

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE
EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES EM
*LIGHT STEEL FRAMING***

Ouro Preto, abril de 2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE
EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES EM
*LIGHT STEEL FRAMING***

AUTOR: ADRIANO PINTO GOMES

ORIENTADOR: Prof. Dr. Henor Artur de Souza

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Estruturas Metálicas.

Ouro Preto, abril de 2007

G633a

Gomes, Adriano Pinto.

Avaliação do desempenho térmico de edificações unifamiliares em *light steel framing* [manuscrito] / Adriano Pinto Gomes. - 2007.

xvi, 172f.: il., graf., tabs., mapas.

Orientador: Prof. Dr. Henor Artur de Souza.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Metálica.

1. Estruturas metálicas - Teses. 2. Ventilação - Teses. 3. Engenharia térmica - Teses. I. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. II. Título.

CDU: 624.014.2

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

À minha família e à Karla

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Ouro Preto, que proporcionou a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Henor Artur de Souza, pela orientação e amizade.

À professora Arlene M. Sarmanho Freitas, pelo apoio dado durante a elaboração desta dissertação.

À Thalyta Rios, pela ajuda no aprendizado do programa *EnergyPlus*.

À Rovadavia, pela ajuda no curso e amizade.

Ao arquiteto Guilherme Jardim (USIMINAS), que cedeu um projeto de casa em *Light Steel Framing* para a simulação.

À arquiteta Renata Crasto, pelo apoio técnico no entendimento do sistema *Light Steel Framing*.

À CAPES, pelo fomento à pesquisa.

Aos meus amigos, que me confortaram nos momentos difíceis.

RESUMO

Associadas à industrialização do processo construtivo no Brasil, têm sido desenvolvidas estruturas metálicas mais leves e econômicas, utilizando perfis formados a frio de aço galvanizado. Uma das soluções construtivas que empregam esses perfis é o sistema *Light Steel Framing*, que reproduz os princípios da industrialização da construção civil, como a racionalização, padronização, coordenação modular e transformação do canteiro de obras em linha de montagem. Porém, como a tecnologia do *Light Steel Framing* é recente no Brasil, há ainda algumas adaptações climáticas dos projetos a serem feitas, por ser o sistema de concepção importado e com uma linguagem típica de seu país de origem. Tendo em vista esses aspectos, neste trabalho faz-se a avaliação do desempenho térmico de duas edificações unifamiliares em *Light Steel Framing*, ventiladas naturalmente, via simulação numérica utilizando o *software EnergyPlus*. Realiza-se um estudo das temperaturas internas dos ambientes, considerando a resposta global da edificação e verificando o cumprimento das exigências de conforto térmico de seus usuários. Neste estudo são contempladas como regiões climáticas as cidades de Curitiba, Belo Horizonte, Brasília, Goiânia, Teresina e Belém, escolhidas de forma a contemplar o maior número possível de zonas bioclimáticas definidas na norma NBR 15220:2005 de desempenho térmico de edificações. Os fechamentos utilizados na análise foram classificados em função do atraso térmico recomendado pela norma NBR 15220:2005. Os resultados obtidos permitem constatar que para todos os casos, o uso dos fechamentos e cobertura com atraso térmico indicados pela norma foram capazes de amortecer os picos de calor num dia típico de verão. Como os modelos propostos contemplam edificações com zonas (cômodos) pequenas, a carga térmica interna (perfil de ocupação/iluminação/equipamentos) tem grande influência na resposta do ambiente às interações térmicas com o clima externo.

ABSTRACT

Associated with the Brazilian construction industry, lighter and more economic metallic structures have been developed using galvanized cold-formed steel shapes. One of the solutions for construction that can be applied to these shapes is the Light Steel Framing System, which uses such construction industry principles as: logic, standardization, modular coordination, and assembly at the work site. However, the Light Steel Framing process is recent in Brazil, and is still undergoing some climatic adaptations for this country, since its concepts were first introduced in a foreign country and in that country's language. With these aspects in mind, in this work it is evaluated the thermal performance of two single-family constructions, employing Light Steel Framing in a naturally cooled atmosphere, was performed by simulation using the EnergyPlus thermal behavior software. Internal temperatures were studied, taking into consideration the overall response of the building and its compliance to personal comfort requirements for the inhabitants. In this study, the cities of Curitiba, Belo Horizonte, Brasilia, Goiânia, Teresina and Belém are contemplated as climatic regions, chosen to embrace the biggest possible number of defined bio-climatic zones in norm NBR 15220:2005 of thermal performance in constructions. The closings used in the analysis had been classified in function of the thermal delay recommended by norm NBR 15220:2005. The obtained results demonstrated that for all the cases, the use of outside walls and roofs with thermal insulation, according the Brazilian Standard NBR 15220:2005 for thermal performance in buildings, were able to cushion the peak heat temperatures of a typical summer. As the considered models contemplate constructions with small zones, the internal thermal load (occupation profile/illumination/equipment) has great influence in the reply of the environment to the thermal interactions with the external climate.

SUMÁRIO

Resumo	VI
Abstract	VII
Lista de figuras	XI
Lista de tabelas	XV
CAPÍTULO I	
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações iniciais	1
1.2 Caracterização do problema	4
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo geral	4
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Justificativa e importância	5
1.5 Estrutura do trabalho	6
CAPÍTULO II	
2 BIOCLIMATOLOGIA APLICADA À ARQUITETURA	8
2.1 Introdução	8
2.2 Carta Bioclimática de Olgyay	9
2.3 Carta Bioclimática de Givoni de 1992	11
2.4 O programa <i>Analysis Bio</i>	14
2.5 A Norma de Desempenho Térmico de Edificações	21
2.5.1 Diretrizes construtivas para as cidades objeto de estudo	24
2.5.2 Considerações sobre a Norma de Desempenho Térmico	29
2.6 Discussão das recomendações de projeto	30
2.6.1 Ventilação no verão	30
2.6.2 Proteções solares	32
2.6.3 Aquecimento solar e massa térmica no inverno	34
2.6.4 O uso de vegetação	37
2.7 Edifícios eficientes	38

2.7.1	Introdução	38
2.7.2	A Casa Eficiente	39
2.7.3	Certificação para edifícios eficientes	42
2.8	Considerações finais	43
CAPÍTULO III		
3	O SISTEMA <i>LIGHT STEEL FRAMING</i>	44
3.1	Introdução	44
3.2	O sistema <i>Light Steel Framing</i>	47
3.2.1	Tipos de perfis utilizados	48
3.2.2	Painéis	49
3.2.3	Lajes	51
3.2.4	Coberturas	53
3.2.5	Fundação	54
3.3	O fechamento vertical no sistema LSF	56
3.3.1	Características gerais	56
3.3.2	Painéis de OSB	57
3.3.3	Placas cimentícias	61
3.3.4	Chapas de gesso acartonado	62
3.3.5	Sistema Drywall	63
3.3.5.1	Paredes	64
3.3.5.2	Forros	66
3.3.6	Alvenaria	67
3.3.7	Isolamento térmico	67
CAPÍTULO IV		
4	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES	70
4.1	Considerações iniciais	70
4.1.1	Simulação térmica de edificações não condicionadas	72
4.1.2	Critérios de avaliação para edificações não condicionadas	75
4.2	O programa <i>EnergyPlus</i>	77
4.3	Metodologia adotada	79
4.3.1	Caracterização das exigências humanas	80
4.3.2	Caracterização das condições climáticas	80

4.3.3 Caracterização dos modelos em LSF	81
4.3.3.1 Modelo 1	81
4.3.3.2 Modelo 2	85
4.3.4 Caracterização e configuração dos fechamentos	87
4.3.4.1 Propriedades termo-físicas dos materiais	87
4.3.4.2 Composição dos fechamentos	90
4.3.5 Parâmetros gerais de simulação	98
4.3.5.1 Parâmetros da simulação	98
4.3.5.2 Descrição das zonas térmicas	99
4.3.5.3 Rotinas de ocupação dos modelos	100
CAPÍTULO V	
5 RESULTADOS	104
5.1 Modelo 1	104
5.1.1 Resultados da avaliação na cidade de BELÉM	104
5.1.2 Resultados da avaliação na cidade de BELO HORIZONTE	106
5.1.3 Resultados da avaliação na cidade de CURITIBA	109
5.1.4 Resultados da avaliação na cidade de GOIÂNIA	111
5.1.5 Resultados da avaliação na cidade de BRASÍLIA	113
5.1.6 Resultados da avaliação na cidade de TERESINA	115
5.2 Modelo 2	117
CAPÍTULO VI	
6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	124
6.1 Considerações finais	124
6.2 Sugestões para futuras pesquisas	126
Referências Bibliográficas	127
ANEXO I	133
ANEXO II	150

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

FIGURA 2.1	Carta bioclimática de Olgyay de 1963	10
FIGURA 2.2	Carta bioclimática adotada para o Brasil	12
FIGURA 2.3	Dados Climáticos de Curitiba plotados sobre a carta bioclimática	15
FIGURA 2.4	Dados Climáticos de Belo Horizonte plotados sobre a carta bioclimática	16
FIGURA 2.5	Dados Climáticos de Brasília plotados sobre a carta bioclimática	17
FIGURA 2.6	Dados Climáticos de Goiânia plotados sobre a carta bioclimática	18
FIGURA 2.7	Dados Climáticos de Teresina plotados sobre a carta bioclimática	19
FIGURA 2.8	Dados Climáticos de Belém plotados sobre a carta bioclimática	20
FIGURA 2.9	Carta bioclimática adaptada	22
FIGURA 2.10	Zoneamento bioclimático Brasileiro	23
FIGURA 2.11	Elevação: ventilação da cobertura, ventilação cruzada e ventilação do piso sob a edificação	31
FIGURA 2.12	Esquema de circulação de ar	32
FIGURA 2.13	Edifícios com a mesma área coberta e plantas diferentes	33
FIGURA 2.14	Edifício com menor carga térmica solar	33
FIGURA 2.15	Elevação: Uso da energia solar e inércia térmica nas paredes internas e no piso	34
FIGURA 2.16	Comparação da inércia térmica de uma parede real (q_2) e de uma parede fictícia de peso nulo (q_1)	35
FIGURA 2.17	Corte esquemático de uma parede de acúmulo térmico	36
FIGURA 2.18	Corte esquemático de uma parede com isolamento térmico externo	36
FIGURA 2.19	Corte esquemático de uma rua	37
FIGURA 2.20	Fachada da Casa Eficiente	39
FIGURA 2.21	Perspectivas da Casa Eficiente mostrando a insolação sobre as fachadas cegas leste e oeste	40
FIGURA 2.22	Croquis da planta indicando o uso de árvores como barreira para o vento sul	41
FIGURA 2.23	Corte esquemático da condomínio empresarial Primavera <i>Office Green</i>	42

CAPÍTULO III

FIGURA 3.1	Protótipo <i>USIframe</i>	45
FIGURA 3.2	Condomínio em São Paulo com casas em <i>Steel Framing</i> feitas pela Construtora Seqüência	45
FIGURA 3.3	Esquema de uma residência em <i>Light Steel Framing</i>	47
FIGURA 3.4	Esquema estrutural do sistema <i>Light Steel Framing</i>	48

FIGURA 3.5	Perfis típicos para uso em <i>Light Steel Framing</i> - “U simples”, “U enrijecido” e Cartola	48
FIGURA 3.6	Painel com contraventamento em “X”	50
FIGURA 3.7	Vigas de piso e contrapiso em OSB	51
FIGURA 3.8	Desenho esquemático de uma laje seca	52
FIGURA 3.9	Desenho esquemático de uma laje úmida	52
FIGURA 3.10	Estrutura do telhado de uma residência em LSF	53
FIGURA 3.11	Estrutura do telhado com placas de OSB como substrato de apoio	54
FIGURA 3.12	Detalhe de ancoragem da estrutura à fundação	55
FIGURA 3.13	Fachada com fechamento externo em OSB e placas de OSB impermeabilizadas	58
FIGURA 3.14	Esquema do embasamento elevado	59
FIGURA 3.15	Acabamento em <i>Siding</i> vinílico	60
FIGURA 3.16	Restimento das placas de OSB com argamassa aplicada sobre tela de galinheiro	60
FIGURA 3.17	Paredes simples	64
FIGURA 3.18	Paredes com duas camadas de gesso	65
FIGURA 3.19	Paredes incorporando tubulações internas	65
FIGURA 3.20	Parede de alta performance acústica	66
FIGURA 3.21	Fechamento de alvenaria de painéis LSF	67
FIGURA 3.22	Desenho esquemático de fechamento externo com EIFS	68
FIGURA 3.23	Revestimento externo em EIFS	69

CAPÍTULO IV

FIGURA 4.1	Fluxograma dos principais elementos para a simulação térmica de uma edificação condicionada pela ventilação natural	74
FIGURA 4.2	Classificação do desempenho térmico da edificação	76
FIGURA 4.3	Interface do <i>DesignBuilder</i>	78
FIGURA 4.4	Carta solar para latitude 19.85 S	81
FIGURA 4.5	Planta baixa do protótipo	82
FIGURA 4.6	Aplicação de gesso resistente à umidade no banheiro	82
FIGURA 4.7	Aplicação de chapa de OSB	83
FIGURA 4.8	Planta baixa do Modelo 1 (malha de 600 x 600 mm)	84
FIGURA 4.9	Elevação do Modelo 1 (malha de 600 x 600 mm)	85
FIGURA 4.10	Perspectiva do Modelo 1 (gerada após a simulação)	85
FIGURA 4.11	Planta baixa do Modelo 2 (1° pvto.)	86
FIGURA 4.12	Planta baixa do Modelo 2 (2° pvto.)	86

FIGURA 4.13	Perspectiva do Modelo 2 (gerada após a simulação)	87
FIGURA 4.14	Influência do número de renovações do ar por hora na temperatura interna da edificação	102
FIGURA 4.15	Influência do perfil de ocupação nos ganhos internos de calor	102
FIGURA 4.16	Influência do uso de iluminação interna nos ganhos internos de calor	103

CAPÍTULO V

FIGURA 5.1	Evolução temporal da temperatura com vegetação e solo do entorno coberto com grama (reflexão 0,2) para o dia típico de verão em Belém	104
FIGURA 5.2	Evolução temporal da temperatura sem vegetação e solo do entorno em concreto (reflexão 0,4) para o dia típico de verão em Belém	105
FIGURA 5.3	Comparação entre os resultados obtidos considerando a SALA para o dia típico de verão em Belém	105
FIGURA 5.4	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte (ESQUEMA “A”)	107
FIGURA 5.5	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte (ESQUEMA “B”)	107
FIGURA 5.6	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte (ESQUEMA “C”)	108
FIGURA 5.7	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte (ESQUEMA “D”)	108
FIGURA 5.8	Comparação dos esquemas A, B, C e D considerando a sala para o dia típico de verão em Belo Horizonte	109
FIGURA 5.9	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Curitiba (ESQUEMA “A”)	110
FIGURA 5.10	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Curitiba (ESQUEMA “B”)	110
FIGURA 5.11	Comparação entre a cobertura com laje seca leve (Esquema “A”) e isolada (Esquema “B”) considerando a sala para o dia típico de verão em Curitiba	111
FIGURA 5.12	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Goiânia (ESQUEMA “A”)	112
FIGURA 5.13	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Goiânia (ESQUEMA “B”)	112
FIGURA 5.14	Comparação entre os fechamentos pesados (Esquema “A”) e o tradicional (Esquema “B”) considerando a sala para o dia típico de verão em Goiânia	113
FIGURA 5.15	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Brasília (ESQUEMA “A”)	114
FIGURA 5.16	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Brasília (ESQUEMA “B”)	114
FIGURA 5.17	Comparação entre os fechamentos com acabamento em <i>siding</i> (Esquema “A”) e argamassa (Esquema “B”) considerando a sala para o dia típico de verão de Brasília	115
FIGURA 5.18	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Teresina (ESQUEMA “A”)	116
FIGURA 5.19	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Teresina (ESQUEMA “B”)	116

FIGURA 5.20	Comparação entre cobertura com laje úmida pesada (Esquema “A”) e seca leve (Esquema “B”) considerando a sala para o dia típico de verão em Teresina	117
FIGURA 5.21	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte - 1° pvto (ESQUEMA “A”)	118
FIGURA 5.22	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte - 2° pvto (ESQUEMA “A”)	118
FIGURA 5.23	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte - 1° pvto (ESQUEMA “B”)	119
FIGURA 5.24	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte - 2° pvto (ESQUEMA “B”)	119
FIGURA 5.25	Comparação entre fechamento tradicional (Esquema “A”) e pesado (Esquema “B”) considerando o QUARTO 1 (2° pvto.) e ESCRITÓRIO (1° pvto.) para o dia típico de verão em Belo Horizonte	120
FIGURA 5.26	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno em Belo Horizonte - 1° pvto (ESQUEMA “A”)	121
FIGURA 5.27	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno em Belo Horizonte - 2° pvto (ESQUEMA “A”)	121
FIGURA 5.28	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno em Belo Horizonte - 1° pvto (ESQUEMA “B”)	122
FIGURA 5.29	Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno em Belo Horizonte - 2° pvto (ESQUEMA “B”)	122
FIGURA 5.30	Comparação entre fechamento tradicional (Esquema “A”) e pesado (Esquema “B”) considerando o QUARTO 1 (2° pvto.) e ESCRITÓRIO (1° pvto.) para o dia típico de inverno em Belo Horizonte	123

