais são exotérmicos, como a conversão de energia em trabalho muscular. Todo o requerimento de energia pelo corpo é suprido pela alimentação, em processo conhecido por metabolismo. O total da produção de calor metabólico pode ser dividido em metabolismo basal e muscular, sendo que do total da energia produzida pelo corpo, apenas cerca de 20% é aproveitada, e os 80% restantes necessitam ser dissipados pelo organismo para o ambiente.

Ou seja, o corpo necessita realizar trocas térmicas com o ambiente para manter o equilíbrio de sua temperatura interna. Estas trocas ocorrem devido à energia metabólica gerada pelo organismo, que deve ser dissipada ou mantida para a manutenção da temperatura interna, e podem ser equacionadas no

⁴² KOENIGSBERGER, O.H., INGERSOLL, T.G., MAYHEW, A., SZOKOLAY, S.V., 1973. **Manual of Tropical Housing and Building**. Longman, New York.

balanço energético de uma pessoa. Segundo Beyer⁴³, 2005, o conforto térmico de um indivíduo depende diretamente de como ocorrem as trocas de calor com o ambiente, podendo ser equacionadas no balanço térmico⁴⁴ como:

$$Q = M - W_{\text{ext}} = Q_{\text{pel}} + Q_{\text{res}} + A = (C_o + R + E_{\text{trsp}} + E_{\text{dif}}) + (C_{\text{res}} + E_{\text{res}}) + (A_{\text{centr}} + A_{\text{pel}}) \quad (5)$$

Onde:

Q; calor líquido dissipado [W/m²];

M; taxa de produção de energia metabólica [W/m²];

W_{ext}; taxa de trabalho externo realizado [W/m²];

Q_{pel}; taxa total de calor dissipado pela pele [W/m²];

Q_{res}; taxa total de calor dissipado pela respiração [W/m²];

C_o + R; perdas de calor sensível pela pele por convecção e radiação [W/m²];

E_{trsp}; taxa de calor dissipado na evaporação da transpiração [W/m²];

E_{dif}; taxa de calor dissipado por difusão de água pela pele [W/m²];

C_{res}; taxa de perda de calor convectivo na respiração [W/m²];

E_{res}; taxa de perda de calor evaporativo na respiração [W/m²];

A_{centr}; taxa de calor armazenado no centro do corpo [W/m²];

A_{pel}; taxa de calor armazenado na pele [W/m²].

Corbella et al.⁴⁵, 2003, descreve algumas formas exemplificativas de perda ou de ganho de calor através de mecanismos de termorregulação humana, e que interferem diretamente no balanço energético. A energia dissipada por condução é influenciada pela temperatura das superfícies em

⁴³ BEYER, Paulo Otto, 2005. **Higiene do Trabalho: conforto térmico**. Departamento de Engenharia Mecânica, Porto Alegre, UFRGS.

⁴⁴ ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001. **Climatic Design Information. ASHRAE Handbook Fundamentals**, Atlanta.

⁴⁵ CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos, 2003. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável**. Rio de Janeiro: Ed. Revan.

contato com o corpo humano. Se a temperatura for menor, o corpo perderá calor para ela; mas se a temperatura da superfície for maior do que 35°C, esta passará calor para a pele, aumentando sua temperatura e a sensação de aquecimento. A energia dissipada por convecção é influenciada pela temperatura do ar em contato com o corpo humano. Se a temperatura do ar for menor, o corpo perderá calor para a atmosfera; mas se a temperatura do ar for maior do que 35°C, este passará calor para a pele, aumentando sua temperatura e sua sensação de aquecimento. A energia dissipada por radiação independe do contato. A pele emitirá radiação calorífica ou receberá radiação de superfícies emissoras próximas o suficiente para trocas térmicas. Para o caso da energia dissipada pela evaporação de água sobre a superfície da pele, se a transpiração for intensa, a camada de ar próxima da pele se satura rapidamente, a água não consegue evaporar e a pele fica molhada, sem condições de perder mais calor por evaporação; a rápida renovação desta camada de ar, feita pela ventilação, serve para colocar a pele novamente em condições de evaporar, sendo essa perda de calor responsável pela diminuição da temperatura da pele, o que dá uma sensação de conforto. Importante destacar que quando o ar que rodeia a pele tiver uma temperatura baixa, os poros se fecham, reduzindo ao mínimo o fluxo de água, para diminuir a perda de calor. Ainda assim, este mecanismo de perda sempre ocorre com a respiração ou durante a fala: junto com o ar expirado é exalada água em forma de vapor, que para evaporar retirou energia térmica da superfície interna dos pulmões.

2.4 ZONA DE CONFORTO

Olgay foi o primeiro autor a propor um procedimento sistemático para adaptar o projeto do edifício para as necessidades humanas e para as condições climáticas. Seu método está baseado em uma carta bioclimática que demonstra as zonas de conforto humano em relação à temperatura do ar ambiente, umidade do ar, temperatura média radiante, velocidade do vento, radiação solar e resfriamento evaporativo. Na carta, a temperatura de bulbo seco é a ordenada e a

umidade relativa é a abscissa. A zona de conforto está no centro, com zonas de conforto para inverno e verão demarcadas separadamente.

Porém, segundo Givoni⁴⁶, 1976, tal sistema é limitado em sua aplicabilidade, visto que a análise dos requerimentos fisiológicos está baseada no clima externo e não na expectativa climática do edifício estudado. O método é conveniente para aplicação em regiões úmidas, onde a ventilação é essencial durante o dia e existe pequena diferença entre as condições externas e internas. Porém, a aplicação em áreas quentes e secas, particularmente nos sub-trópicos, pode levar a conclusões equivocadas.

Givoni, 1976, por sua vez, como forma de definir uma escala ou faixa de conforto, através da comparação ou correlação de valores de temperatura de bulbo seco do ar e umidade relativa, desenvolveu um diagrama denominado *Building Bio-Climatic Chart* – BBCC. Em publicação posterior, Givoni, 1992, apresentou nova concepção para o diagrama bioclimático anteriormente proposto. Tal variação deve-se ao fato do autor passar a considerar informações relacionadas à aclimação dos indivíduos aos climas quentes e úmidos, para habitantes de países em desenvolvimento. Segundo Morello⁴⁷, 2005, nesta nova concepção, Givoni indica faixa de temperatura que varia de 18,0°C a 29,0°C, para condições de conforto térmico aceitáveis, considerando condições de baixa velocidade do ar (0,15m/s, para o inverno, e 0,25m/s para o verão). Indica também uma variação de umidade de 4g/kg a 15g/kg de conteúdo de vapor de água no inverno, e de 4g/kg a 17g/kg de conteúdo de vapor de água no verão, nunca ultrapassando a curva dos 80% de umidade relativa do ar.

⁴⁶ GIVONI, Baruch, 1976. **Man, climate and architecture**. 2ª ed., Londres : Applied Science Publishers Ltd..

⁴⁷ MORELLO, Alessandro, 2005. **Avaliação do Comportamento Térmico do Protótipo Habitacional Alvorada**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. Dissertação, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Silva⁴⁸, 1994, apresenta estudo onde utilizou *software* para o cálculo do PMV em habitações. Nessa avaliação, verificou que foi considerada aceitável pela maioria das pessoas uma faixa de temperatura que varia de 16,0°C até 28,0°C, considerando a faixa limite de aceitação do PMV de -1 até 1, que são os limites para caracterização de ambiente levemente frio e levemente morno, respectivamente. Neste estudo, a temperatura média radiante foi assumida como igual à temperatura de bulbo seco, o que caracteriza a temperatura de bulbo seco igual à temperatura operativa.

Para o estudo presente, será adotada a faixa de conforto proposta por Silva, tendo em vista a faixa de temperatura proposta e sua aplicabilidade indicada para climas quentes e úmidos, e para habitantes de países em desenvolvimento. Importante observar que Silva subdividiu as faixas de temperatura de conforto para o inverno, variando de 16,0°C a 23,0°C, e para o verão, variando de 23,0°C a 28,0°C. Porém, para a metodologia proposta neste trabalho, o parâmetro considerado para avaliação terá por base somente os limites de temperaturas internas. Assim, o critério básico para avaliação do desempenho térmico de edificações industriais ficará restrito aos limites de temperaturas entre 16,0°C e 28,0°C. Nessa avaliação, a verificação pode ser efetivada pela quantidade de horas por ano em que o ambiente interno apresenta temperaturas fora do intervalo entre 16,0°C a 28,0°C.

CONCLUSÃO

Esse capítulo apresentou definições de conforto térmico abordadas por diversos autores e pesquisadores do tema. O corpo humano, através do metabolismo, adquire energia, e a transforma em energia utilizada para

⁴⁸ SILVA, Heitor da Costa, 1994. **Window Design For Thermal Comfort in Domestic Buildings in Southern Brazil**. THE ARCHITECTURAL ASSOCIATION SCHOOL OF ARCHITECTURE, Graduate School, Environment and Energy Studies Programme, Londres.

atividades de trabalho e calor, que deve ser dissipado para manutenção da temperatura interna do organismo. A termorregulação humana propicia, através de mecanismos de controle de perdas de calor, a regulação do balanço energético do corpo, para manutenção do correto funcionamento do organismo. Dentre as variáveis que influenciam no conforto térmico, estão: as ambientais, as pessoais, e as fisiológicas. As principais variáveis que interferem na termo-regulação humana são as ambientais, caracterizadas por valores de temperatura e de umidade relativa do ar. As variáveis pessoais e fisiológicas, por sua vez, são características individuais. Cálculos que consideram a análise das referidas variáveis, como o PMV, determinam a sensação térmica provável do ser humano em ambientes com características físicas definidas.

Constata-se que uma das formas de verificação da aceitação de um público à qualidade térmica de um ambiente, é através da análise de faixas de variáveis físicas ambientais. Verificou-se que a abordagem do conforto térmico está ligada diretamente a permanência do ambiente dentro de uma faixa de temperaturas aceitáveis. A partir da constatação e da análise de estudos sobre zonas de conforto, definiu-se uma faixa de temperaturas de bulbo seco que caracterizará, para este estudo, a zona de conforto para as simulações. A zona proposta está baseada em estudos de Silva⁴⁹, 1994, que determinou a faixa de temperatura com base em cálculos do PMV.

A partir da determinação da faixa de conforto a ser estudada, permite-se, para dar seqüência à metodologia proposta, a criação de um modelo computacional representativo da tipologia industrial. No capítulo seguinte aborda-se a metodologia de trabalho e a criação desse modelo.

⁴⁹ SILVA, Heitor da Costa, 1994. **Window Design For Thermal Comfort in Domestic Buildings in Southern Brazil**. THE ARCHITECTURAL ASSOCIATION SCHOOL OF ARCHITECTURE, Graduate School, Environment and Energy Studies Programme, Londres.

3. METODOLOGIA

Esse estudo avalia um modelo de edificação base e suas variações paramétricas, para verificação do desempenho termoenergético, através de quatro índices ou indicadores. O primeiro índice é o número de horas de desconforto geradas pelo frio, baseado em uma faixa de temperaturas aceitáveis. O segundo índice é o número de horas de desconforto geradas pelo calor, baseado na mesma faixa de temperaturas aceitáveis. O terceiro índice é o somatório total de horas de desconforto no ano simulado. O quarto índice é a porcentagem de horas de desconforto no ano. Para obtenção dos

resultados, estudou-se um modelo termoenergético computacional, situado no contexto climático da região de Porto Alegre. O programa de simulação térmica e energética *EnergyPlus*⁵⁰, versão 2.2.0.023, foi utilizado para as variações paramétricas, cálculo das horas de desconforto e análise qualitativa do consumo energético.

Após simular um modelo computacional base, são realizadas variações seqüenciais dos materiais construtivos componentes da envoltória da edificação, bem como dos materiais isolantes térmicos e das cores das superfícies externas.

De posse dos resultados das simulações realizadas, dispostos nos quatro índices utilizados, são realizadas as comparações dos valores, e são verificados quais materiais obtiveram maior desempenho. De posse da ordem de desempenho dos materiais, obtida através da verificação dos valores dos índices, são analisadas as características termofísicas dos materiais que interferiram na melhora do desempenho dos modelos simulados.

Por fim, de posse das características termofísicas dos materiais que interferiram no melhor desempenho, propôs-se uma *planilha de avaliação do desempenho térmico e energético de edificações industriais*. A referida planilha, apresentada no Anexo 1, permite o cálculo do Fator de Desempenho. O Fator de Desempenho trata-se de um índice criado para qualificar a escolha dos materiais opacos que compõem o envoltório de uma edificação de uso industrial.

- **Etapas**

A meta proposta pelo trabalho é estudar um modelo de edificação industrial, e modificações de alguns parâmetros físicos: materiais

⁵⁰Programa Computacional de Simulação *EnergyPlus*, versão 2.2.0.023. Disponível em: <www.eere.energy.gov/buildings/energyplus>.

componentes dos elementos verticais, materiais componentes da cobertura, materiais isolantes térmicos, e cores das superfícies externas.

Com o programa computacional *EnergyPlus*, propõe-se realizar simulações das condições térmicas de um modelo de edificação proposto, obtendo valores numéricos de variáveis físicas e ambientais. A partir desses dados, representativos da situação higrotérmica do ambiente, propõe-se simular modificações construtivas que podem alterar os valores simulados.

Com uma listagem de parâmetros físicos a serem simulados, pretende-se utilizar a técnica de *retrofit*, ou seja: testar, modificar e testar novamente. Para este trabalho, as atividades foram ordenadas da seguinte maneira:

- Identificação de variáveis físicas e ambientais para avaliação do conforto térmico humano e do desempenho termoenergético de edificações.
- Determinação de uma faixa de temperaturas aceitáveis para caracterização do conforto.
- Seleção do software computacional.
- Desenvolvimento de modelo base para simulação.
- Determinação de índices de avaliação de conforto.
- Determinação dos parâmetros físicos a alterar no modelo base proposto.
- Simulação parametrizada das variáveis propostas.
- Avaliação dos resultados.

A partir desta seqüência de atividades, é pretendido obter resultados da modificação do ambiente térmico estudado, com a meta de organizar esses dados para consulta profissional e acadêmica.

Como forma de determinar a metodologia de montagem do modelo base de simulação, os subitens a seguir apresentam o programa

computacional pesquisado e selecionado para realização das simulações termoenergéticas propostas, e a forma de montagem do modelo computacional, utilizado nas simulações deste estudo. São analisadas as características de funcionamento do *software*, como forma de verificar os parâmetros necessários para seu abastecimento e criação do modelo proposto. Por fim, são descritas e definidas as características técnicas geométricas, de ocupação, climáticas, e de infiltração de ar do modelo, necessárias para realização das simulações.

3.1 PROGRAMA

Como forma de avaliar ambientes laborais e verificar suas características higrotérmicas, a fim de realizar a aplicação de parâmetros de avaliação de conforto dos usuários, pretende-se utilizar o programa computacional *Energyplus*⁵¹. Tal escolha deve-se ao fato de que o *software* possui a capacidade de simular ambientes, através da modelagem em 3 dimensões de edifícios, e fornecer dados como temperaturas e níveis de umidade internos e externos, bem como parâmetros de avaliação de conforto como o próprio PMV, já referido. Em especial, e necessário para esse estudo, o software permite a criação de materiais construtivos quaisquer, através de planilha de abastecimento das características termofísicas de cada elemento. Ou seja, o software não restringe o usuário a materiais construtivos pré-definidos, e permite a análise precisa dos índices e coeficientes utilizados.

Para simular as condições térmicas do modelo proposto, foi utilizada a versão 2.2.0.023 do programa, lançada em 20 de abril de 2008. Este

⁵¹ Programa computacional de simulação termoenergética de edificações que teve seu desenvolvimento iniciado em 1996, e pode ser adquirido gratuitamente no sítio do Departamento Norte Americano de Energia: <www.eere.energy.gov/buildings/energyplus>.

Acesso em: 10 de abril 2008.

software é disponibilizado pelo Departamento de Energia Americano, gratuitamente, na rede mundial de computadores.

O *Energyplus* é um programa computacional de simulação termoenergética de edificações que teve seu desenvolvimento iniciado em 1996. Porém, sua criação foi realizada sobre a plataforma de dois outros programas: *BLAST* (*Building Loads Analysis and Thermodynamics*) e *DOE-2* (*Department of Energy*), que foram desenvolvidos a partir do final da década de 1970 através de investimentos feitos em universidades pelo Departamento de Defesa dos EUA, no caso do *BLAST*, e pelo Departamento de Energia dos EUA, no caso do *DOE-2* [Crawley et al.⁵², 2001].

Segundo o autor, o objetivo do *software* é permitir o desenvolvimento de modelos para análise em uma plataforma de computadores pessoais, através da técnica modulada de análise de balanço de calor. Este programa trabalha com um sistema de alimentação de dados através de zonas, permitindo o cálculo de transferência de calor, sistemas de ventilação e sistemas de ar-condicionado. É possível inserir dados básicos como características do ambiente externo, bem como dados específicos como infiltração de ar.

Baseando-se na descrição feita pelo usuário a partir da perspectiva da constituição física da edificação e de seus sistemas mecânicos associados, o *EnergyPlus* calcula as cargas térmicas de aquecimento e de resfriamento necessárias para manter um adequado controle térmico, as condições por todo o sistema secundário de ar-condicionado, e o consumo energético dos equipamentos da planta primária (*Getting Started with EnergyPlus - Manual*⁵³, 2008). A descrição total da edificação a ser simulada se encontra em arquivos de

⁵² CRAWLEY, D.B., Lawrie, L.K., Winkelmann, F.C., Buhl, W.F., Huang, Y.J., Pedersen, C.O., Strand, R.K., Liesen, R.J., Fisher, D.E., Witte, M.J., Glazer, J., 2001. **EnergyPlus: Creating a New-Generation Building Energy Simulation Program**. Energy and Buildings, vol.33.

⁵³ EnergyPlus Manual, 2008. **Getting Started with EnergyPlus – Everything You Need to Know about Running EnergyPlus**. Version 2.2.0.023, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA.

extensão *IDF (Input Data File)*, próprios do *EnergyPlus*. Esses arquivos podem ser modificados em qualquer programa editor de textos ou no próprio editor *IDF* do programa simulador. A execução da simulação ocorre através de uma interface “lançadora” (*launcher*), que contém as instruções para execução das rotinas de cálculo do programa.

O manuseio e a verificação de parâmetros, comandos, e padrões de funcionamento do *Energyplus* podem ser analisados através da verificação de seus manuais internos, fornecidos em arquivos PDF junto ao programa. Tais manuais podem ser obtidos gratuitamente, assim como o *software* completo, no sítio do Departamento Norte Americano de Energia. Os principais manuais consultados são os seguintes:

- Manual *Getting Started with EnergyPlus*⁵⁴, 2008, que apresenta uma introdução ao uso do software, descrevendo seu funcionamento de forma resumida, e fornecendo tutoriais de uso e montagem de simulações iniciais, bem como de verificação de resultados.
- Manual *Input Output Reference*⁵⁵, 2008, que demonstra todos os parâmetros de simulação disponibilizados pelo programa, apresentando sua forma de seleção e descrevendo como interpretar os resultados.
- Manual *Engineering Reference*⁵⁶, 2008, que apresenta a forma de cálculo utilizada pelo programa *Energyplus* para cada parâmetro de simulação disponibilizado,

⁵⁴ EnergyPlus Manual, 2008. **Getting Started with EnergyPlus – Everything You Need to Know about Running EnergyPlus**, Version 2.2.0.023, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA.

⁵⁵ EnergyPlus Manual, 2008. **Input Output Reference – The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output**, Version 2.2.0.023, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA.

⁵⁶ EnergyPlus Manual, 2008. **Engineering Reference – The Reference to EnergyPlus Calculations**, Version 2.2.0.023, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA.

descrevendo fórmulas de engenharia utilizadas, as referências bibliográficas verificadas para aplicação dos cálculos, bem como a interpretação do software para os parâmetros numéricos inseridos pelo usuário durante uma simulação.

- **Características do Programa**

Segue abaixo a seqüência de algumas características do *EnergyPlus* (*Getting Started with EnergyPlus - Manual*⁵⁷, 2008):

- O software permite a criação de materiais construtivos, através de planilha de abastecimento das características termofísicas de cada elemento, como dados de condutividade, absorvância, espessura, calor específico, e densidade.
- Solução simultânea e integrada entre a resposta do edifício e os sistemas primários e secundários.
- Intervalos de tempo definíveis pelo usuário para interação entre as zonas térmicas e o ambiente.
- Arquivo climático e arquivos de entrada e saída baseados no formato *ASCII*, que inclui condições ambientais horárias ou sub-horárias e relatórios definíveis pelo usuário.
- Técnica de solução baseada no balanço de energia para cargas térmicas prediais, que permite o cálculo simultâneo dos efeitos radiante e convectivo nas superfícies internas e externas, durante cada intervalo de tempo.

⁵⁷ EnergyPlus Manual, 2008. **Getting Started with EnergyPlus – Everything You Need to Know about Running EnergyPlus.** Version 2.2.0.023, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA.

- Condução de calor transiente através dos elementos da edificação (paredes, tetos, piso, etc) usando as funções de transferência por condução.
- Modelo combinado de transferência de calor e de massa que considera, para a absorção e eliminação de umidade, uma integração camada por camada dentro das funções de transferência por condução, ou um modelo *EMPD (Effective Moisture Penetration Depth)*.
- Modelos de conforto térmico (Fanger, Pierce e KSU) baseados na atividade das pessoas, na temperatura de bulbo seco interna, na umidade, etc.
- Cálculos avançados de interfaces transparentes ou translúcidas, como janelas, incluindo controle de cortinas, balanços de calor camada por camada nos vidros das janelas, e uma biblioteca de performance para muitos tipos de vidros disponíveis comercialmente.
- Controle da luz do dia, incluindo cálculos da iluminância interior, simulação e controle do brilho, das lâmpadas e do efeito da redução da iluminação artificial nas cargas térmicas de aquecimento e resfriamento.
- Cálculo da poluição atmosférica que predizem os níveis de CO, CO₂, SO₂ e NO₂.

3.2 MODELO

Esse subitem apresenta e define as características técnicas geométricas, de ocupação, climáticas, e de infiltração de ar do modelo, necessárias para realização das simulações. Com a descrição das características apresentadas, é possível abastecer o *software* utilizado, de forma a gerar o modelo computacional utilizado nesse estudo.

- **Características Geográficas do Modelo**

Localização

O estudo propõe a análise de um modelo computacional representativo da tipologia industrial na região climática da cidade de Porto Alegre, localizada no estado do Rio Grande do Sul, extremo sul brasileiro. Para fins de cálculo, a localização geográfica utilizada é latitude 30° sul, longitude 51,18° oeste e altitude de 3 metros em relação ao nível do mar.

Este posicionamento geográfico enquadra a cidade em um clima temperado úmido, com variações consideráveis de temperatura e umidade ao longo das estações do ano e amplitude de temperatura considerada de 9,5°C ao longo das horas do dia⁵⁸.

Sítio

O *software Energyplus* permite, através do menu *terrain*, que seja escolhido qual o tipo de tecido urbano ou rural que envolve o terreno trabalhado. Dentre as opções existentes estão:

- *Country*, caracterizada por regiões rurais planas e abertas;
- *Suburbs*, caracterizada por regiões rurais arborizadas, suburbanas ou com tecido urbano rugoso;
- *City*, caracterizada por pequenas cidades, bordas ou limites de cidades e centro de grandes cidades;

⁵⁸ ASHRAE, 2001. **Chapter 8 – Physiological principles and thermal comfort**, ASHRAE Fundamentals Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.

- *Ocean*, caracterizada por regiões litorâneas ou a margem de rios ou lagos em regiões de baixa altitude.

A diferenciação analisada pelo programa computacional está em como os ventos incidem nas edificações de acordo com o entorno construído ou natural, bem como a altura do edifício.

Em função das opções existentes no *software*, propõe-se simular um modelo de edificação no entorno classificado como *suburbs*. Tal escolha deve-se ao fato de que as características dessa opção se enquadram ao tecido urbano industrial da cidade de Porto Alegre.

Distribuição Solar

A determinação de como a radiação solar direta e as refletâncias das radiações vindas das superfícies exteriores atingem a edificação e penetram na zona térmica simulada, é um fator que altera a carga térmica absorvida pelo modelo.

○ *software* utilizado permite, através do campo *solar distribution*, enquadrar como a radiação solar se distribui no envoltório da edificação, selecionando uma das seguintes opções:

- *Minimal shadowing*, caracterizada por não existir sombra exterior, exceto a proporcionada pelas reentrâncias das portas e janelas. Toda radiação solar que entra na zona térmica é assumida como absorvida pelo plano do chão. Todas as reflexões vindas do chão são absorvidas uniformemente como radiação difusa pelos planos internos do edifício. Após, é aplicado o cálculo de balanço de calor para todas as superfícies da zona térmica.
- *Full exterior* e *Full exterior with reflections*, caracterizados pela computação dos efeitos de todas as sombras exteriores

determinadas por superfícies anexas ao edifício. O tratamento da radiação solar na zona térmica, bem como o cálculo do balanço de calor é realizado como na opção *minimal shadowing*.

- *Full interior and exterior* e *Full interior and exterior with reflections*, caracterizados pela mesma descrição da opção *Full exterior* e *Full exterior with reflections*, exceto por assumir que a radiação que entra na edificação não atinge só o chão, mas todas as superfícies internas, pela projeção dos raios solares através das janelas. Se esta opção é utilizada deve-se ter certeza de que a zona térmica é um espaço completamente fechado e convexo, ou seja, com volumetria em forma de paralelepípedo, não possuindo volumes anexados.

A diferenciação analisada pelo programa computacional está em como os planos internos e externos, formadores da edificação, absorvem a energia térmica solar de maneira direta ou por reflexão.

Em função das opções existentes no *software*, propõe-se simular um modelo de edificação classificado como *Full exterior*. Tal escolha deve-se ao fato de que as características dessa opção se enquadram ao comportamento das tipologias industriais, levando em consideração a influência das sombras exteriores e a reduzida área de aberturas com vidro.

Arquivo Climático

Para realização de uma simulação térmica computadorizada, é imprescindível a informação ao *software* utilizado das características climáticas do sítio de projeto.

Essas características ambientais de cidades ou regiões podem estar descritas em arquivos climáticos, através de dados estatísticos medidos em

estações meteorológicas, ou em dias de projeto, que informam as características climáticas de um dia típico do ano. Estes dados são coletados e armazenados em planilhas digitais de forma horária ao longo dos trezentos e sessenta e cinco dias do ano, sendo passíveis de consulta por softwares específicos de simulação.

Programas como o *Energyplus* reconhecerão nestas planilhas dados como temperatura de bulbo seco do ar (Tbs), temperatura de bulbo úmido (Tbu), umidade relativa (Ur), pressão de vapor (Pv), radiação solar direta e difusa (R), amplitude térmica (ΔT), dentre outros. Pereira⁵⁹, 2005, apresenta definição da composição de um arquivo climático:

“A composição de um arquivo climático começa com a medição, em uma localidade, de uma série de dados meteorológicos horários por um longo período de tempo (10 anos ou mais). No caso de se medir durante 10 anos, por exemplo, haverá 120 meses medidos, ou seja, 10 janeiros, 10 fevereiros, e assim sucessivamente até dezembro. A partir de um tratamento estatístico dos dados, escolhem-se um a um os meses anuais que melhor representam o clima da localidade medida. A compilação destes doze meses mais representativos é o arquivo climático.”

Para simulação dos resultados, dos índices de conforto propostos, e das condições ambientais do modelo ao longo de um ano típico, propõe-se utilizar o arquivo climático *PortoAlegreTRY1954_05CSV.epw*, obtido gratuitamente junto ao LABEEE⁶⁰.

⁵⁹ PEREIRA, Fábbyo L.. **Determinação Computacional da Influência de Parâmetros Físicos no Comportamento Termoenergético de uma Edificação**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. Dissertação, Escola de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

⁶⁰ **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações** da Universidade Federal de Santa Catarina. Os arquivos climáticos estão disponíveis em:
<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/downloadaclim.html>

Período de Simulação

A variável física que se pretende simular é a temperatura de bulbo seco, para aplicação da faixa de conforto proposta. Para seleção da variável, deve ser informado ao programa computacional o período de simulação a ser utilizado, para que o mesmo consulte os dados necessários existentes no arquivo climático fornecido.

Considera-se para esta pesquisa o período de primeiro de janeiro a trinta e um de dezembro do ano típico estatístico descrito no arquivo climático utilizado, sendo levados em consideração nesta simulação o não funcionamento comercial do edifício em dias de feriado e a utilização do horário de verão, conforme legislação brasileira vigente.

- **Características Físicas do Modelo**

Zonas Térmicas

Zona é um conceito térmico e não geométrico. “Uma zona é um volume de ar a uma temperatura uniforme”⁶¹. Desta forma, a divisão da edificação em zonas permite a obtenção de resultados diferentes para cada setor de um edifício que possua características térmicas diferentes. Isto possibilita, por exemplo, identificar setores da edificação que demandam uma maior ou menor potência de condicionamento de ar, o que é impossível de ser obtido caso haja apenas uma zona térmica.

Para este estudo, será levada em consideração a simulação de um ambiente de trabalho industrial. Entende-se como uma área típica de trabalho

⁶¹ EnergyPlus Manual, 2008. **Getting Started with EnergyPlus – Everything You Need to Know about Running EnergyPlus**, Version 2.2.0.023, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA.

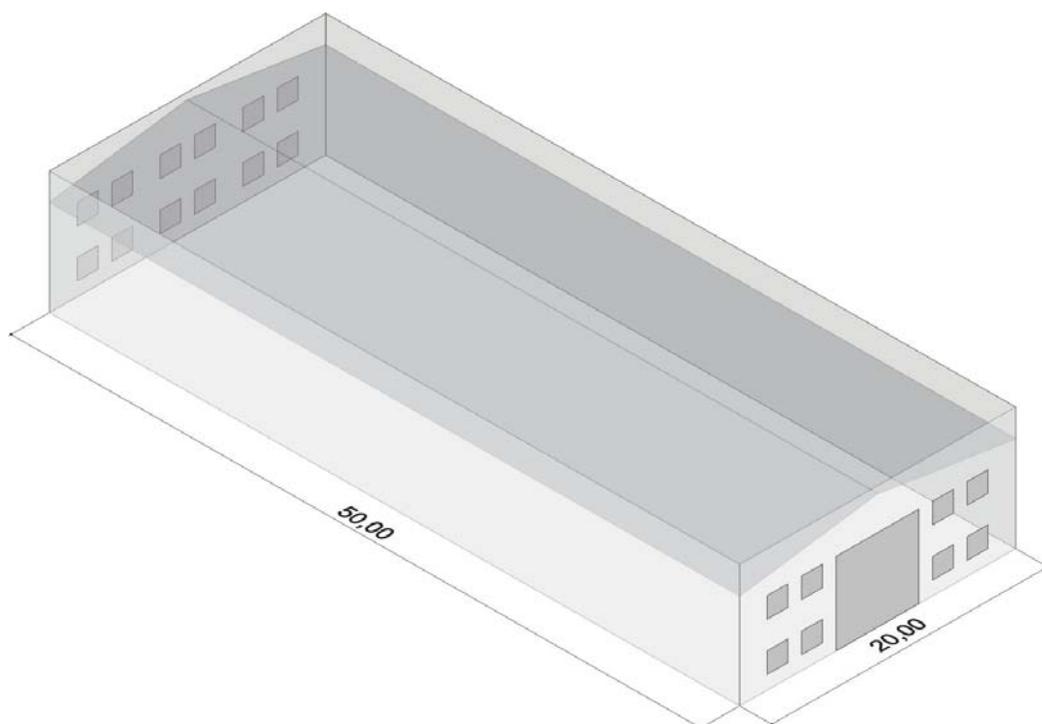
nessa tipologia um ambiente de grandes dimensões e sem divisão física entre os postos de trabalho. Portanto, tratando-se de um local sem obstruções e composto de uma massa de ar homogênea, será definida uma zona térmica para cálculo.

Modelo Geométrico

A geometria do modelo propõe reproduzir a tipologia característica de um pavilhão industrial encontrado na região climática de Porto Alegre. Sua forma é composta por um prisma retangular com fechamento superior por cobertura com planos inclinados.

Suas dimensões de base são 20m de largura por 50m de profundidade. A altura do volume varia de 7m na parte mais baixa até 8,5m no trecho da cumeeira, gerando um volume de ar de 7.750,00m³. As aberturas foram dispostas nas faces menores do prisma, considerando a possibilidade do pavilhão localizar-se nas divisas do terreno. A figura 3.1 apresenta a visualização do modelo proposto.

Figura 3.1 – Geometria do modelo de edificação industrial proposto.



- **Características de Ocupação do Modelo**

Cotidiano de Ocupação

O organismo humano, através do metabolismo, está constantemente adquirindo energia e convergindo-a em energia mecânica, ou trabalho, e energia térmica. Conforme descrito no capítulo 2, parte da energia térmica produzida necessita ser dissipada do organismo, através de mecanismos termorreguladores como a respiração e a transpiração, para manutenção da temperatura interna do corpo. Portanto, o homem está constantemente gerando calor para a zona térmica em que o mesmo permanece, podendo alterá-la sensivelmente.

Em função disso, a quantidade de pessoas e o tempo de permanência das mesmas no ambiente simulado devem ser informados ao programa computacional através de um "*schedule*", ou seja, uma tabela com o cotidiano de ocupação dos funcionários da empresa para a área calculada.

Segundo Neufert⁶², 2006, a ocupação média de um ambiente industrial com trabalho de produção e transformação de peças em madeira é de uma pessoa para cada 70m². Será assumida essa utilização para o modelo de edificação industrial proposto, o que gerará uma ocupação de quinze funcionários para a área de 1000m² proposta para o modelo.

Além disso, propõe-se uma ocupação industrial convencional, com o trabalho no ambiente se desenvolvendo das 8 às 18 horas, com pausa de 2 horas para o almoço das 12 às 14 horas. Não existem turnos durante a madrugada. Neste período a empresa permanece fechada com todos os aparelhos elétricos desligados.

⁶² NEUFERT, Ernst, 1999. **Arte de Proyectar em Arquitectura**. Barcelona: Editora Gustavo Gili, SA, 14ª Edição.

Atividade

Conforme descrito anteriormente, o homem está constantemente dissipando calor para a atmosfera, e essa energia térmica liberada varia de acordo com a atividade física desenvolvida, sendo denominada Taxa Metabólica. Portanto, essa característica termofísica será informada ao software para que seja possível quantificar a emissão de calor existente no ambiente em função da atividade humana.

O item 2.1 apresenta tabela de consulta própria do *software* utilizado que define valores medidos de taxa metabólica, a qual se baseará esta pesquisa. Considerando que os funcionários realizariam atividades desgastantes, ou de grande esforço físico, como corte de madeiras e transporte de peças pesadas, foi assumido, segundo Manual do *EnergyPlus*⁶³, 2008, uma taxa de atividade metabólica (M) de 190 W por pessoa, representado atividade intensa ou trabalho mecânico pesado.

Vestimenta

Conforme definição, a vestimenta funciona como um isolante térmico entre a pele e o meio ambiente, atuando como barreira na transferência de calor por convecção e por irradiação. Em função da característica isolante dos tecidos, sua utilização interfere no conforto térmico do usuário da edificação, e este dado deve ser informado ao programa computacional em unidades de resistência térmica.

Para o estudo em questão, as vestimentas típicas consideradas para verão são de roupas leves de verão, com uma resistência térmica média de 0,5clo ou 0,078 m²C/W e, para inverno, são de trajes de inverno em ambiente

⁶³ EnergyPlus Manual, 2008. **Input Output Reference**, Version 2.2.0.023, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA.

interno com uma resistência térmica média de 1,0clo ou 0,155 m²C/W, segundo ASHRAE⁶⁴, 2005, conforme tabela 2.2.

Para diferenciação das estações quentes e frias do ano, o que determinará a utilização de cada vestimenta proposta, foi considerado o início do verão no dia 1º de janeiro e seu término no dia 22 de junho. O inverno teve seu início considerado no dia 23 de junho e término no dia 22 de setembro. A volta dos períodos quentes foi considerada no dia 23 de setembro sendo finalizada no término do ano, no dia 31 de dezembro.

- **Características de Infiltração e Geração Artificial de Calor**

Infiltração de Ar

○ *EnergyPlus* entende a infiltração como uma vazão de ar vinda do ambiente exterior diretamente para a zona térmica. Essa vazão é, geralmente, causada pela abertura ou fechamento de janelas e portas ou até por pequenas frestas no envoltório do edifício. Como o ar vindo do exterior possui diferentes características higrotérmicas em relação ao interior da edificação, este é um fator que interfere diretamente no ambiente térmico simulado e necessita ser informado ao *software*.

○ ar que entra no ambiente por meio de infiltração é assumido estar imediatamente misturado com o ar da zona térmica. A determinação da quantidade de ar infiltrado é complexa e possui resultado incerto. Nos procedimentos mais comuns, a quantidade de infiltração é convertida para um número de trocas de ar por hora (*ACH – air changes hate*) e incluído no balanço de

⁶⁴ ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2005. **ASHRAE Handbook Fundamentals**, Atlanta. Table 7, page 8.8 (for clothing ensembles) and Table 8, page 8.9 (for garment values).

calor da zona de ar utilizando a temperatura externa na hora corrente (*EnergyPlus Engineering Reference*⁶⁵, 2008).

Desta forma, após informado ao software o número de trocas de ar desejado, é possível controlar a abertura e o fechamento de janelas e portas por meio de um *schedule*, que descreverá a fração do número de trocas de ar que ocorre na edificação a cada momento.

Segundo Baker⁶⁶, 1992, a necessidade de infiltração varia de acordo com as estações climáticas. Durante o verão, o conforto térmico do ocupante pode ser qualificado pelo aumento da taxa de troca de ar, para promover o resfriamento fisiológico. Da mesma forma, o aumento da taxa de troca de ar pode ser utilizado para promover o resfriamento da estrutura da edificação, o que afetará diretamente a temperatura interna do ambiente. Já no inverno, o controle da taxa de troca de ar pode reduzir a perda de calor do ambiente ocupado para o exterior. Liddament⁶⁷, 1986, descreve três intervalos ou níveis de taxas de troca de ar (ACH), para três diferentes objetivos: de 0,5 a 2,0 ACH, para manutenção da qualidade do ar, através da renovação do ar saturado; de 2,0 a 20,0 ACH, para obtenção do resfriamento da estrutura, através da redução da emissão de radiação pelas superfícies internas do envoltório; e de 20,0 a 100,0 ACH, para obtenção do resfriamento fisiológico humano, através da perda de calor por evaporação e condução. Verifica-se que para a obtenção do resfriamento fisiológico, a velocidade do ar é o principal fator para determinar a sua vazão. Velocidades do ar entre 0,5m/s e 1,5m/s são os valores aceitáveis para atingir o referido objetivo, para atividades físicas normais. Para atividades físicas com taxa metabólica elevada,

⁶⁵ EnergyPlus Manual, 2008. **Engineering Reference – The Reference to EnergyPlus Calculations**, Version 2.2.0.023, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA.

⁶⁶ BAKER, N. 1992. **Strategy for Natural Ventilation**. The Martin Centre, Department of Architecture, University of Cambridge. Cambridge. UK.

⁶⁷ LIDDAMENT, M. 1986. **Air Infiltration Calculation Techniques - An Application Guide**. Air Infiltration Centre.

como trabalhos de produção industrial, aceitam-se valores de velocidade do ar mais elevados.

Para a ventilação natural, neste estudo, foi considerada, para períodos de verão e temperaturas amenas, a abertura total das janelas. Este dado é informado ao software em seu *schedule* de cotidiano de abertura das janelas pelo coeficiente de multiplicação da vazão de infiltração de ar de 10 ACH. Para períodos de inverno ou de temperaturas refrescantes, foi considerada uma abertura parcial das janelas, representando a décima fração da ventilação total (um décimo da área aberta), ou seja, foi informado coeficiente de multiplicação da vazão de infiltração de ar de 1 ACH. Tendo em vista a ocupação industrial do modelo proposto, e a utilização da edificação apenas em horários comerciais, está sendo desconsiderada a existência de infiltrações de ar nos períodos noturnos. Os valores propostos para taxas de troca de ar foram obtidos a partir das médias dos intervalos de valores descritos por Liddament. Complementarmente, como estudo de caso, será realizada simulação do modelo proposto com a taxa de 60 ACH, para o verão, como forma de verificar a influência de valores de infiltração elevados no conforto térmico dos usuários. Tal valor proposto está baseado na média da faixa de ACH descrita por Liddament, para obtenção do resfriamento fisiológico humano.

A equação básica utilizada para o cálculo da infiltração no *software*, é:

$$\text{Infiltração} = (I_{design})(F_{schedule})[A+B |(T_{zone} - T_{odb})| + C(WindSpd) + D(WindSpd^2)] \quad (6)$$

Onde:

I_{design} ; taxa de vazão volumétrica de projeto [m^3/s];

$F_{schedule}$; fator de multiplicação do *schedule* [];

A; termo coeficiente constante [];

B; termo coeficiente de temperatura [];

C; termo coeficiente de velocidade [];

D ; termo coeficiente do quadrado da velocidade [];

T_{zone} ; temperatura da zona [°C];

T_{odbi} ; temperatura externa [°C];

$WindSpd$; velocidade do vento [m/s].

Geração Interna de Calor por Equipamentos Elétricos

Além da geração de calor no interior do edifício pelo metabolismo dos funcionários em atividade, é necessária a informação ao *software* da taxa de energia calorífica gerada por equipamentos elétricos e pelo sistema de iluminação artificial em unidade de potência. O calor liberado por equipamentos elétricos, bem como por motores e sistemas mecânicos pode alterar sensivelmente o ambiente térmico simulado.

Tendo em vista a possibilidade de realizar avaliação precisa da potência de equipamentos requeridos no modelo proposto, visto que foi definido o fim produtivo industrial do modelo, será adotada para este estudo a potência elétrica real verificada em indústria localizada na Avenida das Indústrias, no município de Porto Alegre, contexto climático estudado. Ou seja, através de levantamento físico dos equipamentos elétricos existentes em indústria localizada na região climática de Porto Alegre, que possui utilização idêntica aos fins de produção propostos ao modelo, de produção de artigos em madeira ou marcenaria, verificou-se a potência elétrica a ser informada ao *software*. No referido levantamento, foi calculado um total de 27.703 W para equipamentos elétricos, e 4370 W para o sistema de iluminação artificial. Estes dados são especificados na Tabela 3.1.

Considerando que a utilização dos equipamentos elétricos industriais não ocorre de forma contínua, por todos os funcionários, ao longo de toda a jornada, se assumirá, para fins de simulação, o acionamento máximo de 50% do maquinário. Será considerado, também, o dobro da potência elétrica

verificada em levantamento, tendo em vista que a área do modelo proposto é duas vezes à área da edificação existente levantada.

Tabela 3.1 – Descrição de equipamentos elétricos.

MARCENARIA E MONTAGEM			
Equipamento	Potência	Quantidade	Potência total
serra de mesa	9A(220V)	01	1980W
bomba de sucção - serra de mesa	1500W	01	1500W
ventilador industrial de parede	200W	02	400W
parafusadeira	500W	06	3000W
topia	1500W	02	3000W
lixadeira de mão	600W	01	600W
telefone	0,5A(110V)	01	55W
esmerilhadeira	1500W	01	1500W
furadeira de bancada	1500W	01	1500W
lixadeira de cinta	750W	01	750W
iluminação de emergência	18W	03	54W
serra tico-tico	480W	02	960W
plaina elétrica	600W	01	600W
aspirador de pó	6,2A(220V)	01	1364W
furadeira	550W	02	1100W
serra circular	1200W	01	1200W
soprador térmico	1200W	01	1200W
exaustor de telhado	400W	02	800W
lâmpada Philips HPS	400W	08	3200W
Potência TOTAL			24763W
Cabine de Pintura			
Equipamento	Potência	Quantidade	Potência total
exaustor de cabine de pintura	2200W	01	2200W
lâmpada fluorescente	110W	04	440W
lâmpada fluorescente de apoio	40W	01	40W
reator eletrônico	0,5A(110V)	02	110W
lâmpada Philips MHN-TD	150W	02	300W
Potência TOTAL			3090W

Para descrição da rotina de utilização diária dos equipamentos elétricos e do sistema de iluminação artificial foram utilizadas as Tabelas 3.2 e 3.3.

Tabela 3.2 – Rotina de utilização de equipamentos elétricos.

PERÍODO	POTÊNCIA NOS DIAS ÚTEIS [%]	POTÊNCIA NOS FINAIS DE SEMANA [%]
0:00 às 8:00	0	0
8:00 às 18:00	50	0
18:00 às 24:00	0	0

Tabela 3.3 – Rotina de utilização do sistema de iluminação artificial.

PERÍODO	POTÊNCIA NOS DIAS ÚTEIS [%]	POTÊNCIA NOS FINAIS DE SEMANA [%]
0:00 às 8:00	0	0
8:00 às 18:00	100	0
18:00 às 24:00	0	0

- **Resumo dos Parâmetros Propostos**

A partir dos dados descritos, é possível a visualização do cotidiano da empresa nas Tabelas 3.4 e 3.5:

Tabela 3.4 – Cotidiano anual.

PERÍODO	ESTAÇÃO	VESTIMENTA	RESISTÊNCIA	INFILTRAÇÃO
01/01 – 22/06	Verão	roupas leves de verão	0,5clo	10,0 ACH
23/06 – 22/09	Inverno	trajes de inverno em ambiente interno	1,0clo	1,0 ACH
22/09 – 31/12	Verão	roupas leves de verão	0,5clo	10,0 ACH

Tabela 3.5 – Cotidiano diário.

HORA DO DIA	ATIVIDADE	TAXA METABÓLICA(W/pessoa)
0-8	sem atividade	0
8-9	início da atividade	100
9-10	com atividade	190
10-11	com atividade	190
11-12	com atividade	190
12-13	descanso	70
13-14	descanso	70
14-15	com atividade	100
15-16	com atividade	190
16-17	com atividade	190
17-18	término da atividade	190
18-24	sem atividade	0

CONCLUSÃO

Esse capítulo apresentou a metodologia de trabalho, o *software* selecionado para realizar as simulações propostas, e a forma de montagem do modelo para realizar as simulações propostas. O programa *Energyplus* permite a realização de simulações térmicas e energéticas em sítios quaisquer, através da utilização de arquivos climáticos. Permite, também, a realização de simulações de um ano característico, e de dias específicos de projeto, fornecendo dados diversos de características físicas ambientais, como a temperatura de bulbo seco, necessária a este estudo, ou de características pessoais de conforto.

Através da criação de um modelo em três dimensões, o programa permite atribuir materiais construtivos quaisquer aos planos e aberturas, através de uma planilha ou *Schedule*. Esse *Schedule* permite a criação de qualquer material construtivo, pois permite ao usuário inserir as características termo-físicas dos materiais, digitando-as em planilha. Tal possibilidade, imprescindível a esse estudo, não restringe a utilização de materiais pré-definidos, muitas vezes não característicos dos materiais construtivos de uma região.

O programa permite, também, atribuir cotidianos de ocupação, características das atividades realizadas, bem como permite indicar qual a infiltração de ar presente no modelo, necessária para realização de estudos de ventilação. Por fim, com base na seleção do software, propôs-se um modelo computacional representativo de uma tipologia industrial.

Conclui-se que o *Energyplus* é um programa computacional adequado ao trabalho proposto. O mesmo permite realizar as simulações propostas, e fornece os resultados das variáveis físicas necessárias.

A partir da seleção adequada do *software* simulador e da definição do modelo computacional base a simular, permite-se, para dar seqüência à metodologia proposta, a criação de listas de parâmetros físicos a serem alterados no modelo, como forma de alterar o ambiente térmico. No capítulo seguinte aborda-se as modificações propostas no modelo base.

4. PARÂMETROS FÍSICOS

Esse capítulo apresenta seleção de técnicas de modificação de materiais construtivos, como forma de alterar as condições térmicas do modelo proposto. As modificações são divididas entre alterações realizadas nos **elementos verticais**, na **cobertura**, na inserção de **isolamentos térmicos**, e na modificação da **absortância** térmica das superfícies externas. A partir da divisão das técnicas, são descritas listas de materiais construtivos a alterar no modelo base proposto, para simulação e análise dos resultados.

Segundo Roaf⁶⁸, 2006, o fechamento da edificação passa pela verificação do desempenho térmico de elementos construtivos específicos. A autora relata que esses elementos incluem o isolamento térmico, a perda de calor por janelas e paredes, a infiltração e outros aspectos de projeto de janelas.

Corbella et al.⁶⁹, 2003, cita que os materiais utilizados na construção de um prédio regulam seu desempenho térmico e, por conseguinte, influenciarão no conforto térmico de seus usuários. Os autores apresentam exemplo de situações de fechamento vertical com materiais extremamente diferentes, como uma folha de ferro galvanizado, 30cm de concreto, 30cm de poliuretano expandido, e uma folha de vidro. Uma breve análise das situações prevê as principais variações físicas que ocorrerão com os materiais e aos ambientes que circundam:

- *“Para a folha de ferro galvanizado, devido à condução do calor, após poucos minutos a folha de ferro estará quente na sua superfície interna e, por radiação e convecção, irá pouco a pouco aquecendo o ambiente interno, o qual, depois de algumas horas, se tornará totalmente inabitável.*
- *Para a parede de 30cm de concreto, o calor será transmitido de forma tão devagar que só depois de várias horas começará a sentir-se alguma variação na temperatura da face interna, e só após muitas horas, talvez à noite, o ambiente interno esteja aquecido demais (enquanto que no exterior poderá acontecer uma temperatura agradável).*
- *Para a parede de 30cm de poliuretano, serão necessários alguns dias seguidos de sol para que seja notado algum efeito no interior.*
- *Para a folha de vidro, a condução será muito rápida e, ainda mais, o sol penetrando diretamente no cômodo fará com que a temperatura do ar se eleve imediatamente no interior, e aumente ainda mais pelo ‘efeito estufa’.”*

⁶⁸ ROAF, Susan, FUENTES, Manuel, THIMAS, Stephanie, 2006. **Ecohouse: A Casa Ambientalmente Sustentável**. Porto Alegre, Bookman.

⁶⁹ CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos, 2003. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável**. Rio de Janeiro: Ed. Revan.

Ou seja, o conhecimento das propriedades térmicas e físicas dos materiais construtivos, bem como das leis básicas de transferência de calor dos materiais, permite realizar uma previsão imediata a respeito da escolha da constituição do envoltório da edificação, como forma de melhorar as condições internas de conforto térmico. Análises detalhadas e precisas, conforme já abordado, podem ser realizadas com programas computacionais, como forma de simular as condições futuras do ambiente construído. Porém, o conhecimento prévio de tais informações termofísicas permite a realização de análises e propostas de projeto que auxiliam no controle ambiental de edificações, através do ganho e da dissipação de energia térmica.

Conclui-se que é possível obter melhora no desempenho térmico através do uso de elementos de controle ambiental, tais como:

- Isolamento térmico por inércia e por resistência.
- Existência de câmaras de ar.
- Cor das superfícies exteriores do envoltivo do edifício.
- Escolha de materiais com características termofísicas adequadas ao sítio de projeto.

Como o estudo está baseado em variações de materiais construtivos em um modelo de tipologia industrial, ou de edificação de grande porte, foi adotada a restrição das variações aos materiais que compõem os elementos verticais e a cobertura, aos materiais de revestimento que fornecem as cores e a rugosidade das superfícies externas, bem como foi proposta a aplicação de isolamento térmico nas superfícies. Na tipologia analisada, não foram estudados sistemas de proteção e sombreamento das aberturas de vidro, bem como modificação das aberturas, por possuírem área reduzida em relação aos planos envolventes da edificação.

- **Técnicas Aplicadas**

Esse tópico apresenta as técnicas de modificações de parâmetros físicos que serão simuladas nessa pesquisa. São apresentadas, também, definições sobre características termofísicas dos materiais, necessárias ao entendimento do estudo.

Isolamento Térmico

Segundo Costa⁷⁰, 1979, isolantes são materiais de baixo coeficiente de condutibilidade κ (W/m°C). O coeficiente κ quantifica a capacidade do material de ser atravessado por um fluxo de calor através da condução, induzido por uma diferença de temperatura entre os dois ambientes que o elemento separa. Materiais com baixo valor de coeficiente κ possuem, normalmente, alta porosidade, e sua elevada resistência térmica está baseada na baixa condutibilidade do ar contido em seus vazios. A partir dessa característica física, pode-se concluir que quanto menor a densidade ρ (kg/m³) do material e maior a sua porosidade, maior será seu poder de isolamento.

Outra forma de isolamento se dá através de materiais com elevado valor de inércia térmica. Esta característica varia em função da densidade, da condutibilidade e, principalmente, do calor específico do material, que é medido através da quantidade de energia necessária para elevar de uma unidade de temperatura, a sua unidade de massa (J/kgK). Materiais com alta inércia térmica, ao receberem um fluxo de calor, aquecem internamente antes que esse fluxo os atravesse. Isto gera um atraso na condução do calor entre dois meios. Porém, esta

⁷⁰ COSTA, Ennio Cruz da, 1991. **Física aplicada à construção: conforto térmico**, 4ª ed., São Paulo, Edgard Blucher.

característica é vantajosa apenas em climas quentes e secos, onde existe uma grande variação de temperatura do dia para a noite.

Algumas características físicas são importantes para materiais isolantes:

- Baixa condutibilidade térmica.
- Resistência às temperaturas aplicadas.
- Resistência mecânica e incombustibilidade.
- Resistência à putrefação e pragas.
- Não ser higroscópico e possuir baixa porosidade que permita a penetração de vapor de água.

Segundo Roaf⁷¹, 2006, existem três formas de se isolar uma superfície:

- ***Isolamento Resistivo:*** Esse tipo de isolamento está baseado na baixa condutibilidade térmica de materiais, ou seja, é um tipo de material que evita a convecção do calor, da qual depende a condutibilidade e a viscosidade do líquido ou do gás que está nos vazios contidos no material, bem como da diferença de temperatura e das dimensões dos vazios. Tratam-se de produtos comumente comprados para tal fim, de conhecimento geral entre projetistas, como lãs minerais, palhas prensadas, placas de lã vegetal, produtos de fibra de vidro, poliestireno expandido ou extrudado, vermiculita ou perlita.

- ***Isolamento Refletivo:*** Trata-se da utilização de materiais altamente refletivos, como lâminas de alumínio. Este tipo de isolamento será abordado no item seguinte, "*Absortância das Superfícies Externas*".

⁷¹ ROAF, Susan, FUENTES, Manuel, THIMAS, Stephanie, 2006. **Ecohouse: A Casa Ambientalmente Sustentável**. Porto Alegre, Bookman.

▪ **Isolamento Capacitivo:** Conhecido e descrito como “massa térmica”, é encontrado em construções que utilizam materiais pesados. Ou seja, são características termofísicas desses materiais a baixa condutibilidade κ (W/m°C) e a alta densidade ρ (kg/m³), o que determinará o alto valor do calor específico C_p (J/kgK) do material. Neste caso, os materiais requerem elevado valor de energia calorífica incidindo em suas superfícies para elevar sua temperatura interna, o que gera o efeito denominado atraso térmico: o calor incidindo sobre as superfícies externas ao longo do dia levará período prolongado (horas) para aquecer as superfícies internas do ambiente. Trata-se de situação favorável em climas de grande amplitude térmica, visto que a alta carga térmica verificada durante o dia, quando conseguir cruzar o material até o interior da edificação, a aquecerá no período da noite, quando as temperaturas são menores.

A seguir, será apresentada uma relação de materiais com características de isolamento térmico:

Tabela 4.1 – Características termofísicas de materiais isolantes.

(Fonte: Frota e Schiffer⁷², 2003)

MATERIAL	κ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	C_p [J/kgK]
Amianto	0,15	580	4187
Argamassa celular	0,3	600	1047
Concreto celular	0,1	300	963
Concreto celular (bloco)	0,05	450	963
Cortiça	0,04	100	1424
Feltro	0,05	160	-
Feltro de lã	0,04	150	1423
Fibra de vidro	0,03	70	754
Lã de rocha	0,03	100	754
Lã de vidro	0,03	96	754
Madeira balsa	0,05	90	-
Aglomerado mole	0,05	300	-
Papelão	0,08	650	-
Poliestireno expandido	0,04	11	1210
Poliuretano	0,03	35	1580
Plásticos alveolares	0,05	40	-

⁷² FROTA, Anésia B. e SCHIFFER, Sueli R, 2003. **Manual de Conforto Térmico**, 6ª ed., São Paulo, Studio Nobel.

A seguir, será apresentada uma relação de materiais com características de isolamento térmico, bem como suas propriedades de resistência à umidade e desempenho mecânico:

Tabela 4.2 – Características termofísicas e de propriedades de materiais isolantes.
(Fonte: adaptado de Roaf⁷³, 2006)

MATERIAL	κ [W/mK]	RESISTÊNCIA À UMIDADE	DESEMPENHO MECÂNICO
Poliestireno expandido	0,033	Não considerado como barreira ao vapor. Baixa transmissão de vapor úmido, sem ação de capilaridade e alta resistência à absorção de umidade.	Resistência à compressão de 10% 110-150kPa.
Lã de rocha	0,034	Não absorve umidade. Com umidade relativa de 95%, o conteúdo de água higroscópica é de somente 0,02% em volume e 2% em peso. Sem ação de capilaridade.	Resistência à compressão de 10% 120-180kPa.
Vidro celular	0,042	0,2% em volume. Sem ação de capilaridade.	Resistência à compressão de 10% 230-500kPa.
Celulose	0,033	Não fornecida (presume-se de baixa resistência à umidade).	Não fornecida (presume-se de baixa resistência mecânica).
Espuma fenólica	0,018	Alta resistência à umidade, baixa permeabilidade ao vapor, estrutura com 90% de células fechadas.	Boa resistência mecânica.
Sílica microporosa	0,020	Umidade de 1 a 3% do peso.	A resistência é baixa. 5% de compressão pode ser inteiramente recuperada.
Lã de ovelha	0,037	40% de absorção de água (em peso seco) a 100% de umidade relativa.	Não fornecida (presume-se de baixa resistência mecânica).
Espuma de melamina flexível	0,035	Sofre mudanças dimensionais significativas com o acréscimo de umidade interna, devido à sua estrutura celular aberta.	A espuma não possui resistência particularmente alta.
Cortiça	0,037	Água-repelente com capilaridade zero. Taxa de transmissão de vapor relativamente alta.	Resistente à compressão até 20kN/m ² sem deformação. Resistente à flexão de 140kN/m ² .
Espuma de poliuretano	0,017	A estrutura de células fechadas forma superfícies monolíticas brilhantes.	Resistência à compressão de 10% 114kPa. Resistência de 120kPa. Resistência ao cisalhamento de 80kPa.

⁷³ ROAF, Susan, FUENTES, Manuel, THIMAS, Stephanie, 2006. **Ecohouse: A Casa Ambientalmente Sustentável**. Porto Alegre, Bookman.

- **Absortância das Superfícies Externas**

Outro parâmetro físico que influencia as condições térmicas de um ambiente construído é a cor das superfícies externas do envolvente do edifício. Conforme citado no item anterior, Roaf classificou a referida técnica de modificação de cores e rugosidade das superfícies como *Isolamento Refletivo*. A autora descreve que trata-se da utilização de materiais altamente refletivos, como finas lâminas de alumínio. Fisicamente, tais materiais possuem cores claras e superfícies lisas, o que culmina com a baixa capacidade de absorção da radiação solar, e a baixa emissividade⁷⁴. Estes fatores podem aumentar ou reduzir a energia térmica absorvida através da radiação.

A energia radiante pode ser definida como ondas eletromagnéticas que se propagam com a velocidade da luz (300.000 km/s). Nessas condições, a radiação térmica é definida como sendo as radiações eletromagnéticas cujos comprimentos de onda estão compreendidos entre 0,1 a 100 μ m (1 micrometro = 0,000001m). Assim, as radiações térmicas e luminosas são fenômenos de mesma natureza que diferem apenas no comprimento de onda.

Essa energia, quando incidida em um corpo, pode ser absorvida, refletida ou transmitida. Estas frações, se relacionadas com a energia total incidida sobre o corpo, nos apresentarão os coeficientes de reflexão, absorção e transmissividade de uma superfície. Segundo Costa⁷⁵, 1979, para corpos opacos, o coeficiente de transmissividade é zero, ou seja, não transmitem nenhuma parcela da energia incidente. Essa energia será em parte absorvida, em parte refletida.

Neste estudo, a capacidade de absorção e reflexão das cores e da rugosidade das superfícies será testada como forma de modificação das condições térmicas do ambiente simulado. Corpos negros porosos têm coeficiente

⁷⁴ A razão de energia radiante emitida por uma superfície sob determinada temperatura em relação à energia emitida por um corpo negro sob a mesma temperatura.

⁷⁵ COSTA, Ennio Cruz da, 1991. **Física aplicada à construção: conforto térmico**, 4ª ed., São Paulo, Edgard Blucher.

de absorção solar e visível próximos de 1, ao passo que corpos brancos ou aluminizados e polidos têm coeficiente de absorção solar e visível próximos de 0.

A seguir, será apresentada uma relação de cores e rugosidade de superfícies com suas características de absorção solar e visível:

Tabela 4.3 – Absortância para radiação solar em superfícies.
(Fonte: ASHRAE, Handbook of Fundamentals⁷⁶, 2001)

SUPERFÍCIES	ABSORTÂNCIA PARA RADIAÇÃO SOLAR
Superfícies pretas não metálicas como asfalto, carbono, ardósia, pintura e papel.	0,85 a 0,98
Tijolo vermelho, concreto, pedras, aço e ferro enferrujados e pinturas escuras (vermelho, marrom, verde).	0,65 a 0,80
Tijolos e pedras amarelos ou pardos, refratários ou de barro.	0,50 a 0,70
Tijolos, cerâmicas, pintura ou papel, reboco e cal cor branco ou creme claro.	0,30 a 0,50
Pintura cor alumínio brilhoso; pintura bronze ou dourada.	0,30 a 0,50
Latão, cobre ou alumínio; aço galvanizado; metal polido.	0,40 a 0,65
Latão, cobre e metais inoxidáveis polidos.	0,30 a 0,50
Alumínio altamente polido, chapas cor prata, níquel, cromo.	0,10 a 0,40
Superfície com pintura branca.	0,23 a 0,49

- **Câmaras de Ar**

Segundo Lamberts⁷⁷ et al., 2004, pode-se reduzir consideravelmente as trocas de calor em um fechamento opaco empregando materiais com condutividades mais baixas ou até construindo fechamentos com múltiplas camadas, podendo, uma das quais ser uma camada de ar. Sua eficiência depende das características de absorção de calor dos materiais que formam suas superfícies interiores e da direção do fluxo de ar, principalmente, quando a câmara de ar tem superfícies refletoras.

Para câmaras de ar não ventiladas, quando o fluxo de calor é descendente, possuindo direção do exterior para o interior do edifício, a eficiência

⁷⁶ ASHRAE, 2001. **ASHRAE Fundamentals Handbook**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.

⁷⁷ LAMBERTS, Roberto, 2004. **Eficiência Energética na Arquitetura**, 2ª ed. rev., São Paulo, ProLivros.

da câmara será maior se possuir superfícies refletoras, sendo importante, também, a sua espessura. Para câmaras ventiladas, é importante que esta ventilação ocorra com ar exterior, pois o forro isolante térmico se tornará a principal barreira para o ganho de calor do edifício.

Desta forma, as câmaras de ar criam uma resistência térmica (m^2C/W) à passagem do calor pela edificação. O valor desta resistência varia de acordo com as características físicas da composição desses espaços confinados de ar, conforme podemos verificar na Tabela 4.4, apresentada a seguir, que apresenta valores da resistência superficial. Para análise final, deve-se considerar a resistência térmica total da câmara de ar não ventilada, conforme podemos verificar na Tabela 4.8, junto ao tópico 4.3.

Tabela 4.4 – Resistência térmica superficial interna e externa [m^2C/W].
 (Fonte: NBR 15220-2⁷⁸)

Rsi [m^2C/W]			Rse [m^2C/W]		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Com base na investigação realizada sobre as técnicas de modificação de materiais construtivos, como forma de alterar as condições térmicas do modelo proposto, serão apresentados, nos tópicos a seguir, os parâmetros físicos selecionados para modificação no processo de simulação do modelo, com o objetivo de alterar as condições térmicas do ambiente.

Para organização das simulações realizadas, as alterações inseridas foram divididas nos seguintes tópicos: modificações nos **elementos**

⁷⁸ 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. ABNT, 2005.

verticais, modificações na **cobertura**, inserção de **isolamento térmico**, e modificação da **absortância** das superfícies externas do modelo.

4.1 ELEMENTOS VERTICAIS

Baseado nos materiais comumente utilizados na região climática de Porto Alegre, bem como disponíveis ou acessíveis no comércio, formulou-se listagem de materiais construtivos utilizados na formação de paredes, ou elementos de fechamento verticais.

A referida listagem é apresentada na Tabela 4.5, onde se verificam os seguintes parâmetros: rugosidade, espessura (cm), condutividade (W/m.K), densidade (kg/m^3), calor específico (J/kg.K), e absortância.

Cabe salientar que a escolha ou seleção dos materiais construtivos, neste item, baseou-se também na existência de variações significativas de espessura (cm), condutividade (W/m.K), e calor específico (J/kg.K). Tal preocupação deve-se ao fato de serem estes os três fatores que interferem significativamente na absorção de calor, na condução de calor como forma de gerar atrasos térmicos (transferência do calor para o interior da edificação), e na capacidade do material em elevar sua temperatura interna, de acordo com a energia absorvida.

A seleção de materiais construtivos com diferentes índices termofísicos garantiu a existência de resultados variados de temperatura e umidade relativa internas, o que permite a avaliação do desempenho dos mesmos, baseado na interferência junto ao conforto térmico dos usuários. A análise da Tabela 4.5 permite a visualização das seis variáveis físicas de cada material construtivo simulado, necessárias para o abastecimento do *software*.

Tabela 4.5 – Características termofísicas de materiais construtivos utilizados em elementos verticais de edificações.

(fonte: *dicionário de materiais* do Lafrig – Departamento de Engenharia Mecânica, UFRGS⁷⁹; e NBR 15220-2⁸⁰)

Material	Rugosidade	Espessura [cm]	PLANOS VERTICAIS			Absortância		
			Condutividade κ [W/m.K]	Densidade ρ [kg/m ³]	Calor Específico c[J/kg.K]	α_t Térmica	α_s Solar	α_v Visível
tijolos de barro vazados	liso	20,0	0,70	1100,0	830,0	0,90	0,70	0,70
tijolos de barro vazados	liso	10,0	0,70	1100,0	830,0	0,90	0,70	0,70
tijolos de barro maciços	médio rugoso	10,0	0,75	1920,0	920,0	0,90	0,70	0,70
argamassa reboco	médio liso	2,0	0,72	1860,0	830,0	0,90	0,50	0,50
bloco de concreto	médio rugoso	10,0	0,38	1040,0	830,0	0,90	0,60	0,60
bloco de concreto	médio rugoso	20,0	0,57	1040,0	830,0	0,90	0,60	0,60
chapa metálica galvanizada	liso	0,2	55,0	7800,0	460,0	0,90	0,25	0,25
chapa metálica de alumínio	liso	0,2	230,0	2700,0	880,0	0,90	0,10	0,10
fibrocimento	muito rugoso	0,5	0,95	1900,0	840,0	0,90	0,70	0,70
concreto leve	médio rugoso	10,0	0,33	640,0	1000,0	0,90	0,65	0,65

4.2 COBERTURA

A seguir é apresentada a listagem de materiais construtivos utilizados na formação de coberturas. A referida listagem está formulada na Tabela 4.6, onde se verificam os seguintes parâmetros: rugosidade, espessura (cm), condutividade (W/m.K), densidade (kg/m³), calor específico (J/kg.K), e absorvância.

A escolha ou seleção dos materiais construtivos, neste item, baseou-se também na existência de variações significativas de condutividade (W/m.K), calor específico (J/kg.K), e absorvância. Tal preocupação deve-se ao fato

⁷⁹ Arquivo *Energypius* obtido junto ao Laboratório de Vapor e Refrigeração da faculdade de Engenharia Mecânica da UFRGS.

⁸⁰ 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. ABNT, 2005.

de serem estes os principais fatores que interferem significativamente na capacidade do material em elevar sua temperatura interna, de acordo com a energia absorvida, e na absorção de calor, em função de sua baixa ou alta refletividade.

Tabela 4.6 – Características termofísicas de materiais construtivos utilizados em coberturas de edificações.

(fonte: *dicionário de materiais* do Lafrig – Engenharia Mecânica, UFRGS⁸¹; e NBR 15220-2⁸²)

COBERTURA								
Material	Rugosidade	Espessura [cm]	Condutividade κ [W/m.K]	Densidade ρ [kg/m ³]	Calor Específico c [J/kg.K]	Absortância		
						α_t , Térmica	α_s , Solar	α_v , Visível
chapa metálica galvanizada	liso	0,002	55,0	7800,0	460,0	0,90	0,25	0,25
chapa metálica de alumínio	liso	0,0016	230,0	2700,0	880,0	0,90	0,10	0,10
fibrocimento	muito rugoso	0,005	0,95	1900,0	840,0	0,90	0,70	0,70
telha dupla em alumínio com isolamento*	liso	0,0016	230,0	2700,0	880,0	0,90	0,10	0,10
	médio rugoso	5,0	0,035	35,0	1420,0	0,90	0,30	0,30
zinco	liso	0,002	112	7100,0	380,0	0,90	0,40	0,40
cobre	liso	0,002	380	8900,0	380,0	0,90	0,40	0,40
concreto leve	médio rugoso	10,0	0,33	640,0	1000,0	0,90	0,65	0,65
concreto e terra**	médio rugoso	10,0	1,75	2200,0	1000,0	0,90	0,65	0,65
	rugoso	30,0	0,17	1040,0	830,0	0,90	0,60	0,60
concreto e proteção mecânica***	médio rugoso	10,0	1,75	2200,0	1000,0	0,90	0,65	0,65
	rugoso	10,0	0,70	1000,0	800,0	0,90	0,60	0,60

*Características termofísicas do isolamento, em poliestireno de 5cm, e do alumínio. Soma-se duas camadas, superior e inferior, de alumínio.

**Características termofísicas do concreto leve, de 10cm, e da terra umidificada.

***Características termofísicas do concreto leve, de 10cm, e da proteção mecânica em seixos, de 10cm, sendo desconsiderados os espaços de ar entre os agregados.

⁸¹ Arquivo *Energypius* obtido junto ao Laboratório de Vapor e Refrigeração da faculdade de Engenharia Mecânica da UFRGS.

⁸² 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. ABNT, 2005.

4.3 ISOLAMENTO TÉRMICO

A seguir é apresentada a listagem de materiais construtivos utilizados na formação de camadas isolantes térmicas em edificações. Considerou-se, também, a utilização de isolamentos térmicos em elementos verticais, situação usual em determinados usos industriais. A referida listagem é apresentada na Tabela 4.7, onde se verificam os seguintes parâmetros: rugosidade, espessura (cm), condutividade (W/m.K), densidade (kg/m³), calor específico (J/kg.K), e absorvância.

Tabela 4.7 – Características termofísicas de materiais construtivos utilizados no isolamento térmico de edificações.

(fonte: *dicionário de materiais* do Lafrig – Departamento de Engenharia Mecânica, UFRGS⁸³; e NBR 15220-2⁸⁴)

Material	Rugosidade	Espessura [cm]	Condutividade κ [W/m.K]	Densidade ρ [kg/m ³]	Calor Específico c [J/kg.K]	Absortância		
						α_t Térmica	α_s Solar	α_v Visível
lã de rocha	médio rugoso	5,0	0,045	100,0	750,0	0,90	0,40	0,40
lã de vidro	médio rugoso	5,0	0,045	50,0	700,0	0,90	0,40	0,40
poliestireno expandido	médio rugoso	5,0	0,040	25,0	1420,0	0,90	0,30	0,30
poliestireno extrudado	médio rugoso	5,0	0,035	35,0	1420,0	0,90	0,30	0,30
espuma rígida de poliuretano	médio rugoso	5,0	0,030	35,0	1670,0	0,90	0,40	0,40
gesso	médio liso	3,0	0,35	1000,0	840,0	0,90	0,25	0,25
espuma de polietileno reflexiva	liso	1,0	0,030	40,0	1420,0	0,90	0,10	0,10
parede isolada com poliestireno e plástico PVC*	médio rugoso	5,0	0,035	35,0	1420,0	0,90	0,30	0,30
	liso	0,5	0,20	1200,0	960,0	0,90	0,30	0,30
parede isolada com lã de vidro e plástico PVC**	médio rugoso	5,0	0,045	50,0	700,0	0,90	0,40	0,40
	liso	0,5	0,20	1200,0	960,0	0,90	0,30	0,30

*Isolantes fixados na face interna das paredes, sendo a parte voltada para o interior da edificação revestida com placas de PVC. Situação usual e frigoríficos, câmaras ou salas de alimentos, ou ambientes de armazenamento de perecíveis.

**Demais isolamentos apresentados são aplicados como forro, sob a cobertura, gerando espaço de ar não ventilado (ver tabela de Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas).

⁸³ Arquivo *Energypius* obtido junto ao Laboratório de Vapor e Refrigeração da faculdade de Engenharia Mecânica da UFRGS.

⁸⁴ 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. ABNT, 2005.

A escolha ou seleção dos materiais construtivos, neste item, baseou-se também na existência de variações significativas de condutividade (W/m.K), e calor específico (J/kg.K). Tal preocupação deve-se ao fato de serem estes os principais fatores que interferem significativamente na capacidade do material na condução de calor como forma de gerar atrasos térmicos, e na capacidade do material em elevar sua temperatura interna, conforme descrito.

Tendo em vista que a aplicação de isolamentos térmicos, como formadores de forros de edificações, gera a existência de câmaras de ar não ventiladas, é apresentada a Tabela 4.8, onde podem-se verificar os seguintes parâmetros: resistência térmica ($m^2.K/W$), para fluxos de calor horizontais, ascendentes e descendentes.

Tabela 4.8 – Características termofísicas de câmaras de ar não ventiladas.

(fonte: NBR 15220-2⁸⁵)

RESISTÊNCIA TÉRMICA DE CÂMARAS DE AR NÃO VENTILADAS				
Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar [cm]	Resistência térmica R_{ar} [$m^2.K/W$]		
		Direção do fluxo de calor		
		horizontal	ascendente	descendente
Superfícies de alta emissividade $\epsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfícies de baixa emissividade $\epsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Notas:

1. ϵ é a emissividade hemisférica total.
2. Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó, gordura ou água de condensação.
3. Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas; desta forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira.
4. Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.

⁸⁵ 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. ABNT, 2005.

4.4 ABSORTÂNCIA

Fisicamente, a absorção das superfícies é alterada por materiais que possuem cores claras e superfícies lisas, o que determina a baixa capacidade de absorção da radiação solar, e a baixa emissividade de radiação. Baseado na necessidade descrita, formulou-se listagem de revestimentos e materiais construtivos utilizados na formação de camadas ou películas lisas e reflexivas externas. A referida listagem é apresentada na Tabela 4.9, onde podem-se verificar os seguintes parâmetros: absorção térmica, absorção solar e absorção visível.

Tabela 4.9 – Características termofísicas de absorção de revestimentos e materiais construtivos.

(fonte: *dicionário de materiais* do Lafrig – Departamento de Engenharia Mecânica, UFRGS⁸⁶; NBR 15220-2⁸⁷; e ASHRAE, *Handbook of Fundamentals*⁸⁸, 2001)

ABSORÇÃO DAS SUPERFÍCIES			
Superfícies e cores	Absorção		
	α_t Térmica	α_s Solar	α_v Visível
Paredes verdes	0,90	0,60	0,60
Paredes amarelas ou pardas	0,90	0,40	0,40
Paredes brancas foscas	0,90	0,30	0,30
Paredes brancas reflexivas	0,90	0,20	0,20
Paredes com cerâmicas brancas reflexivas	0,90	0,20	0,20
Cobertura branca reflexiva	0,90	0,20	0,20
Cobertura com manta aluminizada	0,90	0,10	0,10

A escolha ou seleção dos materiais construtivos de revestimento baseou-se também na existência de variações significativas de absorção entre os materiais. Tal preocupação deve-se ao fato de ser este o fator

⁸⁶ Arquivo *Energyplus* obtido junto ao Laboratório de Vapor e Refrigeração da faculdade de Engenharia Mecânica da UFRGS.

⁸⁷ 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. ABNT, 2005.

⁸⁸ ASHRAE, 2001. *ASHRAE Fundamentals Handbook*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.

que interfere significativamente na capacidade do material em absorver ou refletir o calor gerado pela radiação solar incidente.

CONCLUSÃO

Esse capítulo apresentou estudo sobre as possíveis técnicas de modificação de materiais construtivos, como forma de alterar as condições térmicas do ambiente simulado. Estudos demonstram que a escolha de diferentes materiais para composição da envoltória da edificação pode alterar de minutos para dias o tempo necessário para transferência do calor externo para o interior do ambiente. Verificou-se que é possível alterar positivamente o desempenho térmico através do uso de elementos de controle ambiental, tais como: isolamento térmico por inércia e por resistência; existência de câmaras de ar aliadas a materiais isolantes; cor das superfícies exteriores do envolvente do edifício; e escolha de materiais com características termo-físicas adequadas ao sítio de projeto.

Constata-se que: isolantes são materiais de baixo coeficiente de condutibilidade κ ($W/m^{\circ}C$) e baixa densidade ρ (kg/m^3); materiais pouco absorptivos são elementos de cores claras e superfícies lisas e reflexivas; que câmaras de ar aumentam a resistência térmica do envoltório, diminuindo as perdas ou ganhos de calor; e que a alta espessura dos materiais aliada à baixa condutividade e o alto calor específico aumenta o isolamento térmico, bem como gera o efeito de atraso térmico, positivo para a região climática de Porto Alegre.

A partir da seleção de materiais construtivos e parâmetros físicos a serem alterados no modelo computacional base, permite-se, para dar seqüência à metodologia proposta, a realização das simulações para cada alteração, como forma de modificar o ambiente térmico simulado, e emitir conclusões sobre os resultados. No capítulo seguinte são abordados os resultados obtidos através das modificações realizadas no modelo base.

5. RESULTADOS E ANÁLISES

Nesse capítulo são apresentados os resultados da avaliação do desempenho térmico para os quatro tipos de alterações físicas propostas no modelo simulado. Para a análise são comparados os valores obtidos de temperatura de bulbo seco, dentro da faixa de conforto proposta, para obtenção dos totais de **horas de desconforto pelo frio (HDF)**, **horas de desconforto pelo calor (HDC)**, **total de horas de desconforto (THD)**, e **porcentagem de horas de desconforto no ano (PHD)**. A análise dos resultados é utilizada para demonstrar a

influência da modificação dos materiais construtivos da envoltória, no desempenho térmico e energético de edificações construídas.