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

TABELA 2.1	Normais Climatológicas de Curitiba	14
TABELA 2.2	Percentual de horas para cada estratégia em Curitiba	15
TABELA 2.3	Normais Climatológicas de Belo Horizonte	15
TABELA 2.4	Percentual de horas para cada estratégia em Belo Horizonte	16
TABELA 2.5	Normais Climatológicas de Brasília	17
TABELA 2.6	Percentual de horas para cada estratégia em Brasília	17
TABELA 2.7	Normais Climatológicas de Goiânia	18
TABELA 2.8	Percentual de horas para cada estratégia em Goiânia	18
TABELA 2.9	Normais Climatológicas de Teresina	19
TABELA 2.10	Percentual de horas para cada estratégia em Teresina	19
TABELA 2.11	Normais Climatológicas de Belém	20
TABELA 2.12	Percentual de horas para cada estratégia em Belém	20
TABELA 2.13	Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 1	24
TABELA 2.14	Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 1	24
TABELA 2.15	Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 1	25
TABELA 2.16	Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 3	25
TABELA 2.17	Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 3	25
TABELA 2.18	Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 3	25
TABELA 2.19	Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 4	26
TABELA 2.20	Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 4	26
TABELA 2.21	Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 4	26
TABELA 2.22	Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 6	27
TABELA 2.23	Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 6	27
TABELA 2.24	Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 6	27
TABELA 2.25	Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 7	27
TABELA 2.26	Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 7	28
TABELA 2.27	Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 7	28

TABELA 2.28	Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 8	28
TABELA 2.29	Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 8	28
TABELA 2.30	Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 8	29

CAPÍTULO III

TABELA 3.1	Dimensões nominais usuais de perfis de aço (conforme NBR 6355)	49
TABELA 3.2	Espessura mínima das placas de OSB de acordo com espaçamento entre montantes e tipo de revestimento	58
TABELA 3.3	Relação entre espessura da placa cimentícia e aplicação	61
TABELA 3.4	Espessura dos materiais isolantes	64
TABELA 3.5	Metragem máxima dos forros em Drywall	66

CAPÍTULO IV

TABELA 4.1	Elementos de construção das superfícies	88
TABELA 4.2	Resistência das câmaras de ar não ventiladas	89
TABELA 4.3	Características dos vidros utilizados em portas e janelas	89
TABELA 4.4	Fechamentos internos pesados	91
TABELA 4.5	Fechamentos internos leves	92
TABELA 4.6	Fechamentos externos leves e tradicional	93
TABELA 4.7	Fechamentos externos pesados	94
TABELA 4.8	Fechamentos externos pesados (continuação)	95
TABELA 4.9	Laje úmida pesada	96
TABELA 4.10	Laje seca isolada	97
TABELA 4.11	Laje seca leve	98
TABELA 4.12	Horário de ocupação de pessoas no dia de projeto	100
TABELA 4.13	Consumo de eletrodomésticos	100

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Atualmente, a construção civil no Brasil é primordialmente artesanal e baseada na improvisação, sendo caracterizada pelo desperdício de tempo, material, mão-de-obra e capital (SALES, 2001). Para mudar essa situação, o mercado nacional tem buscado a otimização dos sistemas de todos os campos da produção, tanto na qualidade dos produtos empregados na construção civil, quanto no processo de produção; sem aumentar significativamente os custos, a fim de se tornarem competitivos (CRASTO, 2005).

Nessa busca por inovação, são importadas grandes variedades de materiais, equipamentos e práticas tecnológicas. Para que o mercado nacional da construção civil alcance uma real inovação tecnológica, não basta somente importar sistemas funcionais não adaptados a realidade do país. Os componentes introduzidos devem estar associados ao processo de produção e as reais condições de execução do mercado (SALES, 2001).

Para a otimização dos custos, redução de tempo de execução e melhoria do desempenho e qualidade, as edificações em estrutura metálica e sistemas industrializados complementares aparecem como uma ótima opção. No Brasil, somente a partir da década de 80 houve uma maior demanda por edificações comerciais e residenciais estruturadas em aço (CASTRO, 1999). Embora tenha se estabelecido no País uma cultura do concreto, o sistema estrutural em aço está sendo redescoberto pelos projetistas e empreendedores da construção, uma vez que esse sistema apresenta grande potencial para desenvolvimento das construções industrializadas, possibilitando a racionalização e exatidão do processo construtivo (SALES, 2001).

Ao longo dos últimos anos, a construção metálica vem se consolidando como uma forte alternativa tecnológica no cenário da construção civil brasileira. A estrutura metálica

tem sido cada vez mais utilizada em edifícios de múltiplos andares no Brasil e, em particular, em habitações residenciais. O emprego desta tecnologia construtiva, aliada à eficiência de uma construção industrializada, tem gerado uma série de vantagens construtivas sob o ponto de vista dos diversos segmentos envolvidos na construção civil: o empreendedor, o construtor, os arquitetos e os engenheiros. Dentre os aspectos positivos, destacam-se: a precisão construtiva, o custo competitivo e a rapidez na execução da obra.

Associadas à industrialização do processo construtivo, têm sido desenvolvidas estruturas metálicas mais leves e econômicas, utilizando perfis formados a frio de aço galvanizado. Segundo Crasto (2005), no Brasil a utilização na construção civil de estruturas metálicas compostas por perfis formados a frio está em fase de rápido crescimento, devido às vantagens que o emprego destes perfis oferece.

Uma das soluções construtivas que empregam os perfis formados a frio de aço galvanizado é o sistema *Light Steel Framing* (LSF), que tem despertado grande interesse no mercado nacional. O *Light Steel Framing* é “um sistema construtivo de concepção racional caracterizada pelo uso de perfis formados a frio de aço galvanizado compondo sua estrutura e por subsistemas que proporcionam uma construção industrializada e a seco”¹. Trata-se de um sistema que reproduz os princípios da industrialização da construção civil, como a racionalização, padronização, coordenação modular e transformação do canteiro de obras em linha de montagem; além de apresentar relativa redução de custos.

O *Light Steel Framing* surge como uma alternativa, devido à facilidade de execução e obtenção dos seus elementos constituintes, e por ser uma tecnologia já amplamente empregada no exterior².

¹ CRASTO, Renata Cristina Moraes de. *Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: light steel framing*. 2005. 231 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005. p. 3.

² Este sistema construtivo tem sido amplamente utilizado em países como Estados Unidos, Inglaterra, Japão, Canadá e Austrália.

Esse sistema também representa uma tecnologia limpa, porque minimiza o uso de recursos naturais e de entulho e permite uma construção a seco, unindo diversos sistemas ou produtos industrializados compatíveis entre si. Assim, essa nova tecnologia tem se mostrado uma grande alternativa para construções habitacionais de médio e alto padrão, que demandam pouca carga e pequenos vãos.

Sob um ponto de vista mais amplo, a qualidade ambiental dos espaços habitacionais está intimamente relacionada a uma resposta adequada aos condicionantes climáticos do local onde a edificação estiver inserida. Para se obter condições de conforto térmico compatíveis com as exigências dos usuários e racionalizar o consumo de energia, é necessário tratar a questão do desempenho térmico desde a concepção arquitetônica desses edifícios. Como afirmam Frota e Schiffer (2003), mesmo em condições climáticas muito rígidas, devem-se procurar soluções de projeto que maximizem o desempenho térmico natural, visto que se pode evitar ou reduzir os sistemas de condicionamento artificial de ar, otimizando o consumo de energia na edificação.

Para manter a qualidade térmica no interior das habitações estruturadas em aço, podem-se utilizar diversos recursos de projeto, como os dispositivos de proteção solar (brises e telas metálicas), novos sistemas de fechamento, elementos arquitetônicos que melhorem as condições da ventilação natural, novos materiais isolantes, dentre outros. Porém, dentre os sistemas complementares utilizados nas edificações estruturadas em aço, o sistema de fechamento é o mais importante, uma vez que está diretamente relacionado ao conforto térmico dos usuários (FRANSOZO, 2003).

Nesse sentido, a avaliação do desempenho térmico de edificações é outro fator importante, pois, verificando as condições do ambiente interno de uma habitação em relação ao conforto térmico proporcionado aos ocupantes, ainda em fase de projeto, garante-se uma edificação com resposta térmica adequada com mínimo gasto de energia.

1.2 Caracterização do problema

No Brasil, a tecnologia do sistema *Light Steel Framing* é recente. Somente no final da década de 90 esse sistema começou a ser introduzido no país para a montagem de casas residenciais. Há ainda algumas adaptações climáticas dos projetos a serem feitas, por ser o sistema de concepção importado e com uma linguagem típica de seu país de origem. Segundo Crasto (2005), “no Brasil não há estudos sobre o comportamento e desempenho térmico de edificações construídas em LSF, portanto ainda não é possível avaliar quais condições de fechamento são melhores para determinadas regiões do país”³.

Em relação ao sistema construtivo, existem trabalhos que visam à padronização do *Light Steel Framing* no Brasil. O CBCA (Centro Brasileiro da Construção em Aço) disponibiliza dois manuais que tratam do sistema *Light Steel Framing*: um sobre arquitetura do LSF (FREITAS e CRASTO, 2006) e um segundo sobre cálculo estrutural do LSF (RODRIGUES, 2006). A Caixa Econômica Federal (CEF, 2003) tem usado um manual baseado em normas americanas, a fim de fornecer subsídios suficientes para o estabelecimento de critérios de análise de solicitação de financiamento para a construção de edificações com este sistema.

Tendo em vista esses aspectos, esta pesquisa se coloca como uma contribuição para a análise do desempenho térmico dos sistemas de fechamento específicos utilizados no sistema *Light Steel Framing*.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar duas edificações em *Light Steel Framing*, ventiladas naturalmente, por meio de um *software* de simulação do comportamento térmico (*EnergyPlus*); realizando um

³ CRASTO, Renata Cristina Moraes de. *Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: light steel framing*. 2005. 231 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005. p. 171.

estudo das temperaturas internas dos ambientes, considerando a resposta global da edificação e verificando o cumprimento das exigências de conforto térmico de seus usuários.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar as estratégias bioclimáticas mais adequadas ao clima das regiões de interesse (Curitiba, Belo Horizonte, Brasília, Goiânia, Teresina e Belém);
- Estudar o *software* computacional *EnergyPlus*;
- Verificar o desempenho térmico das edificações por meio de simulação numérica utilizando o *software EnergyPlus*;
- Avaliar o desempenho térmico de duas habitações unifamiliares em *Light Steel Framing* fazendo um estudo comparativo do desempenho térmico dos elementos externos e internos de fechamento específicos para este sistema;
- Comparar os resultados da simulação numérica.

1.4 Justificativa e importância

Torna-se cada vez mais importante considerar os componentes energético-climáticos nas relações que determinam as decisões de projeto, uma vez que o manejo e o controle do consumo de energia na edificação se tornaram uma necessidade em nível mundial e, em especial, no contexto brasileiro. Para que isto seja possível, os conceitos de arquitetura bioclimática aplicados à eficiência energética nas edificações devem estar de acordo com a disponibilidade de técnicas, de materiais e do processo construtivo das construções metálicas.

Por outro lado, é de grande importância a *tropicalização* do sistema LSF, uma vez que o Brasil possui um conjunto de condições climáticas e usuários bem diferentes dos países que dominam a tecnologia desse sistema. É necessário adequar a tecnologia da construção ao meio e ao cliente, e não o contrário (SALES, 2001).

Diante dessas considerações, a pesquisa relacionada à avaliação do desempenho térmico de habitações em *Light Steel Framing* é um assunto de grande importância para a ampliação e consolidação desse sistema construtivo no contexto brasileiro. Os resultados permitem o estabelecimento de tipos de fechamentos verticais que garantam conforto térmico nas edificações da região de interesse, oferecendo uma alternativa consistente aos sistemas construtivos comumente utilizados em habitações de interesse social.

1.5 Estrutura do trabalho

Além deste capítulo introdutório que descreve o panorama geral das edificações em *Light Steel Framing* no Brasil, a dissertação é constituída por mais cinco capítulos e um anexo.

No CAPÍTULO II faz-se uma revisão bibliográfica sobre bioclimatologia aplicada às edificações, apresentando um contexto histórico das metodologias de intervenção bioclimática. São apresentadas as estratégias de projeto para cada cidade analisada, realizando um estudo dessas estratégias. Por último é apresentado um estudo de caso de um edifício eficiente.

No CAPÍTULO III faz-se uma revisão bibliográfica sobre o sistema *Light Steel Framing*, enfocando o fechamento vertical. É dada prioridade as características necessárias à simulação dos modelos.

No CAPÍTULO IV faz-se uma revisão bibliográfica sobre a metodologia de avaliação do desempenho térmico, apresentando-se a metodologia adotada. São apresentados todos os parâmetros necessários à simulação do desempenho térmico dos modelos.

No CAPÍTULO V são apresentados os resultados da simulação dos modelos, considerando configurações de fechamento e condições climáticas diferentes.

No CAPÍTULO VI são apresentadas as conclusões obtidas a partir da análise dos resultados da simulação, além de destacar sugestões para futuras pesquisas.

No ANEXO I apresentam-se as características dos dias típicos de projeto para as regiões consideradas (Curitiba, Belo Horizonte, Brasília, Goiânia, Teresina e Belém) e as trajetórias solares para cada região.

No ANEXO II apresentam-se as tabelas de temperaturas internas dos ambientes resultantes da simulação em cada cidade.

CAPÍTULO II

2 BIOCLIMATOLOGIA APLICADA À ARQUITETURA

2.1 Introdução

Um projeto arquitetônico deve se adaptar às características do meio em que está inserido. De acordo com Romero (1998), os exemplos de boa arquitetura, representados pelas construções e traçados primitivos, são realizações que evidenciam um profundo conhecimento do lugar da implantação do projeto. Dessa forma, se forem estabelecidos princípios que considerem as inter-relações do ambiente com o espaço construído, estar-se-ia contribuindo para a construção de edificações com adequação térmica e salubridade ambiental.

Segundo Goulart *et al.* (1994), a arquitetura bioclimática “utiliza a tecnologia baseada na correta aplicação dos elementos arquitetônicos com o objetivo de fornecer ao ambiente construído, um alto grau de conforto higrotérmico com baixo consumo de energia”. Se na etapa de concepção arquitetônica os princípios bioclimáticos forem incorporados, será permitido implantar sistemas passivos de condicionamento térmico, minimizando os efeitos climáticos indesejáveis.

Algumas metodologias diretas de bioclimatologia aplicada às edificações utilizam cartas bioclimáticas, que associam o comportamento climático do entorno e as estratégias indicadas para cada período do ano com uma zona de conforto térmico.

Neste capítulo, faz-se uma revisão sobre os principais métodos de avaliação bioclimática para definir as estratégias de projeto mais adequadas ao clima das cidades contempladas na simulação dos modelos. No final do capítulo é apresentado um estudo de caso de um edifício no Brasil que incorpora os conceitos de melhoria do desempenho energético.

2.2 Carta Bioclimática de Olgay

Olgay (1963) foi pioneiro em estender a aplicação da bioclimatologia à arquitetura considerando as condições de conforto térmico humano. Este autor criou o termo *projeto bioclimático* fazendo referência a uma concepção arquitetônica, que por meio de seus próprios elementos, utiliza as condições favoráveis do clima a fim de satisfazer as exigências de conforto térmico do homem.

Na década de sessenta, Olgay (1963) desenvolveu uma carta bioclimática considerando os dados do clima externo na proposição de estratégias de adaptação da arquitetura ao clima. A carta possui ao redor da zona de conforto os elementos climáticos indicados com curvas, que fornecem os procedimentos necessários de correção para restabelecer-se a sensação de conforto. No gráfico, relacionam-se as variáveis de temperatura de bulbo seco e umidade relativa e definem-se zonas de ventilação, irradiação solar, sombreamento e resfriamento evaporativo (FIG. 2.1). Segundo Olgay ¹ (*apud* GOULART, S. *et al.*, 1994), o uso do diagrama é aplicável somente a habitantes da zona temperada dos Estados Unidos, usando roupas comuns (1CLO), exercendo atividade sedentária ou leve, em altitudes inferiores a 300 m acima do nível do mar e latitude de aproximadamente 40 graus.

Devido a essa limitação, o próprio autor revisou a carta original em 1968, adaptando o diagrama bioclimático para regiões mais quentes ao desenvolver seus estudos na Colômbia, considerado a aclimatização dos habitantes desta região. Nesta nova carta, pode-se analisar, conforme a zona de conforto adotada, tanto climas temperados quanto quentes e úmidos. Olgay ² (*apud* MACIEL, 2002) fez indicações para esta nova carta contemplar outras latitudes, mas não considerou diferentes altitudes.

¹ OLGAY, V. *Design with Climate*. New Jersey: Princeton University Press, 1963.

² OLGAY, V. *Clima e arquitetura em Colômbia*. Colômbia: Faculdade de Arquitetura, 1968.