A discussão dos resultados está baseada na análise de planilhas preenchidas com os valores obtidos de horas de desconforto (HDF, HDC, THD, e PHD), bem como na análise de gráficos de dias típicos de projeto, para o inverno e para o verão, onde pode-se verificar as variações de temperatura do ar, proporcionadas pela mudança dos materiais construtivos.

Cabe salientar que o número de horas de desconforto, bem como a porcentagem de horas de desconforto no ano, são obtidos sobre o número de horas de ocupação do modelo de simulação, de utilização industrial. O número de horas de ocupação é de 2080 horas por ano, considerando uma jornada de trabalho de 8 horas diárias, e 260 dias trabalhados.

Para todas as análises realizadas, entende-se como de menor desempenho, o material ou modificação construtiva que gerou o maior número de horas de desconforto. Também se entende como de menor desempenho o material ou modificação construtiva que gerou maior temperatura interna em um dia típico de verão, ou menor temperatura interna em um dia típico de inverno. Da mesma forma, entende-se como de maior desempenho, o material ou modificação construtiva que gerou o de menor número de horas de desconforto. Também se entende como de maior desempenho o material ou modificação construtiva que gerou menor temperatura interna em um dia típico de verão, ou maior temperatura interna em um dia típico de inverno.

5.1 ELEMENTOS VERTICAIS

A Tabela 5.1.1 demonstra os resultados obtidos nas simulações, para cada material modificado junto às paredes do modelo proposto.

Tabela 5.1.1 – Valores de horas de desconforto simuladas para alteração dos materiais dos elementos verticais do modelo.

PLANOS VERTICAIS					
Material no modelo base	Material modificado	Horas de desconforto pelo frio	Horas de desconforto pelo calor	Total de horas de desconforto	% de horas de desconforto no ano*
	(modelo base)	163	645	808	38,85%
	Tijolos de barro vazados e=20cm	157	572	729	35,05%
	Tijolos de barro maciços e=10cm	163	581	744	35,77%
	Tijolos de barro vazados com reboco em ambas as faces e=10cm	172	566	738	35,48%
	Tijolos de barro vazados com reboco em ambas as faces e=20cm	160	543	703	33,80%
	Bloco de concreto e=10cm	166	608	774	37,21%
	Bloco de concreto e=20cm	158	567	725	34,86%
Tijolos de barro vazados e=10cm	Bloco de concreto com reboco em ambas as faces e=10cm	172	563	735	35,34%
	Bloco de concreto com reboco em ambas as faces e=20cm	158	544	702	33,75%
	Chapa metálica galvanizada e=2mm	166	597	763	36,68%
	Chapa metálica em alumínio e=2mm	180	543	723	34,76%
	Fibrocimento e=5mm	128	707	835	40,14%
	Concreto leve e=10cm	164	632	796	38,27%

* O cálculo da porcentagem de horas de desconforto no ano está baseado em uma carga horária anual de 2080 horas, para uma jornada diária de 8 horas.

As Figuras 5.1.1 e 5.1.2 demonstram os resultados obtidos nas simulações, de forma gráfica, para os índices HDF, HDC e THD simulados, e permitem a visualização direta da proporção das variações.

Figura 5.1.1 – Índices HDF, HDC e THD simulados, representativo da alteração dos materiais dos elementos verticais.

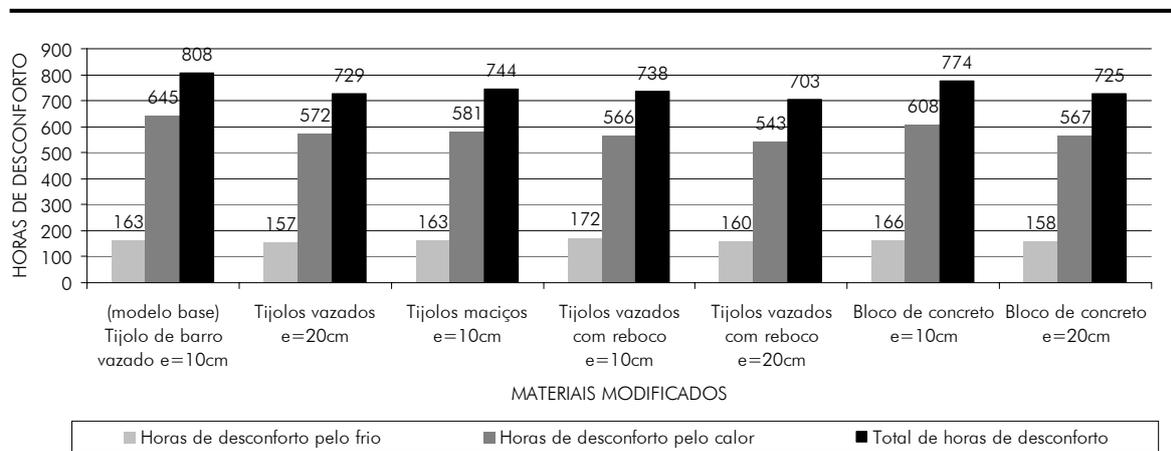
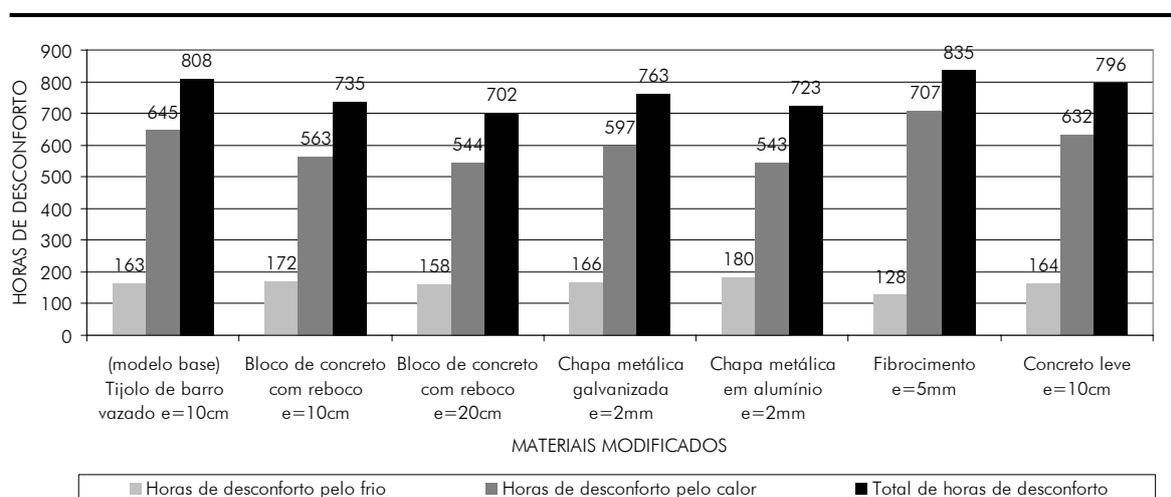


Figura 5.1.2 – Índices HDF, HDC e THD simulados, representativo da alteração dos materiais dos elementos verticais.



As Figuras 5.1.3 e 5.1.4 demonstram os resultados obtidos nas simulações, de forma gráfica, para o índice PHD simulado, e também permitem a visualização direta da proporção das variações.

Figura 5.1.3 – Índice PHD, representativo da alteração dos materiais dos elementos verticais.

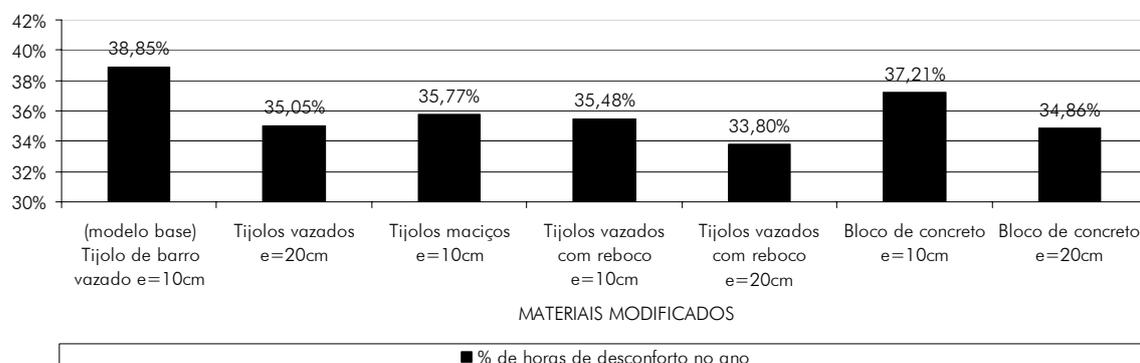
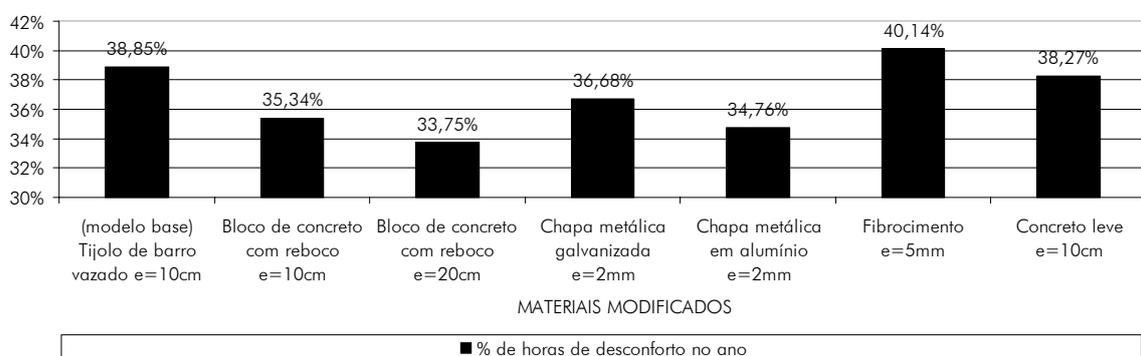


Figura 5.1.4 – Índice PHD, representativo da alteração dos materiais dos elementos verticais.



Os resultados verificados nas simulações realizadas demonstram que existe uma variação de 6,39% no índice PHD (porcentagem de horas de desconforto no ano) entre os materiais com o menor e o maior desempenho. O bloco de concreto com espessura de 20cm, e com camada de reboco aplicada em ambas as faces, apresentou resultado de 33,75% no índice PHD, sendo 158 horas de desconforto geradas pelo frio, e 544 horas de desconforto geradas pelo calor, de um total de 702 horas de desconforto. O fibrocimento com espessura de 5mm apresentou resultado de 40,14% no índice

PHD, sendo 128 horas de desconforto geradas pelo frio, e 707 horas de desconforto geradas pelo calor, de um total de 835 horas de desconforto. Apesar do maior desempenho geral apresentado pelo bloco de concreto, verifica-se que o fibrocimento apresenta maior desempenho para redução das horas de desconforto pelo frio (HDF). Atribui-se o resultado ao fato de que o bloco de concreto possui menor condutividade ($W/m.K$) do que o fibrocimento. Ou seja, para determinados horários dos dias de inverno, o bloco de concreto leva mais horas para transmitir o aquecimento solar incidido nas superfícies externas. Porém, tal característica é benéfica no período noturno, quando a energia térmica, após algumas horas, atravessa a espessura do material, e aquece a edificação em horários de menores temperaturas. Nessa análise, devido a utilização do modelo em horários diurnos, visto que possui uso industrial, tal característica não influenciou nos resultados. No cômputo geral, os blocos de concreto rebocados possuem maior desempenho.

Verifica-se, nas simulações realizadas, que existe uma variação de 44 horas no índice HDF (horas de desconforto pelo frio) entre os materiais com o menor e com o maior desempenho. O fibrocimento com espessura de 5mm apresentou resultado de 128 horas no índice HDF, de um total de 835 horas de desconforto. A chapa metálica de alumínio apresentou resultado de 180 horas no índice HDF, de um total de 723 horas de desconforto. Atribui-se o resultado ao fato de que o alumínio possui menor absorvidade térmica do que o fibrocimento. Ou seja, o alumínio possui baixa capacidade de absorver a energia térmica recebida pela radiação solar, refletindo cerca de 90% do valor incidente. Tal característica termofísica faz com que o alumínio não aqueça o ambiente interno, no inverno, através da radiação. Nessa análise, devido à utilização do modelo em horários diurnos, visto que possui uso industrial, tal característica não influenciou significativamente nos resultados. No cômputo geral, o alumínio possui maior desempenho.

Verifica-se, também, que existe uma variação de 44 horas no índice HDC (horas de desconforto pelo calor) entre os materiais com o menor e o maior desempenho. O tijolo de barro vazado com espessura de 20cm, e com

camada de reboco aplicada em ambas as faces, assim como o alumínio, apresentaram resultados de 164 horas no índice HDC, de totais de 703 e de 723 horas de desconforto, respectivamente. O fibrocimento com espessura de 5mm apresentou resultado de 707 horas no índice HDC, de um total de 835 horas de desconforto. Atribui-se o resultado ao fato de que o alumínio possui menor absorvidade térmica do que o fibrocimento, e ao fato de que o tijolo de barro somado ao reboco possuem menor condutividade térmica, e menor absorvidade térmica do que o fibrocimento. Tais fatores reduzem a capacidade dos materiais de absorver a energia térmica recebida pela radiação solar, bem como dificultam a condução do calor ao interior da edificação, respectivamente.

A análise dos valores demonstra que o índice HDC é significativamente superior ao índice HDF. Atribui-se a constatação ao fato de que a simulação restringiu-se à análise das horas de ocupação de prédios industriais, geralmente diurnas. Tendo em vista que as temperaturas diurnas são invariavelmente superiores às noturnas, tem-se resultados de desconforto maiores para altas temperaturas, ou seja, acima de 28,0°C. Tal indicativo demonstra que a preocupação, quando do projeto de edificações industriais, deve ser superior para a proteção a altas temperaturas. Somado ao fato, em atividades industriais ou de trabalhos pesados, onde o nível de atividade física do trabalhador atinge até 400W/pessoa, conforme item 2.4 deste estudo, o frio gerado pelo ambiente acaba por ser equilibrado no balanço térmico do organismo. De forma oposta, o mesmo nível de atividade física do trabalhador, que pode atingir até 400W/pessoa, acaba por majorar o desconforto térmico no verão, mesmo quando em temperaturas ambientais amenas.

Constata-se, também, que materiais como tijolos de barro vazados com espessura de 20cm, tijolos de barro vazados com reboco em ambas as faces e espessura de 20cm, blocos de concreto com reboco em ambas as faces e espessura de 20cm, e chapas metálicas em alumínio, possuem desempenho semelhante, em análise ao índice THD. Tal fato permite que se pesquise diferentes

custos de instalação dos materiais, quando da fase de projeto, com o intuito de se obter o mesmo objetivo de redução das horas de desconforto.

A análise das Figuras 5.1.5, 5.1.6 e 5.1.7 demonstra o comportamento da temperatura de bulbo seco em um dia típico de inverno, no modelo simulado. As diferentes variações de temperaturas internas demonstram que a modificação da escolha dos materiais construtivos dos planos verticais proporciona consideráveis alterações da temperatura interna, mesmo em edificações de grande porte, ou com elevado volume de ar interno.

Figura 5.1.5 – Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo da alteração dos materiais dos elementos verticais.

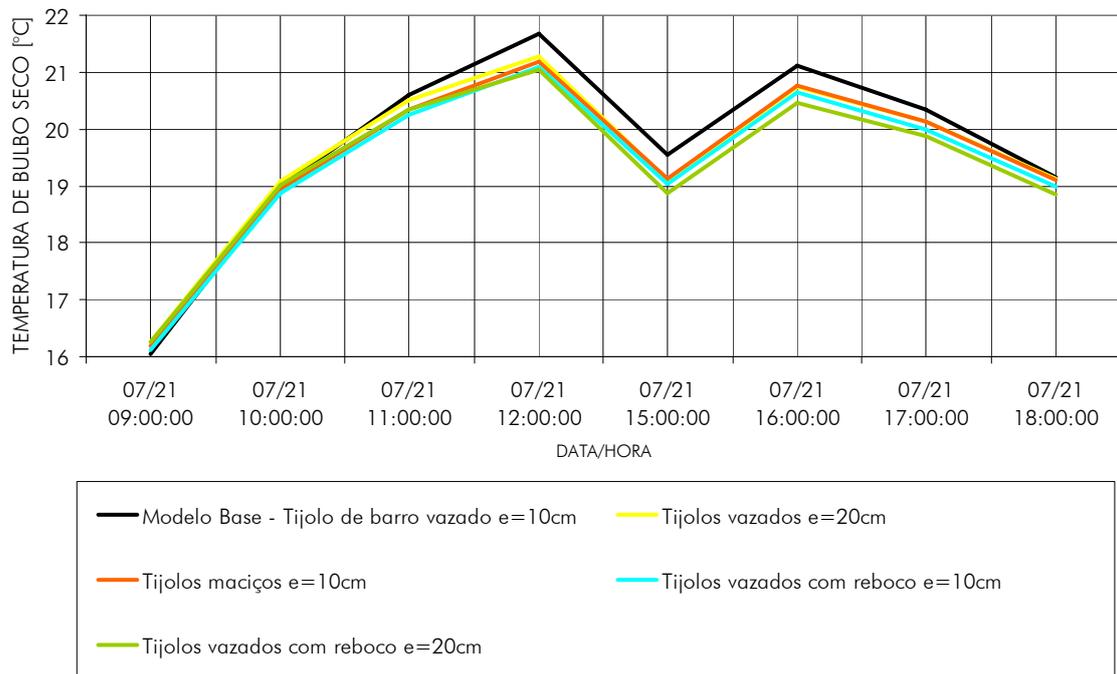


Figura 5.1.6 – Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo da alteração dos materiais dos elementos verticais.

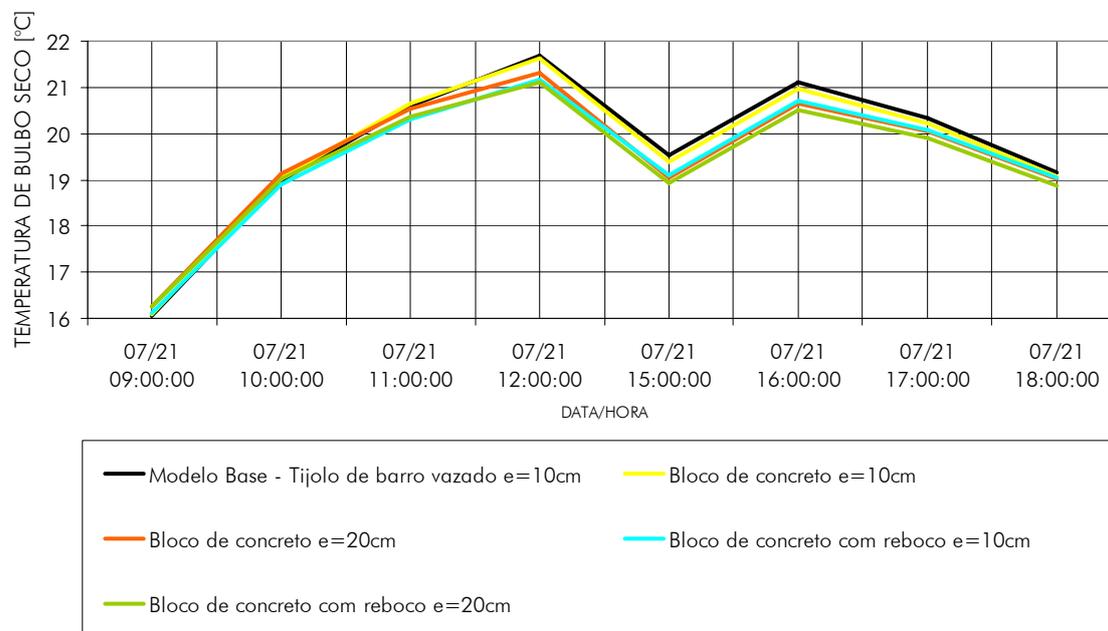
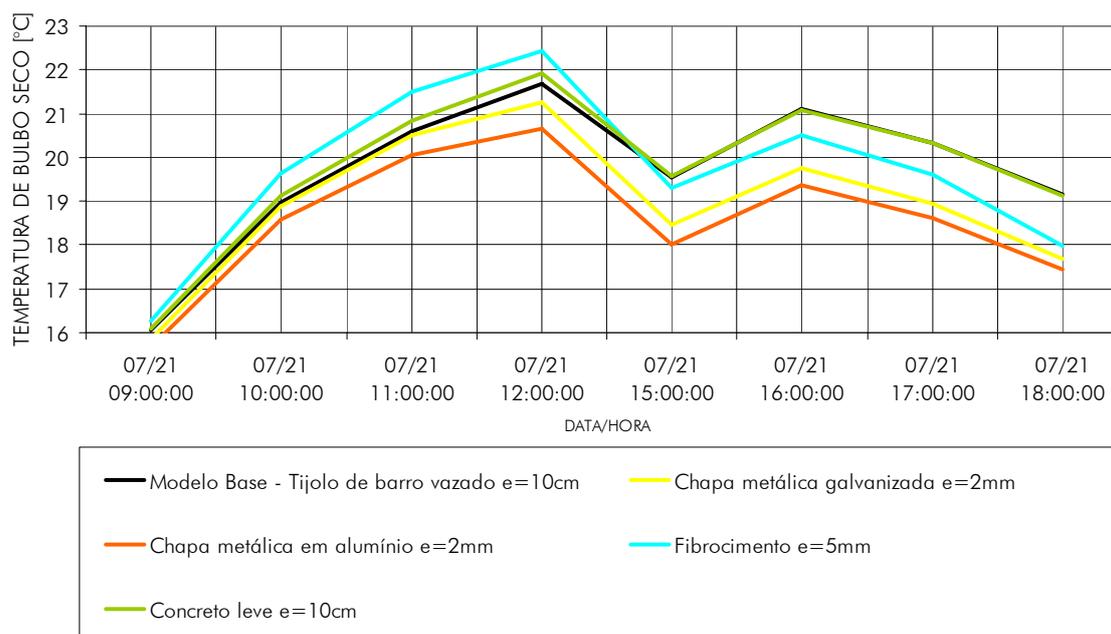


Figura 5.1.7 – Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo da alteração dos materiais dos elementos verticais.



Às 12 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 20,65°C, com as paredes formadas por placas ou telhas em alumínio. Também às 12 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 22,44°C, porém, com as paredes formadas por placas ou telhas em fibrocimento. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente 2°C. Às 18 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 17,44°C, com as paredes formadas por placas ou por telhas em alumínio. Também às 18 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 19,16°C, porém, com as paredes formadas por tijolos de barro vazados, com espessura de 10cm. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente 1,7°C.

A análise das Figuras 5.1.8, 5.1.9 e 5.1.10 demonstra o comportamento da temperatura de bulbo seco em um dia típico de verão, no modelo simulado. As diferentes variações de temperaturas internas, novamente, demonstram que a modificação da escolha dos materiais construtivos proporciona consideráveis alterações da temperatura interna.

Às 09 horas do dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 17,56°C, com as paredes formadas por placas ou telhas em alumínio. Também às 09 horas do dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 20,07°C, porém, com as paredes formadas por placas ou telhas em fibrocimento. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente 2,5°C. Às 16 horas do dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 29,32°C, com as paredes formadas por placas ou telhas em alumínio. Também às 16 horas do dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 30,93°C, porém, com as paredes formadas por placas ou telhas em fibrocimento. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente 1,6°C. Ao longo das horas do dia típico de verão analisado, materiais com baixa condutividade térmica como blocos de concreto ou tijolos de barro vazados, com espessuras de 20cm, e camada de reboco, atingiram melhor desempenho.

Figura 5.1.8 – Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo da alteração dos materiais dos elementos verticais.

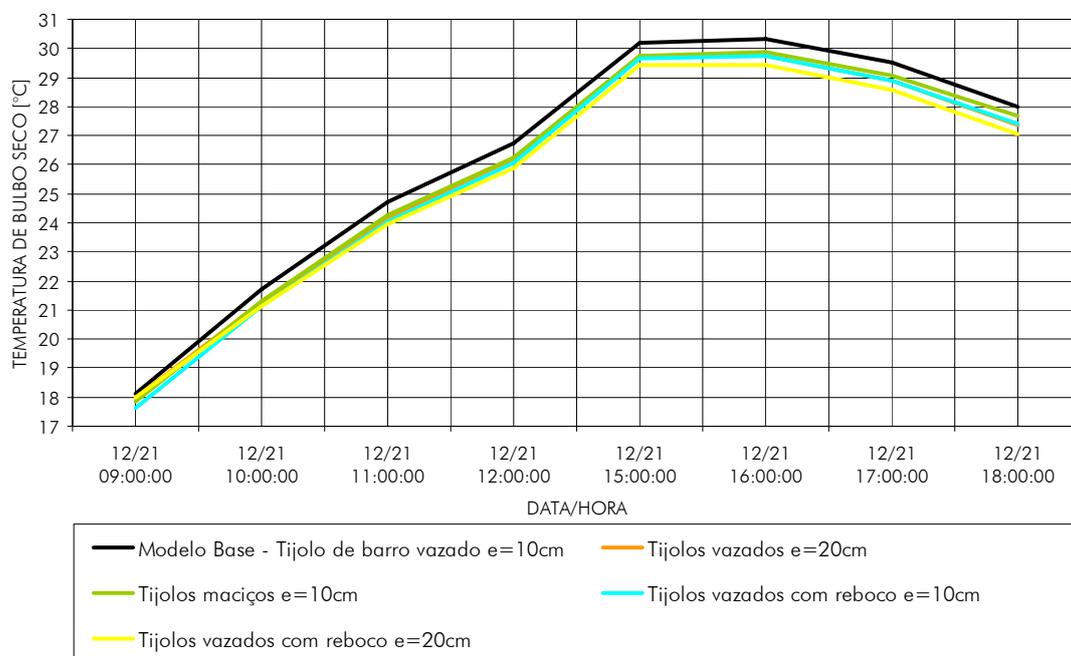


Figura 5.1.9 – Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo da alteração dos materiais dos elementos verticais.

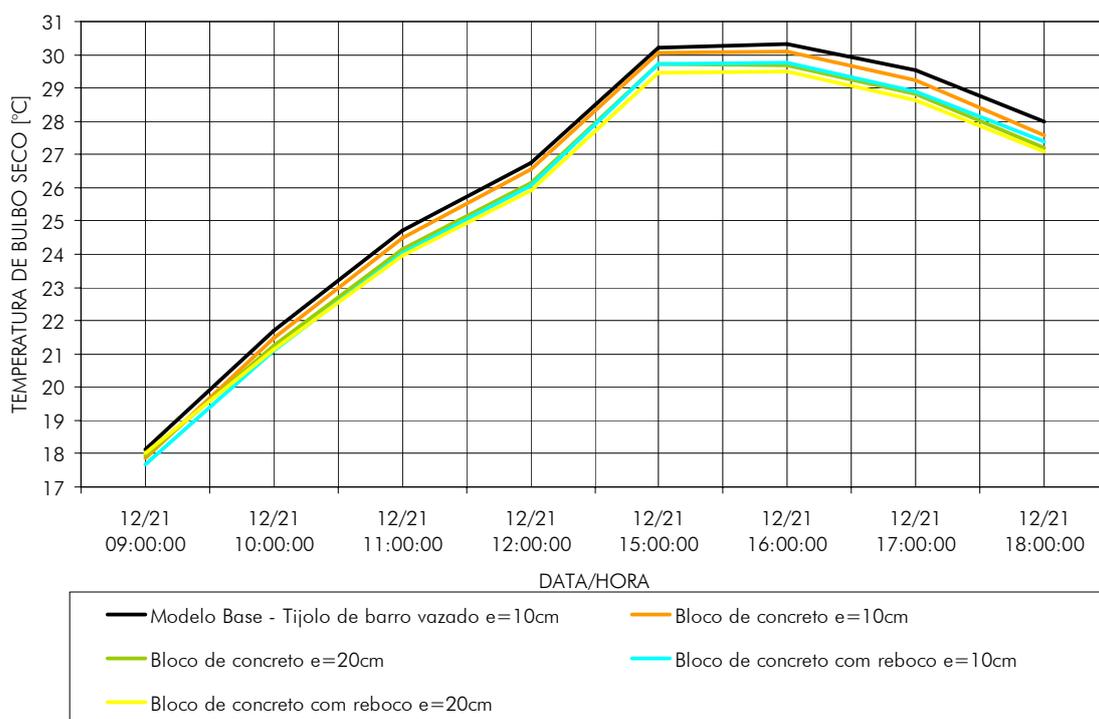
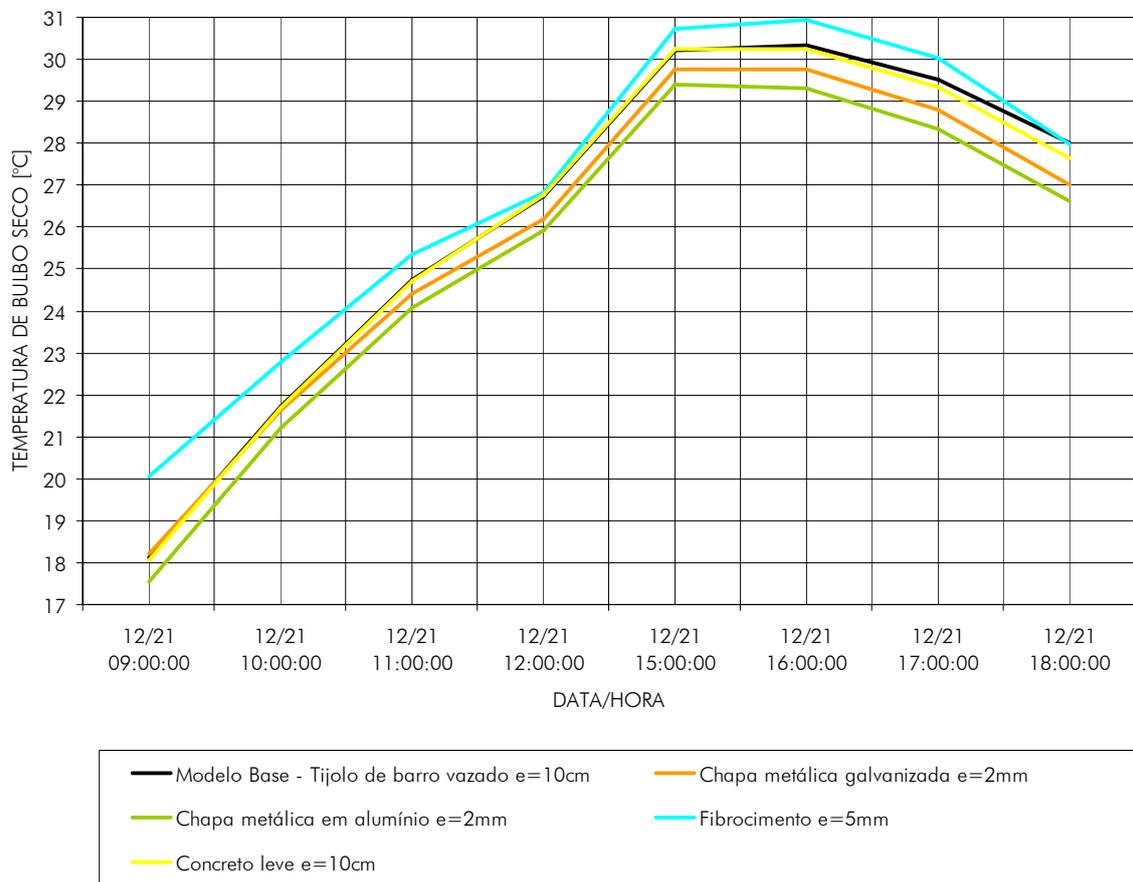


Figura 5.1.10 – Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo da alteração dos materiais dos elementos verticais.



5.2 COBERTURA

A Tabela 5.2.1 demonstra os resultados obtidos nas simulações, para cada material modificado junto à cobertura do modelo proposto.

Tabela 5.2.1 – Valores de horas de desconforto simuladas para alteração dos materiais da cobertura do modelo.

Material no modelo base	Material modificado	COBERTURA			
		Horas de desconforto pelo frio	Horas de desconforto pelo calor	Total de horas de desconforto	% de horas de desconforto no ano*
Telhas de fibrocimento e=5mm	(modelo base)	163	645	808	38,85%
	Chapa metálica galvanizada e=2mm	218	470	688	33,08%
	Chapa metálica em alumínio e=2mm	241	409	650	31,25%
	Telha dupla em alumínio com isolamento em poliestireno e=5,4mm	170	441	611	29,38%
	Telha em zinco e=2mm	192	526	718	34,52%
	Telha em cobre e=2mm	193	527	720	34,62%
	Telha pré-moldada em concreto leve e=10cm	191	501	692	33,27%
	Laje em concreto armado e cobertura de terra e=10cm + 30cm	135	394	529	25,43%
	Laje em concreto armado e cobertura de seixos e=10cm + 10cm	170	433	603	28,99%

- O cálculo da porcentagem de horas de desconforto no ano está baseado em uma carga horária anual de 2080 horas, para uma jornada diária de 8 horas.

As Figuras 5.2.1 e 5.2.2 demonstram os resultados obtidos nas simulações, de forma gráfica, para os índices HDF, HDC e THD simulados, e permitem a visualização direta da proporção das variações.

Figura 5.2.1 – Índices HDF, HDC e THD simulados, representativo da alteração dos materiais da cobertura.

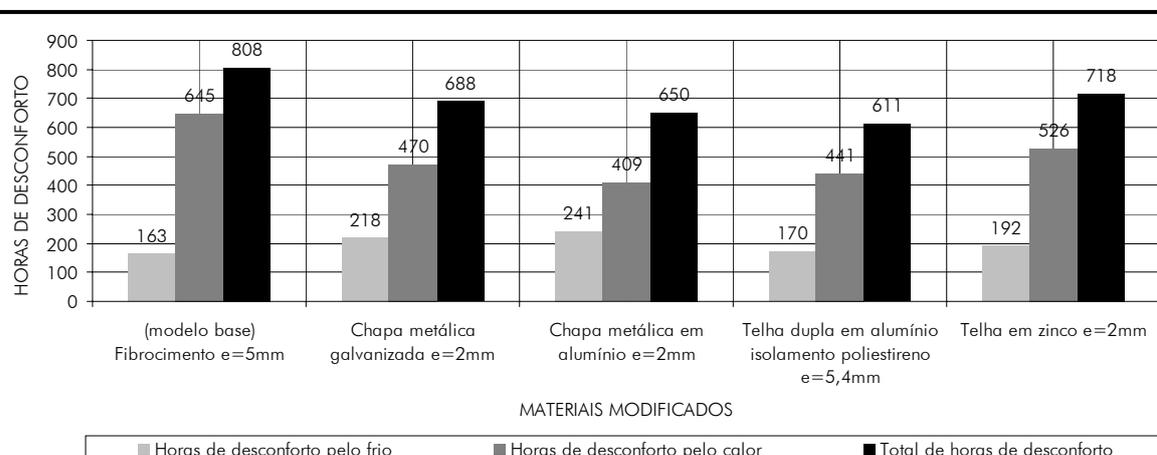
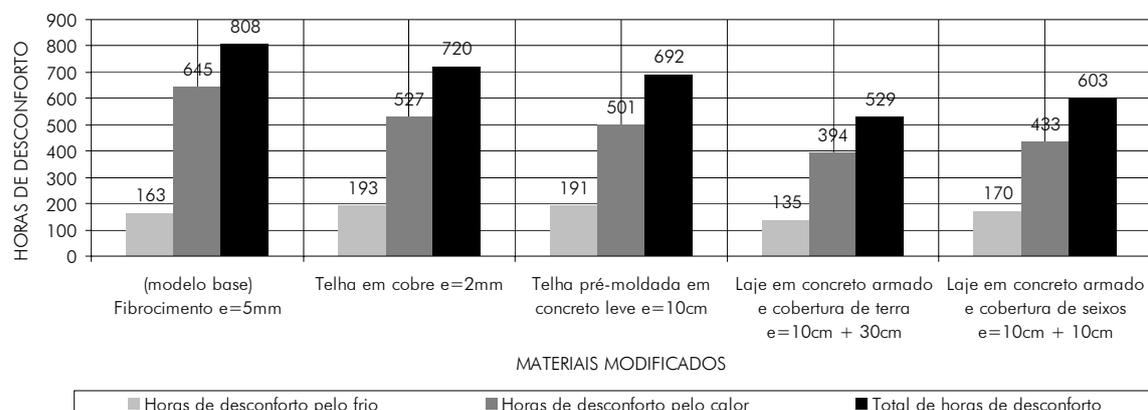


Figura 5.2.2 – Índices HDF, HDC e THD simulados, representativo da alteração dos materiais da cobertura.



As Figuras 5.2.3 e 5.2.4 demonstram os resultados obtidos nas simulações, de forma gráfica, para o índice PHD simulado, e também permitem a visualização direta da proporção das variações.

Os resultados verificados nas simulações realizadas mostram que existe uma variação de 13,42% no índice PHD (porcentagem de horas de desconforto no ano) entre os materiais com o menor e o maior desempenho. A laje em concreto armado com espessura de 10cm, e com cobertura de terra com espessura de 30cm, apresentou resultado de 25,43% no índice PHD, sendo 135 horas de desconforto geradas pelo frio, e 394 horas de desconforto geradas pelo calor, de um total de 529 horas de desconforto. O fibrocimento com espessura de 5mm apresentou resultado de 38,85% no índice PHD, sendo 163 horas de desconforto geradas pelo frio, e 645 horas de desconforto geradas pelo calor, de um total de 808 horas de desconforto. Verifica-se que a laje em concreto armado, com cobertura de terra, comumente utilizada em terraços jardins ou coberturas vegetais, apresenta maior desempenho tanto para o HDF como para o HDC. Atribui-se o resultado ao fato de que a cobertura de terra possui menor condutividade térmica ($W/m.K$) e menor densidade (kg/m^3) do que o fibrocimento. Somado a isto, as camadas de terra utilizadas em coberturas possuem espessuras elevadas, o que auxilia na criação de massa térmica na superfície. A massa térmica,

por sua vez, gera o atraso térmico, efeito que faz com que seja necessário mais horas para transmitir o aquecimento solar, incidido nas superfícies externas, para o interior da edificação. Ou seja, a terra acaba por funcionar como um material isolante térmico, contendo a perda de calor no inverno, e a absorção de calor no verão. No cômputo geral, a laje em concreto armado com espessura de 10cm, e com cobertura de terra com espessura de 30cm, possui maior desempenho.

Desempenhos positivos também foram verificados na cobertura composta por laje em concreto armado com espessura de 10cm, e com cobertura de seixos com espessura de 10cm, e na telha dupla em alumínio com isolamento em poliestireno. Os referidos materiais apresentaram PHD de 28,99% e 29,38%, respectivamente. Tendo em vista que lajes em concreto armado e coberturas vegetais, na maioria das tipologias industriais, acabam por serem inviáveis devido ao custo elevado ou devido à carga do material, verifica-se que telhas duplas de alumínio isoladas tornam-se uma solução técnica plausível.

Verifica-se, nas simulações realizadas, que existe uma variação de 106 horas no índice HDF (horas de desconforto pelo frio) entre os materiais com o menor e com o maior desempenho. A laje em concreto armado com espessura de 10cm, e com cobertura de terra com espessura de 30cm, apresentou resultado de 135 horas no índice HDF, de um total de 529 horas de desconforto. A chapa metálica de alumínio apresentou resultado de 241 horas no índice HDF, de um total de 650 horas de desconforto. Atribui-se o resultado ao fato de que o alumínio possui menor absorvidade térmica do que o concreto e a terra. Ou seja, o alumínio possui baixa capacidade de absorver a energia térmica recebida pela radiação solar, refletindo cerca de 90% do valor incidente. Tal característica termofísica faz com que o alumínio não aqueça o ambiente interno, no inverno, através da radiação. O alumínio também possui elevada condutividade, o que faz com que aumente as perdas internas de calor, conduzindo a energia térmica do ambiente para o exterior.

Verifica-se, também, que existe uma variação de 251 horas no índice HDC (horas de desconforto pelo calor) entre os materiais com o menor e com o maior desempenho. A laje em concreto armado com espessura de 10cm, e com cobertura de terra com espessura de 30cm, apresentou resultado de 394 horas no índice HDC, de um total de 529 horas de desconforto. O fibrocimento com espessura de 5mm apresentou resultado de 645 horas no índice HDC, de um total de 808 horas de desconforto. Atribui-se o resultado, novamente, ao fato de que a cobertura de terra possui menor condutividade térmica ($W/m.K$) e menor densidade (kg/m^3) do que o fibrocimento. Desempenho semelhante foi verificado na chapa metálica de alumínio, que apresentou resultado de 409 horas no índice HDC, de um total de 650 horas de desconforto. Atribui-se o resultado ao fato de que o alumínio possui menor absorvidade térmica do que o fibrocimento, refletindo cerca de 90% da radiação solar incidente.

A análise dos valores demonstra, novamente, que o índice HDC é significativamente superior ao índice HDF. Atribuiu-se a constatação ao fato de que a simulação restringiu-se a análise das horas de ocupação de prédios industriais, geralmente diurnas. Porém, na análise das modificações realizadas nos planos verticais, constatou-se que o HDC é cerca de 3 vezes superior ao HDF. Na análise das modificações realizadas na cobertura, constatou-se que o HDC é cerca de 2 vezes superior ao HDF. Tal indicativo demonstra que a preocupação, quando do projeto de edificações industriais, mesmo para modificações junto à cobertura, deve ser superior para a proteção a altas temperaturas.

Figura 5.2.3 – Índice PHD, representativo da alteração dos materiais da cobertura.

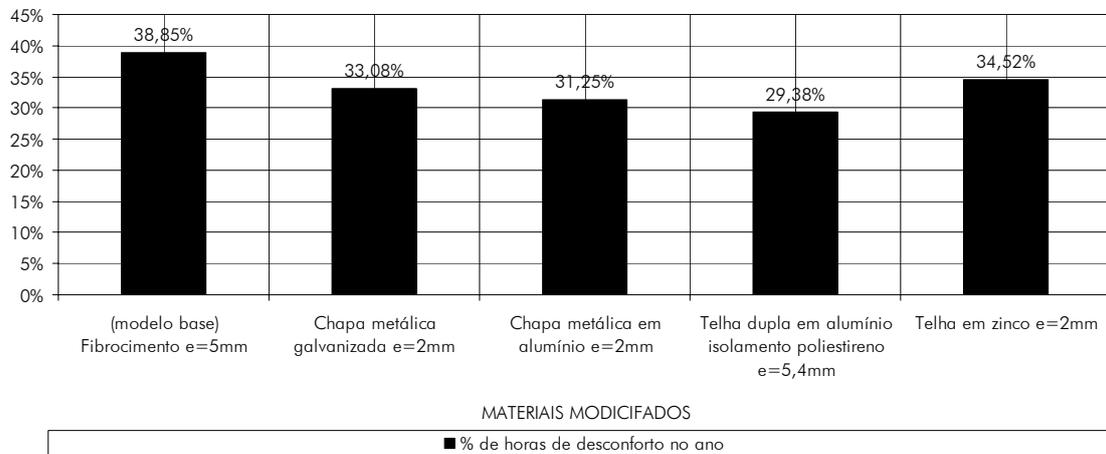
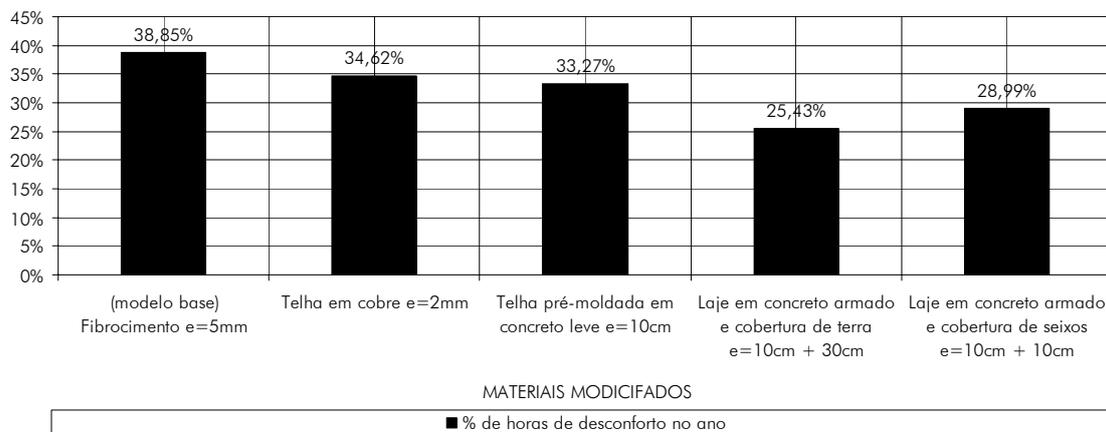
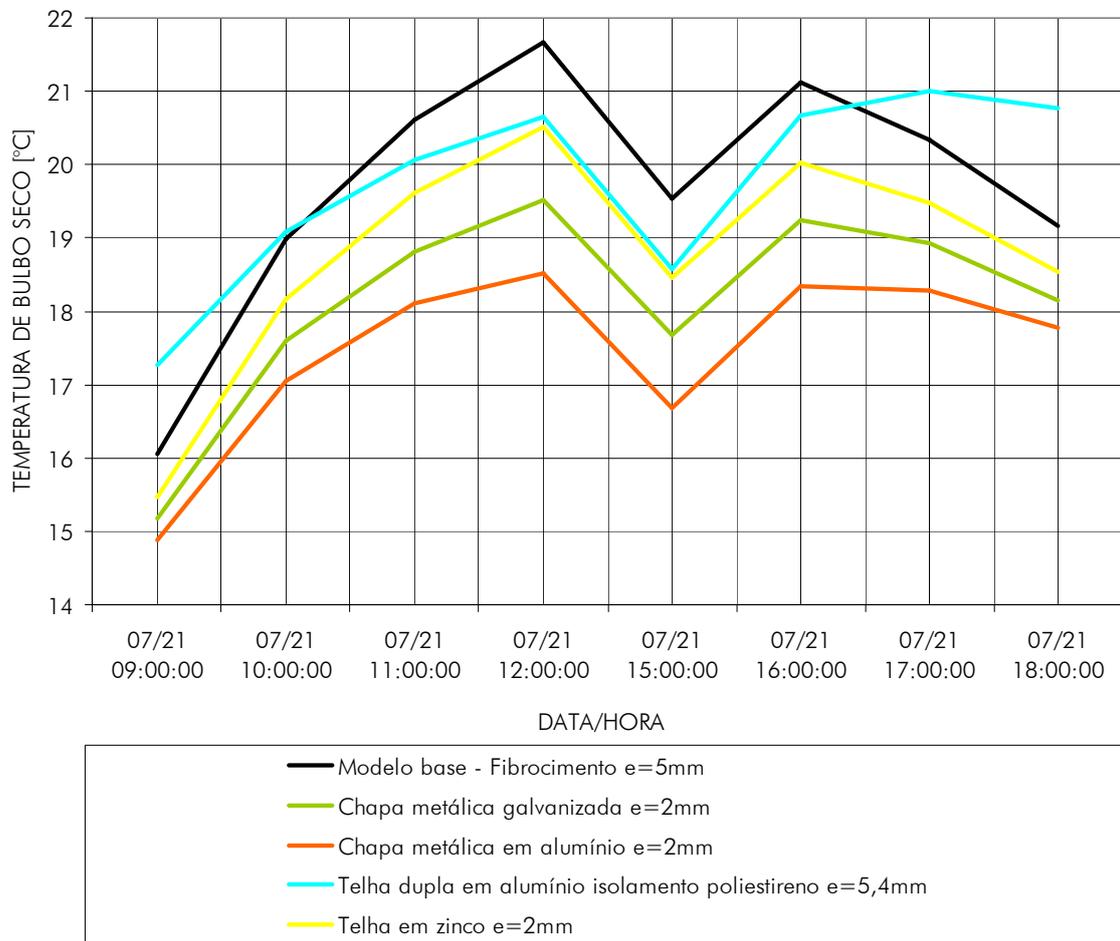


Figura 5.2.4 – Índice PHD, representativo da alteração dos materiais da cobertura.



A análise das Figuras 5.2.5 e 5.2.6 demonstra o comportamento da temperatura de bulbo seco em um dia típico de inverno, no modelo simulado. As diferentes variações de temperaturas internas demonstram que a modificação da escolha dos materiais construtivos da cobertura proporciona consideráveis alterações da temperatura interna.

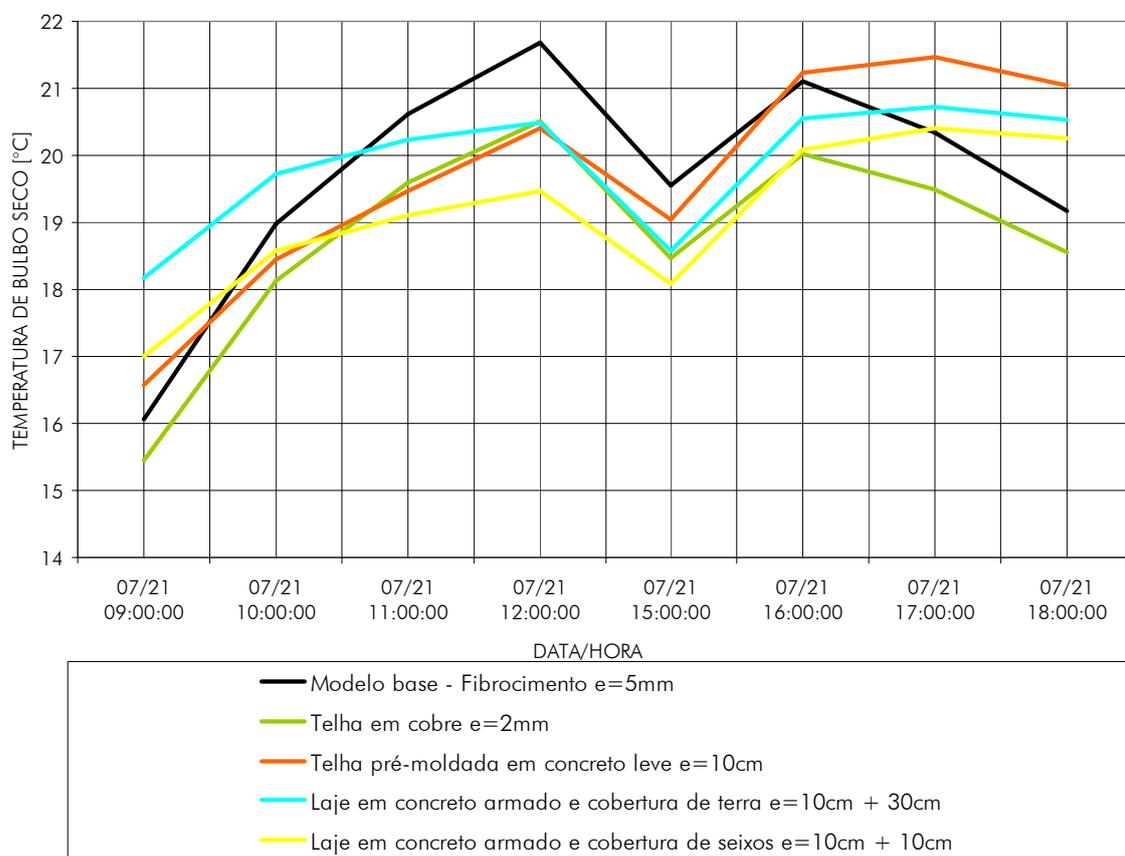
Figura 5.2.5 – Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo da alteração dos materiais da cobertura.



Às 9 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 14,89°C, com a cobertura formada por telhas em alumínio. Também às 9 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 18,18°C, porém, com a cobertura formada por laje em concreto armado com cobertura de 30 cm de terra. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente 3,3°C. Às 12 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 18,52°C, com a cobertura formada por telhas em alumínio. Também às 12 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 21,67°C, porém, com a cobertura formada por telhas em fibrocimento.

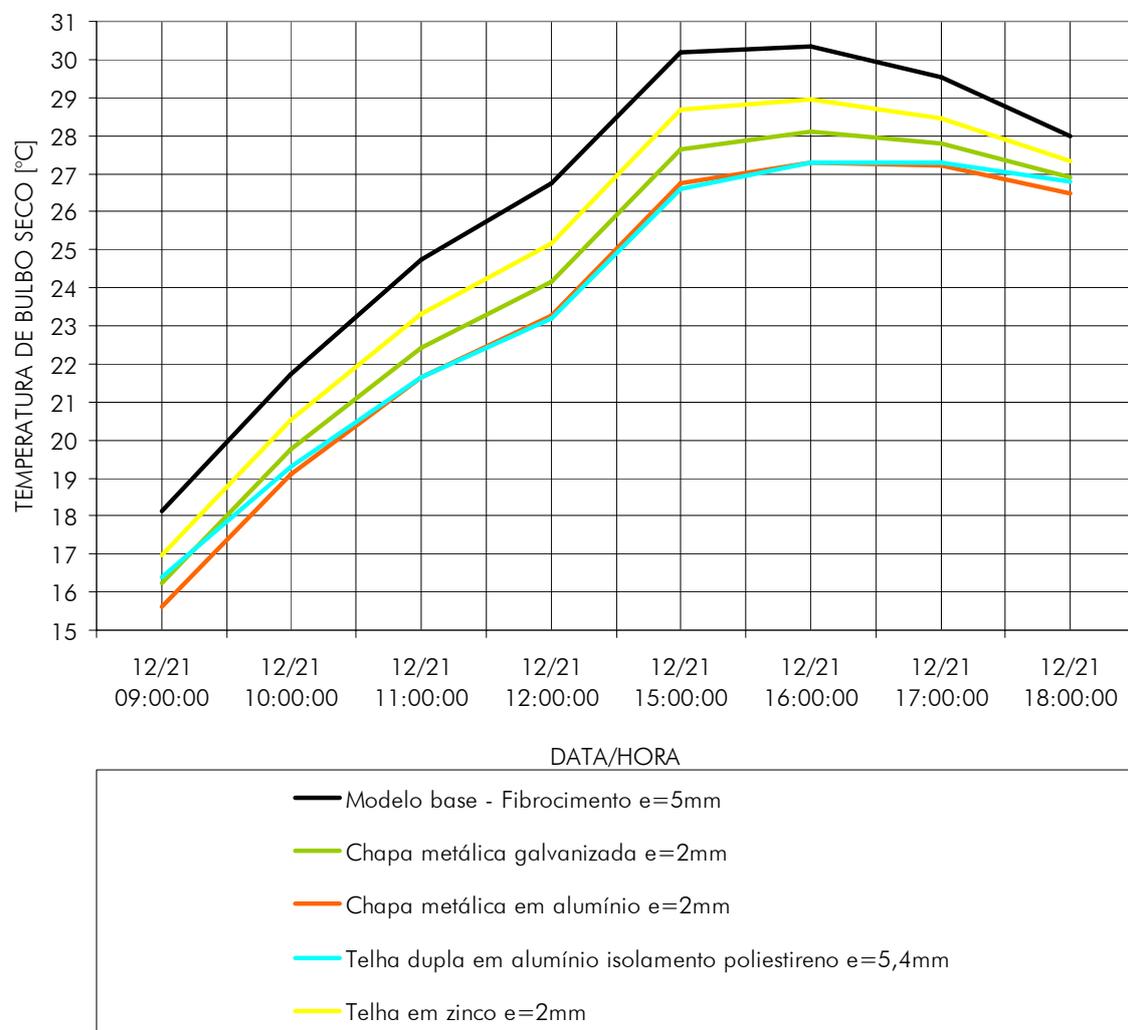
Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente $3,2^{\circ}\text{C}$. Por fim, as 18 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de $17,78^{\circ}\text{C}$, com a cobertura formada por telhas em alumínio. Também às 18 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de $21,03^{\circ}\text{C}$, porém, com a cobertura formada por telhas pré-moldadas em concreto leve, com espessura de 10cm. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente $3,3^{\circ}\text{C}$.

Figura 5.2.6 – Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo da alteração dos materiais da cobertura.



A análise das Figuras 5.2.7 e 5.2.8 demonstra o comportamento da temperatura de bulbo seco em um dia típico de verão, no modelo simulado. As diferentes variações de temperaturas internas, novamente, demonstram que a modificação da escolha dos materiais construtivos proporciona consideráveis alterações da temperatura interna.

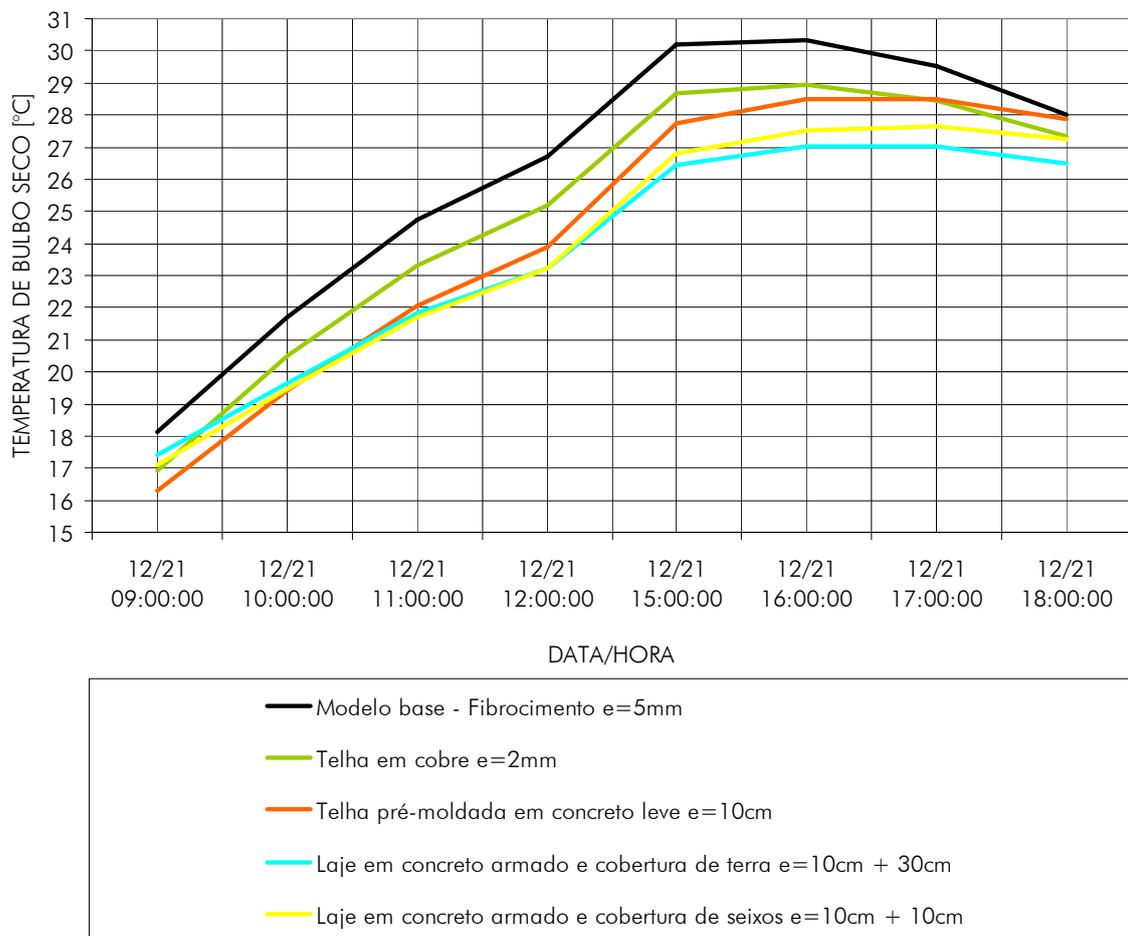
Figura 5.2.7 – Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo da alteração dos materiais da cobertura.



Às 12 horas do dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 23,20°C, com a cobertura formada por telhas duplas em alumínio com isolamento em poliestireno. Também às 12 horas do dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 26,73°C, porém, com as paredes formadas por telhas em fibrocimento. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente 3,5°C. Às 15 horas do dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 26,43°C, com a cobertura formada por laje em concreto armado com cobertura de 30 cm de terra. Também às 15 horas do

dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 30,20°C, porém, com a cobertura formada por telhas em fibrocimento. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente 3,8°C.

Figura 5.2.8 – Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo da alteração dos materiais da cobertura.



Ao longo das horas do dia típico de verão analisado, materiais com baixa condutividade térmica, associados à baixa absorção, como telhas em alumínio com isolamento térmico em poliestireno, ou lajes em concreto armado protegidas por camada de terra ou seixos, atingiram maior desempenho.

5.3 ISOLAMENTO TÉRMICO

A Tabela 5.3.1 demonstra os resultados obtidos nas simulações, para cada material inserido como isolamento térmico do modelo proposto.

Tabela 5.3.1 – Valores de horas de desconforto simuladas para inserção de materiais isolantes térmicos.

ISOLAMENTO TÉRMICO					
Material no modelo base	Material inserido	Horas de desconforto pelo frio	Horas de desconforto pelo calor	Total de horas de desconforto	% de horas de desconforto no ano*
	(modelo base)	163	645	808	38,85%
	Lã de rocha e=5cm	160	478	638	30,67%
	Lã de vidro e=5cm	159	480	639	30,72%
	Poliestireno expandido e=5cm	159	478	637	30,63%
	Poliestireno extrudado e=5cm	159	476	635	30,53%
	Espuma rígida de poliuretano e=5cm	158	475	633	30,43%
Sem isolamento	Gesso e=3cm	182	520	702	33,75%
	Espuma de polietileno reflexiva e=10mm	160	512	672	32,31%
	Parede com isolamento em poliestireno e PVC e=5,5cm	160	637	797	38,32%
	Parede com isolamento em lã de vidro e PVC e=5,5cm	160	637	797	38,32%

* O cálculo da porcentagem de horas de desconforto no ano está baseado em uma carga horária anual de 2080 horas, para uma jornada diária de 8 horas.

As Figuras 5.3.1 e 5.3.2 demonstram os resultados obtidos nas simulações, de forma gráfica, para os índices HDF, HDC e THD simulados, e permite a visualização direta da proporção das variações.

Figura 5.3.1 – Índices HDF, HDC e THD simulados, representativo da inserção de materiais isolantes térmicos.

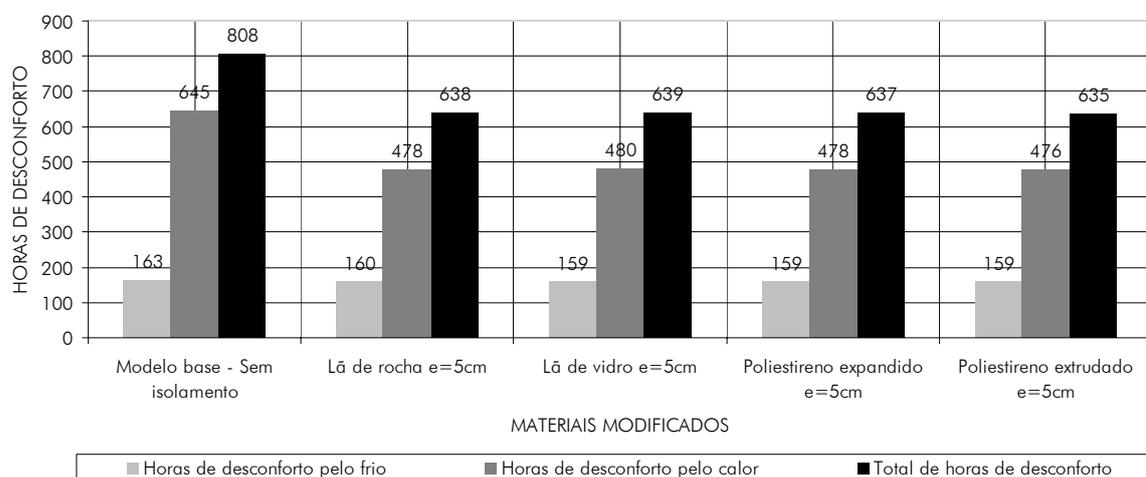
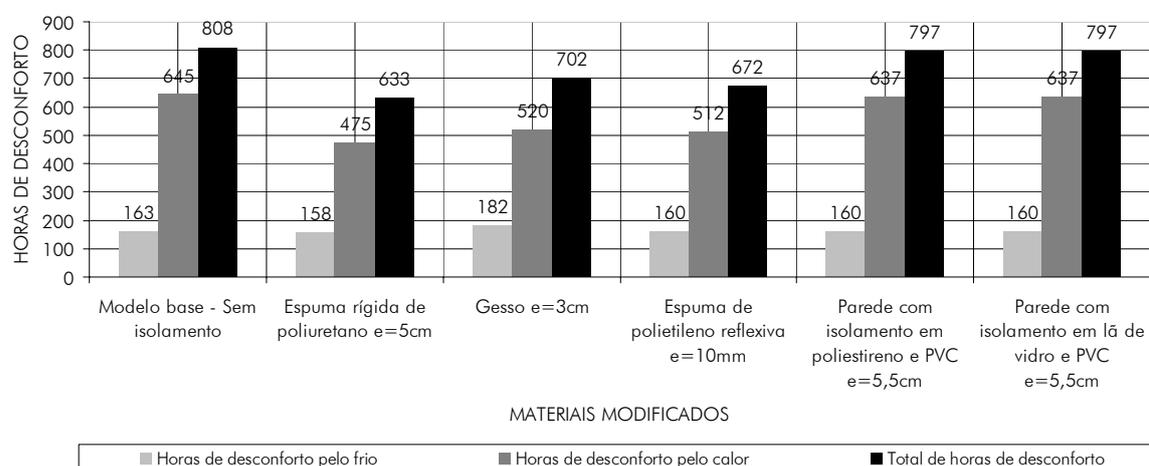


Figura 5.3.2 – Índices HDF, HDC e THD simulados, representativo da inserção de materiais isolantes térmicos.



As Figuras 5.3.3 e 5.3.4 demonstram os resultados obtidos nas simulações, de forma gráfica, para o índice PHD simulado, e também permite a visualização direta da proporção das variações.

Figura 5.3.3 – Índice PHD, representativo da inserção
de materiais isolantes térmicos.

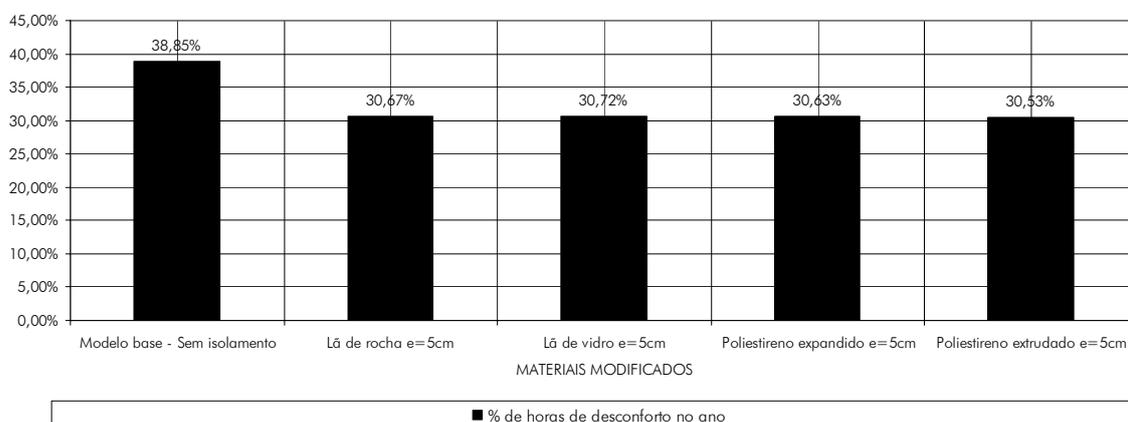
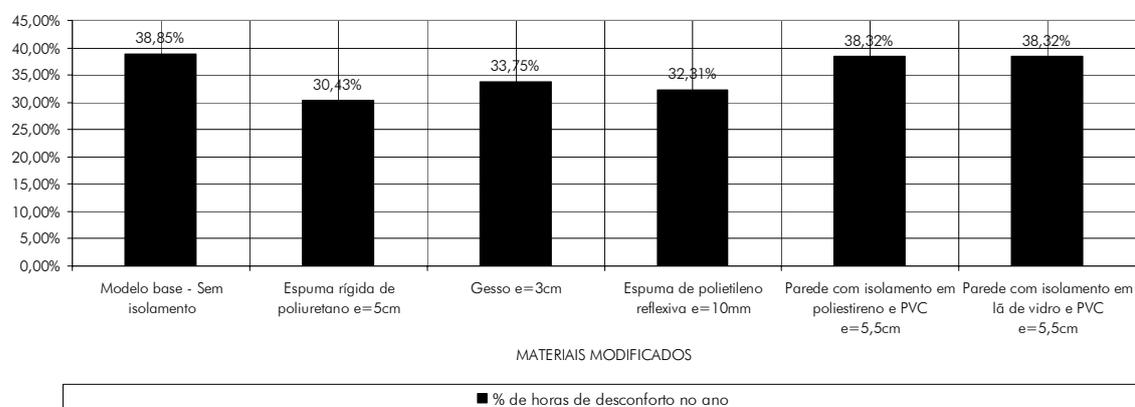


Figura 5.3.4 – Índice PHD, representativo da inserção de materiais isolantes
térmicos.



Os resultados verificados nas simulações realizadas mostram que existe uma variação de 8,42% no índice PHD (porcentagem de horas de desconforto no ano) entre os materiais com o menor e o maior desempenho. A espuma rígida de poliuretano com espessura de 5cm, inserida como forro sob as telhas da cobertura, apresentou resultado de 30,43% no índice PHD, sendo 158 horas de desconforto geradas pelo frio, e 475 horas de desconforto geradas pelo calor, de um total de 633 horas de desconforto. A ausência de isolamento térmico no forro da edificação, mantendo apenas as telhas de fibrocimento do modelo

base, apresentou resultado de 38,85% no índice PHD, sendo 163 horas de desconforto geradas pelo frio, e 645 horas de desconforto geradas pelo calor, de um total de 808 horas de desconforto. Verifica-se que a presença de isolamento térmico em forros de edificações gera maior desempenho tanto para o HDF como para o HDC. Atribui-se o resultado ao fato de que materiais isolantes térmicos possuem menor condutividade térmica ($W/m.K$) e menor densidade (kg/m^3) do que materiais comuns. Somado ao fato, a inserção de materiais isolantes térmicos sob as telhas das edificações acaba por criar uma câmara de ar entre a telha e o forro criado. A referida camada de ar gera a presença de uma câmara não ventilada que possui características resistivas, e que dificultam as trocas térmicas entre o interior e o exterior. Ou seja, no verão ocorre a redução da entrada da energia térmica na edificação através da condução e da radiação, e no inverno ocorre a redução da saída da energia térmica da edificação através da condução e da radiação. No cômputo geral, a espuma rígida de poliuretano com espessura de 5cm possui maior desempenho que os demais materiais.

Desempenhos positivos também foram verificados nos seguintes materiais isolantes térmicos: lã de rocha, lã de vidro, poliestireno expandido, e poliestireno extrudado. Os referidos materiais apresentaram índice PHD de 30,67%, 30,72%, 30,63%, e 30,53%, respectivamente. Tendo em vista que os materiais descritos apresentaram resultados semelhantes de índice PHD, constata-se que existe uma gama de diferentes materiais que atingem o mesmo objetivo de proteção térmica, permitindo a pesquisa do produto com melhor rentabilidade econômica. As inserções de isolamento térmico nas paredes, apesar de propiciarem redução do índice PHD, não apresentaram desempenho significativo, se comparadas às inserções de isolamentos térmicos na cobertura. Ao passo que o isolamento térmico instalado na cobertura gerou reduções do índice de PHD de cerca de 8%, o isolamento térmico instalado nas paredes gerou reduções do índice de PHD de cerca de 0,5%.

Verifica-se, nas simulações realizadas, que existe uma variação de 24 horas no índice HDF (horas de desconforto pelo frio) entre os materiais com o

menor e com o maior desempenho. A espuma rígida de poliuretano com espessura de 5cm, inserida como forro sob as telhas da cobertura, apresentou resultado de 158 horas no índice HDF, de um total de 633 horas de desconforto. O forro de gesso inserido apresentou resultado de 182 horas no índice HDF, de um total de 702 horas de desconforto. Atribui-se o resultado ao fato de que a espuma rígida de poliuretano possui menor condutividade térmica do que o gesso. Ou seja, a lenta condução do calor através da espessura do material gera o atraso térmico, efeito que faz com que sejam reduzidas as perdas do calor interno da edificação, para o exterior. A espuma rígida de poliuretano também possui menor densidade, o que faz com o material seja mais poroso, possuindo alvéolos resistivos de ar em seu interior, dificultando as perdas de energia térmica. Importante ressaltar, nesta análise, que a inserção do forro de gesso em um modelo computacional que não possuía forro, acabou por majorar as horas de desconforto proporcionadas pelo frio. Atribui-se o resultado ao fato de que o gesso possui baixa absorvência térmica, e alta condutividade, sendo a última cerca de dez vezes superior em relação a outros materiais isolantes. Ou seja, o gesso, nos horários diurnos analisados, reflete o calor que acessa a camada de ar do forro da edificação por meio da radiação, inibindo o aumento da temperatura interna no inverno. Da mesma forma, a alta condutividade permite a transferência da baixa temperatura do ar externo, por condução.

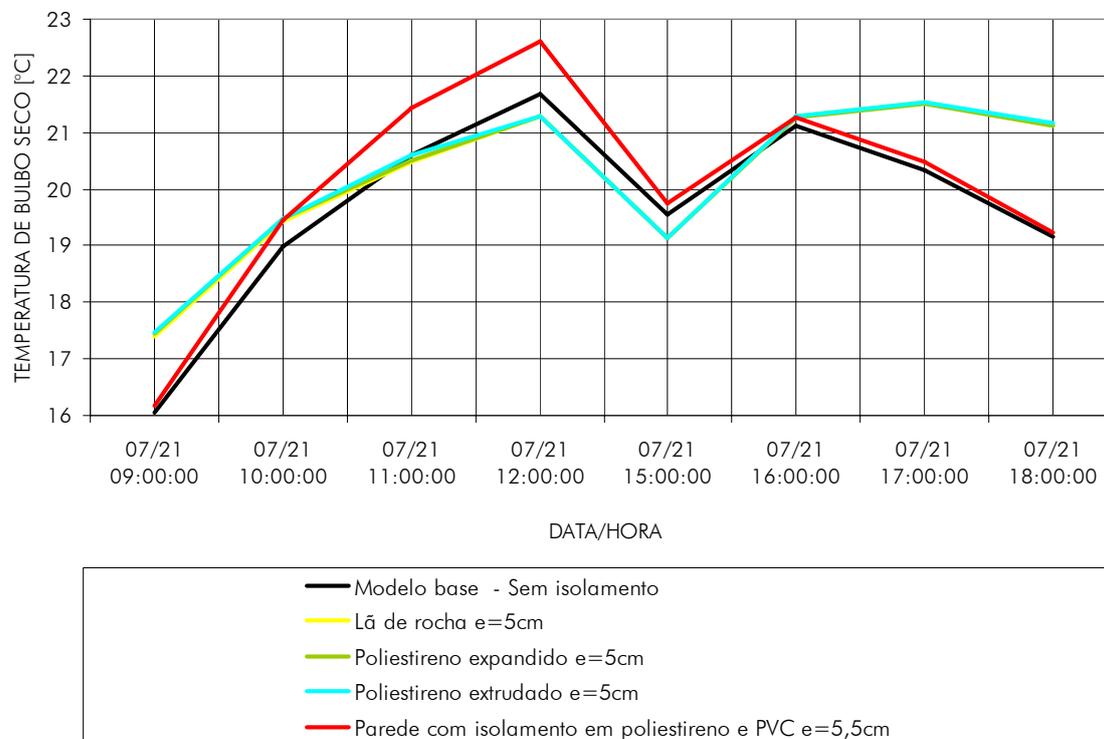
Verifica-se, também, que existe uma variação de 170 horas no índice HDC (horas de desconforto pelo calor) entre os materiais com o menor e o maior desempenho. A espuma rígida de poliuretano com espessura de 5cm, inserida como forro sob as telhas da cobertura, apresentou resultado de 475 horas no índice HDC, de um total de 633 horas de desconforto. A ausência de isolamento térmico no forro da edificação, mantendo apenas as telhas de fibrocimento do modelo base, apresentou resultado de 645 horas no índice HDC, de um total de 808 horas de desconforto. Verifica-se, novamente, que a presença de isolamento térmico em forros de edificações gera maior desempenho tanto para o HDF como para o HDC. O fato de que materiais isolantes térmicos possuem menor

condutividade térmica ($W/m.K$) e menor densidade (kg/m^3) do que materiais comuns acaba por elevar o desempenho das edificações, como forma de mantê-las dentro de uma faixa de conforto de temperaturas. A geração de câmaras de ar entre as telhas e o forro acaba por criar um volume de ar não ventilado que possui características resistivas, e que dificulta as trocas térmicas entre o interior e o exterior, tanto no inverno como no verão. No cômputo geral, a espuma rígida de poliuretano com espessura de 5cm possui maior desempenho que os demais materiais isolantes.

A análise dos valores demonstra, novamente, que o índice HDC é significativamente superior ao índice HDF. Na análise das modificações realizadas nos planos verticais, constatou-se que o HDC é cerca de 3 vezes superior ao HDF, enquanto que para inserção de isolantes térmicos, constatou-se que o HDC mantêm-se cerca de 3 vezes superior ao HDF. Tal indicativo demonstra que a preocupação, quando do projeto de edificações industriais, mesmo para a inserção de isolamentos térmicos, deve ser superior para a proteção a altas temperaturas.