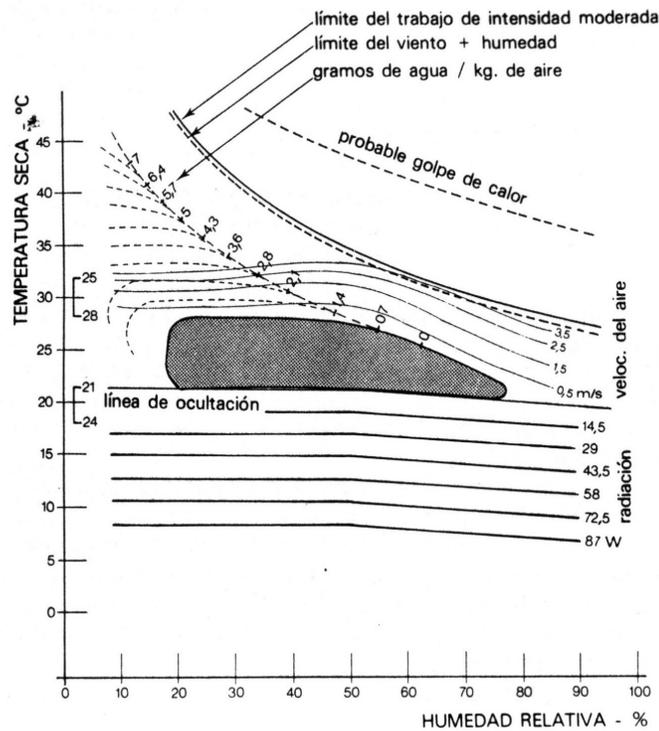


FIGURA 2.1 – Carta bioclimática de Olgay de 1963.
 Fonte: IZARD, J. L.; GUYOT, A., 1980, p. 15.

Embora se deva reconhecer a importância do trabalho de Olgay (1963) como pioneiro em estudos de bioclimatologia aplicada à arquitetura, o método desenvolvido por esse autor possui algumas limitações. A partir de estudos realizados na Austrália, Koenigsberger *et al.*³ (*apud* GOULART, S. *et al.*, 1994) adaptaram a carta de Olgay de 1963 a países quentes e observaram que as conclusões desse autor, apesar de válidas, não serviam como índice de conforto térmico. Izard e Guyot (1980) afirmam que:

“A necessidade de bloquear a radiação solar depende de outros fatores como, por exemplo, a inércia térmica da edificação e a amplitude das temperaturas externas, não podendo, portanto, ser representada por uma simples linha calcada numa só temperatura”.

³ KOENIGSBERGER, O. H. *et al.* *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Madrid: Paraninfo, 1977.

Os autores também alertam, dentre outros fatores, que a umidade relativa não é um bom critério para avaliar o conforto térmico, sendo a umidade absoluta um parâmetro mais indicado.

Givoni ⁴ (*apud* GOULART, S. *et al.*, 1994) relata que o método é “susceptível de aplicação em regiões úmidas, onde a ventilação é essencial durante o dia e há pouca diferença entre as condições internas e externas”. A maior crítica que pode ser feita as cartas de Olgyay (1963, 1968) é o fato de elas serem consideradas totalmente abertas ao meio externo, desconsiderando as características da edificação.

2.3 Carta Bioclimática de Givoni de 1992

Com o objetivo de selecionar uma carta bioclimática a ser adotada para o Brasil, Goulart *et al.* (1994) analisaram vários métodos de projeto direto que aplicam a bioclimatologia às edificações.

A partir das análises, concluiu-se que a metodologia mais apropriada ao clima tropical era a carta bioclimática de Givoni (1992) para países em desenvolvimento. A carta de Givoni de 1992 se baseia em temperaturas internas do edifício, diferentemente de Olgyay, que aplicava seu diagrama estritamente para as condições externas (LAMBERTS *et al.*, 1997).

Nesta carta foram expandidos os limites máximos de conforto, incluindo uma faixa maior de variação de fatores ambientais como a temperatura e velocidade do vento; considerando a aclimatização de pessoas que vivem em regiões caracterizadas por este tipo de clima (FIG. 2.2).

⁴ GIVONI, B. *Man, climate and architecture*. 2. ed. London: Applied Science, 1976.

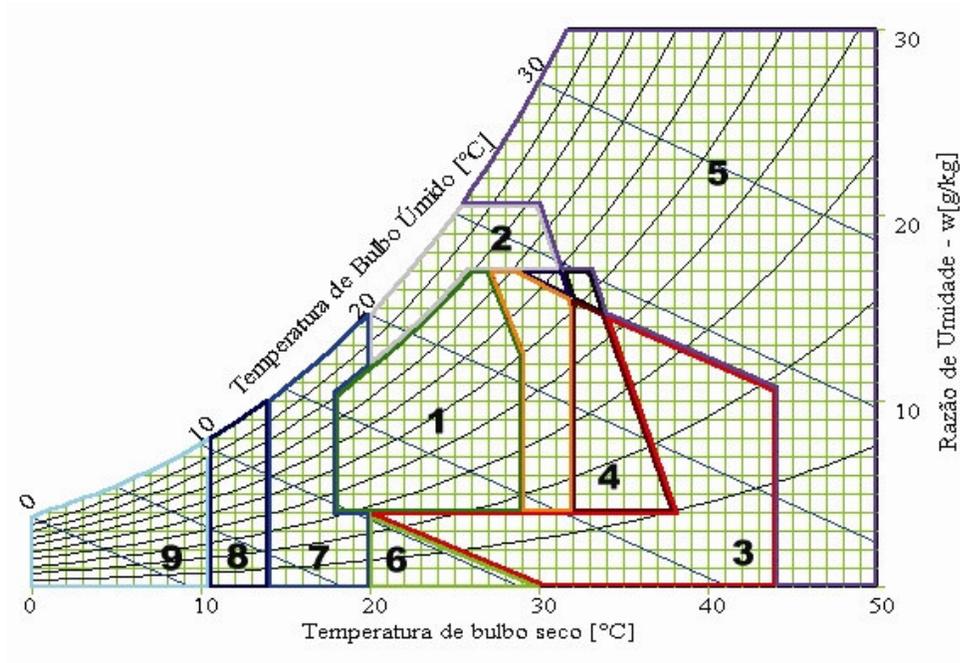


FIGURA 2.2 – Carta bioclimática adotada para o Brasil.
 Fonte: GOULART, S. *et al.*, 1997, p. 10.

Na carta são definidas nove regiões, as quais são discutidas a seguir:

1 – Zona de Conforto: Para as condições climáticas que resultem nos pares psicrométricos (temperatura do ar seco e umidade absoluta) registrados nesta zona, há uma grande probabilidade das pessoas perceberem a sensação de conforto térmico.

2 – Zona de Ventilação: Por meio da substituição do ar interno (mais quente) pelo externo (mais frio) pode-se alcançar o conforto com a estratégia de resfriamento natural. Nesta zona a temperatura e umidade são elevadas.

3 – Zona de resfriamento evaporativo: O resfriamento evaporativo pode ser utilizado para atingir a sensação de conforto, aumentando a umidade relativa do ar e diminuindo sua temperatura.

4 - Zona de Massa Térmica para Resfriamento: Nesta zona, recomenda-se o uso de componentes construtivos com inércia térmica elevada em climas quentes e secos, para que a amplitude da temperatura interior diminua em relação à exterior.

5 – Zona de refrigeração artificial: Quando as estratégias de ventilação, resfriamento evaporativo e massa térmica não proporcionam as condições desejadas de conforto, é necessário o uso de resfriamento artificial.

6 – Zona de umidificação: Zona caracterizada pela temperatura do ar menor que 27°C e umidade relativa abaixo de 20%. Nesta zona é recomendada a estratégia de umidificação do ar para melhorar a sensação de conforto térmico.

7 - Zona de Massa Térmica e Aquecimento Solar Passivo: Neste caso, é recomendável a adoção de paredes com maior inércia térmica com o objetivo de reduzir as perdas do calor gerado no interior da edificação para o exterior mais frio.

8 - Zona de Aquecimento Solar Passivo: Zona caracterizada pela baixa temperatura do ar. Por meio de algumas estratégias como superfícies envidraçadas orientadas para o sol, orientação adequada da edificação e de cores que aumentem os ganhos de calor pode-se elevar a temperatura do ar interior.

9 – Zona de aquecimento artificial: Zona em que o conforto térmico não pode ser atingido utilizando-se apenas condicionamento térmico passivo, pois se trata de locais extremamente frios. Deve-se utilizar aquecimento artificial e isolar as paredes e coberturas dos ambientes para evitar perdas de calor para o ambiente externo.

Um projeto torna-se ainda mais eficiente quando se pode conciliar e/ou combinar estas estratégias bioclimáticas previstas na carta. O método de Watson e Labs de 1983 foi combinado com a carta adotada por possibilitar a quantificação das estratégias sugeridas, principalmente, quando as condições climáticas encontram-se dentro de

zonas de interseção. Esse método faz análise de dados climáticos horários, fazendo uso do *Test Reference Year* (TRY) ou Ano Climático de Referência ⁵.

O Ano Climático de referência (TRY) é baseado na eliminação de anos de dados que contenham temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas). Aplicando os dados do TRY na carta de Givoni de 1992 é possível conhecer o comportamento da temperatura e umidade relativa do ar ao longo do ano, identificando o percentual das estratégias mais indicadas para a edificação. Por meio da combinação da carta bioclimática de Givoni de 1992 para países de clima quente em desenvolvimento e do método de Watson e Labs de 1983, Goulart *et al.* (1997) deram prosseguimento a esse estudo gerando cartas para 14 cidades brasileiras; validando esse método.

2.4 O programa *Analysis Bio*

O *software Analysis Bio*, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LABEEE/UFSC), plota os dados de temperatura e umidade do TRY, das normais climatológicas ou de dados inseridos manualmente sobre a carta bioclimática de Givoni de 1992 para países de clima quente e em desenvolvimento. O programa permite a visualização da distribuição dos dados climáticos, o cálculo da percentagem de horas do ano em que se encontra conforto ou não e o percentual das estratégias mais indicadas para a edificação. Nas TAB. 2.1 a 2.12 e nas FIG. 2.3 a 2.8 são apresentados os dados para as cidades objeto de estudo.

TABELA 2.1 – Normais Climatológicas de Curitiba

VAR	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	25,6	25,8	24,9	22,3	21,1	18,3	19,4	20,9	21,3	22,6	24,5	25,4
2	15,8	16,3	15,4	12,8	10,2	7,8	8,1	9,2	10,8	12,5	14	15,4
3	19,6	19,9	19	16,7	14,6	12,2	12,8	14	15	16,5	18,2	19,3
4	79	80	80	79	82	76	81	79	82	82	80	82
5	909,4	910,3	911,2	912,4	913,4	914,3	915,1	914,0	913,3	911,6	910,1	909,4
Variáveis: 1. Temperaturas médias máximas (°C) 2. Temperaturas médias mínimas (°C)						3. Temperaturas médias (°C) 4. Umidades relativas médias (%) 5. Pressões barométricas (hPa)						

Fonte: UFSC, 2006.

⁵ A análise bioclimática de um local deve ser feita a partir dos dados climáticos disponíveis. Segundo Lamberts *et al.* (1997), o ideal seria usar o Ano Climático de Referência (TRY), que possui valores horários de temperatura e umidade relativa; mas pode-se também utilizar as Normais Climatológicas, que possuem valores médios para vários locais do Brasil.

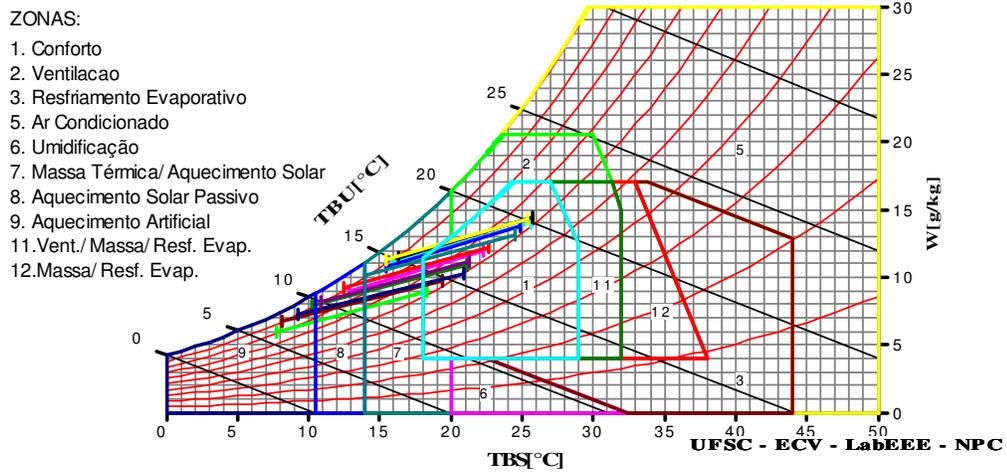


FIGURA 2.3 – Dados Climáticos de Curitiba plotados sobre a carta bioclimática adaptada de Givoni (1992) por meio do software Analysis Bio 2 – Avaliação bioclimática pelas normas climatológicas.

TABELA 2.2 - Percentual de horas para cada estratégia em Curitiba

	MESES (%)											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Conforto	71,95	69,98	70,72	45,72	28,44	2,87	12,39	24,78	31,43	45,55	61,90	61,25
Aquecimento Solar Passivo				12,64	32,11	33,33	30,97	29,92	30,48	14,86		
Aquecimento Solar Passivo/Massa Térmica	28,06	30,03	29,28	42,10	36,69	38,09	35,40	34,19	38,09	39,60	38,10	38,75
Aquecimento Artificial					2,75	25,72	21,25	11,12				

Fonte: UFSC, 2006.

Na carta bioclimática de Curitiba, percebe-se a necessidade de aquecimento solar passivo em combinação com o uso de massa térmica nos fechamentos durante o ano todo. O aquecimento artificial é necessário nos períodos mais frios do ano.

TABELA 2.3 – Normais Climatológicas de Belo Horizonte

VAR	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	28,2	28,8	28,6	27,5	26	25	24,6	26,5	27,2	27,7	27,5	27,3
2	18,8	19	18,8	17,3	15	13,4	13,1	14,4	16,2	17,5	18,2	18,4
3	22,8	23,2	23	21,1	19,8	18,5	18,1	19	21	21,9	22,2	22,2
4	79	75,1	74,7	73,9	72,5	71,4	68,7	64,5	65,1	69,8	74,1	78
5	915,5	916	916,2	917,2	918,7	920,2	921,1	919,9	918,5	916,6	915,3	915

Variáveis:

1. Temperaturas médias máximas (°C)
2. Temperaturas médias mínimas (°C)
3. Temperaturas médias (°C)
4. Umidades relativas médias (%)
5. Pressões barométricas (hPa)

Fonte: UFSC, 2006.

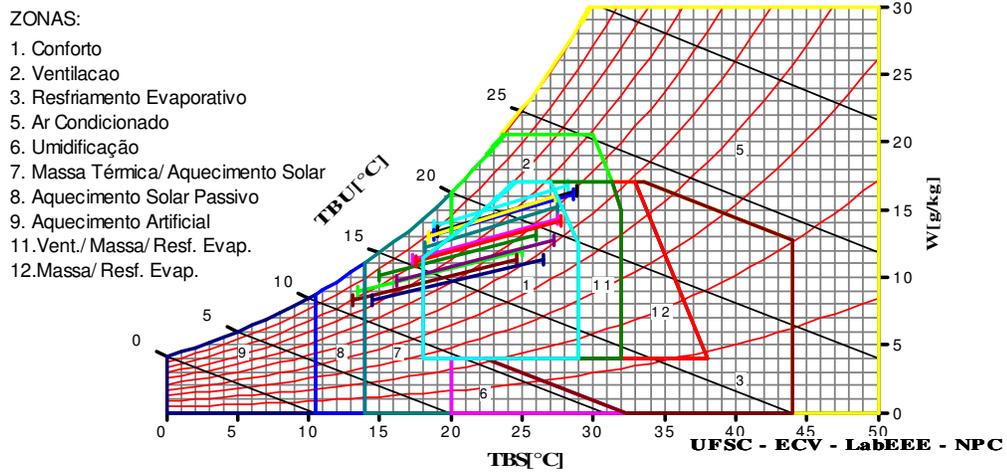


FIGURA 2.4 – Dados Climáticos de Belo Horizonte plotados sobre a carta bioclimática adaptada de Givoni (1992) por meio do *software Analysis Bio 2* – Avaliação bioclimática pelas normais climatológicas.

TABELA 2.4 - Percentual de horas para cada estratégia em Belo Horizonte

	MESES (%)											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Conforto	54,65	63,51	67,94	90,89	72,73	60,34	57,39	70,25	83,64	95,09	83,35	69,29
Ventilação	22,57	12,87	9,24									12,73
Aquecimento Solar Passivo						5,17	7,83					
Aquecimento Solar Passivo/Massa Térmica	12,77	10,21	12,25	9,11	27,28	34,49	34,78	29,76	16,36	4,91	16,66	17,98
Ventilacao/Massa/Resfriamento Evaporativo	10,02	13,42	10,58									

Fonte: UFSC, 2006.

Nesta carta, grande parte das normais está concentrada na região de conforto. Nas horas desconfortáveis, a estratégia mais indicada é o aquecimento solar passivo com uso de massa térmica nos fechamentos. Durante o verão, além dessas estratégias, é recomendado o uso de ventilação cruzada.

TABELA 2.5 – Normais Climatológicas de Brasília

VAR	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	26,9	26,7	27,1	26,6	25,7	25,2	25,1	27,3	28,3	27,5	26,6	26,2
2	17,4	17,4	17,5	16,8	15	13,3	12,9	14,6	16	17,4	17,5	17,5
3	21,6	21,8	22	21,4	20,2	19,1	19,1	21,2	22,5	22,1	21,7	21,5
4	76	77	76	75	68	61	56	49	53	66	75	79
5	885,9	885,4	885,6	886,4	887,6	889	889,2	888,2	887,2	885,8	884,8	884,8

Variáveis:
 1. Temperaturas médias máximas (°C)
 2. Temperaturas médias mínimas (°C)
 3. Temperaturas médias (°C)
 4. Umidades relativas médias (%)
 5. Pressões barométricas (hPa)

Fonte: UFSC, 2006.