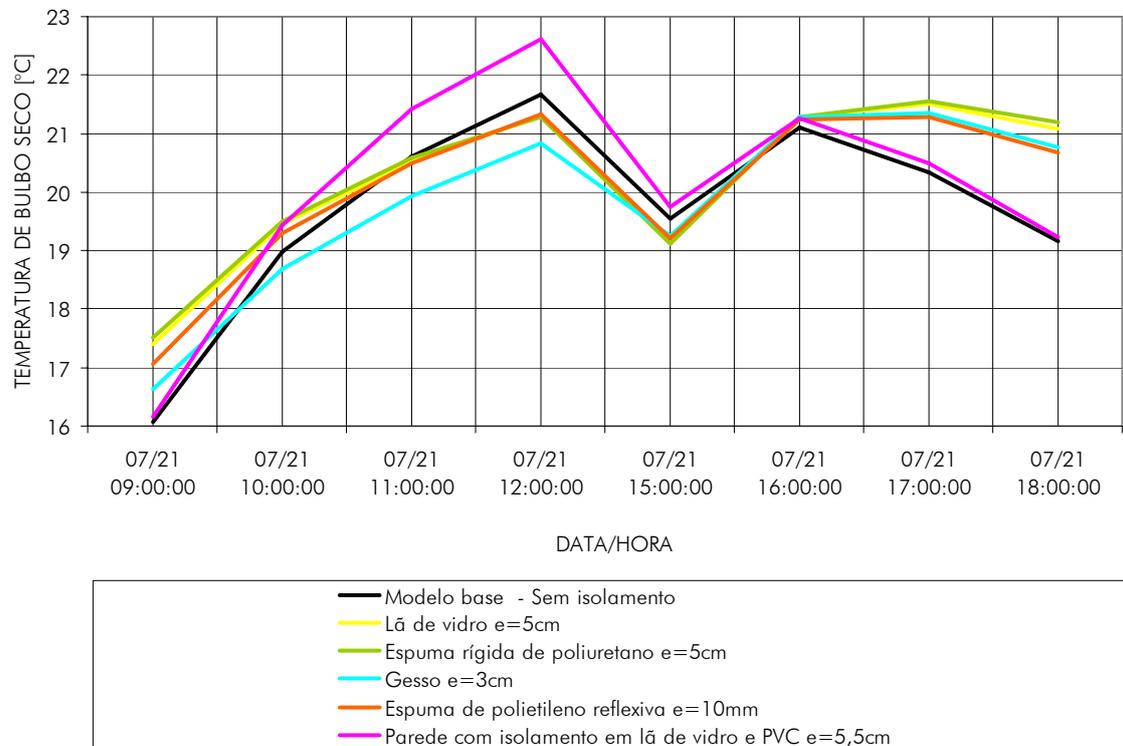
A análise das Figuras 5.3.5 e 5.3.6 demonstra o comportamento da temperatura de bulbo seco em um dia típico de inverno, no modelo simulado. Os resultados demonstram que a inserção de materiais construtivos isolantes térmicos proporciona consideráveis alterações na temperatura interna.

Figura 5.3.5 – Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo da inserção de materiais isolantes térmicos.



Às 12 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 20,84°C, com a inserção de forro em gesso sob as telhas da edificação. Também às 12 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 22,62°C, porém, com a inserção de isolamento térmico em lã de vidro e PVC nas paredes. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente 1,8°C. Às 18 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 19,16°C, com a ausência de isolamento térmico no forro da edificação, mantendo apenas as telhas de fibrocimento do modelo base. Também às 18 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 21,20°C, porém, com a presença de espuma rígida de poliuretano com espessura de 5cm, inserida como forro sob as telhas da cobertura. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente 2°C.

Figura 5.3.6 – Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo da inserção de materiais isolantes térmicos.

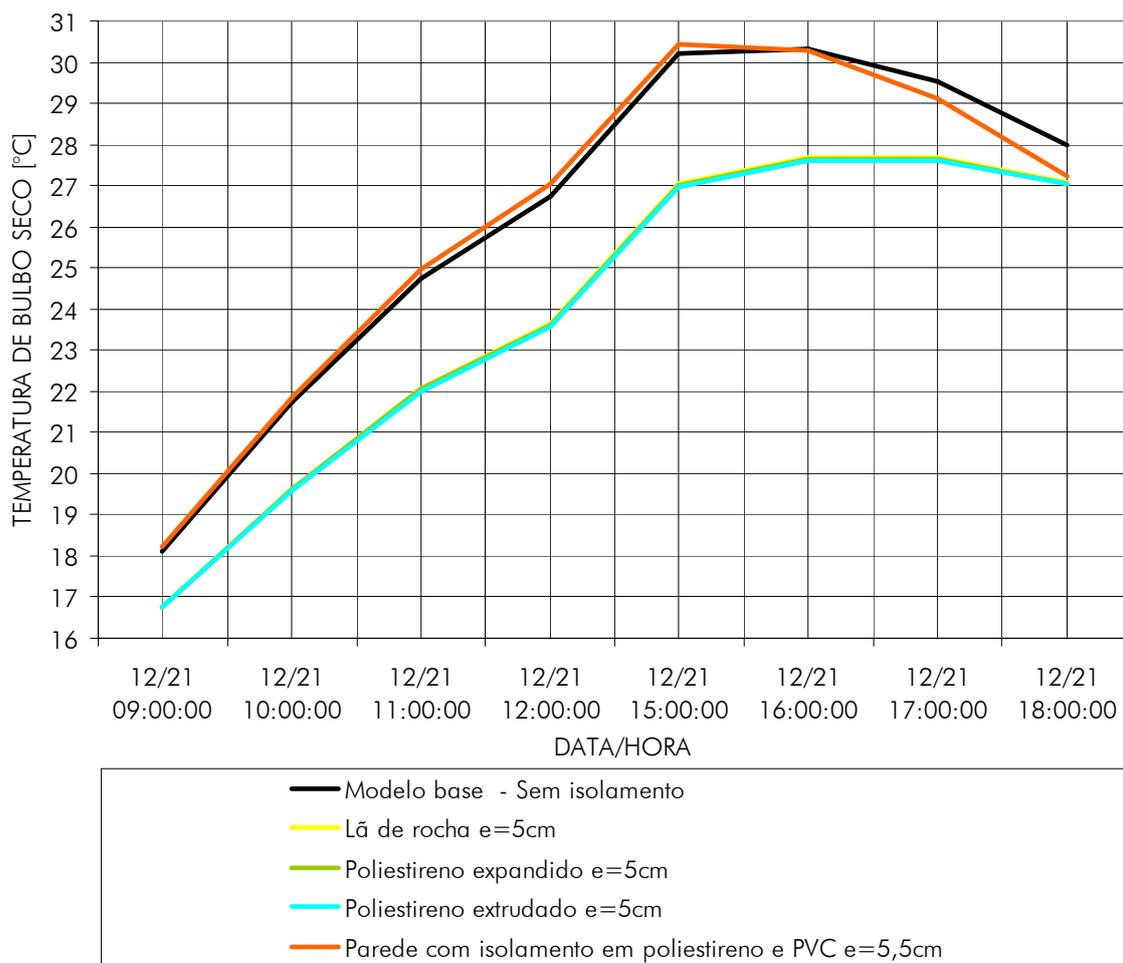


A análise das Figuras 5.3.5 e 5.3.6 também demonstra o comportamento da inserção de isolamentos térmicos nas paredes. Verifica-se que sua efetividade se acentua no inverno, e no período entre as 11 e as 16 horas, momentos em que a temperatura externa encontra-se elevada em relação às demais horas do dia. Atribui-se tal resultado ao fato de que, no inverno, o ângulo de movimentação do sol em relação ao plano da terra é reduzido em comparação ao verão. Ou seja, no inverno o sol atinge os planos das paredes de forma direta e próxima a perpendicularidade. Na mesma estação, a radiação solar atinge o plano da cobertura com angulação próxima ao paralelismo.

A análise da Figura 5.3.7 e 5.3.8 demonstra o comportamento da temperatura de bulbo seco em um dia típico de verão, no modelo simulado. O

gráfico demonstra, novamente, que a inserção de materiais construtivos isolantes térmicos proporciona consideráveis alterações da temperatura interna.

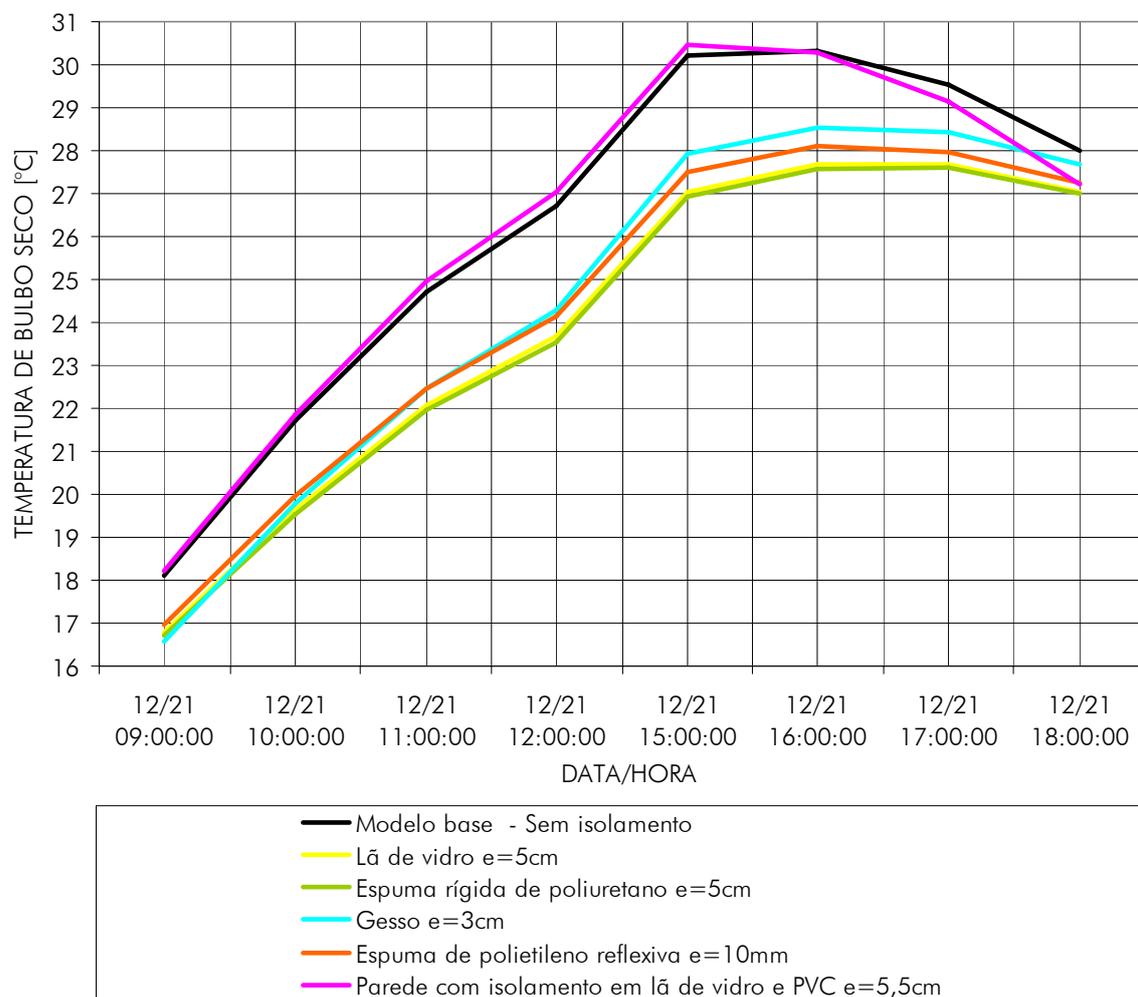
Figura 5.3.7 – Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo da inserção de materiais isolantes térmicos.



Às 12 horas do dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 23,53°C, com a inserção de forro em espuma rígida de poliuretano sob as telhas da edificação. Também às 12 horas do dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 27,03°C, porém, com a inserção de isolamento em lã de vidro e PVC nas paredes. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente 3,5°C. Às 15 horas do dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 26,92°C, com a inserção de forro

em espuma rígida de poliuretano sob as telhas da edificação. Também às 15 horas do dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 30,45°C, porém, com a inserção de isolamento em lã de vidro e PVC nas paredes. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente 3,5°C. Por fim, às 16 horas do dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 27,58°C, com a inserção de forro em espuma rígida de poliuretano sob as telhas da edificação. Também às 16 horas do dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 30,33°C, porém, com a ausência de isolamento térmico no forro da edificação, mantendo apenas as telhas de fibrocimento do modelo base. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente 2,7°C.

Figura 5.3.8 – Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo da inserção de materiais isolantes térmicos.



Importante ressaltar, nesta análise, que a inserção de isolamento em lã de vidro e PVC nas paredes, em um modelo computacional que não possuía isolamento, acabou por majorar as horas de desconforto proporcionadas pelo calor no período das 9 às 15 horas do dia típico de verão estudado. Atribui-se o resultado ao fato de que no verão a incidência da radiação solar é superior sobre a cobertura da edificação. Ou seja, nos horários diurnos analisados, a radiação solar incide principalmente sobre a cobertura, aumentando a temperatura interna da edificação. Porém, a presença de isolamento térmico apenas nas paredes, área onde o sol incide com menor intensidade no verão, dificulta a perda de calor por condução.

5.4 ABSORTÂNCIA

A Tabela 5.4.1 demonstra os resultados obtidos nas simulações, para cada revestimento ou material inserido, como forma de modificar a absorvância térmica do modelo proposto.

Tabela 5.4.1 – Valores de horas de desconforto simuladas para inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorvâncias térmicas.

Material no modelo base	Material modificado	ABSORVÂNCIA			
		Horas de desconforto pelo frio	Horas de desconforto pelo calor	Total de horas de desconforto	% de horas de desconforto no ano*
	(modelo base)	163	645	808	38,85%
	Pintura das faces externas das paredes na cor verde	167	625	792	38,08%
	Pintura das faces externas das paredes na cor amarela	170	582	752	36,15%
	Pintura das faces externas das paredes na cor branco fosco	176	569	745	35,82%
	Pintura das faces externas das paredes na cor branco reflexivo	180	551	731	35,14%
Cobertura em telhas de fibrocimento sem revestimento, e paredes em tijolos de barro vazados sem revestimento	Faces externas das paredes com revestimento em cerâmica branca reflexiva	176	546	722	34,71%
	Pintura da face externa da cobertura na cor branco reflexivo	224	449	673	32,36%
	Cobertura revestida em sua face externa com manta aluminizada	241	411	652	31,35%

* O cálculo da porcentagem de horas de desconforto no ano está baseado em uma carga horária anual de 2080 horas, para uma jornada diária de 8 horas.

As Figuras 5.4.1 e 5.4.2 demonstram os resultados obtidos nas simulações, de forma gráfica, para os índices HDF, HDC e THD simulados, e permitem a visualização direta da proporção das variações.

Figura 5.4.1 – Índices HDF, HDC e THD simulados, representativo da inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorções térmicas.

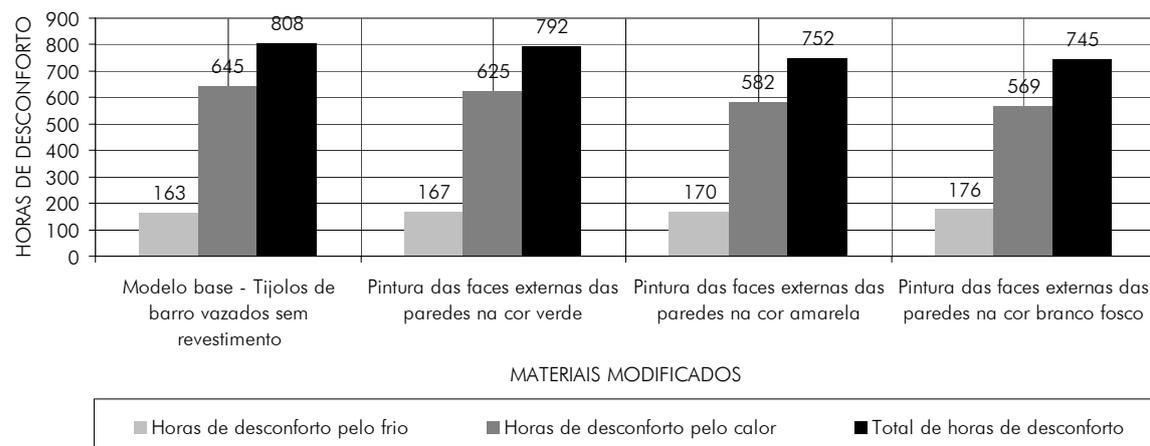
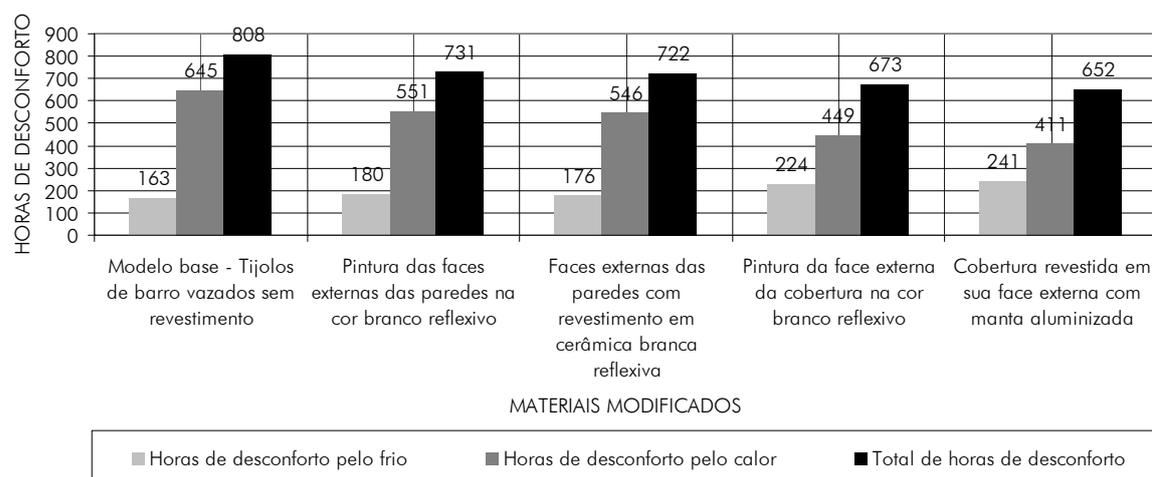


Figura 5.4.2 – Índices HDF, HDC e THD simulados, representativo da inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorções térmicas.



As Figuras 5.4.3 e 5.4.4 demonstram os resultados obtidos nas simulações, de forma gráfica, para o índice PHD simulado, e também permitem a visualização direta da proporção das variações.

Figura 5.4.3 – Índice PHD, representativo da inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorptâncias térmicas.

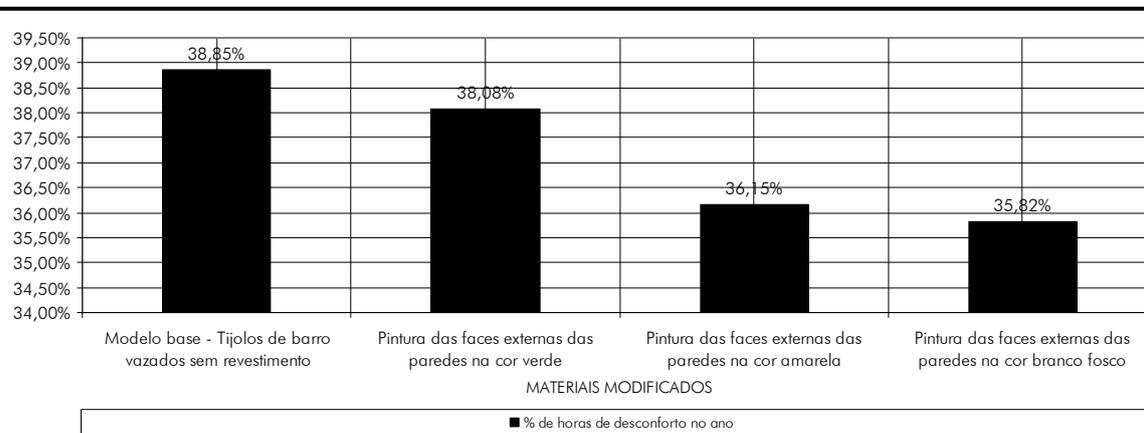
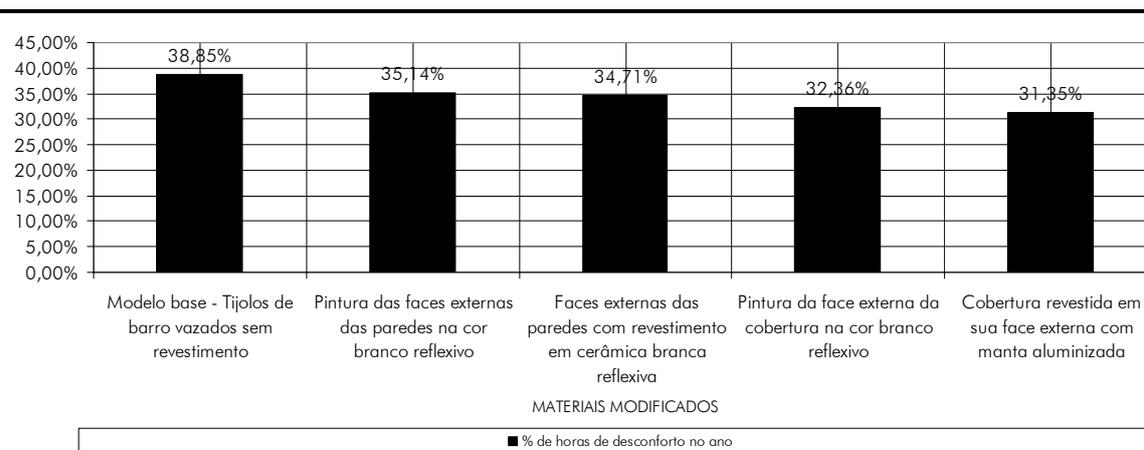


Figura 5.4.4 – Índice PHD, representativo da inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorptâncias térmicas.



Os resultados verificados, nas simulações realizadas, demonstram que existe uma variação de 7,5% no índice PHD (porcentagem de horas de desconforto no ano) entre os materiais com o menor e com o maior desempenho. A cobertura revestida em sua face externa com manta aluminizada apresentou resultado de 31,35% no índice PHD, sendo 241 horas de desconforto geradas pelo frio, e 411 horas de desconforto geradas pelo calor, de um total de 652 horas de desconforto. A manutenção da absorptância das telhas de fibrocimento do modelo base apresentou resultado de 38,85% no índice PHD, sendo 163 horas de desconforto geradas pelo frio, e 645 horas de desconforto geradas pelo calor,

de um total de 808 horas de desconforto. Apesar do maior desempenho geral apresentado pela manta aluminizada revestindo a cobertura, verifica-se que o fibrocimento apresenta maior desempenho para redução das horas de desconforto pelo frio (HDF). Atribui-se o resultado ao fato de que a manta aluminizada possui menor absorvência térmica do que o fibrocimento. Ou seja, o alumínio possui baixa capacidade de absorver a energia térmica recebida pela radiação solar, refletindo cerca de 90% do valor incidente. Tal característica termofísica faz com que o alumínio não aqueça o ambiente interno, no inverno, através da radiação. Porém, tal característica é benéfica no verão, pois impede o acesso da maior parcela de radiação solar, evitando o aquecimento interno da edificação. Nessa análise, devido à utilização do modelo em horários diurnos, visto que possui uso industrial, tal característica não influenciou negativamente nos resultados. No cômputo geral, a inserção de manta aluminizada na cobertura possui maior desempenho.

Desempenhos positivos também foram verificados nos seguintes materiais, que possuem baixa absorvência térmica: pintura das faces externas das paredes na cor branco reflexivo, faces externas das paredes com revestimento em cerâmica na cor branco reflexivo, e pintura da face externa da cobertura na cor branco reflexivo. Os referidos materiais ou revestimentos apresentaram índice PHD de 35,14%, 34,71%, e 32,36%, respectivamente. Tendo em vista que os materiais descritos apresentaram resultados semelhantes no índice PHD. As modificações da absorvência térmica das paredes, apesar de propiciarem redução do índice PHD, não apresentaram desempenho significativo, se comparadas às modificações da absorvência térmica na cobertura. Ao passo que a pintura das faces externas das paredes na cor branco reflexivo gerou reduções do índice de PHD de cerca de 3,7%, a mesma pintura das faces externas na cor branco reflexivo, porém, realizada na cobertura, gerou reduções do índice de PHD de cerca de 6,5%.

Verifica-se nas simulações realizadas que existe uma variação de 78 horas no índice HDF (horas de desconforto pelo frio) entre os materiais com o menor e o maior desempenho. A manutenção da cobertura em telhas de

fibrocimento com espessura de 5mm, existente no modelo base, apresentou resultado de 163 horas no índice HDF, de um total de 808 horas de desconforto. A cobertura revestida em sua face externa com manta aluminizada apresentou resultado de 241 horas no índice HDF, de um total de 652 horas de desconforto. Atribui-se o resultado, novamente, ao fato de que a manta aluminizada possui menor absorvidade térmica do que o fibrocimento. Ou seja, a manta aluminizada possui baixa capacidade de absorver a energia térmica recebida pela radiação solar, fazendo com que o ambiente interno não possua aquecimento significativo, no inverno, através da radiação.

Verifica-se, também, que existe uma variação de 234 horas no índice HDC (horas de desconforto pelo calor) entre os materiais com o menor e com o maior desempenho. A cobertura revestida em sua face externa com manta aluminizada apresentou resultado de 411 horas no índice HDC, de um total de 652 de desconforto. A manutenção da cobertura em telhas de fibrocimento com espessura de 5mm, existente no modelo base, apresentou resultado de 645 horas no índice HDC, de um total de 808 horas de desconforto. Conforme referido anteriormente, o alumínio possui menor absorvidade térmica do que o fibrocimento, o que gera uma redução da absorção térmica de cerca de 90%, bem como gera a reflexão da maior parcela de calor incidida através da radiação solar.

A análise dos valores demonstra, novamente, que o índice HDC é significativamente superior ao índice HDF. Na análise das modificações realizadas nos planos verticais, constatou-se que o HDC é cerca de 3 vezes superior ao HDF. Na análise das modificações realizadas para inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorvidades térmicas, constatou-se que o HDC mantêm-se cerca de 3 vezes superior ao HDF. Tal indicativo demonstra que a preocupação, quando do projeto de edificações industriais, mesmo para modificação das absorvâncias das superfícies, deve ser superior para a proteção a altas temperaturas.

A análise das Figuras 5.4.5 e 5.4.6 demonstra o comportamento da temperatura de bulbo seco em um dia típico de inverno, no modelo simulado. Os resultados demonstram que a inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorptâncias térmicas proporciona consideráveis alterações da temperatura interna. Tal análise comprova, também, as avaliações já realizadas quando da verificação dos índices HDF e HDC. Verifica-se que a inserção de materiais ou de revestimentos com valores reduzidos de absorptância térmica reduz o desempenho da edificação no inverno, em virtude da redução das temperaturas internas, porém, aumenta significativamente o desempenho da edificação no verão, também em virtude da redução das temperaturas internas.

Figura 5.4.5 – Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo da inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorptâncias térmicas.

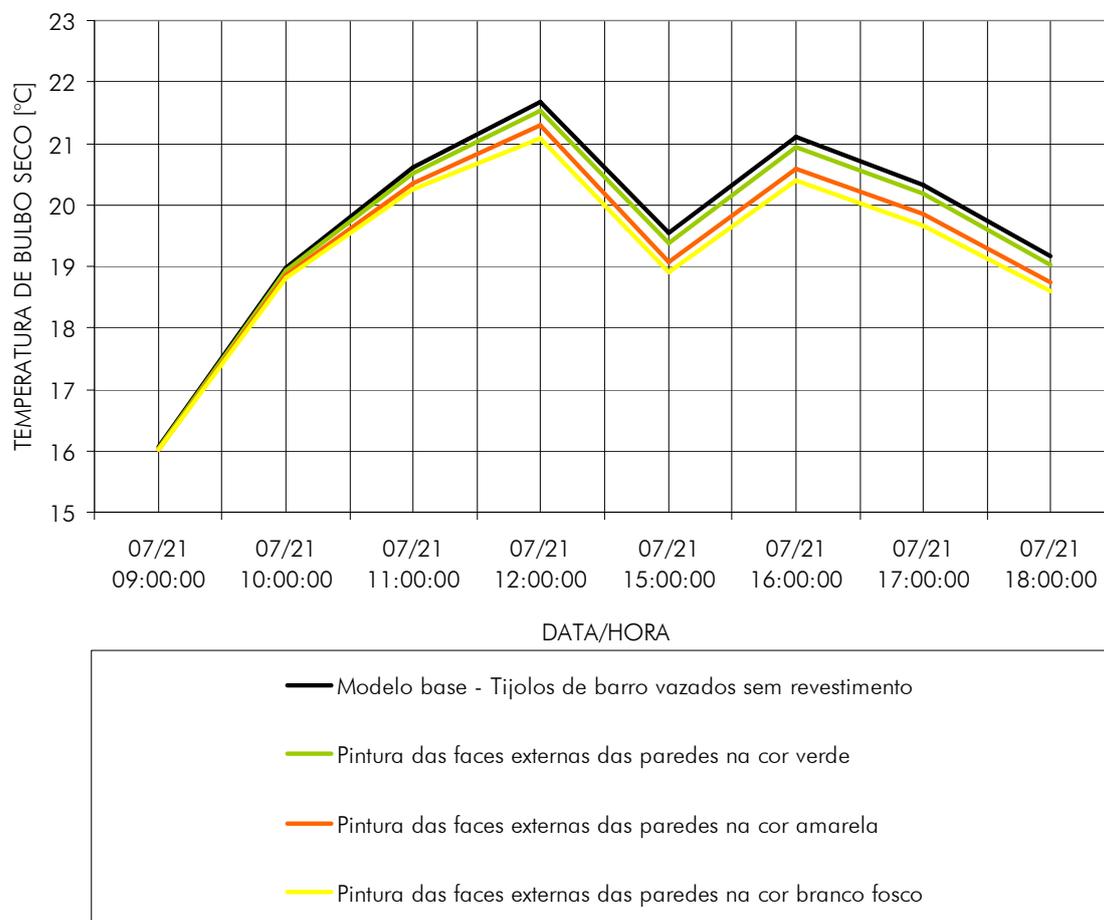
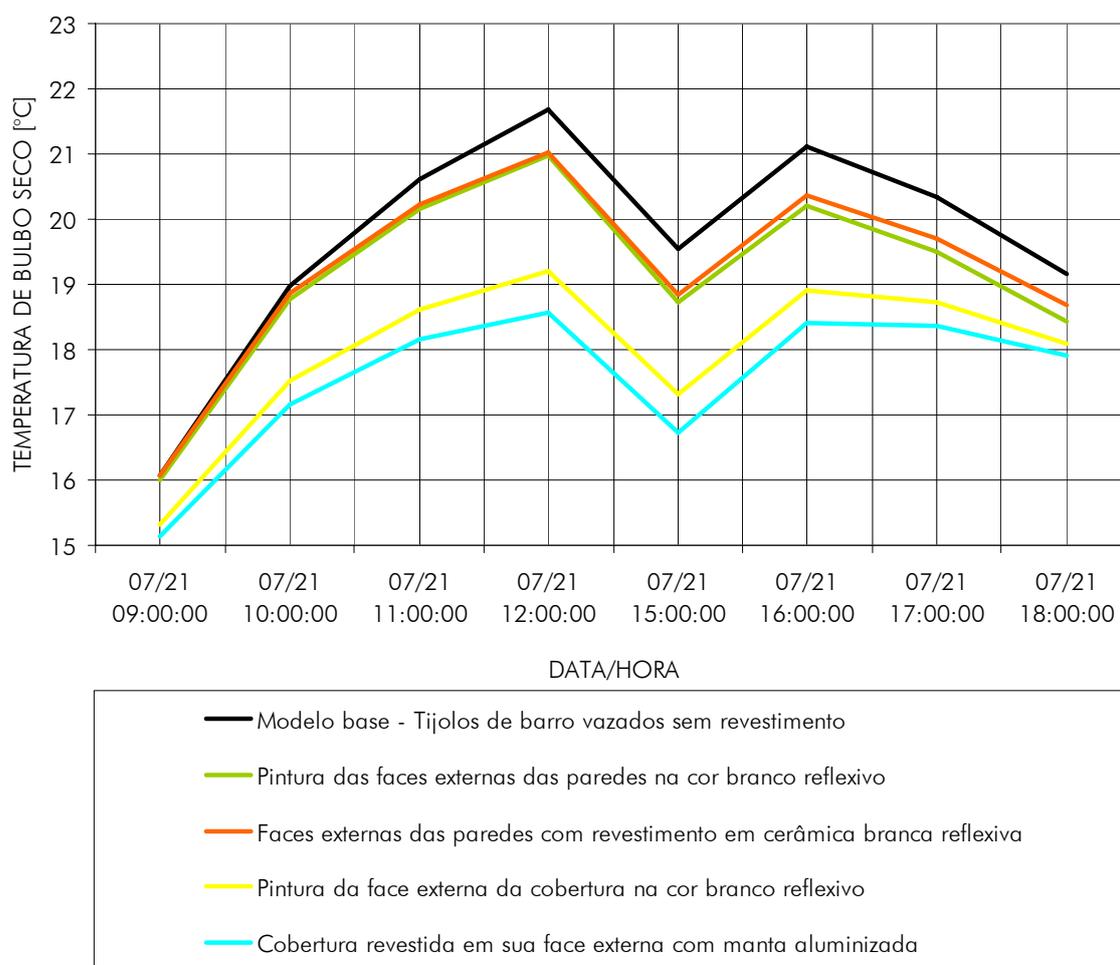


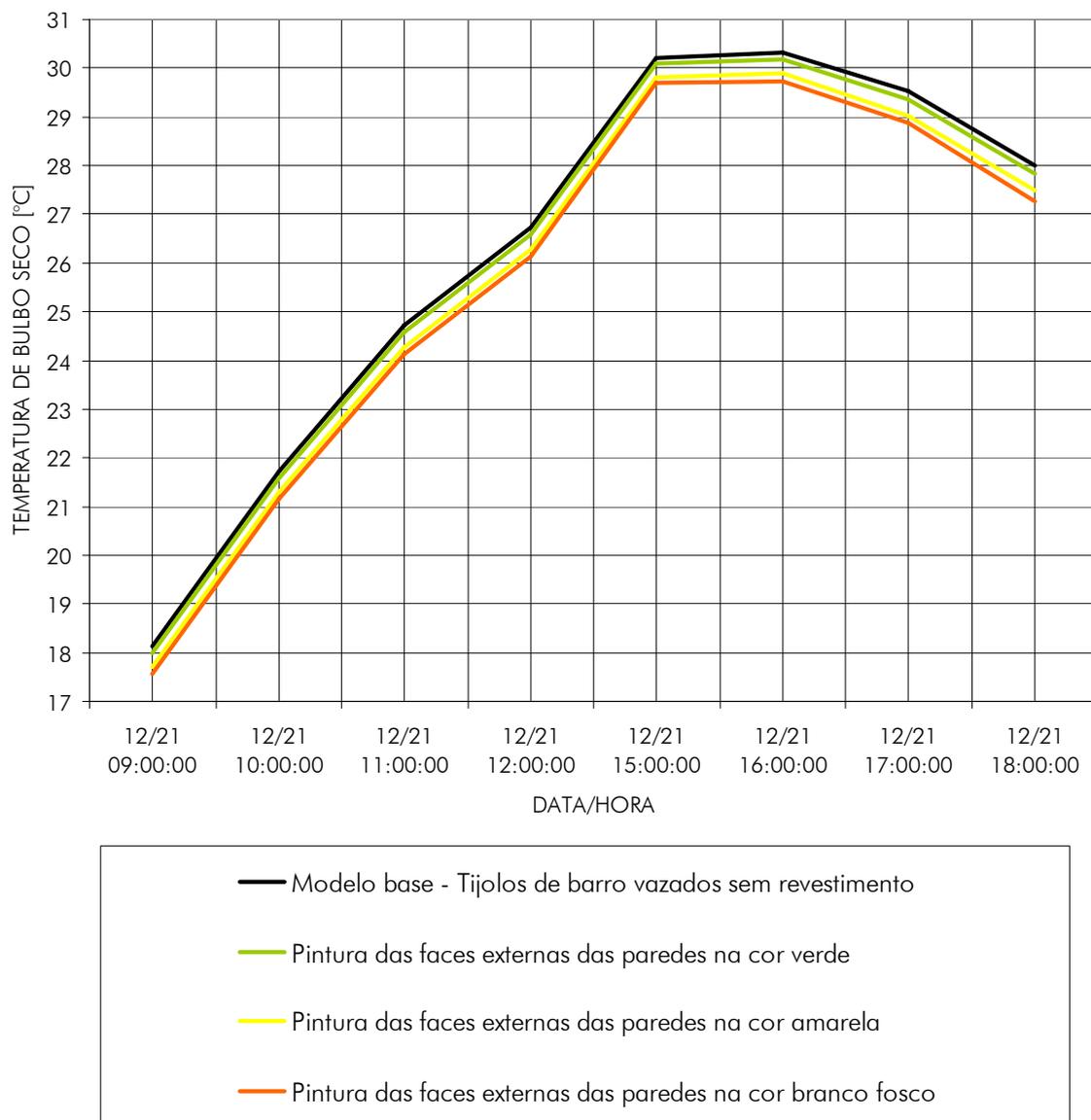
Figura 5.4.6 – Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo da inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorptâncias térmicas.



Às 12 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 18,56°C, com a cobertura revestida em sua face externa com manta aluminizada. Também às 12 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 21,67°C, porém, com a manutenção da cobertura em telhas de fibrocimento com espessura de 5mm, existente no modelo base. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente 3,1°C. Às 16 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 18,40°C, com a

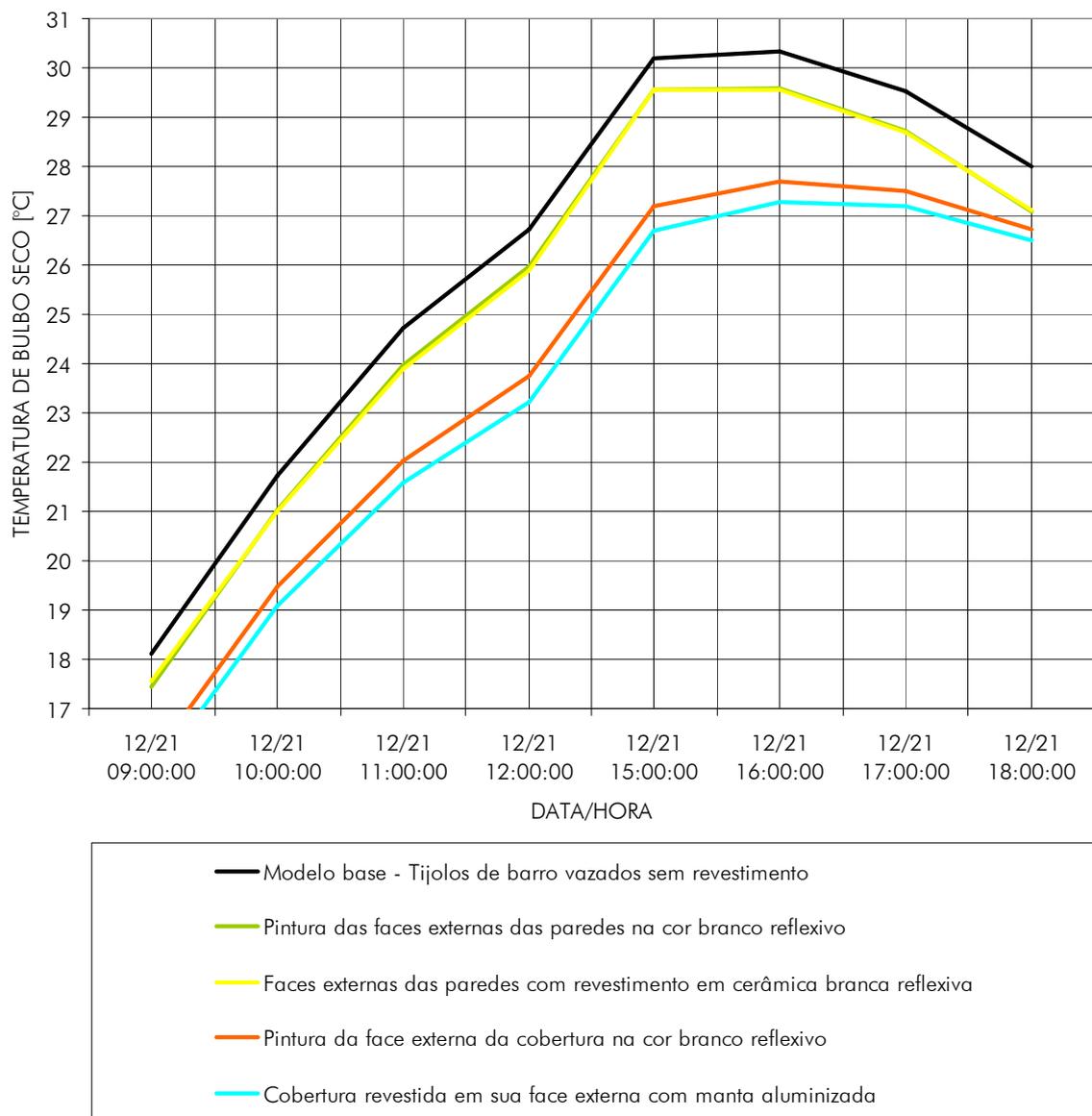
cobertura revestida em sua face externa com manta aluminizada. Também às 16 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 21,11°C, porém, com a manutenção da cobertura em telhas de fibrocimento com espessura de 5mm, existente no modelo base. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente 2,7°C.