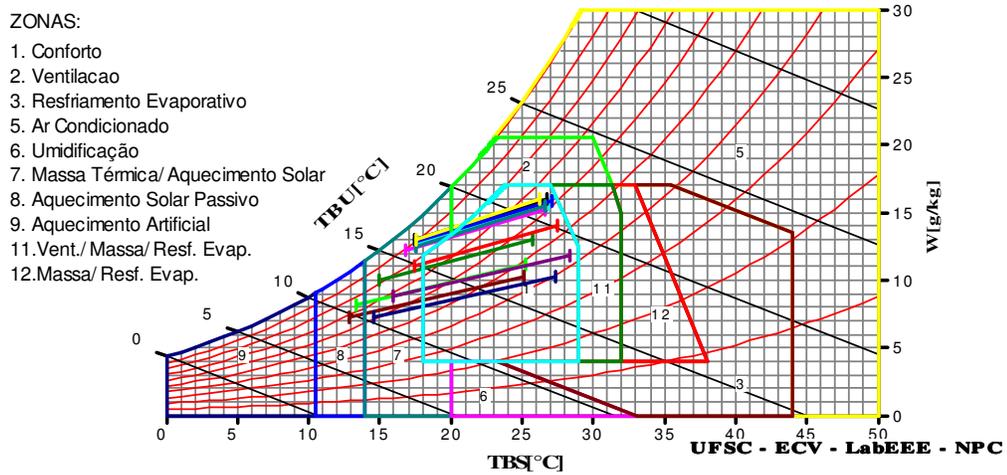


FIGURA 2.5 – Dados Climáticos de Brasília plotados sobre a carta bioclimática adaptada de Givoni (1992) por meio do software Analysis Bio 2 – Avaliação bioclimática pelas normais climatológicas.

TABELA 2.6 - Percentual de horas para cada estratégia em Brasília

	MESES (%)											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Conforto	72,97	64,72	68,92	71,57	71,96	60,50	58,20	73,23	83,73	94,06	75,02	60,23
Ventilação		7,33	5,67									10,94
Aquecimento Solar Passivo						5,88	9,02					
Aquecimento Solar Passivo/Massa Térmica	27,04	27,96	26,05	28,43	28,04	33,62	32,78	26,78	16,27	5,95	24,99	28,74

Fonte: UFSC, 2006.

A grande parte das normais concentra-se na zona de conforto térmico. No verão, a ventilação é a estratégia mais indicada. No inverno deve-se priorizar o uso de massa térmica para aquecimento associado ao ganho de calor solar.

TABELA 2.7 – Normais Climatológicas de Goiânia

VAR	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	29,2	29,4	30,1	30	29,1	28,7	28,9	31,2	31,9	31	29,7	28,9
2	19,7	19,7	19,5	18,5	16	13,7	13,2	15	18,1	19,5	19,6	19,7
3	23,8	23,8	23,9	23,6	22,1	20,8	20,8	22,9	24,6	24,6	24	23,5
4	75	76	74	71	65	60	53	47	53	65	73	76
5	928,1	928,4	928,7	929,5	931,1	932,5	932,7	931,4	930	928,8	927,8	927,7

Variáveis:
 6. Temperaturas médias máximas (°C)
 7. Temperaturas médias mínimas (°C)
 8. Temperaturas médias (°C)
 9. Umidades relativas médias (%)
 10. Pressões barométricas (hPa)

Fonte: UFSC, 2006.

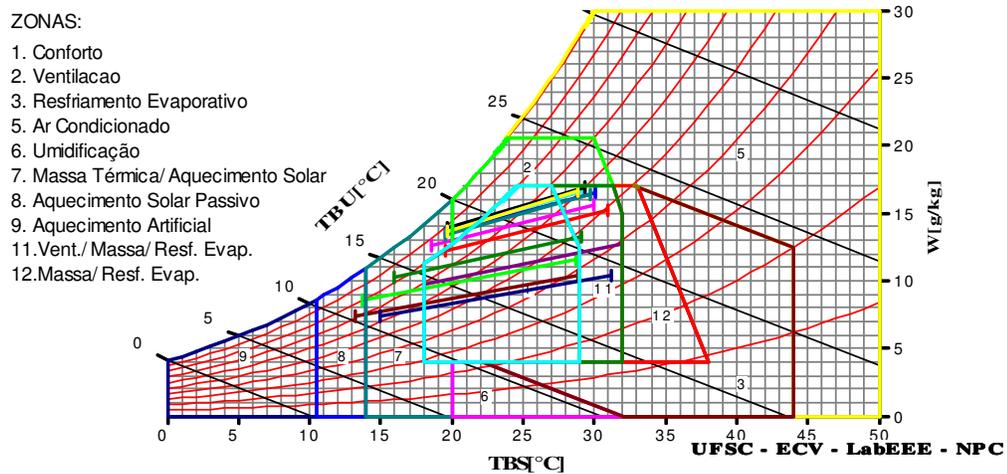


FIGURA 2.6 – Dados Climáticos de Goiânia plotados sobre a carta bioclimática adaptada de Givoni (1992) por meio do *software Analysis Bio 2* – Avaliação bioclimática pelas normais climatológicas.

TABELA 2.8 - Percentual de horas para cada estratégia em Goiânia

	MESES (%)											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Conforto	58,74	53,54	55,79	64,03	81,64	71,33	69,43	67,90	78,99	74,93	60,66	61,64
Ventilação	19,25	22,21	15,27	4,25							14,04	18,87
Aquecimento Solar Passivo						2,00	5,10					
Aquecimento Solar Passivo/Massa Térmica	3,17	3,10	4,72	13,05	15,27	26,67	25,48	18,52			3,97	3,27
Ventilacao/Massa/Resfriamento Evaporativo	18,85	21,15	24,22	18,68	3,09			13,58	21,02	25,07	21,33	16,23

Fonte: UFSC, 2006.

Percebe-se, na carta bioclimática de Goiânia, a concentração das normais na zona de conforto. No verão, a estratégia recomendada é a ventilação com resfriamento

evaporativo; enquanto que no inverno, o aquecimento solar passivo com massa térmica é a mais indicada.

TABELA 2.9 – Normais Climatológicas de Teresina

VAR	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	32,2	30,1	30,1	31,6	31,8	32,4	33,3	33,5	35,8	36,4	35,4	34,2
2	22,5	22,4	22,4	22,7	22,4	21,2	20,4	20,5	22	22,8	23	23,1
3	26,7	23,6	25,9	26,3	26,1	24	26	25,7	28,4	29	28,7	28
4	75	83	83	84	81	72	65	59	56	58	60	64
5	1001,1	1001,2	1001,5	1001,5	1002,2	1003,3	1003,7	1003,3	1002,4	1001,4	1000,7	1005,8

Variáveis:
 11. Temperaturas médias máximas (°C)
 12. Temperaturas médias mínimas (°C)
 13. Temperaturas médias (°C)
 14. Umidades relativas médias (%)
 15. Pressões barométricas (hPa)

Fonte: UFSC, 2006.

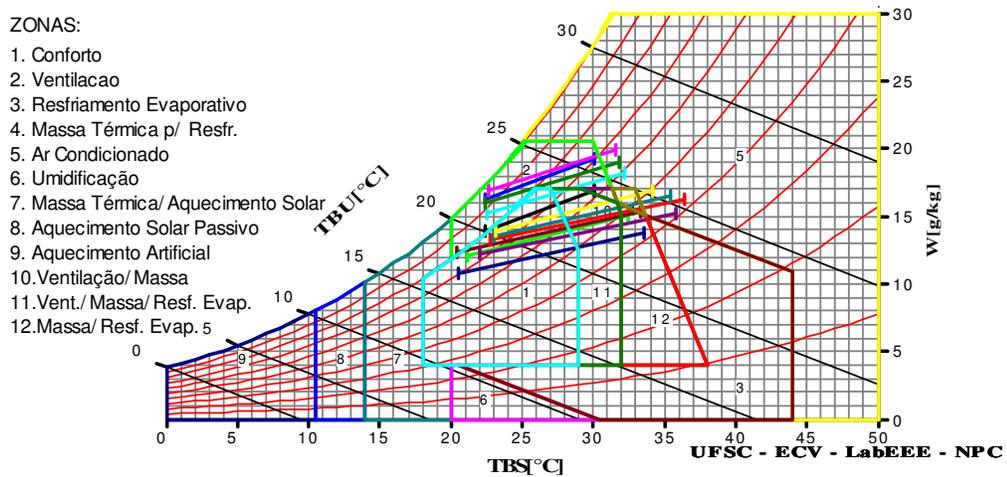


FIGURA 2.7 – Dados Climáticos de Teresina plotados sobre a carta bioclimática adaptada de Givoni (1992) por meio do software Analysis Bio 2 – Avaliação bioclimática pelas normais climatológicas.

TABELA 2.10 - Percentual de horas para cada estratégia em Teresina

	MESES (%)											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Conforto	23,94	62,82				63,60	57,55	64,50	47,04	39,28	40,45	42,54
Ventilação	28,36	3,53	100,01	86,36	88,17		3,33					
Ventilação/Massa		4,63										2,53
Massa/Resfr. Evaporativo						3,60	9,23	11,54	13,35	6,78	3,34	
Resfr. Evaporativo									2,77			
Massa térmica p/ resfriamento							0,98			5,17	9,62	14,24
Ventilacao/Massa/Resfriamento Evaporativo	10,98	29,02				32,81	28,91	23,96	25,43	27,68	30,30	31,29
Ar Condicionado	12,76			13,64	11,83				11,41	21,10	16,30	9,41

Fonte: UFSC, 2006.

A carta bioclimática de Teresina possui as normais entre a zona de ventilação e a de massa térmica com resfriamento evaporativo. As estratégias mais adequadas ao verão são: massa térmica para resfriamento, ventilação, resfriamento evaporativo e o uso de condicionamento térmico artificial.

TABELA 2.11 – Normais Climatológicas de Belém

VAR	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	30,9	30,5	30,4	30,8	31,3	31,7	31,7	32,1	32,1	32,2	32,3	31,9
2	22,1	22,2	22,4	21,8	22,6	22,1	21,7	21,7	21,7	21,6	21,9	22
3	26,6	24,5	25,5	26,7	25,9	25,9	25,8	26	26,1	26,4	26,4	26,1
4	86	91	91	91	88	86	85	84	84	83	83	86
5	1009,5	1009,7	1009,8	1009,8	1010,3	1011,2	1011,6	1011,1	1010,7	1009,9	1009,2	1009,3

Variáveis:
 16. Temperaturas médias máximas (°C)
 17. Temperaturas médias mínimas (°C)
 18. Temperaturas médias (°C)
 19. Umidades relativas médias (%)
 20. Pressões barométricas (hPa)

Fonte: UFSC, 2006.

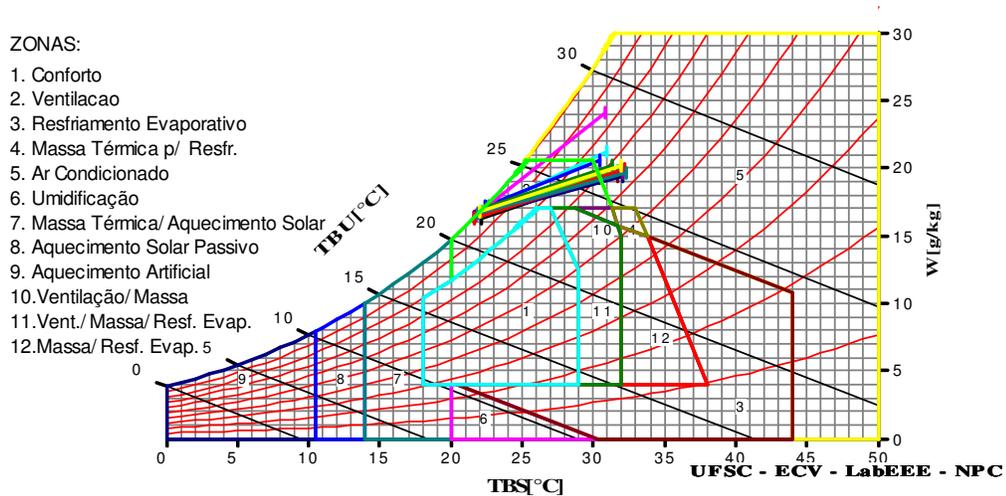


FIGURA 2.8 – Dados Climáticos de Belém plotados sobre a carta bioclimática adaptada de Givoni (1992) por meio do software Analysis Bio 2 – Avaliação bioclimática pelas normais climatológicas.

TABELA 2.12 - Percentual de horas para cada estratégia em Belém

	MESES (%)											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Ventilação	84,48	99,69	95,57	53,24	88,07	86,82	88,36	85,29	84,74	83,39	82,87	84,13
Ar Condicionado	15,53	0,31	4,44	46,76	11,94	13,19	11,64	14,71	15,26	16,61	17,13	15,88

Fonte: UFSC, 2006.

A carta bioclimática de Belém caracteriza-se pela concentração de normais na zona de ventilação. A umidade relativa é alta (acima de 80%) e as temperaturas nunca são inferiores a 20°C. Nas edificações construídas nesse clima, deve-se permitir a ventilação cruzada em tempo integral. O conforto térmico é quase ausente, sendo necessária a integração entre sistemas natural e artificial de condicionamento térmico durante todo o ano.

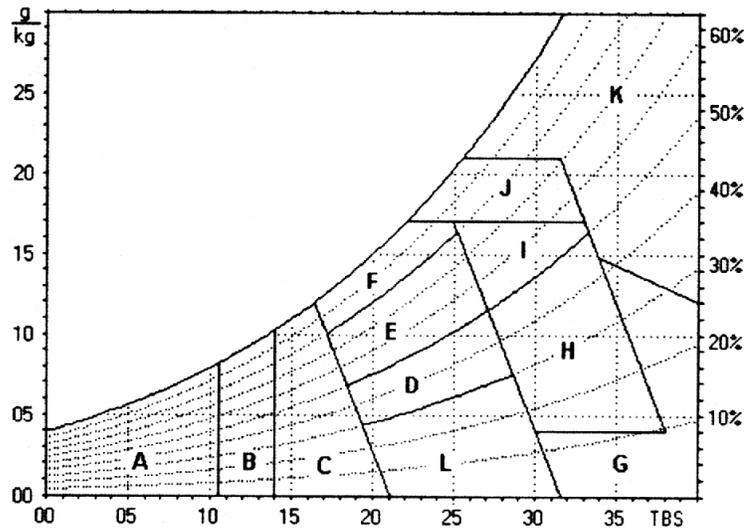
A avaliação bioclimática feita pelas nomais climatológicas, por empregarem valores médios, tendem a superestimar o conforto e a subestimar as estratégias bioclimáticas. A estratégia que mais se destaca é a ventilação seguida pela massa térmica com aquecimento solar passivo para os períodos frios. Em alguns casos, como as cidades de Curitiba, Teresina e Belém, o condicionamento térmico passivo não é o suficiente para manter o conforto térmico, mas é capaz de minimizar os gastos energéticos com o condicionamento.

2.5 A Norma de Desempenho Térmico de Edificações

A norma NBR 15220:2005 de desempenho térmico de edificações é constituída por cinco partes: I) Definições, símbolos e unidades; II) Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações; III) Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social; IV) Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida; e V) Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Na parte 3 dessa norma, que trata do zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, é adotada uma carta bioclimática adaptada a partir da sugerida por Givoni de 1992 (FIG. 2.9).

Segundo Roriz (2000), as alterações efetuadas sobre a carta de Givoni consideraram “as experiências acadêmicas e profissionais dos especialistas das comissões de estudos, bem como alguns aspectos da cultura construtiva típica de cada região”.



- | | |
|---|--|
| A – Zona de aquecimento artificial (calefação) | G+H – Zona de resfriamento evaporativo |
| B – Zona de aquecimento solar da edificação | H+I – Zona de massa térmica de refrigeração |
| C – Zona de massa térmica para aquecimento | I+J – Zona de ventilação |
| D – Zona de conforto térmico (baixa umidade) | K – Zona de refrigeração artificial |
| E – Zona de conforto térmico | L – Zona de umidificação do ar |
| F – Zona de desumidificação (renovação do ar) | |

FIGURA 2.9 – Carta bioclimática adaptada.
 Fonte: NBR 15220:2005 (Parte 3), p. 18.

Nessa norma, os dados mensais de temperatura e umidade do ar foram representados por uma reta sobre a carta para cada mês do ano e para cada localidade. Dessa forma, por meio da plotagem dos dados das normais climatológicas de cada cidade, podem-se obter as percentagens de cada estratégia acumuladas ao longo de um ano, permitindo classificar o clima de uma cidade em uma das oito zonas bioclimáticas definidas. Para as cidades que não tinham dados climáticos medidos, o clima foi estimado por meio de interpolação (WESTPHAL, 2005).

Posteriormente, foi estabelecido um zoneamento bioclimático que dividiu o território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima (FIG. 2.10). Para cada região delimitada no zoneamento formulou-se um conjunto de recomendações

técnico-construtivas que conjugam as estratégias de condicionamento térmico passivo com os limites aceitáveis de indicadores do desempenho térmico.

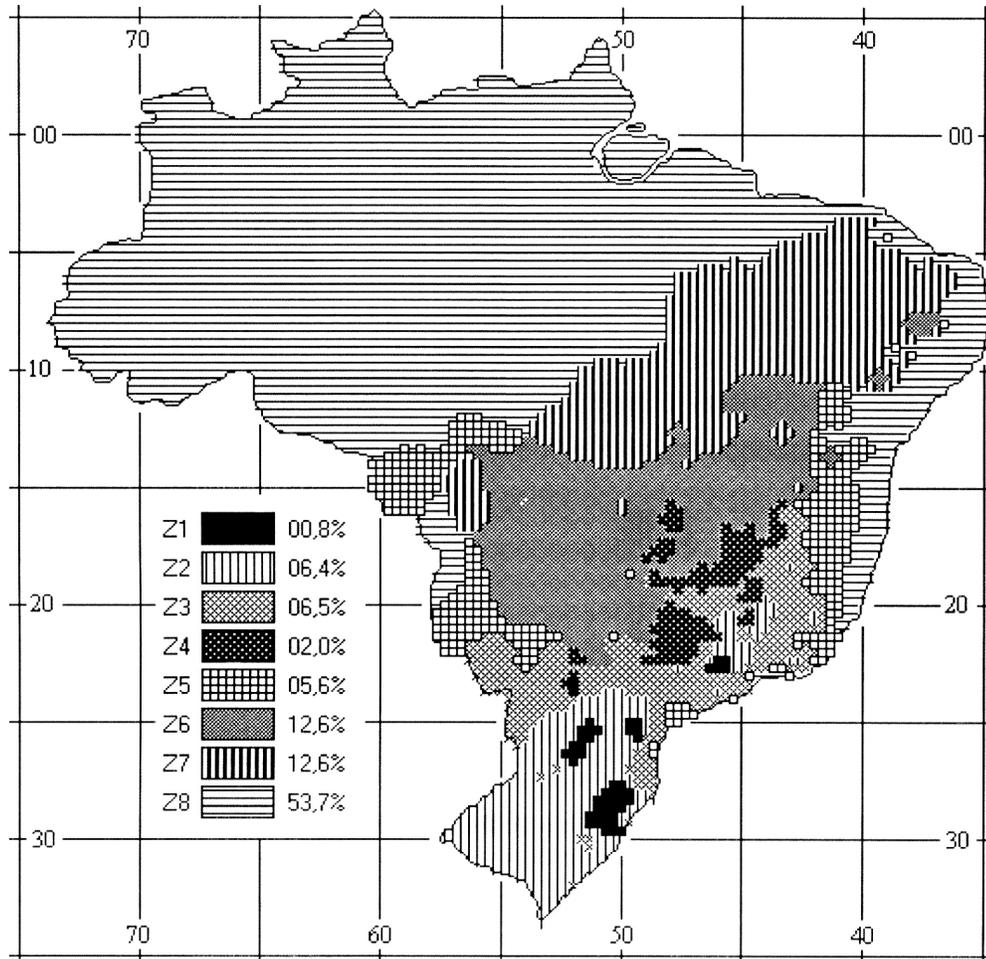


FIGURA 2.10 – Zoneamento bioclimático Brasileiro.
 Fonte: NBR 15220: 2005 (Parte 3), p. 2.

Foi considerado o tamanho das aberturas para ventilação; a proteção das aberturas; os fechamentos externos e as estratégias de condicionamento térmico passivo. Estas diretrizes construtivas visam à otimização do desempenho térmico das habitações unifamiliares de interesse social (com até três pavimentos) por meio de sua adequação ao clima.

2.5.1 Diretrizes construtivas para as cidades objeto de estudo

De acordo com o anexo “A” da norma NBR 15220:2005, as cidades objeto de estudo seguem a seguinte classificação:

- Curitiba Zona bioclimática 1
- Belo Horizonte Zona bioclimática 3
- Brasília Zona bioclimática 4
- Goiânia Zona bioclimática 6
- Teresina Zona bioclimática 7
- Belém Zona bioclimática 8

Segundo essa norma, para essas zonas devem ser atendidas as diretrizes apresentadas a seguir:

a) Diretrizes construtivas para a ZONA BIOCLIMÁTICA 1 (Curitiba)

Para a Zona Bioclimática 1 são sugeridas as diretrizes apresentadas nas TAB. 2.13 a 2.15.

TABELA 2.13 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 1

Aberturas para ventilação	Médias = $15\% < A < 25\%$ A (em % da área de piso em ambientes de longa permanência)
Sombreamento das aberturas	Permitir sol durante o período frio

Fonte: NBR 15220:2005

TABELA 2.14 - Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 1

Vedações externas		Transmitância térmica (W/m ² .K)	Atraso térmico (h)	Fator solar (%)
Parede	Leve	$U \leq 3,00$	$\phi \leq 4,3$	$FS_o \leq 5,0$
Cobertura (telhado, ático e forro)	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$

Fonte: NBR 15220:2005

TABELA 2.15 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 1

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Inverno	Aquecimento solar da edificação Vedações internas pesadas (inércia térmica) NOTA: O condicionamento passivo será insuficiente durante o período mais frio do ano.

Fonte: NBR 15220:2005

b) Diretrizes construtivas para a ZONA BIOCLIMÁTICA 3 (Belo Horizonte)

Para a Zona Bioclimática 3 são sugeridas as diretrizes apresentadas nas TAB. 2.16 a 2.18.

TABELA 2.16 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 3

Aberturas para ventilação	Médias = $15\% < A < 25\%$ A (em % da área de piso em ambientes de longa permanência)
Sombreamento das aberturas	Permitir sol durante o inverno

Fonte: NBR 15220:2005

TABELA 2.17 - Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 3

Vedações externas		Transmitância térmica (W/m ² .K)	Atraso térmico (h)	Fator solar (%)
Parede	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
Cobertura (telhado, ático e forro)	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$

Fonte: NBR 15220:2005

TABELA 2.18 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 3

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
verão	Ventilação cruzada
Inverno	Aquecimento solar da edificação Vedações internas pesadas (inércia térmica)

Fonte: NBR 15220:2005

c) Diretrizes construtivas para a ZONA BIOCLIMÁTICA 4 (Brasília)

Para a Zona Bioclimática 4 são sugeridas as diretrizes apresentadas nas TAB. 2.19 a 2.21.

TABELA 2.19 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 4

Aberturas para ventilação	Médias = $15\% < A < 25\%$ A (em % da área de piso em ambientes de longa permanência)
Sombreamento das aberturas	Sombrear as aberturas

Fonte: NBR 15220:2005

TABELA 2.20 - Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 4

Vedações externas		Transmitância térmica (W/m ² .K)	Atraso térmico (h)	Fator solar (%)
Parede	Pesada	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Cobertura (telhado, ático e forro)	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$

Fonte: NBR 15220:2005

TABELA 2.21 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 4

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
verão	Resfr. Evaporativo e massa térmica para resfriamento Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)
Inverno	Aquecimento solar da edificação Vedações internas pesadas (inércia térmica)

Fonte: NBR 15220:2005

d) Diretrizes construtivas para a ZONA BIOCLIMÁTICA 6 (Goiânia)

Para a Zona Bioclimática 6 são sugeridas as diretrizes apresentadas nas TAB. 2.22 a 2.24.

TABELA 2.22 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 6

Aberturas para ventilação	Médias = $15\% < A < 25\%$ A (em % da área de piso em ambientes de longa permanência)
Sombreamento das aberturas	Sombrear as aberturas

Fonte: NBR 15220:2005

TABELA 2.23 - Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 6

Vedações externas		Transmitância térmica (W/m ² .K)	Atraso térmico (h)	Fator solar (%)
Parede	Pesada	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$	$FS_o \leq 3,5$
Cobertura (telhado, ático e forro)	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$

Fonte: NBR 15220:2005

TABELA 2.24 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 6

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
verão	Resfr. Evaporativo e massa térmica para resfriamento Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)
Inverno	Vedações internas pesadas (inércia térmica)

Fonte: NBR 15220:2005

e) Diretrizes construtivas para a ZONA BIOCLIMÁTICA 7 (Teresina)

Para a Zona Bioclimática 7 são sugeridas as diretrizes apresentadas nas TAB. 2.25 a 2.27.

TABELA 2.25 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 7

Aberturas para ventilação	Pequenas = $10\% < A < 15\%$ A (em % da área de piso em ambientes de longa permanência)
Sombreamento das aberturas	Sombrear as aberturas

Fonte: NBR 15220:2005

TABELA 2.26 - Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 7

Vedações externas		Transmitância térmica (W/m ² .K)	Atraso térmico (h)	Fator solar (%)
Parede	Pesada	$U \leq 2,20$	$\phi \geq 6,5$	FS _o $\leq 3,5$
Cobertura (telhado, ático e forro)	Pesada	$U \leq 2,00$	$\phi \geq 6,5$	FS _o $\leq 6,5$

Fonte: NBR 15220:2005

TABELA 2.27 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 7

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
verão	Resfr. Evaporativo e massa térmica para resfriamento Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)

Fonte: NBR 15220:2005

f) Diretrizes construtivas para a ZONA BIOCLIMÁTICA 8 (Belém)

Para a Zona Bioclimática 8 são sugeridas as diretrizes apresentadas nas TAB. 2.28 a 2.30.

TABELA 2.28 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 8

Aberturas para ventilação	Grandes = $A < 40\%$ A (em % da área de piso em ambientes de longa permanência)
Sombreamento das aberturas	Sombrear as aberturas

Fonte: NBR 15220:2005

TABELA 2.29 - Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 8

Vedações externas		Transmitância térmica (W/m ² .K)	Atraso térmico (h)	Fator solar (%)
Parede	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	FS _o $\leq 4,0$
Cobertura (telhado, ático e forro)	Leve refletora	$U \leq 2,30$	$\phi \leq 3,3$	FS _o $\leq 6,5$

Fonte: NBR 15220:2005

TABELA 2.30 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 8

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
verão	Ventilação cruzada permanente NOTA: O condicionamento passivo será insuficiente durante as horas mais quentes

Fonte: NBR 15220:2005

2.5.2 Considerações sobre a Norma de Desempenho Térmico

A caracterização do comportamento térmico de uma edificação no Brasil não deve ser feita apenas considerando parâmetros previamente definidos como a resistência térmica dos elementos de fechamento. É preciso considerar também todas as trocas térmicas dinâmicas que ocorre nos ambientes (IPT, 1998; AKUTSU, 1998).

As diretrizes de projeto sugeridas na norma NBR 15220:2005 foram introduzidas para substituir o processo de avaliação detalhado desenvolvido pelo IPT (1998); baseado em simulações computacionais e medições em protótipos. Porém, como lembra Vittorino (2005), a norma NBR 15220:2005 “(...) não foi concebida para ser usada como uma ferramenta de avaliação de desempenho, como pode ser visto no objetivo e no caráter dos próprios anexos, onde as diretrizes construtivas são informativas e foram concebidas para assim o serem e não normativas”.

Dessa forma, no processo de avaliação de desempenho térmico dos objetos de estudo, as recomendações de projeto (de caráter informativo) existentes na norma NBR 15220:2005 serão adotadas apenas como condicionantes climáticos em uma etapa anterior a simulação computacional, desconsiderando a adoção dessas diretrizes construtivas como método de avaliação.

2.6 Discussão das recomendações de projeto

A seguir serão discutidas as diretrizes propostas pela Norma de Desempenho Térmico e outras estratégias que contribuem com o condicionamento térmico natural das edificações.

2.6.1 Ventilação no verão

De acordo com Izard e Guyot (1980), existem pelo menos três razões para promover a ventilação dos ambientes: manter as condições de salubridade, contribuir para o conforto térmico e refrigerar as estruturas internas do edifício por meio do intercâmbio térmico entre o ar e as paredes.

A ventilação é uma estratégia de resfriamento natural por meio da renovação do ar no ambiente construído. No verão, a finalidade principal da ventilação é aumentar a dissipação do calor humano por convecção e evaporação para se atingir a sensação de conforto. A ventilação pode melhorar a sensação térmica se a temperatura do interior ultrapassar os 29 °C ou a umidade relativa for superior a 80 % (LAMBERTS *et al.*, 1997).

A ventilação necessária para conforto no verão depende de outras variáveis do ambiente (temperatura radiante média, temperatura do ar interno, etc.), uma vez que o conforto térmico está relacionado à dissipação do calor que o corpo humano está produzindo e o que eventualmente está recebendo do meio ambiente por convecção e/ou radiação (FRANSOZO, 2003).

Estratégias de projeto devem ser utilizadas quando a ventilação natural implicar em um ambiente interno confortável. No planejamento da ventilação de uma edificação, podem-se destacar os seguintes recursos de projeto: adequar a forma e a orientação da edificação à brisa dominante para produzir correntes de ar cruzadas; projetar espaços fluidos; facilitar a ventilação vertical; utilizar elementos para direcionar o fluxo de ar

para o interior e verificar a influência do posicionamento das aberturas nas fachadas (SOUZA, 2006).

Dentre as soluções arquitetônicas comumente utilizadas, a ventilação cruzada é proporcionada por aberturas em paredes opostas (ou diferentes) com diferenciais de pressão provocados pela ação do vento (FIG. 2.11).

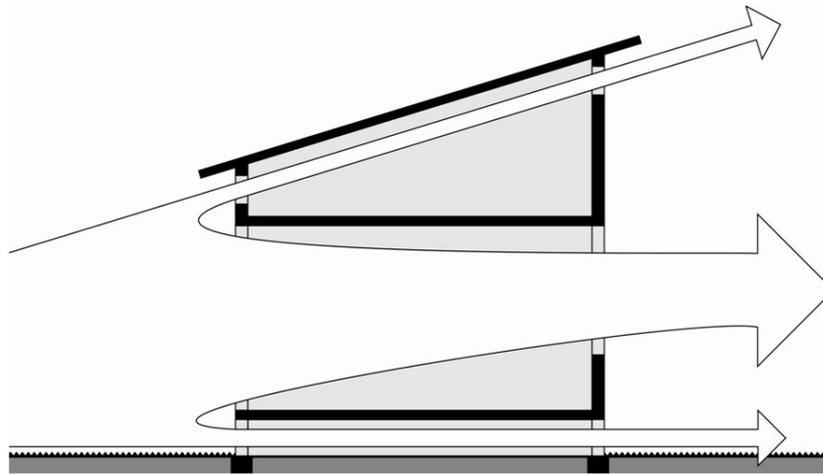


FIGURA 2.11 – Elevação: ventilação da cobertura, ventilação cruzada e ventilação do piso sob a edificação.

A utilização da ventilação cruzada diurna é recomendável somente quando o conforto interno pode ser garantido pela temperatura externa, porque a temperatura interna de um edifício ventilado naturalmente tende a aproximar-se da externa.

As saídas de ar quente devem ser feitas na parte mais alta do ambiente para evitar a formação de uma camada de ar estagnada. Já as entradas de ar devem ser consideradas na parte inferior dos ambientes (MONTENEGRO, 1984). Na FIG. 2.12 representa-se um esquema de circulação de ar de grande flexibilidade, pois o sentido da ventilação não altera a eficiência da renovação do ar interno.

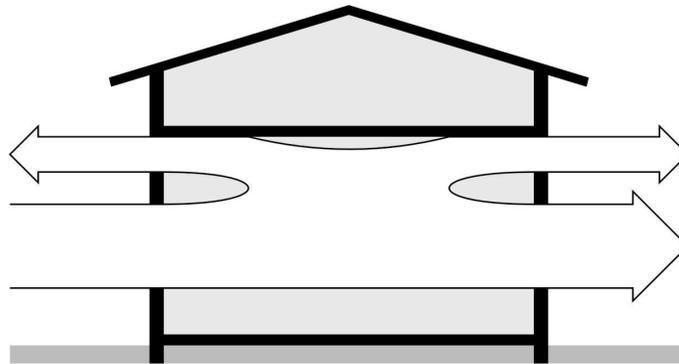


FIGURA 2.12 – Esquema de circulação de ar.

2.6.2 Proteções solares

A principal causa de desconforto térmico num clima tropical é o ganho de calor produzido pela absorção da energia solar que atinge o envelope das edificações. Dessa forma, é essencial contemplar no projeto arquitetônico a proteção da radiação solar.

Segundo Corbella (2003), as principais estratégias para combater o ganho de calor devido à radiação solar são: posicionar o edifício de maneira a obter a mínima carga térmica devida à energia solar; proteger as aberturas contra a entrada do sol; dificultar a chegada do sol às superfícies do envelope do edifício, minimizar a absorção do sol pelas superfícies externas e determinar a orientação e o tamanho das aberturas.

Por meio da utilização de *brise-soleils*, paredes de cobogós e vegetação podem-se proteger as superfícies do edifício da radiação solar direta. O controle das áreas envidraçadas é indispensável e tem que ser diferente para cada orientação. Para as condições climáticas de um país tropical do hemisfério sul, a fachada norte deve ser protegida por para-sóis horizontais, pois nessa fachada haverá trajetórias solares predominantemente horizontais e elevadas. Caso a fachada não seja perfeitamente norte, deve-se utilizar uma combinação de elementos horizontais e verticais (grelha).

Em um estudo de simulação de energia solar recebida, realizado para quatro edificações com a mesma área construída e altura, para um dia típico de verão em Porto Alegre, foram apresentados valores diferentes em relação à incidência da radiação solar nas

fachadas (FIG 2.13). Diminuindo a área das fachadas mais castigadas pelo sol (leste e oeste), reduz-se a energia solar incidente em 20% (CORBELLA, 2003). Se o teto for protegido (teto ventilado e refletor), brises horizontais forem colocadas na parede norte e verticais na parede sul e vegetação no leste e oeste pode-se reduzir ainda mais a carga térmica solar recebida (FIG 2.14).