Figura 5.4.7 – Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo da inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorptâncias térmicas.



A análise das Figuras 5.4.7 e 5.4.8 demonstra o comportamento da temperatura de bulbo seco em um dia típico de verão, no modelo simulado. Os modelos demonstram que a inserção de materiais ou de revestimentos com diferentes absorptâncias térmicas proporciona consideráveis alterações da temperatura interna.

Figura 5.4.8 – Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo da inserção de materiais ou revestimentos com diferentes absorptâncias térmicas.



Às 12 horas do dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 23,21°C, com a cobertura revestida em sua face externa com manta aluminizada. Também às 12 horas do dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 26,73°C, porém, com a manutenção da cobertura em telhas de fibrocimento com espessura de 5mm, existente no modelo base. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente 3,5°C. Às 15 horas do dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 26,69°C, com a cobertura revestida em sua face externa com manta aluminizada. Também às 15 horas do dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 30,20°C, porém, com a manutenção da cobertura em telhas de fibrocimento com espessura de 5mm, existente no modelo base. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente 3,5°C. Por fim, as 16 horas do dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 27,28°C, com a cobertura revestida em sua face externa com manta aluminizada. Também às 16 horas do dia 21 de dezembro, o modelo apresenta uma temperatura interna de 30,33°C, porém, com a manutenção da cobertura em telhas de fibrocimento com espessura de 5mm, existente no modelo base. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente 3°C.

Importante ressaltar, nesta análise, que a inserção de camada de manta aluminizada sobre a cobertura apresentou uma redução constante de cerca de 3°C na temperatura interna do modelo. Tal redução constante se deu entre as 12 e as 18 horas, nos horários de pico de temperatura, quando a mesma ultrapassa os 28°C, limite superior atribuído para a faixa de conforto. Ou seja, constata-se que o modelo computacional manteve-se dentro da faixa de conforto, no verão, de forma constante, devido à alteração física realizada.

5.5 ESTUDO DE CASOS

Nesse tópico do capítulo 5, são realizadas simulações do modelo computacional proposto, na forma de estudos de caso. Esses estudos utilizam as técnicas e materiais construtivos já simulados e que obtiveram maior desempenho nos testes realizados nos tópicos 5.1 até 5.4.

O objetivo desse tópico é verificar qual a variação majorada do índice PHD é possível atingir, através da modificação dos materiais construtivos já simulados, bem como através da variação da ventilação. Com a análise proposta, tornam-se mais evidentes as diferenças térmicas passíveis de serem obtidas em um ambiente construído, através da escolha dos materiais ainda na fase de projeto.

- **Estudos de Desempenho e Infiltração**

Os estudos de casos realizados estão divididos em dois itens: análise de desempenho e análise de infiltração. No item desempenho, são realizadas duas simulações: a primeira, com os materiais e técnicas construtivas que obtiveram o maior desempenho nos tópicos 5.1 até 5.4; e a segunda, com os materiais e técnicas construtivas que obtiveram o maior desempenho nos tópicos 5.1 até 5.4, exceto, no material utilizado na cobertura do modelo. A proposta da segunda simulação ocorreu devido ao fato de que o material construtivo que obteve o melhor desempenho no tópico cobertura foi a laje em concreto armado com cobertura de terra, também conhecida como “cobertura verde”. Devido ao custo econômico desta solução, e ao fato de não ser solução difundida em tipologias industriais, se propôs simular um modelo com desempenho majorado utilizando solução de cobertura que obteve desempenho similar, porém, de aplicabilidade

difundida. Para tanto, foi aplicada a telha dupla em alumínio com isolamento em poliestireno na cobertura do modelo.

No item infiltração, são realizados três novos testes: as simulações dos dois modelos de caso já descritos para o item desempenho, e a simulação do modelo base, porém, com variação da taxa de trocas de ar (ACH). É aplicada a taxa de 60 ACH (ar infiltrado pelas aberturas a uma velocidade calculada de 1,9m/s), para o verão, como forma de verificar a influência de valores de ventilação elevados no conforto térmico da edificação. Tal valor proposto está baseado na média da faixa de ACH descrita por Liddament⁸⁹, para obtenção do resfriamento fisiológico humano, conforme já descrito no tópico 3.2. A taxa de 60 ACH, para o verão, foi utilizada apenas no período da tarde, das 14 às 18 horas, visto que é a faixa horária em que as temperaturas internas do modelo estão elevadas, conforme verificado nos gráficos de temperatura dos tópicos 5.1 até 5.4.

A Tabela 5.5.1 apresenta quais são os materiais construtivos aplicados nos estudos de caso, bem como quais são os materiais construtivos utilizados no modelo base já simulado. As Tabelas 5.5.2 e 5.5.3 apresentam os resultados dos índices HDF, HDC, THD, e PHD, para os cinco estudos de caso realizados.

Tabela 5.5.1 – Materiais construtivos aplicados nos estudos de casos.

ESTUDOS DE CASOS			
	Modelo Base	Estudo de caso 1 e 4 – Cobertura “verde”	Estudo de caso 2 e 5 – Cobertura com telhas isolantes
Planos verticais	Tijolos vazados e=10cm	Bloco de concreto com reboco em ambas as faces e=20cm	Bloco de concreto com reboco em ambas as faces e=20cm
Cobertura	Telha em fibrocimento e=5mm	Laje em concreto armado e cobertura de terra e=10cm + 30cm	Telha dupla em alumínio com isolamento em poliestireno e=5,4cm
Isolamento térmico	Sem isolamento térmico	Espuma rígida de poliuretano aplicada como forro e=5cm	Espuma rígida de poliuretano aplicada como forro e=5cm
Absortância	Natural dos materiais	Pintura das faces externas das paredes na cor branco reflexivo	Pintura das faces externas das paredes na cor branco reflexivo, e aplicação de manta aluminizada sobre as telhas da cobertura

⁸⁹ LIDDAMENT, M. 1986. *Air Infiltration Calculation Techniques - An Application Guide*. Air Infiltration Centre.

Tabela 5.5.2 – Valores de horas de desconforto simuladas para os estudos de caso de análise de desempenho.

ESTUDOS DE CASOS	Horas de desconforto pelo frio	Horas de desconforto pelo calor	Total de horas de desconforto	% de horas de desconforto no ano*
Modelo Base	163	645	808	38,85%
Estudo de caso 1 Cobertura verde	143	320	463	22,26%
Estudo de caso 2 Cobertura com telhas isolantes	155	316	471	22,64%

* O cálculo da porcentagem de horas de desconforto no ano está baseado em uma carga horária anual de 2080 horas, para uma jornada diária de 8 horas.

Tabela 5.5.3 – Valores de horas de desconforto simuladas para os estudos de caso de análise de infiltração.

ESTUDOS DE CASOS	Horas de desconforto pelo frio	Horas de desconforto pelo calor	Total de horas de desconforto	% de horas de desconforto no ano*
Estudo de caso 3 Modelo Base (60ACH)	178	544	722	34,71%
Estudo de caso 4 Cobertura verde (60ACH)	152	289	441	21,20%
Estudo de caso 5 Cobertura com telhas isolantes (60ACH)	164	284	448	21,54%

* O cálculo da porcentagem de horas de desconforto no ano está baseado em uma carga horária anual de 2080 horas, para uma jornada diária de 8 horas.

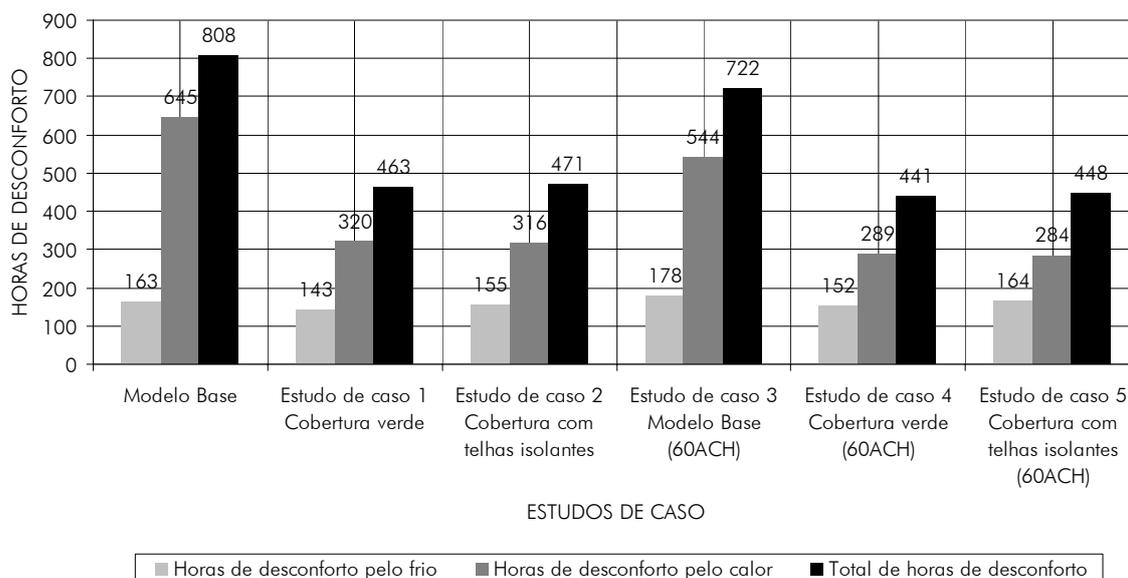
- **Análise dos Estudos de Casos**

Os resultados verificados nas simulações realizadas demonstram que existe uma variação de 16,59% no índice PHD entre o **Estudo de caso 1** e o **Modelo Base**, e de 16,21% no índice PHD entre o **Estudo de caso 2** e o **Modelo Base**. A cobertura verde apresentou resultado de 22,26% no índice PHD, sendo 143 horas de desconforto geradas pelo frio, e 320 horas de desconforto geradas pelo calor, de um total de 463 horas de desconforto. A cobertura com telhas isolantes apresentou resultado de 22,64% no índice PHD, sendo 155 horas de desconforto geradas pelo frio, e 316 horas de desconforto geradas pelo calor, de um total de 471 horas de desconforto. Verifica-se que os estudos de caso 1 e 2 apresentaram desempenho semelhante, tendo a cobertura verde maior desempenho no índice HDF, e a cobertura com telhas isolantes maior desempenho no índice

HDC. Constatou-se, também, que as diferenças são desprezíveis matematicamente, sendo inferiores a 0,4% no índice THD.

A análise das Figuras 5.5.1 e 5.5.2 demonstra que a utilização dos materiais e das técnicas construtivas de maior desempenho majorou significativamente a diferença no índice PHD, em relação ao modelo base. Os valores verificados, superiores a 16,5%, superam a média dos índices aferidos nos tópicos 5.1 a 5.4, de 8,9% de diferença em relação ao modelo base. Tais valores demonstram que a combinação de materiais construtivos com maior desempenho eleva em cerca de 90% a qualidade do ambiente térmico.

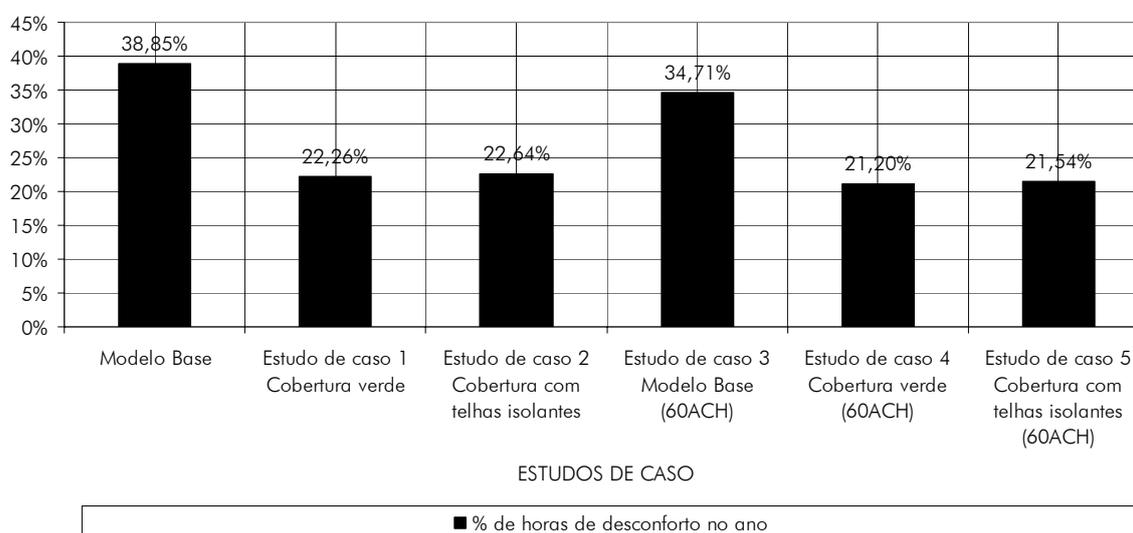
Figura 5.5.1 – Índices HDF, HDC e THD simulados, representativo dos estudos de caso.



Desempenhos positivos também foram verificados nas simulações de estudos de caso com infiltração majorada para 60 ACH, para o verão. Os estudos de caso 4 e 5 apresentaram redução do índice PHD de cerca de 1,0%. O estudo de caso 3, realizado junto ao modelo base, com infiltração majorada para 60 ACH, apresentou redução do índice PHD de cerca de 4,1%.

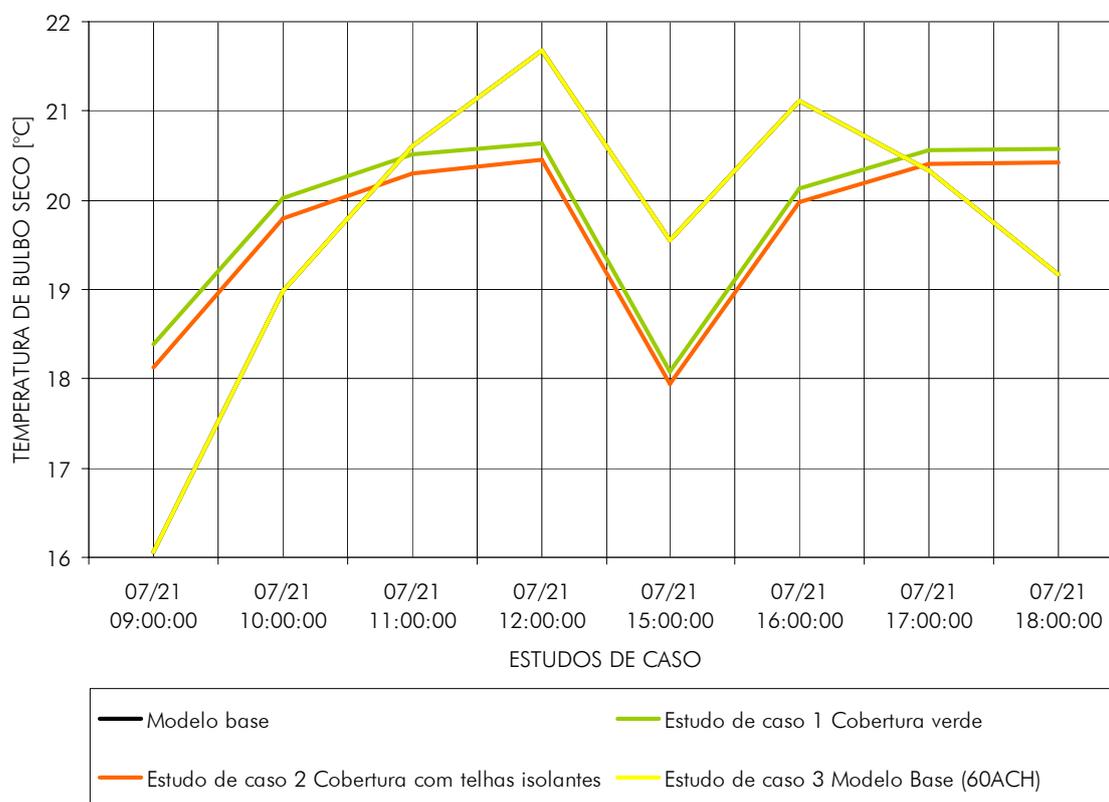
Atribui-se a diferença significativa na redução do índice PHD, entre os estudos de caso 4 e 5 e o estudo de caso 3, devido a presença de materiais isolantes térmicos e pouco absorptivos nos estudos 4 e 5. Tais materiais já haviam gerado redução significativa das horas de desconforto dos modelos, o que faz com que a capacidade de redução do índice PHD reduza à medida em que se aproxime do valor 0.

Figura 5.5.2 – Índice PHD, representativo dos estudos de caso.



A análise das Figuras 5.5.3 e 5.5.4 demonstra o comportamento da temperatura de bulbo seco em um dia típico de inverno, nos estudos de caso simulados.

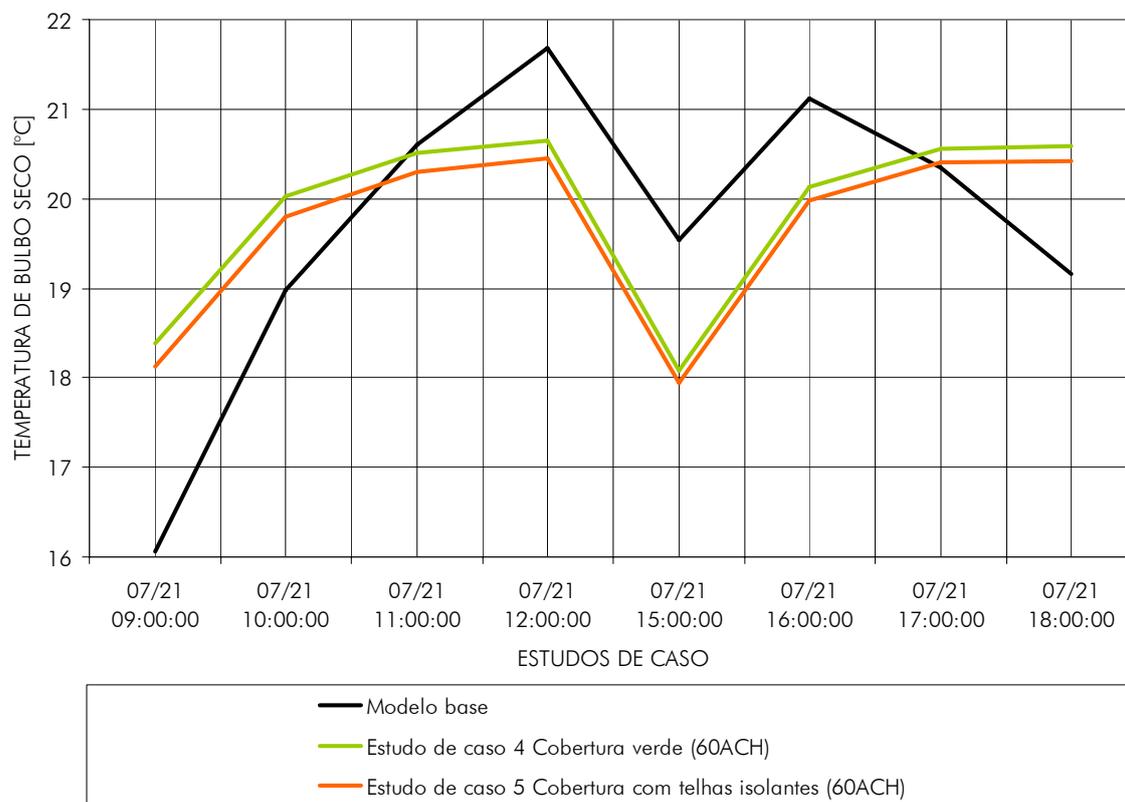
Figura 5.5.3 – Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo dos estudos de casos.



Os estudos de caso demonstram simulações de modelos computacionais compostos por materiais construtivos que apresentaram maior desempenho térmico e energético. A análise demonstra que a combinação de materiais de maior desempenho tende a manter as temperaturas dentro de uma faixa que varia de 17,5 °C a 20,5°C. O comportamento do gráfico demonstra que as temperaturas de bulbo seco internas tendem a formar uma linha reta, inserida dentro da faixa de conforto proposta, entre 16,0°C e 28,0°C.

Verifica-se que os estudos de caso de maior desempenho apresentaram redução da temperatura interna de cerca de 1,0°C em horários de temperaturas elevadas, e aumentaram a temperatura interna em cerca de 2,5°C, em horários de temperaturas reduzidas.

Figura 5.5.4 – Temperatura de bulbo seco de inverno, para o dia 21 de julho, representativo dos estudos de casos.



A análise das Figuras 5.5.3 e 5.5.4 comprova as avaliações já realizadas quando da análise dos índices HDF e HDC. Verifica-se que a combinação de materiais com características termofísicas de maior desempenho apresenta resultados positivos tanto para baixas como para altas temperaturas.

A análise das Figuras 5.5.5 e 5.5.6 demonstra o comportamento da temperatura de bulbo seco em um dia típico de verão, nos estudos de caso simulados.

A análise demonstra que a combinação de materiais de maior desempenho tende a diminuir o aumento das temperaturas internas, no verão, atingindo valores de redução significativos, de até 5°C. O comportamento do

gráfico demonstra, também, que o aumento da infiltração junto ao modelo base, no período da tarde, gerou reduções de temperaturas internas da ordem de 3,5°C.

Figura 5.5.5 – Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo dos estudos de casos.

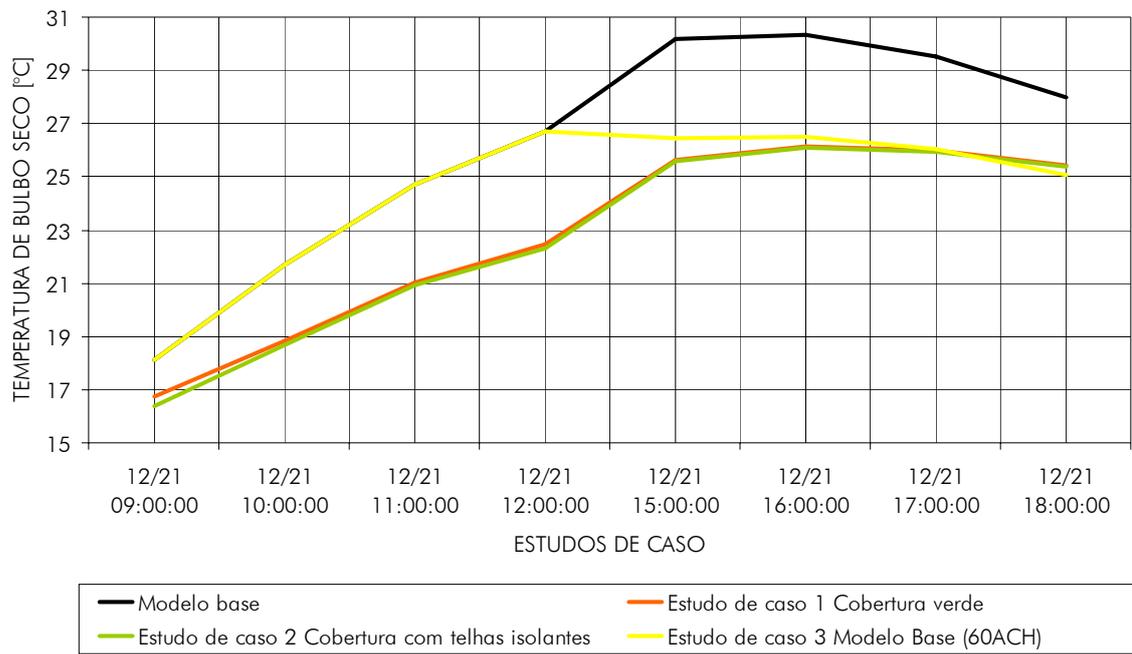
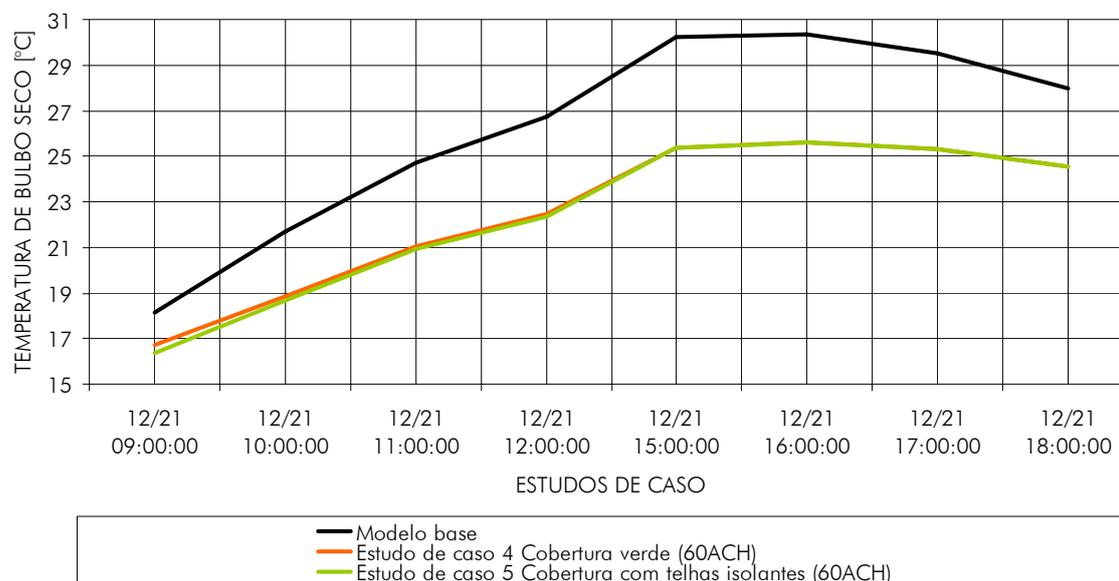


Figura 5.5.6 – Temperatura de bulbo seco de verão, para o dia 21 de dezembro, representativo dos estudos de casos.



5.6 DISCUSSÃO

Nesse tópico são apresentadas discussões técnicas sobre os resultados das simulações realizadas. É realizada uma abordagem comparativa entre os resultados dos índices HDF, HDC, THD, e PHD, como forma de verificar os materiais e técnicas construtivas que obtiveram maior desempenho. Discute-se, também, acerca das características termofísicas dos materiais construtivos que interferem nos resultados térmico e energético de um ambiente construído. A partir da análise dessas características, propõe-se um padrão de averiguação do desempenho de uma edificação, na fase de projeto, do ponto de vista da escolha dos materiais construtivos do envoltório.

Os resultados verificados nas simulações realizadas demonstram que ocorre uma variação significativa no índice PHD (porcentagem de horas de desconforto no ano), de acordo com a escolha dos materiais construtivos do envoltório da edificação. As modificações realizadas atingiram variação de

6,39% no índice PHD (para alterações dos planos verticais), até o valor de 13,42% (para alterações da cobertura). A combinação de materiais construtivos com maior desempenho nos quatro itens avaliados (planos verticais, cobertura, isolamento, e absorvência), atingiu variação do índice PHD ainda superior, com valor de 16,59% na comparação entre o Estudo de caso 1 e o Modelo Base.

Tais variações de desempenho demonstram que a escolha dos materiais construtivos, ainda na fase de projeto, pode majorar significativamente a qualidade térmica e energética dos ambientes construídos. Do ponto de vista térmico, a qualidade se acentua, nesse estudo, quando as temperaturas internas no verão são reduzidas a valores abaixo de 28°C, ou quando as temperaturas internas no inverno são elevadas a valores acima de 16°C. Do ponto de vista energético, fica demonstrado que, no caso da necessidade de instalação de sistemas de refrigeração ou de aquecimento artificiais, ou da necessidade de instalação de sistemas de ventilação mecânica, tais sistemas permanecerão menor tempo acionados. A redução do tempo de acionamento, conseqüentemente, gera economia no consumo energético.

As modificações realizadas nos planos verticais do modelo base demonstraram possuir influência menor nos índices de horas de desconforto do que as modificações realizadas na cobertura. A análise do PHD demonstrou que as modificações realizadas nos elementos verticais interferem em 35% do valor total da melhora do desempenho. A análise do mesmo índice demonstrou que as modificações realizadas na cobertura interferem em 65% do valor total da melhora do desempenho. Tais proporções foram obtidas através da análise de simulações onde foram realizadas alterações apenas nos elementos verticais, bem como da análise de simulações onde foram realizadas alterações apenas na cobertura.

Verificou-se que os materiais que obtiveram melhor desempenho, quando aplicados nas paredes do modelo simulado, são os que possuem concomitantemente menor condutividade térmica (W/m.K), maior espessura (cm), e maior calor específico (J/kg.K). A baixa condutividade atrasa a

entrada do calor proporcionado pela radiação solar incidida externamente, no verão, bem como dificulta as perdas internas de calor no inverno. O alto valor do calor específico dos materiais faz com que os mesmos necessitem receber altos valores energéticos para que aqueçam uma unidade de massa (kg) a uma unidade de temperatura (K). Ou seja, a associação da baixa condutividade ao alto calor específico gera características termofísicas que dificultam as perdas de calor no inverno, bem como dificultam o acesso da energia térmica gerada pela radiação solar. Se associadas às altas espessuras, as paredes têm o efeito do atraso térmico majorado. Ou seja, o calor que incide externamente sobre as paredes, quando consegue cruzar a sua espessura, através da condução, acessa o interior da edificação já no período da noite, quando as temperaturas são menores. Tal característica é positiva em locais com alta amplitude térmica⁹⁰, como é o caso da região climática de Porto Alegre.

As modificações realizadas na cobertura do modelo base demonstraram possuir a maior influência na redução dos índices de horas de desconforto, entre os quatro tipos de modificações realizadas. Verificou-se que os materiais que obtiveram melhor desempenho, quando aplicados na cobertura do modelo simulado, são os que possuem concomitantemente menor condutividade térmica (W/m.K), e menor absorvância térmica. Conforme descrito, a baixa condutividade atrasa a entrada do calor proporcionado pela radiação solar, bem como dificulta as perdas internas de calor no inverno. A baixa absorvância, por sua vez, reduz sensivelmente a energia térmica absorvida pelas superfícies externas. Porém, no inverno, impede a elevação das temperaturas internas durante o dia. Se associada à baixa condutividade, a baixa absorvância, apesar de impedir a elevação das temperaturas internas no inverno, tem as perdas internas reduzidas, o que compensa o efeito negativo.

As modificações realizadas através da inserção de materiais isolantes térmicos, nos planos verticais e na cobertura do modelo base,

⁹⁰ Amplitude térmica é a diferença média da variação da temperatura ao longo do dia. Em Porto Alegre, a amplitude térmica média é de 9,5°C, de acordo com a ASHRAE (Fundamentals Handbook).

demonstraram possuir influência na redução dos índices de horas de desconforto. Tal redução tornou-se mais significativa, especialmente, se associado o isolamento térmico ao aumento das espessuras dos materiais. Verificou-se que os materiais que obtiveram melhor desempenho, quando aplicados como isolantes térmicos nos planos verticais e na cobertura, são os que possuem concomitantemente menor condutividade térmica ($W/m.K$) e menor densidade (kg/m^3). Conforme esclarecido no capítulo 4, isolantes são materiais de baixo coeficiente de condutibilidade κ ($W/m^{\circ}C$). Ainda, como materiais com baixo valor de coeficiente κ possuem, normalmente, alta porosidade, sua elevada resistência térmica está baseada na baixa condutibilidade do ar contido em seus vazios. Ou seja, verifica-se que quanto menor a densidade ρ (kg/m^3) do material e maior a sua porosidade, maior será seu poder de isolamento.

As alterações das cores e rugosidade (absortância) dos materiais do modelo base demonstraram afetar significativamente a redução dos índices de horas de desconforto. Novamente, as modificações realizadas nos planos verticais demonstraram possuir influência menor nos índices de horas de desconforto do que as modificações realizadas na cobertura. A análise do PHD demonstrou e comprovou, novamente, que as modificações realizadas nos planos verticais interferem em 35% do valor total da melhora do desempenho. A análise do mesmo índice demonstrou também, novamente, que as modificações realizadas na cobertura interferem em 65% do valor total da melhora do desempenho.

Verificou-se que a menor absortância⁹¹ térmica dos materiais afeta na redução dos índices de horas de desconforto, porém, apenas no verão. Atribui-se o resultado ao fato de que materiais com menor absortância térmica possuem baixa capacidade de absorver a energia térmica recebida pela radiação solar, refletindo cerca de 90% do valor incidente. Tal característica termofísica faz com que o material não aqueça o ambiente interno, no inverno, através da

⁹¹ Absortância é a capacidade dos materiais em absorver a radiação térmica incidente. Fisicamente, materiais com baixa absortância possuem cores claras e superfícies lisas, o que culmina com a baixa capacidade de absorção da radiação solar, e a baixa emissividade.

irradiação. Constatou-se, portanto, que a utilização da técnica de redução da absorvância térmica possui maior efetividade se associada a técnicas de isolamento térmico, que possuem a capacidade de dificultar as perdas internas de calor no inverno.

A discussão apresentada demonstra que, para obtenção de resultados positivos no desempenho térmico e energético de edificações industriais, é necessária a escolha de materiais construtivos adequados ainda na fase de projeto. A classificação da adequabilidade dos materiais ocorrerá através da análise das variáveis termofísicas de cada material, bem como do local de aplicação na edificação. A combinação de materiais construtivos com diferentes características termofísicas pode resolver deficiências técnicas de um ou outro, em determinado parâmetro.

Com base nas conclusões obtidas, e nas análises realizadas e discutidas, verifica-se que as principais características termofísicas dos materiais que influenciam no desempenho térmico e energético das edificações industriais são:

- Condutividade κ [W/m.K];
- Densidade ρ [kg/m³];
- Calor Específico c [J/kg.K];
- Espessura [cm];
- Absortância.

Constata-se, também, que os materiais que apresentaram resultados com maior desempenho térmico e energético no modelo proposto, possuem as seguintes características termofísicas:

- Condutividade κ inferior a 0,2 W/m.K;
- Densidade ρ inferior a 100,0 kg/m³;
- Calor Específico c superior a 1000,0 J/kg.K;

- Espessura superior a 20 cm para planos de fechamento verticais e superior a 5 cm para camadas isolantes térmicas;
- Absortância inferior a 0,3.

Com base nas conclusões apresentadas, foi desenvolvida planilha de avaliação do desempenho térmico e energético de edificações industriais, para realização do cálculo do Fator de Desempenho. Esse *check list* proposto tem o objetivo de auxiliar ao profissional projetista na escolha de materiais construtivos, como forma de manter as edificações dentro de uma faixa aceitável de temperaturas, na maior parte do ano. A planilha de avaliação de desempenho proposta, apresentada a seguir, consta no **Anexo 1** desse estudo, onde são realizadas aplicações práticas e exemplificativas.

PLANILHAS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES INDUSTRIAIS, PARA O CÁLCULO DO FATOR DE DESEMPENHO

TABELA DE PONTUAÇÃO

Característica	Intervalo	Classificação	Pontuação
Termofísica			
Condutividade κ^*	0,0 a 0,20 W/m.K	Pouco condutivo	3
	0,21 a 1,0 W/m.K	Condutivo	2
	> 1,0 W/m.K	Muito condutivo	1
Densidade ρ	0,0 a 100,0 kg/m ³	Pouco denso	3
	100,1 a 1000,0 kg/m ³	Denso	2
	> 1000,0 kg/m ³	Muito denso	1
Calor Específico c	0,0 a 500,0 J/kg.K	Fácil aquecimento	1
	500,1 a 1000,0 J/kg.K	Médio aquecimento	2
	> 1000,0 J/kg.K	Difícil aquecimento	3
Espessura para planos verticais	0,0 a 15,0 cm	Pouco espesso	1
	15,1 a 25,0 cm	Espesso	2
	> 25,0 cm	Muito espesso	3
Espessura para isolamento e cobertura	0,0 a 1,0 cm	Pouco espesso	1
	1,1 a 5,0 cm	Espesso	2
	> 5,0 cm	Muito espesso	3
Absortância**	0,0 a 0,2	Pouco absortivo	3
	0,21 a 0,5	Absortivo	2
	> 0,5	Muito absortivo	1

TABELA DE COEFICIENTES

Coeficiente de multiplicação para materiais em planos verticais	0,35
Coeficiente de multiplicação para materiais em coberturas	0,65

* Para metais, ou materiais com valor de condutividade superior a 10,0, não somar pontuação.

** Para superfícies compostas por mais de uma camada de materiais, deve-se somar a pontuação da absortância apenas para o material em contato com o exterior.

*** Para coberturas vegetais ou em terra, multiplicar a pontuação pelo coeficiente 2,0.

CLASSIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO INDUSTRIAL

Fator de desempenho	Nota
>30,0	A
20,1 a 30,0	B
10,1 a 20,0	C
0,0 a 10,0	D

Planilhas para o cálculo do Fator de Desempenho:

	Modelo Base	Espessura [cm]	Condutividade κ [W/m.K]	Densidade ρ [kg/m ³]	Calor Específico c [J/kg.K]	Absortância	Pontuação	Total
Planos Verticais	Material construtivo	valor	valor	valor	valor	valor	Pontuação de cada índice conforme tabela de pontuação	Somatório total
Cobertura	Material construtivo	valor	valor	valor	valor	valor	Pontuação de cada índice conforme tabela de pontuação	Somatório total

	Pontuação total	Fator de correção	Pontuação corrigida	Fator de Desempenho Somatório final	Nota
Planos Verticais	Somatório total	0,35	Somatório total X Fator de correção	Somatório da pontuação corrigida de planos verticais e cobertura	Aplicação da nota conforme tabela de classificação
Cobertura	Somatório total	0,65	Somatório total X Fator de correção		

6. CONCLUSÃO

O estudo apresentou o resultado de simulações das condições térmicas de um modelo computacional representativo da tipologia industrial, ou de grande porte. Foram testados diferentes parâmetros físicos da envoltória. As análises realizadas informaram o número de horas de desconforto geradas pelo frio e pelo calor, o número total de horas de desconforto, e a porcentagem de horas de desconforto, ao longo de um ano caracterizado por um arquivo climático. Foram analisados, também, os mesmos dados, para dias característicos de projeto de

inverno e de verão, considerando modificações de parâmetros físicos do envoltório do edifício, e variações de ventilação natural.

As simulações foram realizadas através de modelo localizado na região climática de Porto Alegre. Os testes não analisaram variações de áreas de aberturas envidraçadas, visto que possuem tamanho irrelevante em relação a área do envoltório, ou inexistem em pavilhões industriais.

As pesquisas realizadas sobre conceitos técnicos de avaliação do conforto térmico, zonas de conforto, simulação computacional, e parâmetros físicos permitiram delinear a metodologia de trabalho. Os estudos acerca dos materiais construtivos, e de suas características termofísicas, permitiram delinear quais as variações a serem simuladas.