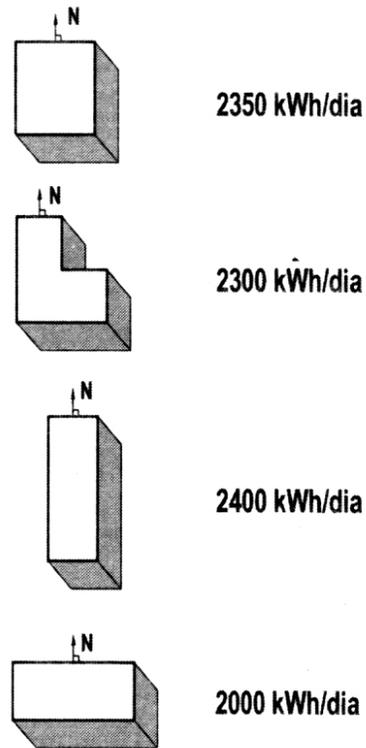


FIGURA 2.13 – Edifícios com a mesma área coberta e plantas diferentes. Fonte: Corbella (2003), p. 221.

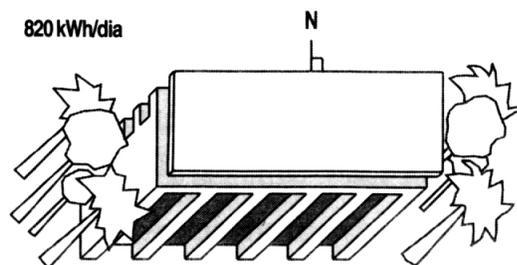


FIGURA 2.14 – Edifício com menor carga térmica solar. Fonte: Corbella (2003), p. 221.

2.6.3 Aquecimento solar e massa térmica no inverno

As temperaturas de bulbo seco 14 °C e 20 °C delimitam no diagrama bioclimático a zona de aquecimento solar e massa térmica. Nessa região pode-se utilizar a massa térmica junto ao aquecimento solar passivo ou o aquecimento solar passivo com isolamento térmico (LAMBERTS *et al.*, 1997).

A massa térmica com ganho solar pode compensar as baixas temperaturas pelo armazenamento de energia (FIG 2.15). O calor armazenado nas paredes da edificação evita a oscilação e os picos durante o dia e é devolvido ao interior dos ambientes nos horários mais frios, geralmente à noite. Este fenômeno denominado inércia térmica está associado à capacidade de um componente da envolvente de amortecer e atrasar a onda de calor.

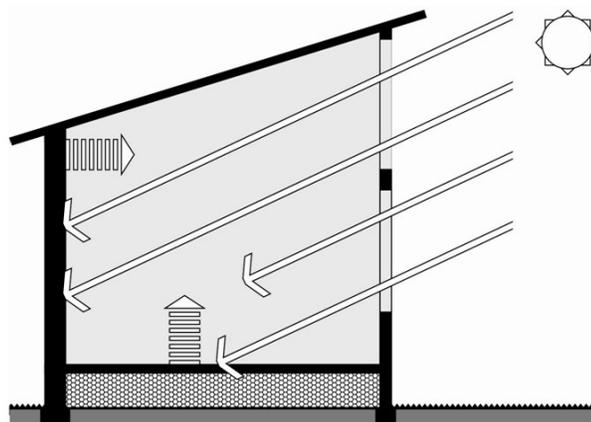


FIGURA 2.15 – Elevação: Uso da energia solar e inércia térmica nas paredes internas e no piso.

Comparando a taxa de calor que atravessa uma parede fictícia de peso nulo (q_1) e outra real (q_2), tem-se o esquema apresentado na FIG. 2.16, que exemplifica o fenômeno da inércia térmica por meio do amortecimento da taxa de calor q_2 . A inércia térmica é função da massa específica do fechamento, da sua condutividade térmica e do seu calor específico.

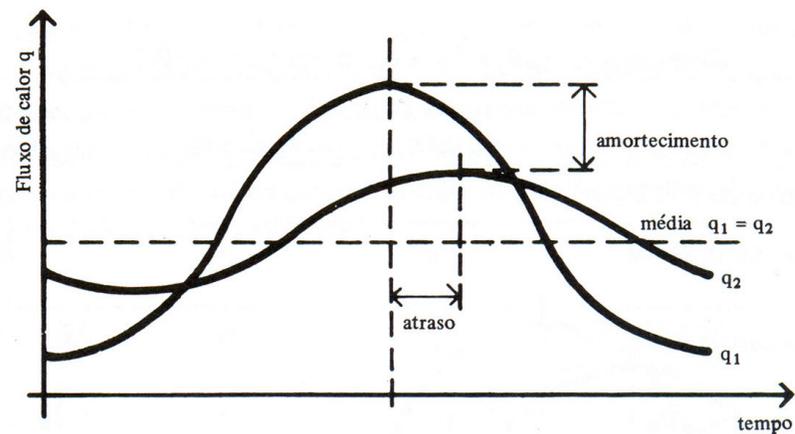


FIGURA 2.16 – Comparação da inércia térmica de uma parede real (q_2) e de uma parede fictícia de peso nulo (q_1).
 Fonte: FROTA e SCHIFFER, 2003, p. 49.

Mesmo em um clima tropical, a inércia térmica exerce uma influência reguladora nas flutuações da temperatura, contribuindo com o conforto ambiental. Embora, nos climas quentes e úmidos as construções não devam ter uma inércia térmica muito grande, para não evitar a retirada do calor armazenado pela ventilação noturna. Um exemplo de fechamento com alto poder de armazenamento de calor são as paredes *tromble*. As paredes *tromble* (ou muro coletor) localizam a massa de acumulação térmica entre o espaço a ser aquecido e as vidraças com orientação norte.

Considerando o balanço térmico das paredes *tromble*, a energia absorvida pelo muro aquece sua superfície externa e depois sua massa. Posteriormente, o calor migra através da parede por condução, chegando à face interna depois de certo tempo, atuando como defasador e amortecedor das ondas de calor exteriores (FIG 2.17). As paredes de acumulação em alvenaria retardam por várias horas a transmissão de calor (BROWN, 2004).

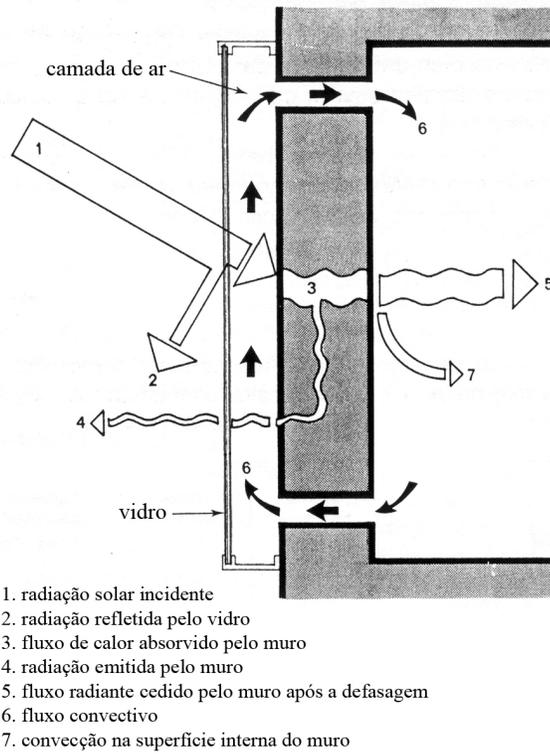


FIGURA 2.17 – Corte esquemático de uma parede de acúmulo térmico.
 Fonte: Adaptado de IZARD e GUYOT, 1980, p. 106.

No aquecimento solar com isolamento térmico evita-se a perda de calor da edificação para o exterior enquanto se aproveitam os ganhos de calor internos aumentando a temperatura interior (FIG 2.18).

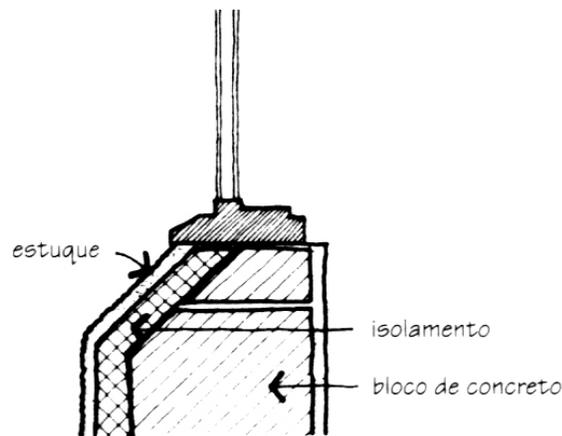


FIGURA 2.18 – Corte esquemático de uma parede com isolamento térmico externo.
 Fonte: BROWN, 2004, p. 262.

2.6.4 O uso de vegetação

Nos climas quentes, o entorno do edifício tratado com vegetação é capaz de transformar o microclima, tornando-o confortável termicamente. Segundo Rivero (1986), apesar da grande quantidade de energia absorvida, a temperatura superficial das folhas das árvores e gramados não é elevada, mantendo-se sempre abaixo da temperatura dos corpos inertes vizinhos. Além disso, a energia refletida pelas folhas é pequena, estando compreendida entre 15% e 30%. Para comprovar essas afirmações, Rivero (1986) apresentou um corte esquemático de uma rua onde são fornecidas as temperaturas superficiais de algumas de suas partes (FIG 2.19). Mesmo a grama ao sol tem uma temperatura menor que a calçada à sombra.

Em regiões quentes, é conveniente ter no entorno gramados nos solos. A massa de ar próxima do edifício terá temperatura menor e conseqüentemente o ar que ingressa no ambiente interior terá melhores condições térmicas.

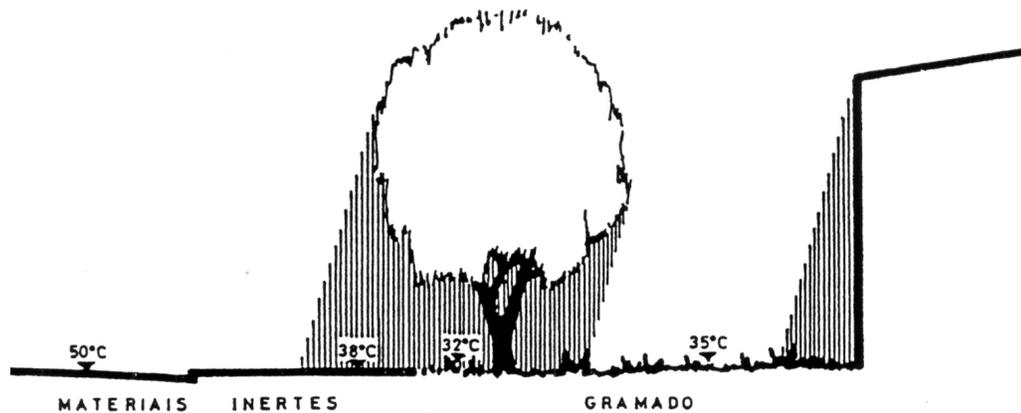


FIGURA 2.19 – Corte esquemático de uma rua.
 Fonte: RIVERO, 1986, p. 157.

O uso da vegetação influi também no umedecimento do ar. No meio urbano, o consumo do calor latente pela evaporação do vapor d'água liberado pela folhagem da vegetação permite obter uma redução da temperatura ambiente. Porém, o uso de vegetação como forma direta de resfriamento evaporativo no verão, pode não ser eficiente, devido aos níveis elevados de umidade do ar nesta época.

2.7 Edifícios eficientes

2.7.1 Introdução

Segundo o LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações) (apud CAPELLO, 2006), a expressão *eficiência energética* “consiste em reduzir o consumo de energia em construções novas e existentes, por meio da implantação de tecnologias de iluminação, condicionamento de ar e isolamento térmico, sem acarretar queda nos níveis de conforto (...)”.

Na década de 70, surgiu o conceito de *green building* na Europa e nos Estados Unidos. Esse termo faz referência aos investimentos em tecnologias estimulados por programas de incentivo governamental para aumentar o desempenho ambiental das construções, visando otimizar o consumo de água e energia como resposta a crise do petróleo.

No Brasil, a preocupação com o aumento da eficiência energética de edificações e uso racional da água é mais recente, mas já afeta o setor da construção civil. Com o aumento do poder aquisitivo da população, o setor residencial passou a demandar mais energia, impulsionada por novas ligações à rede elétrica e compra de bens de consumo elétricos. Além disso, o atendimento ao déficit habitacional brasileiro, avaliado em 6.656.526 novas moradias para o ano 2000⁶ deverá ser acompanhado do crescimento expressivo da demanda de energia.

A adoção dos conceitos de melhoria do desempenho energético no projeto de edifícios é capaz de se reverter em benefícios econômicos. Segundo os dados do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL (2006), a energia consumida nas edificações pode ser economizada em 30 % podendo chegar a 50 %, se as medidas de racionalização do uso da energia forem adotadas em fase de projeto.

⁶ Dados do centro de estatística e informações da Fundação João Pinheiro. Disponível em: <www.fjp.gov.br>. Acesso em: 29 maio. 2006.

A seguir é apresentado um estudo de caso de um dos edifícios no Brasil que incorporam os conceitos de melhoria do desempenho energético, obtendo resultados satisfatórios.

2.7.2 A Casa Eficiente

A Casa Eficiente é resultado da parceria entre a Eletrosul, Eletrobrás/PROCEL e do LabEEE da Universidade Federal de Santa Catarina (CASA EFICIENTE, 2006). Trata-se de uma casa modelo construída em Florianópolis que tem como objetivo divulgar tecnologias de ponta de eficiência energética e conforto ambiental voltadas para edificações. A Casa Eficiente também funciona como laboratório de testes da eficácia de medidas que visam a eficiência energética (FIG. 2.20).



FIGURA 2.20 – Fachada da Casa Eficiente.
Fonte: CAPELLO, 2006, p. 40.

Desde as etapas iniciais de conceituação e concepção do projeto arquitetônico da Casa Eficiente, as soluções de eficiência energética adotadas visavam também a sustentabilidade da edificação. Para isso, considerou-se o impacto do projeto sobre as gerações futuras, considerando no ambiente construído a inter-relação do uso da energia e da água, materiais, emissão de poluentes e transporte.

Na metodologia de concepção do projeto, foi feita uma caracterização climática da cidade de Florianópolis, fazendo um estudo das variáveis climáticas (Temperatura de

bulbo seco, velocidade e direção do vento, nebulosidade, umidade relativa do ar e irradiação solar) e uma análise da carta bioclimática de Florianópolis, definindo as estratégias bioclimáticas mais adequadas à cidade. Dentre os princípios bioclimáticos incorporados no projeto, pode-se destacar:

i) Estudo da insolação

A orientação da edificação privilegiou as fachadas norte-sul para localizar as aberturas, a fim de aproveitar a radiação solar nos períodos de inverno. As fachadas leste e oeste ficaram cegas (FIG. 2.21).



FIGURA 2.21 – Perspectivas da Casa Eficiente mostrando a insolação sobre as fachadas cegas leste e oeste.
Fonte: CAPELLO, 2006, p. 40.

ii) Vegetação

A vegetação foi utilizada como proteção solar e para a criação de microclima local, diminuindo a velocidade do vento sul por meio de sua disposição em barreira.

iii) Inércia e isolamento térmico

O uso de inércia térmica e isolamento tiveram por objetivo a redução dos ganhos térmicos nos períodos de desconforto por calor e perdas térmicas nos períodos de desconforto por frio. Para diminuir as amplitudes térmicas internas, foram utilizadas paredes duplas com 25 mm, em tijolo cerâmico maciço com uma camada de lã de rocha.

iv) Ventilação noturna e diurna

Para possibilitar uma ventilação cruzada eficiente, os ambientes foram descolados uns em relação aos outros para permitir pelo menos duas aberturas externas por ambiente (FIG. 2.22).

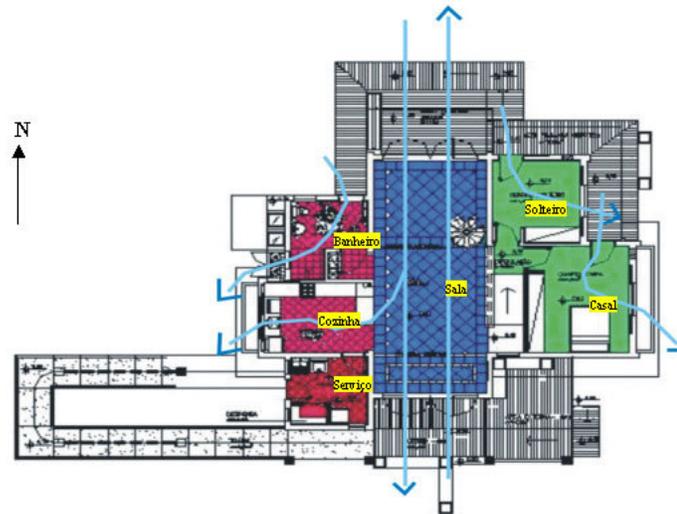


FIGURA 2.22 – Croquis da planta indicando o uso de árvores como barreira para o vento sul.
 Fonte: CAPELLO, 2006, p. 40.

v) Sistema de aquecimento dos quartos

Os quartos são aquecidos pela circulação forçada de água quente em tubulação de cobre presa ao rodapé, proporcionando transferência de calor para o ambiente por radiação e convecção. A água que circula no sistema de aquecimento provém dos efluentes tratados pelo sistema biológico de zona de raízes.

vi) Sistemas complementares

Na orientação norte da cobertura, foram previstos os sistemas fotovoltaicos e de aquecimento solar de água.

vii) Uso racional de água

O sistema hidráulico da casa inclui a coleta das águas pluviais das superfícies de cobertura por meio de calhas integradas ao projeto, com o uso de equipamento de filtragem e reservatório de armazenamento (cisterna), e reuso dos efluentes após tratamento biológico por zona de raízes. O tratamento de efluentes por Zona de Raízes

constitui-se na vazão por gravidade dos efluentes através de um leito filtrante. As camadas são preenchidas com material de resíduo abundante na região de Florianópolis, como cascas de ostras.