Verificou-se que a variação dos materiais construtivos que compõem o envoltório de uma edificação altera de forma considerável as condições térmicas ambientais. No presente estudo, onde propôs-se um modelo computacional de edificação industrial, a variação de materiais construtivos do envoltório atingiu diferença do índice PHD (porcentagem de horas de desconforto) de 16,59% na comparação entre o Estudo de caso 1 (maior desempenho) e o Modelo Base (desempenho reduzido). Em casos de ambientes onde se acionem sistemas mecânicos de refrigeração ou de aquecimento, verifica-se a possibilidade de redução no consumo de energia elétrica. Tal redução ocorreria devido à manutenção do ambiente por um maior número de horas no ano dentro de uma faixa de temperaturas aceitáveis, o que determinaria o não acionamento dos sistemas.

Os estudos de infiltração realizados, nas simulações de estudos de casos com infiltração majorada para 60 ACH, para o verão, demonstraram o efeito positivo da infiltração de ar no modelo proposto. Verificou-se que a melhora das condições de ventilação no Modelo Base, que é composto por materiais de baixo desempenho, atingiu cerca de 4,1% na redução do índice PHD. Já a melhora das condições de infiltração nos estudos de caso 4 e 5, que são compostos por

materiais de alto desempenho, atingiu cerca de 1,0% na redução do índice PHD. Constatou-se que a presença de materiais isolantes térmicos e pouco absorptivos já havia gerado redução significativa das horas de desconforto dos modelos. Ou seja, a escolha adequada dos materiais construtivos acaba por suprir ou auxiliar nos efeitos positivos da infiltração de ar. Verificou-se, também, que edificações industriais possuem um grande volume de ar interno, o que dificulta os efeitos de troca e infiltração. Portanto, a combinação da correta escolha dos materiais construtivos, ainda na fase de projeto, aliada aos efeitos positivos da infiltração de ar corrobora para a qualidade do ambiente térmico.

A escolha de materiais construtivos com características termofísicas adequadas às necessidades de projeto demonstrou-se uma responsabilidade do profissional arquiteto ou engenheiro. Constatou-se que diferentes materiais construtivos aplicados em um mesmo modelo computacional de edificação podem interferir na fisiologia do ocupante, no consumo energético de um edifício construído, e nas condições de trabalho do ocupante.

Os resultados demonstraram que as principais características termofísicas dos materiais que influenciam no desempenho térmico e energético das edificações industriais são a condutividade κ (W/m.K), a densidade ρ (kg/m³), o calor específico c (J/kg.K), a espessura (cm), e a absorptância. Os materiais que apresentaram resultados com maior desempenho térmico e energético no modelo proposto possuem valores reduzidos de condutividade, densidade, e absorptância, e valores elevados de calor específico e espessura. Verifica-se, também, que a composição de materiais construtivos com diferentes características termofísicas pode solucionar deficiências de determinadas escolhas. Um exemplo da situação é a combinação de materiais pouco absorptivos, que são eficientes no verão, e pouco eficientes no inverno, com materiais isolantes térmicos, que são eficientes em todas as estações climáticas.

A análise dos resultados, a partir da comparação com as principais características termofísicas dos materiais, permitiu a criação de uma

planilha de avaliação do desempenho térmico e energético de edificações industriais. A referida planilha, apresentada no Anexo 1, permite o cálculo do Fator de Desempenho. O Fator de Desempenho trata-se de um índice criado para qualificar a escolha dos materiais opacos que compõem o envoltório de uma edificação de uso industrial. O referido índice, apesar de proposto para aplicação em edificações industriais, ou de grande porte, também pode ser aplicado para os demais usos de edificações. A proposição de uso para edificações industriais deve-se ao fato de que, nessa tipologia, as áreas não opacas são reduzidas ou irrelevantes. Porém, o índice pode ser aplicado nas demais tipologias, desde que associado a uma avaliação criteriosa das aberturas e de suas áreas envidraçadas.

A metodologia de pesquisa e projeto de arquitetura e engenharia, que inclui a utilização de *softwares* de simulação computacional, ainda demonstra-se trabalhosa. Constatou-se, nesse estudo, que a montagem de um modelo computacional para realização de testes, com variações de parâmetros físicos, é atividade que consumiria tempo que projetistas possivelmente não se dispõem a despender. Portanto, a *planilha de avaliação do desempenho térmico e energético de edificações industriais*, que permite o cálculo do Fator de Desempenho, pode auxiliar os projetistas a realizar a avaliação e a comparação de materiais construtivos, como forma de escolher opções de materiais que melhor se adequem às suas necessidades de projeto.

Conclui-se que a melhora das condições ambientais de edificações industriais, através da manutenção do ambiente dentro de uma faixa aceitável de temperaturas, melhora as condições fisiológicas dos ocupantes e possibilita a redução do consumo energético. Tais itens, por si só, justificam a preocupação, ainda na fase de projeto, com a escolha dos materiais construtivos através de suas características termofísicas. Além dos itens citados, conclui-se que a melhora das condições ambientais de edificações industriais, através da escolha dos materiais construtivos, também aumenta a produtividade dos trabalhadores, e reduz o risco de acidentes.

PROPOSTAS PARA ESTUDOS FUTUROS

A metodologia de trabalho, que culminou com a criação de uma *planilha de avaliação do desempenho térmico e energético de edificações industriais*, que permite o cálculo do Fator de Desempenho, demonstrou-se específica para aplicação em edificações ou projetos de edificações industriais. Tal característica deve-se ao fato de que, nessa tipologia, as áreas não opacas são reduzidas ou irrelevantes.

A realização de estudos que avaliem de forma criteriosa o tamanho de aberturas, bem como as características termofísicas de materiais como vidros e películas protetoras de vidros vem a complementar esse estudo. A combinação da avaliação dos materiais construtivos opacos que compõem o envoltório da edificação, com a avaliação dos materiais construtivos não opacos, pode gerar método passível de aplicação em todas as tipologias.

Propõe-se, também, a realização de estudos que avaliem de forma aprofundada os efeitos da qualidade do ambiente térmico de edificações industriais na melhora da produtividade dos trabalhadores. Esse estudo comporia, também, a comparação de índices de desempenho térmico de edificações industriais e suas interferências em índices de produtividade e de acidentes do trabalho.

7. BIBLIOGRAFIA

As obras de Barros e Schiffer, Silva, Beyer, e Fanger, apresentam definições de mecanismos de termorregulação, conforto térmico, índices de conforto, e zonas de conforto. A ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* -, na obra *Fundamentals Handbook*, apresenta definições de conforto térmico, princípios fisiológicos do corpo humano,

bem como classificações e faixas de conforto. Corbella e Yannas⁹², 2003, apresentam conceitos físicos e definições de conforto térmico humano, inércia térmica, temperatura e sensação de temperatura.

Fanger⁹³ (1972) estudou e desenvolveu método de avaliação do conforto térmico, normatizado pela ISO 7730 (1994), e denominado PMV. Este índice prediz a resposta média de um grande grupo de pessoas a respeito de sua sensação térmica em um ambiente, através de uma escala de sensação térmica de 7 ou 9 pontos. O PMV está relacionado com o balanço energético entre as perdas de calor do corpo, em um ambiente, e a dissipação de calor necessária para que se obtenha conforto durante a realização de determinada atividade. Para representação da sensação térmica, o voto médio previsto utiliza uma escala de identificação de sensações conforme tabela da ASHRAE⁹⁴, 2001.

As características dos materiais construtivos são importantes itens a serem informados aos programas de simulação computacional, para possibilitar o cálculo das variáveis térmicas do edifício. Estes elementos possuem características termofísicas que podem ser consultadas no *dicionário de materiais* obtido, também, junto ao LAFRIG⁹⁵, para posterior informação ao *software*. Ainda, nas obras de Incropera⁹⁶, 1981, Evans⁹⁷, 1980, Corbella e Yannas⁹⁸, 2003, Roaf⁹⁹,

⁹² CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. Em Busca de uma Arquitetura Sustentável. Rio de Janeiro: Ed. Revan, 2003.

⁹³ FANGER, P. O, 1972. **Thermal Confort: analysis and applications in environmental engineering**, New York: McGraw – Hill.

⁹⁴ ASHRAE, 2001. ASHRAE Fundamentals Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.

⁹⁵ **Laboratório de Vapor e Refrigeração** da faculdade de Engenharia Mecânica da UFRGS.

⁹⁶ INCROPERA, Frank P., 1981. **Fundamentals of heat and mass transfer**. 2ª ed., New York: John Wiley, 802 páginas.

⁹⁷ EVANS, Martin, 1980. **Housing, Climate and Comfort**. London, Architectural Press.

⁹⁸ CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. Em Busca de uma Arquitetura Sustentável. Rio de Janeiro: Ed. Revan, 2003.

⁹⁹ ROAF, Susan, FUENTES, Manuel, THIMAS, Stephanie, 2006. **Ecohouse: A Casa Ambientalmente Sustentável**. Porto Alegre, Bookman.

2006, Rivero¹⁰⁰, 1985, Costa¹⁰¹, 1991, e Costa¹⁰², 1982, podem ser consultadas tabelas com características termofísicas de materiais construtivos diversos, bem como verificar propriedades, vantagens e desvantagens de uso.

A seguir, são apresentados a bibliografia e os sítios consultados e citados nessa dissertação de mestrado:

1. ASHRAE, 2001. **ASHRAE Fundamentals Handbook**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.
2. ASHRAE, 2001. **Chapter 8 – Physiological principles and thermal confort**. ASHRAE Fundamentals Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.
3. ASHRAE, 2001. **Climatic Design Information**. ASHRAE Fundamentals Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.
4. BAKER, N., 1992. **Strategy for Natural Ventilation**. The Martin Centre, Department of Architecture, University of Cambridge. Cambridge. UK.
5. BALESTIERE, J. A. P., 2002. **Cogeração: geração combinada de eletricidade e calor**. Editora da UFSC, Florianópolis.

¹⁰⁰ RIVERO, Roberto, 1985. **Arquitetura e Clima: acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre, D.C. Luzzatto Editores, Editora da Universidade, UFRGS.

¹⁰¹ COSTA, Ennio Cruz da, 1991. **Física aplicada à construção: conforto térmico**, 4ª ed., São Paulo, Edgard Blücher.

¹⁰² COSTA, Ennio Cruz da, 1982. **Arquitetura Ecológica: Condicionamento Térmico Natural**, 4ª ed., São Paulo, Edgard Blücher.

6. BALTAR, Marta Garcia , 2006. **Redução da Demanda de Energia Elétrica utilizando Parâmetros Construtivos visando ao Conforto Térmico.** Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica, Porto Alegre.
7. BERGER, X. **Thermal Comfort.** CNRS Groupe Echothermique, Laboratoire de Thermodynamique Expérimentale Université de Nice.
8. BEYER, Paulo Otto, 2005. **Higiene do Trabalho: conforto térmico.** Engenharia de Segurança do Trabalho, Departamento de Engenharia Mecânica, Porto Alegre, UFRGS.
9. CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos, 2003. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável.** Rio de Janeiro: Ed. Revan.
10. COSTA, Ennio Cruz da, 1982. **Arquitetura Ecológica: Condicionamento Térmico Natural**, 4ª ed., São Paulo, Edgard Blücher.
11. COSTA, Ennio Cruz da, 1991. **Física aplicada à construção: conforto térmico**, 4ª ed., São Paulo, Edgard Blücher.
12. CRAWLEY, D.B., Lawrie, L.K., Winkelmann, F.C., Buhl, W.F., Huang, Y.J., Pedersen, C.O., Strand, R.K., Liesen, R.J., Fisher, D.E., Witte, M.J., Glazer, J., 2001. **EnergyPlus: Creating a New-Generation Building Energy Simulation Program**, Energy and Buildings, vol.33.
13. EnergyPlus Manual, 2008. **Engineering Reference – The Reference to EnergyPlus Calculations**, Version 2.2.0.023, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA.

14. EnergyPlus Manual, 2008. **Getting Started with EnergyPlus – Everything You Need to Know about Running EnergyPlus**. Version 2.2.0.023, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA.
15. EnergyPlus Manual, 2006. **Input Output Reference – The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output**. Version 1.3.0, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA.
16. EVANS, Martin, 1980. **Housing, Climate and Comfort**. London, Architectural Press.
17. FANGER, P. O, 1972. **Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering**. New York: McGraw – Hill.
18. FROTA, Anésia B. e SCHIFFER, Sueli R, 2003. **Manual de Conforto Térmico**. 6ª ed., São Paulo, Studio Nobel.
19. FUNDACENTRO. **Informações Estatísticas Gerais da Previdência Social**. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br>>. Acesso em: 10 de abril 2008.
20. FUNDACENTRO. **Número de Acidentes e Doenças do Trabalho no Brasil de 1970 a 2002**. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br>>. Acesso em: 10 de abril 2008.
21. GIVONI, Baruch, 1976. **Man, climate and architecture**. 2ª ed., Londres : Applied Science Publishers Ltd..
22. GRINGS, E. T .O.. **Comparação entre Resultados Computacionais e Experimentais do Comportamento Térmico de um Ambiente**. Porto

- Alegre: UFRGS, 2003. Dissertação, Escola de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
23. HENNINGER, R.H., Witte, M.J., Crawley, D.B., 2004. "Analytical and Comparative Testing of EnergyPlus using IEA HVAC BESTEST E100-E200 test Suite", **Energy and Buildings**, vol.36, iss.8, pp.855-863.
24. INCROPERA, Frank P., 1981. **Fundamentals of heat and mass transfer**. 2^a ed., New York: John Wiley, 802páginas.
25. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1994. **ISO 7730: Moderate Thermal Environments – determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal confort**. Geneva, Switzerland.
26. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1990. **ISO 8996: ergonomics – determination of metabolic heat production**, Switzerland.
27. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1998. **ISO 7726: thermal environments – instruments and methods for measuring physical quantities**, Switzerland.
28. KAEHLER, J. W. M., 1993. **Un outil d'Aide à la Décision et de Gestion des Actions pour la Maîtrise de la Demande d'Énergie - de la Conception au Développement**, Tese de Doutorado - Ecole Nationale Superieure des Mines, Paris.

29. KOENIGSBERGER, O.H., INGERSOLL, T.G., MAYHEW, A., SZOKOLAY, S.V., 1973. **Manual of Tropical Housing and Building**. Longman, New York.
30. **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações** da Universidade Federal de Santa Catarina. Os arquivos climáticos estão disponíveis em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/downloadaclim.html>>. Acesso em: 10 de abril 2008.
31. **Laboratório de Vapor e Refrigeração** da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Os arquivos climáticos estão disponíveis em: <<http://www.mecanica.ufrgs.br/lafrig>>. Acesso em: 10 de abril 2008.
32. LAMBERTS, Roberto, 2004. **Eficiência Energética na Arquitetura**, 2ª ed. rev., São Paulo, ProLivros.
33. LAMBERTS, R., XAVIER, A. A. P., 2002, **Apostila de Conforto Térmico e Stress Térmico**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
34. LAMBERTS, R., GHISI, E., ABREU, A., CARLO, J. , 2005, **Apostila de Desempenho Térmico de Edificações**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
35. LIDDAMENT, M. 1986. **Air Infiltration Calculation Techniques - An Application Guide**. Air Infiltration Centre.
36. Ministério de Minas e Energia: <http://www.mme.gov.br/site/menu>. Consulta: 10 de outubro de 2008.

37. MORELLO, Alessandro, 2005. **Avaliação do Comportamento Térmico do Protótipo Habitacional Alvorada**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. Dissertação, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
38. 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**. ABNT, 2005.
39. NEUFERT, Ernst, 1999. **Arte de Projectar em Arquitectura**. Barcelona: Editora Gustavo Gili, SA, 14ª Edição.
40. NETO, Ângelo G, 2002. **Melhoramento das Condições Térmicas de uma Fábrica Através de um Sistema de Ventilação**. Porto Alegre: UFRGS. Trabalho de Diplomação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
41. PEREIRA, Fábbyo L., 2005. **Determinação Computacional da Influência de Parâmetros Físicos no Comportamento Termoenergético de uma Edificação**. Porto Alegre: UFRGS. Dissertação, Escola de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
42. PEREIRA, Fábbyo L., Beyer, P.O., Schwieder, A.O.. **Avaliação da Influência Termoenergética de Parâmetros Físicos em uma Edificação com Condicionamento de Ar**. In: Mercofrio – IV Feira e Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul, 2004, Curitiba. Anais. Curitiba, Brasil.

43. PERES, Cláudio C., 2005. **Introdução à Engenharia de Segurança do Trabalho**. Engenharia de Segurança do Trabalho, Departamento de Engenharia Nuclear, Porto Alegre. UFRGS.
44. **Programa computacional de simulação termoenergética de edificações *Energyplus***, que pode ser adquirido gratuitamente no sítio do Departamento Norte Americano de Energia: <www.eere.energy.gov/buildings/energyplus>. Acesso em: 10 de abril 2008.
45. RIVERO, Roberto, 1985. **Arquitetura e Clima: acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre, D.C. Luzzatto Editores, Editora da Universidade, UFRGS.
46. ROAF, Susan, FUENTES, Manuel, THIMAS, Stephanie, 2006. **Ecohouse: A Casa Ambientalmente Sustentável**. Porto Alegre, Bookman.
47. SANTOS, R. F., 2002. **A Arquitetura e a Eficiência nos Usos Finais da Energia para o Conforto Ambiental**. Dissertação de Mestrado. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (IEE/EP/IF/FEA) da Universidade de São Paulo. Área de Concentração: Energia. São Paulo.
48. SILVA, C.J.C., 2003. **Simulação Termoenergética de um Sistema de Ar Condicionado para Comparação dos Resultados Medidos e Simulados**. Porto Alegre: UFRGS.
49. SILVA, Heitor da Costa, 1994. **Window Design For Thermal Comfort in Domestic Buildings in Southern Brazil**. THE ARCHITECTURAL ASSOCIATION SCHOOL OF ARCHITECTURE, Graduate School, Environment and Energy Studies Programme, Londres.

50. SZOKOLAY, S.V., 1980. **Environmental Science Handbook: for architects and builders**. Lancaster, England: Pitman.
51. VERDI, R.E., 2003. **Análise Termoenergética de um Prédio Comercial**. Trabalho de Diplomação em Engenharia Mecânica, DEMEC/UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 26f. Disponível em: <www.mecanica.ufrgs.br/lafrig>. Acesso em: 10 de abril 2008.

7.1 BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

A seguir, é apresentada a bibliografia complementar consultada nessa dissertação de mestrado. As referências apresentadas nesse subtópico não constam em citações do corpo da dissertação, porém, foram consultadas para o incremento do conhecimento técnico necessário. Apresentam conceitos e estudos sobre arquitetura sustentável, conforto térmico, transmissão de energia, PMV, legislação técnica brasileira, características do *software Energyplus*, e normas de redação de trabalhos técnicos.

1. ASHRAE, 1997. **Chapter 24 - Handbook of Fundamentals - Thermal and Water Vapor Transmission Data**. ASHRAE Fundamentals Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.
2. ASHRAE, 2001. **Chapter 22 – Thermal and water vapor transmission data**. ASHRAE Fundamentals Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.

3. ASHRAE, 2001. **Chapter 3 – Heat Transfer**. ASHRAE Fundamentals Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.
4. BARBIERO, Miriam. **Avaliação das Percepções Quanto ao Ambiente Térmico em uma Indústria Metalúrgica: Um Estudo de Caso**. Porto Alegre: UFRGS, 2004. Dissertação, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.
5. BRASIL. Portaria Nº 3.214, de 8 de junho de 1978. Aprova as Normas Regulamentadoras – NR – do Capítulo V do Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas à Segurança e Medicina do Trabalho. In: **Manuais de Legislação Atlas. Segurança e Medicina do Trabalho**. 56ª ed., Editora Atlas, São Paulo, SP.
6. BROWN, G. Z. e DEKAY, Mark., 2004. **Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. 2ª ed., Porto Alegre, Bookman.
7. CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1, 2004, São Paulo. **Construção Sustentável: Anais**. Porto Alegre, RS: ANTAC, 2004.
8. CÓTICA, M.S. **Análise do Impacto da Retirada da Proteção Externa na Carga Térmica e no Consumo de Energia Elétrica de uma Edificação**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. Trabalho de Diplomação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. Disponível em: <<http://www.mecanica.ufrgs.br/lafrig>>.

9. CRAWLEY, Drury B.; WINKELMANN, Frederick C.; LAWRIE, Linda K.; PEDERSEN, Curtis O., 2001. **Energyplus: New Capabilities In a Whole Building Energy Simulation Program**. Rio de Janeiro, Brasil, 8 páginas.
10. DRIEMEIER, D.A.. **Dimensionamento de Sistema de Ar Condicionado visando Conforto Térmico em Ambiente Industrial**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. Trabalho de Diplomação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. Disponível em: <<http://www.mecanica.ufrgs.br/lafrig>>.
11. EGAN, M. David., 1975. **Concepts in Thermal Comfort**, New Jersey: Prentice Hall Inc., Englewood Clifs.
12. FURASTÉ, Pedro Augusto, 2003. **Normas Técnicas para o trabalho Científico. Explicitação das Normas da ABNT**. 10ª ed., Porto Alegre, Dáctilo Plus.
13. GUIMARÃES, L. B. M, 2001. **Ergonomia de Processo**. Porto Alegre, Fundação Empresa Escola de Engenharia UFRGS – FEENG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, UFRGS.
14. HENNINGER, R.H., Witte, M.J., 2003a. **“EnergyPlus Testing with ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 (BESTEST)”**. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA. Disponível em: <<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/testing.html>>.
15. HENNINGER, R.H., Witte, M.J., 2003b. **“EnergyPlus Testing with ASHRAE 1052-RP Toolkit – Building Fabric Analytical Tests”**. Ernest Orlando

Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, USA. Disponível em:
<<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/testing.html>>.

16. KAYS, W. M., 1966. **Convective Heat and Mass Transfer**. McGraw-Hill, New York.
17. LAMBERTS, R., LOMARDO, L. L. B., AGUIAR, J. C., THOMÉ, M. R. V., 1996. **Eficiência Energética em Edificações - Estado da Arte**. Diretoria de Operação de Sistemas. PROCEL, Eletrobrás.
18. MÖLLER, Sérgio V., 2006. **Metodologia de Trabalhos Científicos**. Engenharia de Segurança do Trabalho, Porto Alegre, UFRGS.
19. OLGAY, V., 1998. **Arquitectura y Clima**. Editorial Gustavo Gilli, S.A., Barcelona.
20. OLGAY, V., OLGAY, A., 1973. **Design With Climate Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. New Jersey, University Press.
21. PEREIRA, Fábio L.. **Avaliação da Influência Termoenergética do Tipo de Vidro Utilizado na Envoltória de Edificações**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. Trabalho de Diplomação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. Disponível em: <<http://www.mecanica.ufrgs.br/lafrig>>.
22. POLIT, Gem Dimitri Viteri, 1995. **Padrões de Habitabilidade em Arquitetura Industrial**, Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Arquitetura, PROPAR.

23. ROOSE, Robert W., 1978. **Handbook of Energy Conservation for Mechanical Systems in Buildings**. New York, Van Nostrand Reinhold Company.
24. SATTler, M. A., 1989. **Dias Climáticos Para o Projeto Térmico de Edificações em Porto Alegre**. Porto Alegre, RS, Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC.
25. WALLAUER, Maurício D.. **Utilização do Programa *EnerPlus* para a Simulação do Conforto Térmico em Edificações Populares em Quatro Capitais Brasileiras**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. Dissertação, Escola de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

7.2 BIBLIOGRAFIA INDICADA

A seguir, é apresentada bibliografia complementar indicada à leitura. As referências apresentadas nesse subtópico não constam em citações do corpo da dissertação, porém, tratam de conceitos e estudos sobre arquitetura sustentável e conforto térmico, e são apresentadas como fontes de dados relevantes.

1. EVANS, M., SCHILLER, S., 1988. **Diseno Bioambiental y Arquitectura Solar**. SEP 9, FAU/UBA, Buenos Aires.
2. PLEA, 1983 até 2007. Consulta aos **Anais do PLEA** de 1983 até 2007.
3. ROMERO, Marta Bustos, 1988. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. Editora Projeto, São Paulo.
4. YANNAS, Simus, 1994. **Solar Energy and housing Design**. AASA Graduate School, London.

5. YANNAS, Simus, 1995. **Design of Educational Buildings**. Book 1: Design primer. Environment and Energy Studies Programme, AA Graduate School, London.

ANEXO 1

Com base nas conclusões obtidas nesse estudo, e nas análises realizadas e discutidas, verificou-se que as principais características termofísicas dos materiais que influenciam no desempenho térmico e energético das edificações industriais são: condutividade κ [W/m.K]; densidade ρ [kg/m³]; calor Específico c [J/kg.K]; espessura [cm]; e absorvância.

Constata-se, também, que os materiais que apresentaram resultados com maior desempenho térmico e energético, possuem as seguintes características termofísicas: condutividade κ inferior a 0,2 W/m.K; densidade ρ inferior a 100,0 kg/m³; calor Específico c superior a 1000,0 J/kg.K; espessura superior a 20 cm para planos de fechamento verticais e superior a 5 cm para camadas isolantes térmicas; e absorvância inferior a 0,3.

Com base nas conclusões apresentadas, foi desenvolvida planilha de avaliação do desempenho térmico e energético de edificações industriais, para realização do cálculo do Fator de Desempenho.

O Fator de Desempenho trata-se de um índice criado para qualificar a escolha dos materiais opacos que compõem o envoltório de uma edificação de uso industrial. O referido índice, apesar de proposto para aplicação em edificações industriais, ou de grande porte, também pode ser aplicado para os demais usos de edificações. A proposição de uso para edificações industriais deve-se ao fato de que, nessa tipologia, as áreas não opacas são reduzidas ou irrelevantes. Porém, o índice pode ser aplicado nas demais tipologias, desde que associado a uma avaliação criteriosa das aberturas e de suas áreas envidraçadas.

Esse *check list* proposto tem o objetivo de auxiliar ao profissional projetista na escolha de materiais construtivos, como forma de manter as edificações dentro de uma faixa aceitável de temperaturas, na maior parte do ano. A planilha de avaliação de desempenho proposta é apresentada a seguir, onde são realizadas aplicações práticas e exemplificativas.

PLANILHAS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE
EDIFICAÇÕES INDUSTRIAIS, PARA O CÁLCULO DO FATOR DE DESEMPENHO

TABELA DE PONTUAÇÃO

Característica	Intervalo	Classificação	Pontuação
Termofísica			
Condutividade κ^*	0,0 a 0,20 W/m.K	Pouco condutivo	3
	0,21 a 1,0 W/m.K	Condutivo	2
	> 1,0 W/m.K	Muito condutivo	1
Densidade ρ	0,0 a 100,0 kg/m ³	Pouco denso	3
	100,1 a 1000,0 kg/m ³	Denso	2
	> 1000,0 kg/m ³	Muito denso	1
Calor Específico c	0,0 a 500,0 J/kg.K	Fácil aquecimento	1
	500,1 a 1000,0 J/kg.K	Médio aquecimento	2
	> 1000,0 J/kg.K	Difícil aquecimento	3
Espessura para planos verticais	0,0 a 15,0 cm	Pouco espesso	1
	15,1 a 25,0 cm	Espesso	2
	> 25,0 cm	Muito espesso	3
Espessura para isolamento e cobertura	0,0 a 1,0 cm	Pouco espesso	1
	1,1 a 5,0 cm	Espesso	2
	> 5,0 cm	Muito espesso	3
Absortância*	0,0 a 0,2	Pouco absortivo	3
	0,21 a 0,5	Absortivo	2
	> 0,5	Muito absortivo	1

TABELA DE COEFICIENTES

Coeficiente de multiplicação para materiais em planos verticais	0,35
Coeficiente de multiplicação para materiais em coberturas	0,65

* Para superfícies compostas por mais de uma camada de materiais, deve-se somar a pontuação da absortância apenas para o material em contato com o exterior.

* Para metais, ou materiais com valor de condutividade superior a 10,0, não somar pontuação.

* Para coberturas vegetais ou em terra, multiplicar a pontuação pelo coeficiente 2,0.

Método de aplicação:

1. Listar os materiais construtivos aplicados no projeto.
2. Listar as características termofísicas dos materiais.
3. Calcular a pontuação de cada material através da aplicação da Tabela de Pontuação.
4. Classificar os materiais de acordo com seu posicionamento, em planos verticais ou cobertura.
5. Realizar o somatório da pontuação dos materiais dos planos verticais.
6. Aplicar o coeficiente de multiplicação no somatório da pontuação dos materiais dos planos verticais.
7. Realizar o somatório da pontuação dos materiais da cobertura.
8. Aplicar o coeficiente de multiplicação no somatório da pontuação dos materiais da cobertura.
9. Somar as pontuações dos planos verticais e da cobertura após corrigidas pelos coeficientes de multiplicação.

Exemplos de planilhas de aplicação para o cálculo do Fator de Desempenho:

	Material	Espessura [cm]	Condutividade κ [W/m.K]	Densidade ρ [kg/m ³]	Calor Específico c [J/kg.K]	Absortância	Pontuação	Total
Planos Verticais								
Cobertura								

	Pontuação total	Fator de correção	Pontuação corrigida	Fator de Desempenho Somatório final	Nota
Planos Verticais		0,35			
Cobertura		0,65			

CLASSIFICAÇÃO DA EDIFICAÇÃO INDUSTRIAL

Fator de desempenho	Nota
>30,0	A
20,1 a 30,0	B
10,1 a 20,0	C
0,0 a 10,0	D

Exemplos aplicados:

• Modelo Base

	Modelo Base	Espessura [cm]	Condutividade κ [W/m.K]	Densidade ρ [kg/m ³]	Calor Específico c [J/kg.K]	Absortância	Pontuação	Total
Planos Verticais	Tijolos vazados	10,0	0,70	1100,0	830,0	0,70	1+2+1+2+1	7
Cobertura	Telha em fibrocimento	0,5	0,95	1900,0	840,0	0,70	1+2+1+2+1	7

	Pontuação total	Fator de correção	Pontuação corrigida	Fator de Desempenho Somatório final	Nota
Planos Verticais	7	0,35	2,45	7	D
Cobertura	7	0,65	4,55		

• Estudo de Caso 2

	Estudo de Caso 2	Espessura [cm]	Condutividade κ [W/m.K]	Densidade ρ [kg/m ³]	Calor Específico c [J/kg.K]	Absortância	Pontuação	Total
Planos Verticais	Reboco	2,0	0,72	1860,0	830,0	(interno)	1+2+1+2	6
	Bloco de concreto	20,0	0,57	1040,0	830,0	(interno)	2+2+1+2	7
	Reboco	2,0	0,72	1860,0	830,0	0,3	1+2+1+2+2	8
Cobertura	Alumínio	0,2	(metal)	2700,0	880,0	0,1	1+1+2+3	7
	Poliestireno	5,0	0,035	35,0	1420,0	(interno)	2+3+3+3	11
	Alumínio	0,2	(metal)	2700,0	880,0	(interno)	1+1+2	4
	Poliuretano	5,0	0,030	35,0	1670,0	(interno)	2+3+3+3	11

	Pontuação total	Fator de correção	Pontuação corrigida	Fator de Desempenho Somatório final	Nota
Planos Verticais	21	0,35	7,35	28,8	B
Cobertura	33	0,65	21,45		

• Estudo de Caso 1

	Estudo de Caso 1	Espessura [cm]	Condutividade κ [W/m.K]	Densidade ρ [kg/m ³]	Calor Específico c [J/kg.K]	Absortância	Pontuação	Total
Planos	Reboco	2,0	0,72	1860,0	830,0	(interno)	1+2+1+2	6
Verticais	Bloco de concreto	20,0	0,57	1040,0	830,0	(interno)	2+2+1+2	7
	Reboco	2,0	0,72	1860,0	830,0	0,3	1+2+1+2+2	8
Cobertura	Concreto armado	10,0	1,75	2200,0	1000,0	(interno)	1+1+1+2	5
	Terra	30,0	0,17	1040,0	830,0	0,60	3+3+1+2+1 (x2)	20
	Poliuretano	5,0	0,030	35,0	1670,0	(interno)	2+3+3+3	11

	Pontuação total	Fator de correção	Pontuação corrigida	Fator de Desempenho Somatório final	Nota
Planos Verticais	21	0,35	7,35	30,75	A
Cobertura	36	0,65	23,40		

ANEXO 2 – CÁLCULO DA INFILTRAÇÃO DE AR

A seguir, é apresentada a forma como o software *Energyplus* entende a infiltração do ar em modelos de simulação. Tal entendimento é necessário para a criação de simulações computacionais, e para a correta avaliação do subitem *Infiltração de Ar*, no capítulo *Metologia*.

O ar que entra no ambiente por meio de infiltração é assumido estar imediatamente misturado com o ar da zona térmica. A determinação da quantidade de ar infiltrado é complexa e possui resultado incerto. Nos procedimentos mais comuns, a quantidade de infiltração é convertida para um número de trocas de ar por hora (*ACH – air changes hate*) e incluído no balanço de calor da zona de ar utilizando a temperatura externa na hora corrente [*EnergyPlus Engineering Reference, 2008*].

O *EnergyPlus* entende a infiltração como uma vazão de ar vinda do ambiente exterior diretamente para a zona térmica. Essa vazão é, geralmente, causada por uma abertura ou fechamento de janelas e portas ou até por pequenas frestas no envoltório do edifício. A equação básica utilizada para o cálculo da infiltração no *software*, e para fins deste estudo é:

$$\text{Infiltração} = (I_{design})(F_{schedule})[A+B |(T_{zone} - T_{odb})| + C(WindSpd) + D(WindSpd^2)] \quad (7)$$

Onde:

I_{design} : taxa de vazão volumétrica de projeto [m^3/s];

$F_{schedule}$: fator de multiplicação do *schedule* [];

A; termo coeficiente constante [];

B; termo coeficiente de temperatura [];

C; termo coeficiente de velocidade [];

D ; termo coeficiente do quadrado da velocidade [];

T_{zone} ; temperatura da zona [°C];

T_{odb} ; temperatura externa [°C];

$WindSpd$; velocidade do vento [m/s].

Cálculos mais avançados de infiltração são possíveis utilizando o modelo *EnergyPlus Airflow Network* para infiltração natural dirigida pelo vento quando o sistema de ar condicionado não opera, ou dirigida pelo vento e ar forçado quando o sistema de condicionamento funciona. A infiltração descrita pela equação apresentada acima é a entrada utilizada no *EnergyPlus* para este cálculo.

A fonte para esta forma de cálculo de infiltração de ar utilizada pelo *software* simulador é o processo de cálculo utilizado pelos programas predecessores do *EnergyPlus*: o *DOE-2* e o *BLAST*, já mencionados neste estudo. As fontes do *BLAST*, predecessor direto, são descritas em sua documentação como:

- “Equação empírica e coeficientes padrões foram determinados partindo das referências dos jornais e artigos da ASHRAE e outros dados nos efeitos das condições de ambiente exterior.”
- A fonte dos padrões do *DOE-2* é baseada na avaliação das relações de infiltração descritas no *Handbook of Fundamentals* da ASHRAE.

Os exemplos de arquivos do *EnergyPlus* usam as referências citadas acima:

- Padrões do *BLAST*;
- Padrões do *DOE-2*;
- Padrões da ASHRAE;
- Padrões do próprio *software* simulador.

ANEXO 3 - PESQUISAS REALIZADAS COM O USO DO *SOFTWARE*

Nesse anexo, apresentam-se resumos de literaturas e trabalhos que utilizaram o programa computacional *EnergyPlus*, como ferramenta para obtenção de resultados de desempenho térmico de edificações e de índices de conforto. Também serão descritos estudos realizados sobre materiais construtivos e suas influências no desempenho termoenergético de edificações. Tais informações são complementares às descritas no **capítulo 4** desse estudo, e podem ser fonte de consulta para trabalhos futuros.

Pereira¹⁰³, 2005, apresentou um estudo sobre a influência que alguns parâmetros físicos têm no desempenho termoenergético de uma edificação com um sistema de condicionamento de ar do tipo expansão direta. Pereira utilizou o programa simulador *EnergyPlus* para estudar casos alterando os seguintes parâmetros físicos: localização geográfica, tipo de vidro utilizado nas fachadas, área envidraçada das fachadas e orientação da edificação em relação ao norte verdadeiro. As respostas obtidas com o programa simulador foram: carga térmica de aquecimento e refrigeração e o consumo dos sistemas de ar-condicionado e de iluminação. Os resultados obtidos mostraram que a orientação e os tipos de vidro utilizados alteram sensivelmente a potência requerida pelo sistema de ar-condicionado e os consumos elétricos anuais do sistema de condicionamento e de iluminação. O autor constatou, pela comparação da temperatura da face interna dos vidros estudados, diferenças significativas de valores e, através de análise econômica, que a utilização de película nos vidros é viável.

Em seu trabalho, Pereira apresenta outras revisões bibliográficas sobre simulações utilizando o programa computacional *EnergyPlus* –

¹⁰³ PEREIRA, Fábbyo L.. **Determinação Computacional da Influência de Parâmetros Físicos no Comportamento Termoenergético de uma Edificação**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. Dissertação, Escola de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

Henninger, 2004¹⁰⁴, que utiliza a metodologia de validação HVAC BESTEST e Grings¹⁰⁵, 2003, que comparou resultados computacionais e experimentais – ambos obtendo resultados coerentes.

Neto¹⁰⁶, 2002, propõe um sistema de ventilação para uma fábrica de elevadores localizada em Guaíba e realiza a simulação de conforto térmico nos períodos de inverno e de verão através do programa computacional *EnergyPlus*. O autor realizou, também, a simulação do PMV (*predicted mean vote*) com diferentes valores de renovação de ar para definir a vazão de insuflamento. Com a inserção do sistema de ventilação na simulação, Neto obteve sensível melhora teórica nas condições térmicas do pavilhão, mesmo que não garantido o conforto.

Silva¹⁰⁷, 2003, realizou comparação de dados obtidos através da utilização do programa computacional *EnergyPlus*, com valores aferidos de consumo de energia elétrica em agência bancária existente em Porto Alegre. A medição foi realizada em fevereiro e o autor concluiu que os resultados simulados foram próximos aos medidos, sendo que, diferenças encontradas na terceira semana do mês, foram atribuídas ao fato de que o sistema de condicionamento de ar estava desligado para manutenção. Outra diferença justificada nos valores simulados encontra-se nos resultados obtidos nos finais de semana, que foram menores do que os medidos, e atribuídos ao fato de que a simulação não considerou o funcionamento da refrigeração nas áreas de auto-atendimento.

¹⁰⁴ HENNINGER, R.H., Witte, M.J., Crawley, D.B., 2004. "Analytical and Comparative Testing of EnergyPlus using IEA HVAC BESTEST E100-E200 test Suite", **Energy and Buildings**, vol.36, iss.8, pp.855-863.

¹⁰⁵ GRINGS, E. T. O.. **Comparação entre Resultados Computacionais e Experimentais do Comportamento Térmico de um Ambiente**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. Dissertação, Escola de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

¹⁰⁶ NETO, Ângelo G. **Melhoramento das Condições Térmicas de uma Fábrica Através de um Sistema de Ventilação**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. Trabalho de Diplomação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

¹⁰⁷ SILVA, C.J.C.. **Simulação Termoenergética de um Sistema de Ar Condicionado para Comparação dos Resultados Medidos e Simulados**. Porto Alegre: UFRGS, 2003.