2.7.3 Certificação para edifícios eficientes

No Brasil ainda não existem parâmetros de certificação de edifícios energeticamente eficientes. Existem certificados em versões americana - LEED (GBC, 2006) e inglesa - BREEM. Em Florianópolis, o edifício *Primavera Green Office* da construtora Bautec está cadastrado para receber a certificação americana LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*). No projeto do edifício, o uso racional da água é assegurado ao se prever o re-uso de água originada da captação de chuva ou pelo re-uso dos efluentes da estação de tratamento de esgoto, sendo neste caso destinado a irrigação dos jardins. Visando a economia de energia elétrica, foi dada prioridade à iluminação e ventilação naturais (FIG. 2.23). O sistema de ventilação mecânica e de ar-condicionado tem nível secundário sendo utilizado em horas em que os dispositivos arquitetônicos são insuficientes para promover conforto térmico.

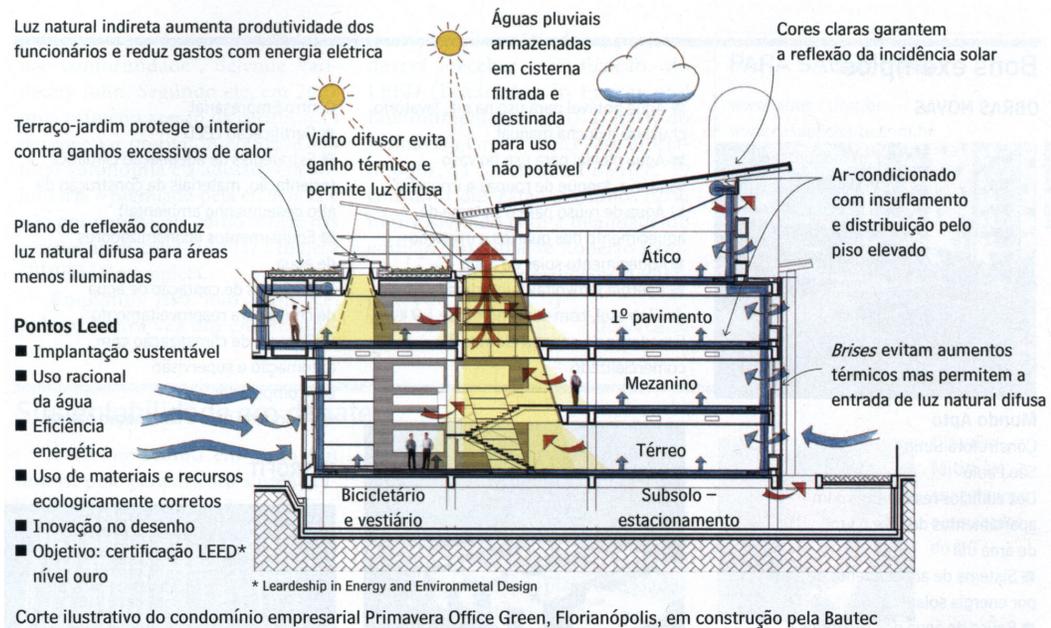


FIGURA 2.23 – Corte esquemático da condomínio empresarial Primavera Office Green. Fonte: CAPELLO, 2006, p. 43.

2.8 Considerações finais

A implantação de medidas que visam a eficiência energética e o bom uso da água nas edificações começa no projeto. Priorizar o projeto é garantir economia sem grandes investimentos. Mas para isso, o corpo técnico responsável pela obra deve estar capacitado para lidar com essa nova filosofia. Na habitação popular, por exemplo, muitas adaptações climáticas e soluções que buscam a sustentabilidade no projeto, deixam de ser relevantes na execução da obra devido ao apelo econômico que ocorre nessa tipologia.

Além disso, é preciso considerar a gestão das ações de eficiência energética e o uso racional da água. O processo de implantação dessas medidas não termina quando se entrega a obra. Com a gestão da incorporação das novas tecnologias podem-se reduzir as despesas da pós-ocupação, evitando uma situação de inadimplência na manutenção da construção que leve o morador de uma habitação popular a manter o imóvel.

CAPÍTULO III

3 O SISTEMA *LIGHT STEEL FRAMING*

3.1 Introdução

Historicamente, o *Light Steel Framing* (LSF) possui sua origem nas habitações em madeira construídas pelos colonizadores em território americano no início do século XIX. Na construção dessas habitações foram empregados conceitos da revolução industrial como praticidade, produtividade e velocidade, para atender ao crescimento rápido da população americana. Segundo a Consul Steel¹, (*apud* CRASTO, 2005), esse método, conhecido por *Balloon Framing*, era constituído por uma estrutura formada por peças em madeira serrada, de pequena seção transversal, espaçadas regularmente em 400 ou 600 mm.

Posteriormente, a estrutura de madeira (*woodframe*) foi sendo substituída lenta e gradualmente pelos perfis de aço, impulsionado pelo grande desenvolvimento da indústria desse setor nos Estados Unidos. Na metade do século XX, as siderúrgicas americanas começaram a desenvolver a tecnologia dos aços galvanizados (JARDIM e CAMPOS, 2005). Em 1933, na Feira Mundial de Chicago, foi apresentado um protótipo de uma residência em *Light Steel Framing* que utilizava os perfis de aço substituindo a madeira.

A partir do início do século XX, o aço galvanizado passou a ser utilizado como sistema estrutural nas edificações australianas como uma alternativa frente às dificuldades no tratamento da madeira contra o ataque de pragas e doenças (TENÓRIO, 2000). Após a Segunda Guerra, houve uma evolução dos processos de fabricação de perfis formados a frio devido ao crescimento da economia americana e ao excedente de aço. Devido a

¹ CONSUL STEEL. *Construcción con acero liviano* – Manual de Procedimento. Buenos Aires: Consul Steel, 2002. 1 CD-ROM. 258 p.

maior resistência e eficiência estrutural do aço e a capacidade de resistir às catástrofes naturais, o uso do *Light Steel Framing* passou a ser vantajoso nos Estados Unidos.

Em países onde a construção civil é predominantemente industrializada, o *Light Steel Framing* é bastante empregado. Atualmente, o mercado do aço no Japão é altamente desenvolvido, detendo o maior conhecimento na área de construções em perfis leves. De acordo com Jardim e Campos (2005), em 2004 registrou-se nos Estados Unidos 500.000 casas que utilizam esse sistema.

No Brasil, o LSF vem ganhando projeção no mercado nacional devido ao esforço da iniciativa privada. Em várias regiões do país, podem-se encontrar residências, escolas e hospitais construídos com esse sistema (FIG. 3.1 e 3.2).



FIGURA 3.1 – Protótipo *USIframe*.
Fonte: USIMINAS, 2005.



FIGURA 3.2 – Residência em São Paulo.
Fonte: CRASTO, 2005. p. 17.

De acordo com Crasto (2005), os principais benefícios e vantagens no uso do sistema LSF em edificações são os seguintes:

- Os produtos que constituem o sistema são padronizados de tecnologia avançada, em que os elementos construtivos são produzidos industrialmente, onde a matéria prima utilizada, os processos de fabricação, suas características técnicas e acabamento passam por rigorosos controles de qualidade;
- Facilidade de obtenção dos perfis formados a frio, uma vez que são largamente utilizados pela indústria;
- O aço é um material de comprovada resistência e o alto controle de qualidade, tanto na produção da matéria-prima quanto de seus produtos, permite maior precisão dimensional e melhor desempenho da estrutura;
- Facilidade de montagem, manuseio e transporte devido à leveza dos elementos;
- Durabilidade e longevidade da estrutura, proporcionada pelo processo de galvanização das chapas de fabricação dos perfis;
- Construção a seco, o que minora o uso de recursos naturais e o desperdício;
- Os perfis perfurados previamente e a utilização dos painéis de gesso acartonado facilitam as instalações elétricas e hidráulicas;
- Facilidade na execução das ligações;
- Rapidez de construção;
- O aço é um material incombustível e reciclável;
- Grande flexibilidade no projeto arquitetônico.

Dentre as poucas desvantagens do sistema *Light Steel Framing*, uma das principais está relacionada à quantidade de pavimentos possíveis. No Brasil, podem-se construir edifícios com gabarito máximo de seis pavimentos. Outra desvantagem é aquela relacionada à ausência de revendas especializadas do sistema em algumas regiões do País.

Neste capítulo, faz-se uma revisão sobre o sistema construtivo *Light Steel Framing*, e enfocam-se os sistemas de fechamento vertical mais utilizados.

3.2 O sistema *Light Steel Framing*

O sistema construtivo *Light Steel Framing* possui concepção racionalizada e caracteriza-se por perfis de aço galvanizado, formados a frio, constituindo um esqueleto estrutural capaz de resistir às cargas que solicitam a edificação e por vários componentes e subsistemas inter-relacionados que possibilitam uma construção industrializada, com grande rapidez de execução e a seco. Os perfis de aço galvanizado são utilizados para compor painéis estruturais ou não-estruturais, vigas de piso, vigas secundárias, tesouras de telhado e demais componentes (FREITAS, 2006).

O LSF, também denominado por sistema auto-portante em aço de construção a seco, possui sua estrutura composta de paredes, pisos e cobertura; possibilitando a integridade estrutural da edificação (FIG. 3.3 e 3.4).

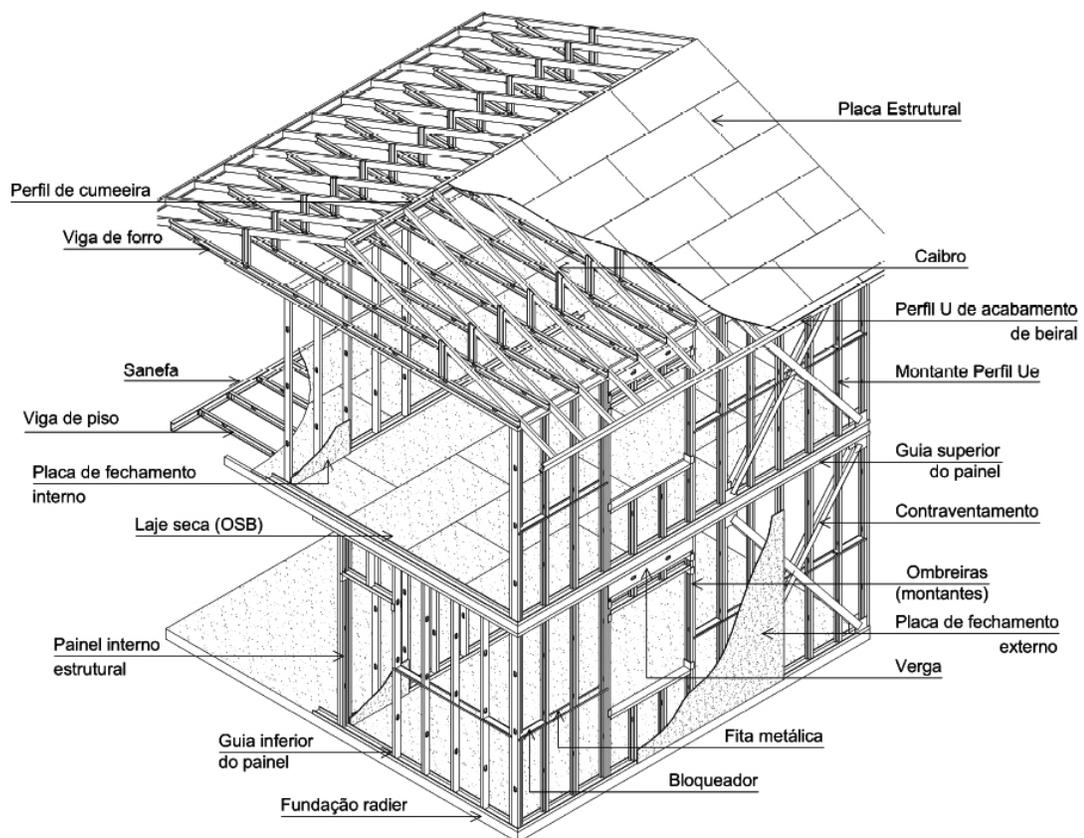


FIGURA 3.3 – Esquema de uma residência em *Light Steel Framing*.
Fonte: CRASTO, 2005, p. 13.

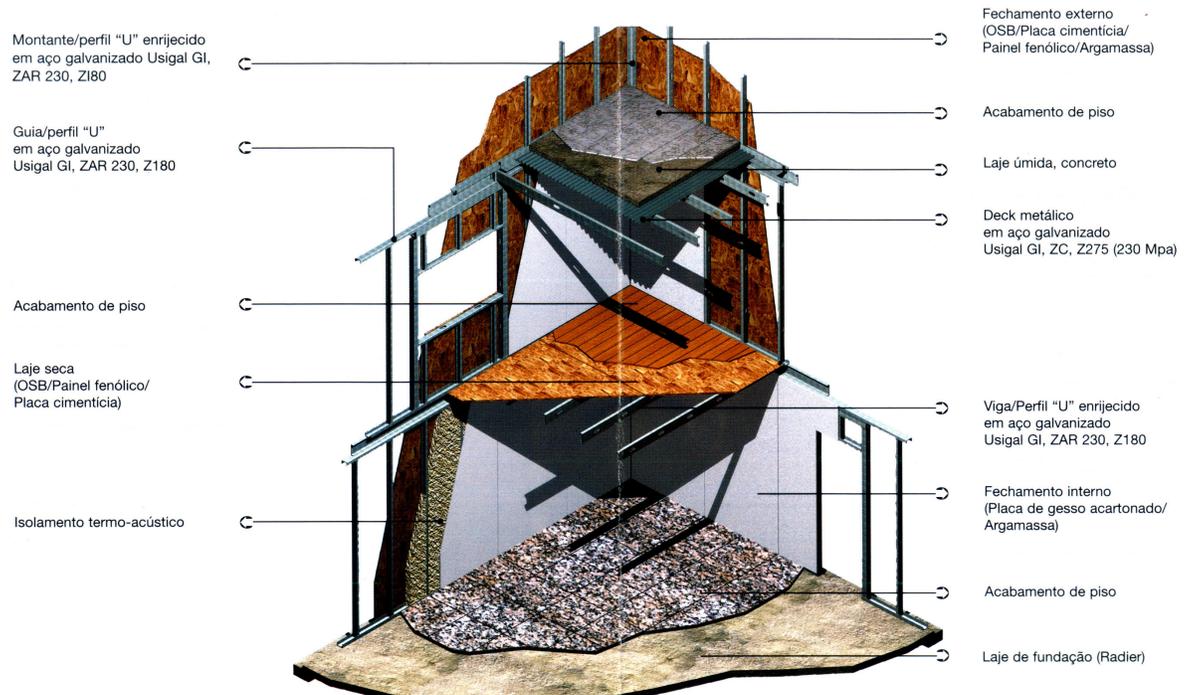


FIGURA 3.4 – Esquema estrutural do sistema *Light Steel Framing*
 Fonte: USIMINAS, 2005.

3.2.1 Tipos de perfis utilizados

Os perfis mais comuns para uso em *Light Steel Framing* possuem seções em formato de “C” ou “U” enrijecido (Ue) para montantes e vigas, “U” como guia da base e no topo de painéis e “Cartola” como ripas (FIG. 3.5).

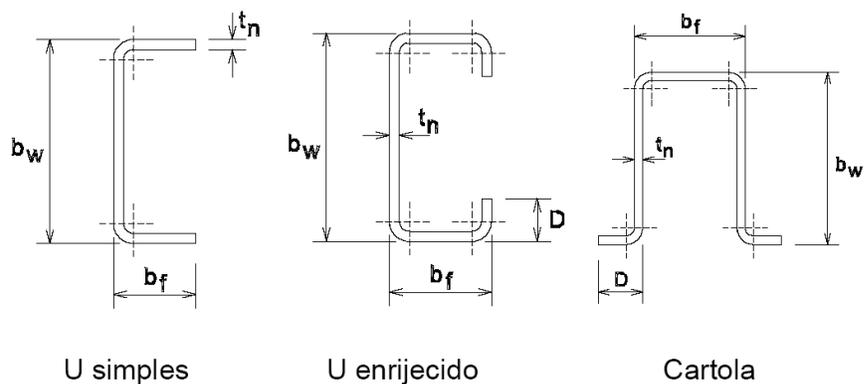


FIGURA 3.5 – Perfis típicos para uso em *Light Steel Framing* - “U simples”, “U enrijecido” e Cartola.

Fonte: CRASTO, 2005, p. 24.

As dimensões comercializadas no Brasil da alma (b_w) dos perfis Ue são 90, 140 e 200 mm. As mesas (b_f) podem variar de 35 a 40 mm, dependendo do fabricante e do tipo de perfil (TAB. 3.1).

TABELA 3.1 – Dimensões nominais usuais de perfis de aço

Dimensões (mm)	Designação	Largura da alma b_w (mm)	Largura da mesa b_f (mm)	Largura do enrijecedor de borda D (mm)
Ue 90x40	Montante	90	40	12
Ue 140x40	Montante	140	40	12
Ue 200x40	Montante	200	40	12
Ue 250x40	Montante	250	40	12
Ue 300x40	Montante	300	40	12
U 90x40	Guia	92	38	-
U 140x40	Guia	142	38	-
U 200x40	Guia	202	38	-
U 250x40	Guia	252	38	-
U 300x40	Guia	302	38	-
L 150x40	Cantoneira de abas desiguais	150	40	-
L 200x40	Cantoneira de abas desiguais	200	40	-
L 250x40	Cantoneira de abas desiguais	250	40	-
C 20x30	Cartola	30	20	12

Fonte: CEF, 2003.