Verdi¹⁰⁸, 2003, realizou análise termoenergética de uma edificação comercial, existente em Porto Alegre, como estudo preliminar para implantação de um sistema de climatização artificial. A proposta foi simulada através do programa computacional *EnergyPlus* para obtenção da potência do sistema de condicionamento, umidade, temperaturas, indicador de conforto térmico, dimensionamento e consumo dos equipamentos. Também foram simuladas e analisadas alternativas factíveis para reduzir a carga térmica da edificação, a fim de reduzir o dimensionamento e o consumo energético do sistema de condicionamento de ar. Para tanto, o autor realizou a simulação da aplicação de película refletiva nas janelas, a utilização de diferentes isolamentos térmicos sobre as lajes e a colocação de folha polida de alumínio sobre o telhado. O resultado gerou uma redução significativa na carga térmica da edificação.

¹⁰⁸ VERDI, R.E., 2003. **Análise Termoenergética de um Prédio Comercial**, Trabalho de Diplomação em Engenharia Mecânica, DEMEC/UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 26f.
Disponível em: <www.mecanica.ufrgs.br/lafrig>.
Acesso em: 10 de abril 2008.

ANEXO 4 – RESULTADOS NUMÉRICOS DAS TEMPERATURAS PARA OS DIAS TÍPICOS DE INVERNO E VERÃO ESTUDADOS

Nesse anexo, são apresentadas planilhas com a descrição dos resultados numéricos obtidos nas simulações, para a temperatura de bulbo seco dos dias típicos de inverno e verão estudados. Os resultados apresentados foram utilizados para montagem dos gráficos apresentados no capítulo 5: *Resultados e Análises*.

A importância de tais resultados está no fato de que a análise gráfica pode demonstrar que a modificação da escolha dos materiais construtivos proporciona consideráveis alterações da temperatura interna, mesmo em edificações de grande porte, ou com elevado volume de ar interno. As tabelas apresentadas a seguir, por sua vez, permitem a leitura linha por linha dos resultados, bem como permitem a confirmação dos resultados apresentados no capítulo 5 desse estudo.

Os referidos gráficos e tabelas permitem, também, realizar análises hora a hora das variações de temperaturas, em dias críticos, como a análise a seguir apresentada no capítulo 5, referente a primeira seqüência de tabelas apresentada nesse anexo: *“Às 12 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 20,65°C, com as paredes formadas por placas ou telhas em alumínio. Também às 12 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 22,44°C, porém, com as paredes formadas por placas ou telhas em fibrocimento. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente 2°C. Às 18 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 17,44°C, com as paredes formadas por placas ou por telhas em alumínio. Também às 18 horas do dia 21 de julho, o modelo apresenta uma temperatura interna de 19,16°C, porém, com as paredes formadas por tijolos de barro vazados, com espessura de 10cm. Verifica-se um ΔT_{bs} significativo de aproximadamente 1,7°C.”*

ELEMENTOS VERTICAIS - INVERNO

Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Modelo base - Tijolos de barro vazados e=10cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,06	82,27
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,98	67,63
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,61	61,93
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,67	57,43
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,54	63,31
07/21 16:00:00	13,00	95,00	21,11	57,74
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,34	60,84
07/21 18:00:00	12,63	95,63	19,16	65,24
Tijolos de barro vazados e=20cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,25	82,27
07/21 10:00:00	13,19	97,50	19,09	67,66
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,50	62,59
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,27	58,95
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,11	65,08
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,75	59,03
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,14	61,55
07/21 18:00:00	12,63	95,63	19,12	65,38
Tijolos de barro maciços e=10cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,18	82,42
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,94	68,14
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,34	63,16
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,17	59,29
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,12	65,02
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,76	58,98
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,14	61,57
07/21 18:00:00	12,63	95,63	19,10	65,47
Tijolos de barro vazados com reboco em ambas as faces e=10cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,11	82,37
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,86	68,30
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,25	63,40
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,08	59,59
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,03	65,38
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,64	59,43
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,00	62,08
07/21 18:00:00	12,63	95,63	18,98	65,95

ELEMENTOS VERTICAIS - INVERNO

Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Tijolos de barro vazados com reboco em ambas as faces e=20cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,27	82,33
07/21 10:00:00	13,19	97,50	19,00	68,06
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,33	63,26
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,05	59,76
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	18,88	66,01
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,46	60,07
07/21 17:00:00	13,00	95,00	19,87	62,59
07/21 18:00:00	12,63	95,63	18,85	66,49
Bloco de concreto e=10cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,09	82,23
07/21 10:00:00	13,19	97,50	19,03	67,47
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,64	61,84
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,64	57,57
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,39	63,93
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,96	58,29
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,21	61,31
07/21 18:00:00	12,63	95,63	19,07	65,61
Bloco de concreto e=20cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,25	82,11
07/21 10:00:00	13,19	97,50	19,12	67,45
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,55	62,34
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,32	58,75
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,05	65,29
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,66	59,32
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,04	61,93
07/21 18:00:00	12,63	95,63	19,01	65,83
Bloco de concreto com reboco em ambas as faces e=10cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,13	82,36
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,90	68,17
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,32	63,18
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,16	59,30
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,09	65,13
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,71	59,19
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,08	61,79
07/21 18:00:00	12,63	95,63	19,03	65,77

ELEMENTOS VERTICAIS - INVERNO

Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Bloco de concreto com reboco em ambas as faces e=20cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,27	82,33
07/21 10:00:00	13,19	97,50	19,02	68,01
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,36	63,15
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,10	59,58
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	18,92	65,84
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,51	59,92
07/21 17:00:00	13,00	95,00	19,90	62,45
07/21 18:00:00	12,63	95,63	18,88	66,36
Chapa metálica galvanizada e=2mm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	15,86	82,47
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,90	67,58
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,51	62,13
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,25	58,87
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	18,46	67,71
07/21 16:00:00	13,00	95,00	19,74	62,76
07/21 17:00:00	13,00	95,00	18,93	66,26
07/21 18:00:00	12,63	95,63	17,67	71,51
Chapa metálica em alumínio e=2mm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	15,67	83,26
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,59	68,80
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,05	63,84
07/21 12:00:00	12,91	95,00	20,65	61,01
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	18,02	69,57
07/21 16:00:00	13,00	95,00	19,37	64,22
07/21 17:00:00	13,00	95,00	18,60	67,63
07/21 18:00:00	12,63	95,63	17,44	72,51
Fibrocimento e=5mm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,26	80,55
07/21 10:00:00	13,19	97,50	19,63	64,67
07/21 11:00:00	13,49	96,50	21,51	58,48
07/21 12:00:00	12,91	95,00	22,44	54,81
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,30	64,27
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,50	59,95
07/21 17:00:00	13,00	95,00	19,60	63,58
07/21 18:00:00	12,63	95,63	17,97	70,22

ELEMENTOS VERTICAIS - INVERNO

Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Concreto leve e= 10cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,09	82,31
07/21 10:00:00	13,19	97,50	19,12	67,14
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,83	61,13
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,92	56,60
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,56	63,26
07/21 16:00:00	13,00	95,00	21,09	57,84
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,33	60,88
07/21 18:00:00	12,63	95,63	19,11	65,44

ELEMENTOS VERTICAIS - VERÃO

Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Modelo base - Tijolos de barro vazados e=10cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	18,12	58,24
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,72	48,08
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,73	39,70
12/21 12:00:00	21,68	48,00	26,73	35,21
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	30,20	34,85
12/21 16:00:00	25,50	45,00	30,33	34,08
12/21 17:00:00	25,19	48,75	29,53	37,48
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,99	41,97
Tijolos de barro vazados e=20cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	17,97	58,75
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,28	49,37
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,19	40,99
12/21 12:00:00	21,68	48,00	26,19	36,35
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	29,76	35,75
12/21 16:00:00	25,50	45,00	29,77	35,19
12/21 17:00:00	25,19	48,75	28,90	38,80
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,35	43,61
Tijolos de barro maciços e=10cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	17,87	59,10
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,32	49,26
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,25	40,84
12/21 12:00:00	21,68	48,00	26,24	36,25
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	29,76	35,74
12/21 16:00:00	25,50	45,00	29,86	35,01
12/21 17:00:00	25,19	48,75	29,09	38,42
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,66	42,75
Tijolos de barro vazados com reboco em ambas as faces e=10cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	17,65	59,97
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,13	49,84
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,06	41,31
12/21 12:00:00	21,68	48,00	26,07	36,61
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	29,67	35,93
12/21 16:00:00	25,50	45,00	29,73	35,26
12/21 17:00:00	25,19	48,75	28,91	38,83
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,43	43,34

ELEMENTOS VERTICAIS - VERÃO

Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Tijolos de barro vazados com reboco em ambas as faces e=20cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	17,99	58,65
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,13	49,84
12/21 11:00:00	20,13	51,75	23,95	41,59
12/21 12:00:00	21,68	48,00	25,89	37,00
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	29,44	36,41
12/21 16:00:00	25,50	45,00	29,45	35,84
12/21 17:00:00	25,19	48,75	28,59	39,50
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,04	44,39
Bloco de concreto e= 10cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	17,87	59,14
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,48	48,79
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,50	40,24
12/21 12:00:00	21,68	48,00	26,54	35,59
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	30,07	35,11
12/21 16:00:00	25,50	45,00	30,10	34,52
12/21 17:00:00	25,19	48,75	29,23	38,03
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,58	43,05
Bloco de concreto e=20cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	17,94	58,87
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,26	49,45
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,16	41,08
12/21 12:00:00	21,68	48,00	26,15	36,44
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	29,70	35,86
12/21 16:00:00	25,50	45,00	29,69	35,35
12/21 17:00:00	25,19	48,75	28,80	38,97
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,20	44,01
Bloco de concreto com reboco em ambas as faces e= 10cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	17,66	59,89
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,09	49,95
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,03	41,40
12/21 12:00:00	21,68	48,00	26,05	36,63
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	29,72	35,82
12/21 16:00:00	25,50	45,00	29,76	35,20
12/21 17:00:00	25,19	48,75	28,90	38,84
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,38	43,46

ELEMENTOS VERTICAIS - VERÃO

Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Bloco de concreto com reboco em ambas as faces e=20cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	18,00	58,63
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,14	49,81
12/21 11:00:00	20,13	51,75	23,96	41,56
12/21 12:00:00	21,68	48,00	25,91	36,95
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	29,47	36,33
12/21 16:00:00	25,50	45,00	29,49	35,76
12/21 17:00:00	25,19	48,75	28,62	39,43
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,07	44,33
Chapa metálica galvanizada e=2mm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	18,22	57,48
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,61	48,38
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,41	40,44
12/21 12:00:00	21,68	48,00	26,19	36,34
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	29,77	35,78
12/21 16:00:00	25,50	45,00	29,77	35,20
12/21 17:00:00	25,19	48,75	28,80	39,02
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,00	44,56
Chapa metálica em alumínio e=2mm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	17,56	59,91
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,20	49,61
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,07	41,28
12/21 12:00:00	21,68	48,00	25,93	36,90
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	29,40	36,54
12/21 16:00:00	25,50	45,00	29,32	36,11
12/21 17:00:00	25,19	48,75	28,33	40,09
12/21 18:00:00	24,38	51,63	26,61	45,57
Fibrocimento e=5mm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	20,07	51,37
12/21 10:00:00	17,88	61,38	22,76	45,10
12/21 11:00:00	20,13	51,75	25,35	38,22
12/21 12:00:00	21,68	48,00	26,83	34,91
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	30,73	33,86
12/21 16:00:00	25,50	45,00	30,93	32,94
12/21 17:00:00	25,19	48,75	30,03	36,36
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,98	42,10

ELEMENTOS VERTICAIS - VERÃO

Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Concreto leve e=10cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	18,04	58,52
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,68	48,20
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,73	39,70
12/21 12:00:00	21,68	48,00	26,77	35,14
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	30,25	34,79
12/21 16:00:00	25,50	45,00	30,25	34,23
12/21 17:00:00	25,19	48,75	29,34	37,78
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,63	42,91

COBERTURAS - INVERNO				
Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Modelo base - Telhas de fibrocimento e=5mm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,06	82,27
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,98	67,63
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,61	61,93
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,67	57,43
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,54	63,31
07/21 16:00:00	13,00	95,00	21,11	57,74
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,34	60,84
07/21 18:00:00	12,63	95,63	19,16	65,24
Chapa metálica galvanizada e=2mm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	15,18	85,11
07/21 10:00:00	13,19	97,50	17,59	72,92
07/21 11:00:00	13,49	96,50	18,81	68,79
07/21 12:00:00	12,91	95,00	19,52	65,29
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	17,68	71,02
07/21 16:00:00	13,00	95,00	19,24	64,70
07/21 17:00:00	13,00	95,00	18,92	66,25
07/21 18:00:00	12,63	95,63	18,14	69,33
Chapa metálica em alumínio e=2mm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	14,89	85,99
07/21 10:00:00	13,19	97,50	17,05	75,22
07/21 11:00:00	13,49	96,50	18,10	72,22
07/21 12:00:00	12,91	95,00	18,52	69,70
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	16,68	75,68
07/21 16:00:00	13,00	95,00	18,35	68,35
07/21 17:00:00	13,00	95,00	18,28	68,93
07/21 18:00:00	12,63	95,63	17,78	70,87
Telha dupla em alumínio com isolamento em poliestireno e=5,4mm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	17,27	82,16
07/21 10:00:00	13,19	97,50	19,08	70,07
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,07	65,43
07/21 12:00:00	12,91	95,00	20,64	61,70
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	18,58	67,30
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,67	59,31
07/21 17:00:00	13,00	95,00	21,01	58,34
07/21 18:00:00	12,63	95,63	20,77	59,03

COBERTURAS - INVERNO				
Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Telha em zinco e=2mm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	15,46	83,83
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,16	70,44
07/21 11:00:00	13,49	96,50	19,62	65,45
07/21 12:00:00	12,91	95,00	20,52	61,46
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	18,46	67,69
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,02	61,70
07/21 17:00:00	13,00	95,00	19,48	64,07
07/21 18:00:00	12,63	95,63	18,54	67,77
Telha em cobre e=2mm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	15,44	83,94
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,14	70,56
07/21 11:00:00	13,49	96,50	19,59	65,54
07/21 12:00:00	12,91	95,00	20,51	61,50
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	18,46	67,68
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,03	61,67
07/21 17:00:00	13,00	95,00	19,50	64,00
07/21 18:00:00	12,63	95,63	18,56	67,67
Telha pré-moldada em concreto leve e=10cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,57	85,14
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,45	72,56
07/21 11:00:00	13,49	96,50	19,47	67,83
07/21 12:00:00	12,91	95,00	20,40	62,66
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,04	65,37
07/21 16:00:00	13,00	95,00	21,24	57,28
07/21 17:00:00	13,00	95,00	21,46	56,77
07/21 18:00:00	12,63	95,63	21,03	58,11
Laje em concreto armado e cobertura de terra e=10cm + 30cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	18,18	77,60
07/21 10:00:00	13,19	97,50	19,72	66,80
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,23	64,48
07/21 12:00:00	12,91	95,00	20,49	62,21
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	18,57	67,34
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,54	59,77
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,72	59,40
07/21 18:00:00	12,63	95,63	20,54	59,86

COBERTURAS - INVERNO

Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Laje em concreto armado e cobertura de seixos e=10cm + 10cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	17,00	83,55
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,57	71,72
07/21 11:00:00	13,49	96,50	19,11	69,03
07/21 12:00:00	12,91	95,00	19,47	66,16
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	18,08	69,40
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,08	61,43
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,40	60,53
07/21 18:00:00	12,63	95,63	20,26	60,87

COBERTURAS - VERÃO

Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Modelo base - Telhas de fibrocimento e=5mm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	18,12	58,24
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,72	48,08
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,73	39,70
12/21 12:00:00	21,68	48,00	26,73	35,21
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	30,20	34,85
12/21 16:00:00	25,50	45,00	30,33	34,08
12/21 17:00:00	25,19	48,75	29,53	37,48
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,99	41,97
Chapa metálica galvanizada e=2mm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	16,22	65,67
12/21 10:00:00	17,88	61,38	19,76	54,19
12/21 11:00:00	20,13	51,75	22,41	45,62
12/21 12:00:00	21,68	48,00	24,15	40,97
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	27,64	40,45
12/21 16:00:00	25,50	45,00	28,09	38,77
12/21 17:00:00	25,19	48,75	27,79	41,55
12/21 18:00:00	24,38	51,63	26,91	44,83
Chapa metálica em alumínio e=2mm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	15,62	68,65
12/21 10:00:00	17,88	61,38	19,11	56,44
12/21 11:00:00	20,13	51,75	21,64	47,78
12/21 12:00:00	21,68	48,00	23,26	43,23
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	26,73	42,67
12/21 16:00:00	25,50	45,00	27,31	40,58
12/21 17:00:00	25,19	48,75	27,20	43,00
12/21 18:00:00	24,38	51,63	26,48	45,89
Telha dupla em alumínio com isolamento em poliestireno e=5,4mm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	16,41	64,84
12/21 10:00:00	17,88	61,38	19,28	55,85
12/21 11:00:00	20,13	51,75	21,66	47,70
12/21 12:00:00	21,68	48,00	23,20	43,31
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	26,61	42,98
12/21 16:00:00	25,50	45,00	27,28	40,63
12/21 17:00:00	25,19	48,75	27,30	42,74
12/21 18:00:00	24,38	51,63	26,78	45,09

COBERTURAS - VERÃO				
Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Telha em zinco e=2mm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	16,96	62,65
12/21 10:00:00	17,88	61,38	20,52	51,74
12/21 11:00:00	20,13	51,75	23,31	43,21
12/21 12:00:00	21,68	48,00	25,18	38,59
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	28,66	38,12
12/21 16:00:00	25,50	45,00	28,96	36,86
12/21 17:00:00	25,19	48,75	28,44	40,02
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,32	43,67
Telha em cobre e=2mm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	16,93	62,76
12/21 10:00:00	17,88	61,38	20,50	51,80
12/21 11:00:00	20,13	51,75	23,30	43,24
12/21 12:00:00	21,68	48,00	25,17	38,61
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	28,66	38,12
12/21 16:00:00	25,50	45,00	28,97	36,85
12/21 17:00:00	25,19	48,75	28,45	40,00
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,34	43,63
Telha pré-moldada em concreto leve e=10cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	16,28	65,41
12/21 10:00:00	17,88	61,38	19,43	55,33
12/21 11:00:00	20,13	51,75	22,05	46,64
12/21 12:00:00	21,68	48,00	23,89	41,66
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	27,76	40,19
12/21 16:00:00	25,50	45,00	28,48	37,90
12/21 17:00:00	25,19	48,75	28,49	39,88
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,85	42,34
Laje em concreto armado e cobertura de terra e=10cm + 30cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	17,42	60,85
12/21 10:00:00	17,88	61,38	19,65	54,57
12/21 11:00:00	20,13	51,75	21,83	47,19
12/21 12:00:00	21,68	48,00	23,22	43,26
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	26,43	43,44
12/21 16:00:00	25,50	45,00	27,01	41,28
12/21 17:00:00	25,19	48,75	27,00	43,49
12/21 18:00:00	24,38	51,63	26,48	45,89

COBERTURAS - VERÃO

Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Laje em concreto armado e cobertura de seixos e=10cm + 10cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	17,08	62,13
12/21 10:00:00	17,88	61,38	19,46	55,23
12/21 11:00:00	20,13	51,75	21,72	47,50
12/21 12:00:00	21,68	48,00	23,23	43,21
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	26,80	42,51
12/21 16:00:00	25,50	45,00	27,52	40,06
12/21 17:00:00	25,19	48,75	27,64	41,90
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,23	43,90

ISOLAMENTOS - INVERNO				
Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Modelo base - Sem isolamento				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,06	82,27
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,98	67,63
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,61	61,93
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,67	57,43
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,54	63,31
07/21 16:00:00	13,00	95,00	21,11	57,74
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,34	60,84
07/21 18:00:00	12,63	95,63	19,16	65,24
Lã de rocha e=5cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	17,39	81,80
07/21 10:00:00	13,19	97,50	19,42	68,72
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,47	63,97
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,28	59,43
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,14	65,05
07/21 16:00:00	13,00	95,00	21,28	57,15
07/21 17:00:00	13,00	95,00	21,52	56,58
07/21 18:00:00	12,63	95,63	21,12	57,82
Lã de vidro e=5cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	17,41	81,71
07/21 10:00:00	13,19	97,50	19,47	68,52
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,52	63,79
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,31	59,31
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,14	65,05
07/21 16:00:00	13,00	95,00	21,27	57,17
07/21 17:00:00	13,00	95,00	21,50	56,65
07/21 18:00:00	12,63	95,63	21,08	57,95
Poliestireno expandido e=5cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	17,44	81,55
07/21 10:00:00	13,19	97,50	19,48	68,47
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,51	63,80
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,30	59,35
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,13	65,09
07/21 16:00:00	13,00	95,00	21,27	57,18
07/21 17:00:00	13,00	95,00	21,51	56,61
07/21 18:00:00	12,63	95,63	21,11	57,85

ISOLAMENTOS - INVERNO

Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Poliestireno extrudado e=5cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	17,47	81,39
07/21 10:00:00	13,19	97,50	19,48	68,47
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,59	63,45
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,30	59,34
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,12	65,10
07/21 16:00:00	13,00	95,00	21,28	57,16
07/21 17:00:00	13,00	95,00	21,54	56,53
07/21 18:00:00	12,63	95,63	21,15	57,69
Espuma rígida de poliuretano e=5cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	17,51	81,18
07/21 10:00:00	13,19	97,50	19,49	68,41
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,59	63,46
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,29	59,36
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,12	65,13
07/21 16:00:00	13,00	95,00	21,28	57,14
07/21 17:00:00	13,00	95,00	21,56	56,45
07/21 18:00:00	12,63	95,63	21,20	57,54
Gesso e=3cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,62	85,02
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,70	71,54
07/21 11:00:00	13,49	96,50	19,93	65,97
07/21 12:00:00	12,91	95,00	20,84	61,09
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,24	64,57
07/21 16:00:00	13,00	95,00	21,27	57,16
07/21 17:00:00	13,00	95,00	21,34	57,20
07/21 18:00:00	12,63	95,63	20,76	59,08
Espuma de polietileno reflexiva e=10mm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	17,05	83,59
07/21 10:00:00	13,19	97,50	19,30	69,28
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,49	63,92
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,32	59,38
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,21	64,76
07/21 16:00:00	13,00	95,00	21,24	57,30
07/21 17:00:00	13,00	95,00	21,29	57,37
07/21 18:00:00	12,63	95,63	20,68	59,37

ISOLAMENTOS - INVERNO

Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Parede com isolamento em poliestireno e PVC e=5,5cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,16	81,58
07/21 10:00:00	13,19	97,50	19,44	65,62
07/21 11:00:00	13,49	96,50	21,43	58,86
07/21 12:00:00	12,91	95,00	22,62	54,26
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,75	62,52
07/21 16:00:00	13,00	95,00	21,25	57,26
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,49	60,28
07/21 18:00:00	12,63	95,63	19,23	65,00
Parede com isolamento em lã de vidro e PVC e=5,5cm				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,16	81,58
07/21 10:00:00	13,19	97,50	19,44	65,62
07/21 11:00:00	13,49	96,50	21,43	58,86
07/21 12:00:00	12,91	95,00	22,62	54,26
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,75	62,52
07/21 16:00:00	13,00	95,00	21,25	57,26
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,49	60,28
07/21 18:00:00	12,63	95,63	19,23	65,00

ISOLAMENTOS - VERÃO				
Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Modelo base - Sem isolamento				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	18,12	58,24
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,72	48,08
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,73	39,70
12/21 12:00:00	21,68	48,00	26,73	35,21
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	30,20	34,85
12/21 16:00:00	25,50	45,00	30,33	34,08
12/21 17:00:00	25,19	48,75	29,53	37,48
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,99	41,97
Lã de rocha e=5cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	16,74	63,49
12/21 10:00:00	17,88	61,38	19,61	54,72
12/21 11:00:00	20,13	51,75	22,05	46,58
12/21 12:00:00	21,68	48,00	23,65	42,22
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	27,03	41,93
12/21 16:00:00	25,50	45,00	27,69	39,68
12/21 17:00:00	25,19	48,75	27,68	41,80
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,08	44,31
Lã de vidro e=5cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	16,78	63,29
12/21 10:00:00	17,88	61,38	19,64	54,61
12/21 11:00:00	20,13	51,75	22,08	46,51
12/21 12:00:00	21,68	48,00	23,67	42,18
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	27,03	41,92
12/21 16:00:00	25,50	45,00	27,68	39,69
12/21 17:00:00	25,19	48,75	27,67	41,84
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,05	44,37
Poliestireno expandido e=5cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	16,77	63,35
12/21 10:00:00	17,88	61,38	19,61	54,70
12/21 11:00:00	20,13	51,75	22,05	46,59
12/21 12:00:00	21,68	48,00	23,61	42,25
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	27,00	42,02
12/21 16:00:00	25,50	45,00	27,65	39,77
12/21 17:00:00	25,19	48,75	27,64	41,90
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,04	44,41

ISOLAMENTOS - VERÃO				
Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Poliestireno extrudado e=5cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	16,75	63,45
12/21 10:00:00	17,88	61,38	19,58	54,82
12/21 11:00:00	20,13	51,75	22,01	46,71
12/21 12:00:00	21,68	48,00	23,57	42,36
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	26,96	42,12
12/21 16:00:00	25,50	45,00	27,62	39,85
12/21 17:00:00	25,19	48,75	27,62	41,96
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,03	44,43
Espuma rígida de poliuretano e=5cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	16,73	63,53
12/21 10:00:00	17,88	61,38	19,55	54,92
12/21 11:00:00	20,13	51,75	21,97	46,81
12/21 12:00:00	21,68	48,00	23,53	42,47
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	26,92	42,22
12/21 16:00:00	25,50	45,00	27,58	39,93
12/21 17:00:00	25,19	48,75	27,59	42,03
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,02	44,46
Gesso e=3cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	16,56	64,28
12/21 10:00:00	17,88	61,38	19,79	54,09
12/21 11:00:00	20,13	51,75	22,46	45,48
12/21 12:00:00	21,68	48,00	24,30	40,68
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	27,92	39,81
12/21 16:00:00	25,50	45,00	28,54	37,78
12/21 17:00:00	25,19	48,75	28,43	40,02
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,68	42,82
Espuma de polietileno reflexiva e=10mm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	16,97	62,57
12/21 10:00:00	17,88	61,38	19,95	53,57
12/21 11:00:00	20,13	51,75	22,47	45,46
12/21 12:00:00	21,68	48,00	24,15	41,03
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	27,51	40,76
12/21 16:00:00	25,50	45,00	28,10	38,74
12/21 17:00:00	25,19	48,75	27,98	41,09
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,24	43,94

ISOLAMENTOS - VERÃO

Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Parede com isolamento em poliestireno e PVC e=5,5cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	18,23	57,83
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,86	47,67
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,96	39,17
12/21 12:00:00	21,68	48,00	27,03	34,58
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	30,45	34,35
12/21 16:00:00	25,50	45,00	30,29	34,15
12/21 17:00:00	25,19	48,75	29,13	38,37
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,22	43,99
Parede com isolamento em lã de vidro e PVC e=5,5cm				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	18,23	57,83
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,86	47,67
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,96	39,17
12/21 12:00:00	21,68	48,00	27,03	34,58
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	30,45	34,35
12/21 16:00:00	25,50	45,00	30,29	34,15
12/21 17:00:00	25,19	48,75	29,13	38,37
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,22	43,99

ABSORTÂNCIA - INVERNO

Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Modelo base - Tijolos de barro vazados sem revestimento				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,06	82,27
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,98	67,63
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,61	61,93
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,67	57,43
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,54	63,31
07/21 16:00:00	13,00	95,00	21,11	57,74
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,34	60,84
07/21 18:00:00	12,63	95,63	19,16	65,24
Pintura das faces externas das paredes na cor verde				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,05	82,36
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,94	67,83
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,52	62,28
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,54	57,91
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,38	63,97
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,94	58,34
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,18	61,42
07/21 18:00:00	12,63	95,63	19,03	65,79
Pintura das faces externas das paredes na cor amarela				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,03	82,46
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,86	68,15
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,34	62,95
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,29	58,80
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,06	65,24
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,58	59,63
07/21 17:00:00	13,00	95,00	19,85	62,67
07/21 18:00:00	12,63	95,63	18,74	66,95
Pintura das faces externas das paredes na cor branco fosco				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,02	82,49
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,82	68,34
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,24	63,33
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,08	59,52
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	18,89	65,93
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,39	60,32
07/21 17:00:00	13,00	95,00	19,67	63,34
07/21 18:00:00	12,63	95,63	18,59	67,58

ABSORTÂNCIA - INVERNO

Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Pintura das faces externas das paredes na cor branco reflexivo				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,00	82,60
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,77	68,55
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,17	63,66
07/21 12:00:00	12,91	95,00	20,98	59,93
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	18,74	66,58
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,20	61,05
07/21 17:00:00	13,00	95,00	19,49	64,04
07/21 18:00:00	12,63	95,63	18,43	68,23
Faces externas das paredes com revestimento em cerâmica branca reflexiva				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,07	82,45
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,85	68,29
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,24	63,44
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,02	59,80
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	18,83	66,19
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,37	60,40
07/21 17:00:00	13,00	95,00	19,71	63,18
07/21 18:00:00	12,63	95,63	18,69	67,14
Pintura da face externa da cobertura na cor branco reflexivo				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	15,31	85,56
07/21 10:00:00	13,19	97,50	17,51	73,86
07/21 11:00:00	13,49	96,50	18,61	69,92
07/21 12:00:00	12,91	95,00	19,22	66,74
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	17,33	72,67
07/21 16:00:00	13,00	95,00	18,92	65,99
07/21 17:00:00	13,00	95,00	18,73	67,05
07/21 18:00:00	12,63	95,63	18,10	69,51
Cobertura revestida em sua face externa com manta aluminizada				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	15,14	86,13
07/21 10:00:00	13,19	97,50	17,16	75,37
07/21 11:00:00	13,49	96,50	18,15	72,23
07/21 12:00:00	12,91	95,00	18,56	69,61
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	16,73	75,45
07/21 16:00:00	13,00	95,00	18,40	68,14
07/21 17:00:00	13,00	95,00	18,36	68,58
07/21 18:00:00	12,63	95,63	17,90	70,33

ABSORTÂNCIA - VERÃO

Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Modelo base - Tijolos de barro vazados sem revestimento				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	18,12	58,24
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,72	48,08
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,73	39,70
12/21 12:00:00	21,68	48,00	26,73	35,21
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	30,20	34,85
12/21 16:00:00	25,50	45,00	30,33	34,08
12/21 17:00:00	25,19	48,75	29,53	37,48
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,99	41,97
Pintura das faces externas das paredes na cor verde				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	17,98	58,75
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,58	48,50
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,57	40,06
12/21 12:00:00	21,68	48,00	26,58	35,52
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	30,10	35,10
12/21 16:00:00	25,50	45,00	30,19	34,36
12/21 17:00:00	25,19	48,75	29,36	37,83
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,82	42,38
Pintura das faces externas das paredes na cor amarela				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	17,70	59,79
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,30	49,33
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,27	40,80
12/21 12:00:00	21,68	48,00	26,28	36,16
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	29,82	35,62
12/21 16:00:00	25,50	45,00	29,89	34,94
12/21 17:00:00	25,19	48,75	29,03	38,56
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,48	43,24
Pintura das faces externas das paredes na cor branco fosco				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	17,57	60,30
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,16	49,74
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,11	41,18
12/21 12:00:00	21,68	48,00	26,12	36,49
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	29,69	35,89
12/21 16:00:00	25,50	45,00	29,74	35,24
12/21 17:00:00	25,19	48,75	28,88	38,85
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,27	43,82

ABSORTÂNCIA - VERÃO

Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Pintura das faces externas das paredes na cor branco reflexivo				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	17,44	60,78
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,03	50,14
12/21 11:00:00	20,13	51,75	23,96	41,55
12/21 12:00:00	21,68	48,00	25,97	36,83
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	29,56	36,16
12/21 16:00:00	25,50	45,00	29,59	35,55
12/21 17:00:00	25,19	48,75	28,72	39,15
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,09	44,27
Faces externas das paredes com revestimento em cerâmica branca reflexiva				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	17,55	60,32
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,00	50,23
12/21 11:00:00	20,13	51,75	23,90	41,72
12/21 12:00:00	21,68	48,00	25,89	37,01
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	29,55	36,23
12/21 16:00:00	25,50	45,00	29,56	35,62
12/21 17:00:00	25,19	48,75	28,70	39,20
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,10	44,25
Pintura da face externa da cobertura na cor branco reflexivo				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	15,94	66,66
12/21 10:00:00	17,88	61,38	19,46	55,21
12/21 11:00:00	20,13	51,75	22,04	46,66
12/21 12:00:00	21,68	48,00	23,74	42,05
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	27,19	41,55
12/21 16:00:00	25,50	45,00	27,70	39,66
12/21 17:00:00	25,19	48,75	27,50	42,25
12/21 18:00:00	24,38	51,63	26,71	45,27
Cobertura revestida em sua face externa com manta aluminizada				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	15,59	68,78
12/21 10:00:00	17,88	61,38	19,07	56,57
12/21 11:00:00	20,13	51,75	21,60	47,90
12/21 12:00:00	21,68	48,00	23,21	43,35
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	26,69	42,79
12/21 16:00:00	25,50	45,00	27,28	40,65
12/21 17:00:00	25,19	48,75	27,19	43,03
12/21 18:00:00	24,38	51,63	26,49	45,87

ESTUDOS DE CASOS - INVERNO					
Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]	
Modelo base					
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,06	82,27	
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,98	67,63	
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,61	61,93	
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,67	57,43	
07/21 13:00:00	12,81	95,00			
07/21 14:00:00	13,00	95,00			
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,54	63,31	
07/21 16:00:00	13,00	95,00	21,11	57,74	
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,34	60,84	
07/21 18:00:00	12,63	95,63	19,16	65,24	
Estudo de caso 1 Cobertura verde					
07/21 09:00:00	13,00	95,00	18,38	76,54	
07/21 10:00:00	13,19	97,50	20,02	65,57	
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,51	63,39	
07/21 12:00:00	12,91	95,00	20,64	61,62	
07/21 13:00:00	12,81	95,00			
07/21 14:00:00	13,00	95,00			
07/21 15:00:00	13,00	95,00	18,07	69,46	
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,13	61,28	
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,56	59,95	
07/21 18:00:00	12,63	95,63	20,58	59,68	
Estudo de caso 2 Cobertura com telhas isolantes					
07/21 09:00:00	13,00	95,00	18,12	77,80	
07/21 10:00:00	13,19	97,50	19,79	66,49	
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,30	64,19	
07/21 12:00:00	12,91	95,00	20,46	62,32	
07/21 13:00:00	12,81	95,00			
07/21 14:00:00	13,00	95,00			
07/21 15:00:00	13,00	95,00	17,94	70,06	
07/21 16:00:00	13,00	95,00	19,98	61,84	
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,41	60,50	
07/21 18:00:00	12,63	95,63	20,43	60,24	
Estudo de caso 3 - Modelo Base					
07/21 09:00:00	13,00	95,00	16,06	82,27	
07/21 10:00:00	13,19	97,50	18,98	67,63	
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,61	61,93	
07/21 12:00:00	12,91	95,00	21,67	57,43	
07/21 13:00:00	12,81	95,00			
07/21 14:00:00	13,00	95,00			
07/21 15:00:00	13,00	95,00	19,54	63,31	
07/21 16:00:00	13,00	95,00	21,11	57,74	
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,34	60,84	
07/21 18:00:00	12,63	95,63	19,16	65,24	

ESTUDOS DE CASOS - INVERNO

Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Estudo de caso 4 Cobertura verde (60ACH)				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	18,38	76,54
07/21 10:00:00	13,19	97,50	20,02	65,57
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,51	63,39
07/21 12:00:00	12,91	95,00	20,64	61,62
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	18,07	69,46
07/21 16:00:00	13,00	95,00	20,13	61,28
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,56	59,95
07/21 18:00:00	12,63	95,63	20,58	59,68
Estudo de caso 5 Cobertura com telhas isolantes (60ACH)				
07/21 09:00:00	13,00	95,00	18,12	77,80
07/21 10:00:00	13,19	97,50	19,79	66,49
07/21 11:00:00	13,49	96,50	20,30	64,19
07/21 12:00:00	12,91	95,00	20,46	62,32
07/21 13:00:00	12,81	95,00		
07/21 14:00:00	13,00	95,00		
07/21 15:00:00	13,00	95,00	17,94	70,06
07/21 16:00:00	13,00	95,00	19,98	61,84
07/21 17:00:00	13,00	95,00	20,41	60,50
07/21 18:00:00	12,63	95,63	20,43	60,24

ESTUDOS DE CASOS - VERÃO				
Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Modelo base				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	18,12	58,24
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,72	48,08
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,73	39,70
12/21 12:00:00	21,68	48,00	26,73	35,21
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	30,20	34,85
12/21 16:00:00	25,50	45,00	30,33	34,08
12/21 17:00:00	25,19	48,75	29,53	37,48
12/21 18:00:00	24,38	51,63	27,99	41,97
Estudo de caso 1 Cobertura verde				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	16,74	63,57
12/21 10:00:00	17,88	61,38	18,83	57,41
12/21 11:00:00	20,13	51,75	21,02	49,57
12/21 12:00:00	21,68	48,00	22,45	45,33
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	25,65	45,48
12/21 16:00:00	25,50	45,00	26,12	43,49
12/21 17:00:00	25,19	48,75	25,99	46,17
12/21 18:00:00	24,38	51,63	25,41	48,89
Estudo de caso 2 Cobertura com telhas isolantes				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	16,39	64,94
12/21 10:00:00	17,88	61,38	18,69	57,92
12/21 11:00:00	20,13	51,75	20,91	49,91
12/21 12:00:00	21,68	48,00	22,33	45,66
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	25,58	45,66
12/21 16:00:00	25,50	45,00	26,07	43,62
12/21 17:00:00	25,19	48,75	25,95	46,28
12/21 18:00:00	24,38	51,63	25,37	48,99
Estudo de caso 3 - Modelo Base				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	18,12	58,23
12/21 10:00:00	17,88	61,38	21,72	48,08
12/21 11:00:00	20,13	51,75	24,73	39,70
12/21 12:00:00	21,68	48,00	26,73	35,22
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	26,47	43,10
12/21 16:00:00	25,50	45,00	26,49	42,47
12/21 17:00:00	25,19	48,75	26,04	46,29
12/21 18:00:00	24,38	51,63	25,06	49,65

ESTUDOS DE CASOS - VERÃO				
Data/hora	Temperatura de bulbo seco externa [°C]	Umidade relativa do ar externa [%]	Temperatura de bulbo seco interna [°C]	Umidade relativa do ar interna [%]
Estudo de caso 4 Cobertura verde (60ACH)				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	16,72	63,61
12/21 10:00:00	17,88	61,38	18,83	57,42
12/21 11:00:00	20,13	51,75	21,02	49,58
12/21 12:00:00	21,68	48,00	22,44	45,34
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	25,37	46,02
12/21 16:00:00	25,50	45,00	25,61	44,73
12/21 17:00:00	25,19	48,75	25,33	48,28
12/21 18:00:00	24,38	51,63	24,56	51,13
Estudo de caso 5 Cobertura com telhas isolantes (60ACH)				
12/21 09:00:00	14,31	73,00	16,38	64,99
12/21 10:00:00	17,88	61,38	18,69	57,93
12/21 11:00:00	20,13	51,75	20,91	49,93
12/21 12:00:00	21,68	48,00	22,32	45,67
12/21 13:00:00	22,83	49,25		
12/21 14:00:00	24,33	48,75		
12/21 15:00:00	25,31	46,13	25,35	46,06
12/21 16:00:00	25,50	45,00	25,60	44,75
12/21 17:00:00	25,19	48,75	25,32	48,30
12/21 18:00:00	24,38	51,63	24,55	51,15