3.2.2 Painéis

Os painéis estruturais ou autoportantes² têm a função de absorver e distribuir uniformemente as cargas, transmitindo-as à fundação. Esses painéis são constituídos por vários perfis galvanizados, de seções transversais Ue, denominados *montantes*, espaçados regularmente entre si de acordo com a modulação definida no cálculo estrutural, variando entre 400 e 600 mm. Essa modulação visa à otimização dos custos e mão-de-obra. Os materiais complementares industrializados são enquadrados na modulação, permitindo o controle de utilização e a minimização de desperdício dos fechamentos (JARDIM e CAMPOS, 2005).

² Os painéis também podem ser não-estruturais, funcionando apenas como fechamento externo ou divisória interna.

Os montantes dos painéis transferem as cargas verticais por contato direto por meio de suas almas, dentro do conceito de estrutura alinhada ou “*in-line framing*”. Eles são unidos em seus extremos inferiores e superiores pelas *guias* (seção transversal tipo U simples), constituindo um quadro estrutural (CRASTO, 2005).

Para resistir aos esforços horizontais que solicitam a estrutura, os montantes devem ser estabilizados por meio do *contraventamento* em “X” ou por meio de placas estruturais de fechamento funcionando como diafragma rígido (FIG. 3.6). Os painéis que possuem aberturas como portas e janelas necessitam de reforços estruturais como vergas para redistribuir o carregamento dos montantes interrompidos aos montantes que delimitam lateralmente o vão.



FIGURA 3.6 – Painel com contraventamento em “X”.
Fonte: CRASTO, 2005, p. 49.

Geralmente os painéis são executados em fábricas, garantindo boa produtividade, qualidade e melhores condições de trabalho. Mas, pode-se também executar os painéis no canteiro de obras (JARDIM e CAMPOS, 2005).

3.2.3 Lajes

A estrutura de piso em *Light Steel Framing* possui a mesma modulação e princípios estruturais dos painéis. Os perfis galvanizados, denominados *vigas de piso*, possuem seções transversais Ue e são dispostos na horizontal, servindo de apoio a superfície do contrapiso (FIG. 3.7). Dentro do conceito de estrutura alinhada, as almas das vigas de piso são apoiadas em coincidência com as almas dos montantes, garantido o predomínio de esforços axiais nos elementos da estrutura (CRASTO, 2005).



FIGURA 3.7 – Vigas de piso e contrapiso em OSB.
Fonte: CRASTO, 2005, p. 14.

Conforme a natureza do contrapiso, a laje pode ser denominada “seca” ou “úmida”. A laje é do tipo seca quando é composta por placas rígidas de OSB (*Oriented Strand Board*) ou cimentícias aparafusadas a estrutura do piso, servindo como contrapiso (FIG. 3.8). A placa de OSB com 18 mm é a mais utilizada, podendo desempenhar a função de diafragma horizontal. Em áreas molhadas, o uso da placa cimentícia é mais recomendado por sua resistência à umidade.

Pode-se empregar lã de vidro entre as vigas e manta de polietileno expandido entre o contrapiso e a estrutura para reduzir o nível de ruído entre um pavimento e outro. Dentre as vantagens no uso da laje seca, destaca-se a menor carga por peso próprio e a construção a seco, sem a necessidade da água na obra.

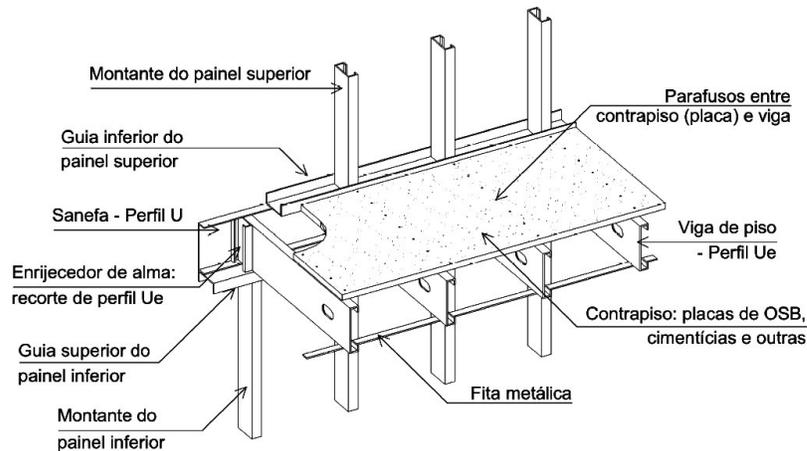


FIGURA 3.8 – Desenho esquemático de uma laje seca.
Fonte: CRASTO, 2005, p. 79.

A laje úmida é composta por uma chapa metálica ondulada que serve de fôrma para uma camada de 4 a 6 cm de concreto simples, formando a superfície do contrapiso (FIG. 3.9). Entre a fôrma metálica e o concreto, deve-se empregar um material de isolamento acústico como painéis de lã de vidro compacta protegido por um filme de polietileno, uma vez que o concreto não está plenamente aderido à fôrma metálica, podendo produzir ruídos na utilização normal do piso.

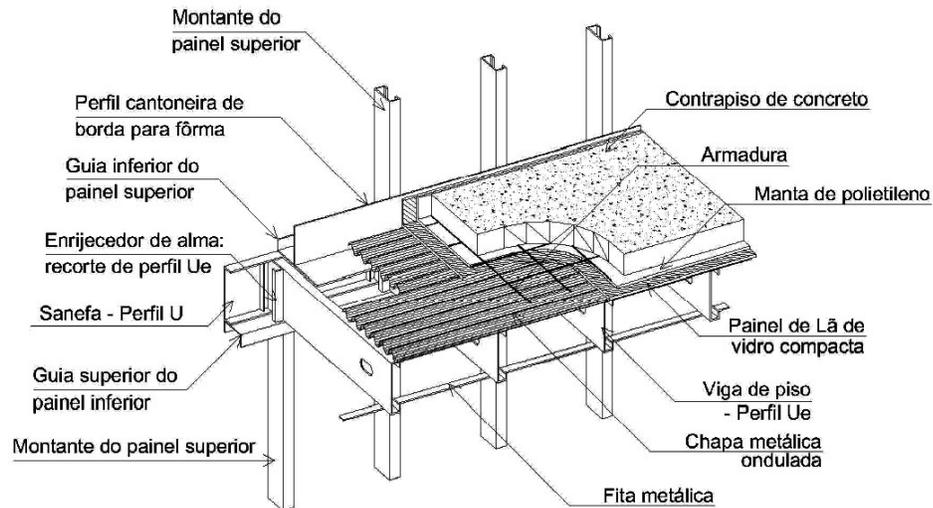


FIGURA 3.9 – Desenho esquemático de uma laje úmida.
Fonte: CRASTO, 2005, p. 77.

Os vãos recomendados para o vigeamento de piso em aplicações residenciais são de até 4,0 m, para o uso de perfis Ue com altura da alma de 200 mm, mesa de 40 mm e espessura de 0,95 mm. Para vãos maiores, pode-se utilizar uma viga principal, que é feita a partir da combinação de dois ou mais perfis.

3.2.4 Coberturas

O sistema *Light Steel Framing* possibilita grande variedade de soluções estruturais para os projetos de cobertura. Em coberturas inclinadas, a estrutura de um telhado em LSF assemelha-se a de um telhado convencional, podendo ser calculada para suportar telhas cerâmicas, metálicas, de cimento reforçado por fios sintéticos ou de concreto (FIG. 3.10). A estrutura em LSF também segue o princípio da estrutura alinhada: “a alma dos perfis que compõem tesouras ou caibros deve estar alinhada a alma dos montantes dos painéis de apoio e suas seções em coincidência de modo que a transmissão das cargas seja axial”³.



FIGURA 3.10 – Estrutura do telhado de uma residência em LSF.
Fonte: CRASTO, 2005, p. 15.

³ CRASTO, Renata Cristina Moraes de. *Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: light steel framing*. 2005. 231 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005. p. 97.

Para os telhados inclinados em *Light Steel Framing* com telhas cerâmicas é necessário o uso do OSB (protegido com uma manta de impermeabilização) como substrato de apoio (FIG. 3.11). Sobre o OSB, são colocados os perfis tipo cartola paralelos aos caibros para possibilitar o escoamento da água, e sobre estes são fixadas as ripas para o encaixe das telhas.

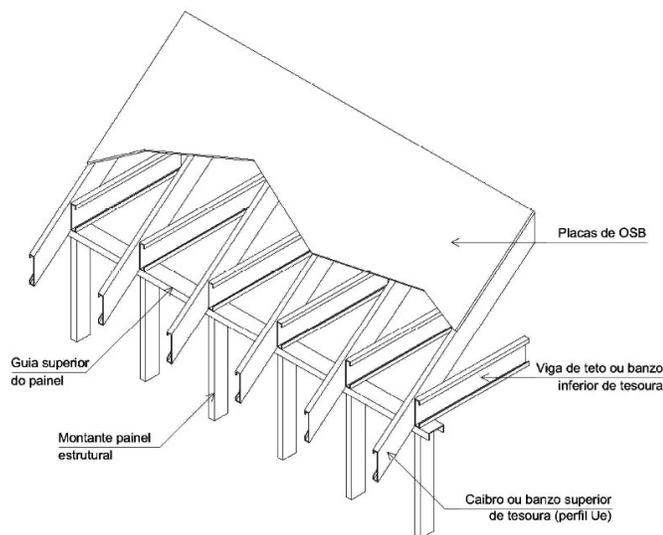


FIGURA 3.11 – Estrutura do telhado com placas de OSB como substrato de apoio.
Fonte: CRASTO, 2005, p. 97.

De acordo com Jardim e Campos (2005), quando o projeto arquitetônico permitir, devem-se dividir as sobrecargas da cobertura em uma direção e as do piso abaixo em outra para não concentrar o carregamento em apenas uma das paredes. A solução ideal é conduzir as cargas da cobertura diretamente até a fundação utilizando os montantes.

3.2.5 Fundação

A fundação no sistema LSF é contínua, uma vez que a estrutura distribui as cargas uniformemente ao longo dos painéis estruturais, e sua escolha depende da topografia, do tipo de solo, do nível do lençol freático e da profundidade de solo firme. Embora o processo de construção seja o convencional, a fundação deve ser bem projetada e executada para possibilitar maior precisão na montagem da estrutura e demais componentes do sistema (CRASTO, 2005).

Geralmente, a fundação utilizada no sistema LSF é a laje *radier*, que consiste em uma fundação rasa funcionando como uma laje, transmitindo as cargas da estrutura para o terreno. Basicamente, o *radier* é composto pela laje contínua de concreto e pelas vigas no perímetro da laje e sob as paredes estruturais ou colunas.

O tipo de ancoragem de um painel estrutural à laje *radier*, suas dimensões e espaçamentos são definidos pelo cálculo estrutural. A mais comum é a ancoragem química com barra rosca, colocada após a concretagem da fundação (FIG. 3.12). Uma peça em aço é conectada à barra rosca e à guia e aparafusada ao montante (geralmente duplo) fixando a estrutura.

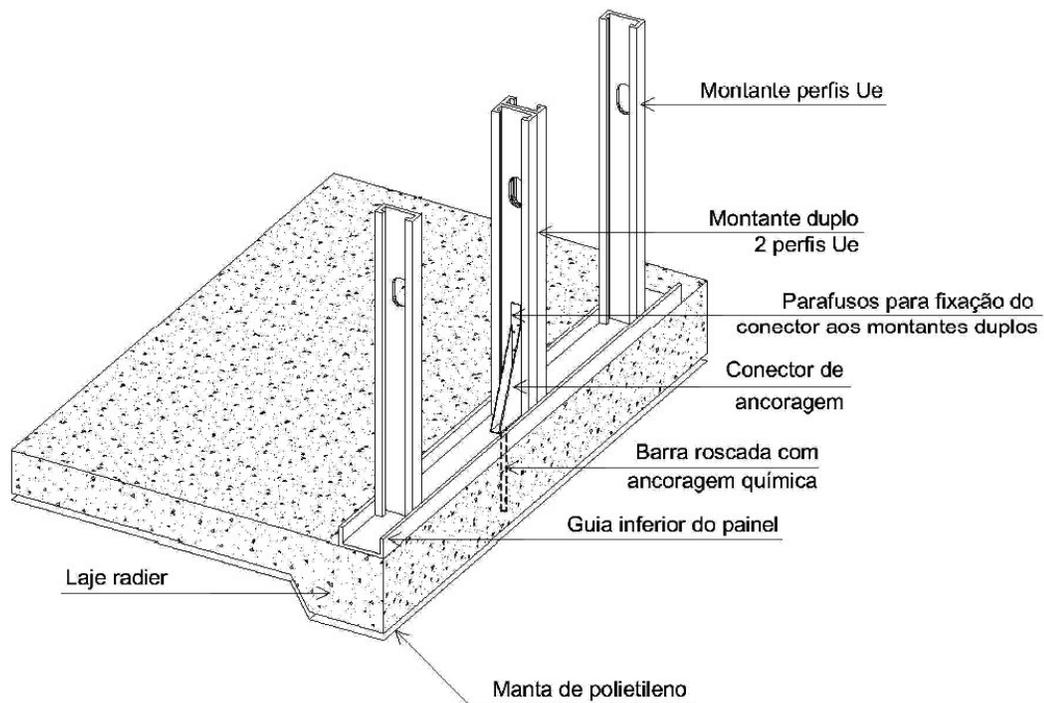


FIGURA 3.12 – Detalhe de ancoragem da estrutura à fundação.
Fonte: CRASTO, 2005, p. 35.

3.3 O fechamento vertical no sistema LSF

3.3.1 Características gerais

O fechamento vertical influencia significativamente na racionalização da produção de edifícios com estrutura metálica. A introdução de novas tecnologias nessa área, como novos materiais, componentes e sistemas construtivos propiciam aumento do desempenho da edificação como um todo, além de criar condições de segurança e habitabilidade aos usuários. Maior organização e limpeza no canteiro de obras, redução do prazo de execução, facilidade de introdução de isolamentos e precisão dimensional são algumas das vantagens da utilização do sistema de fechamento vertical industrializado (KRUGER, 2000).

No LSF, os fechamentos internos e externos da edificação são formados por seus componentes, posicionados externamente à estrutura, e pelos perfis galvanizados. Os componentes de fechamento devem ser constituídos por elementos leves a fim de constituir um sistema de fechamento de baixo peso próprio, compatível com o conceito da estrutura. O fechamento vertical empregado deve ser um sistema racionalizado que propicie uma obra rápida e seca. Os componentes empregados nos fechamentos devem atender aos critérios de habitabilidade, segurança, desempenho estrutural, resistência e reação ao fogo, estanqueidade à água, conforto termo-acústico, durabilidade e estética.

No Brasil, são disponibilizadas placas em diversas espessuras para o fechamento de construções em LSF. Segundo Crasto (2005), os produtos mais utilizados no mercado nacional são: o OSB, a placa cimentícia e o gesso acartonado em aplicações internas.

Em 2003, a Caixa Econômica Federal ⁴ lançou um manual com o objetivo de estabelecer os requisitos e condições mínimas para financiamento de empreendimentos com o sistema *Light Steel Framing*. No manual de execução da Caixa Econômica

⁴ CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. *Sistema Construtivo utilizando perfis estruturais formados a frio de aços galvanizados (steel framing)*: requisitos e condições mínimas para financiamento pela CAIXA. 2003.

Federal (CEF, 2003), são recomendados os seguintes fechamentos para edificações com até quatro pavimentos:

- Placa de gesso acartonado para paredes internas;
- Tela expandida de aço zincado com argamassa projetada, para paredes internas e externas;
- Chapa de OSB com barreira de vapor e tela de poliéster aplicadas sobre ela, e revestida com argamassa projetada, para paredes internas e externas;
- Placa cimentícia revestida com argamassa projetada ou outros revestimentos convencionais de cobertura, para paredes internas e externas.

Para as construções objeto de financiamento pela Caixa (CEF, 2003), outras restrições referem-se aos pisos dos pavimentos e cobertura que devem ser feitos utilizando concreto aplicado sobre forma-laje incorporada de aço, à cobertura que deve utilizar telhas cerâmicas, de concreto, metálicas e de cimento reforçado por fios sintéticos e ao isolamento termo-acústico, que deve ser garantido pela câmara de ar interna das paredes ou por mantas térmicas; e por meio de grelhas de ventilação na cobertura caso seja necessário. Segundo o manual da Caixa, a edificação deve atender aos requisitos de conforto térmico exigidos pelo documento “Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social”⁵.

3.3.2 Painéis de OSB

As placas de OSB são constituídas por tiras de madeira de reflorestamento orientadas em três camadas perpendiculares, unidas com resinas e prensadas sob alta temperatura (MASISA, 2003). O OSB é utilizado como fechamento da face interna e externa dos painéis, em forros, pisos e como substrato para cobertura do telhado. O OSB é mais utilizado como fechamento externo com acabamento impermeável (FIG. 3.13).

⁵ INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. *Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social*. São Paulo: Ed. Mandarim Ltda, 1998. 82p. (Relatório Técnico nº 33.800).



FIGURA 3.13 – Fachada com fechamento externo em OSB e placas de OSB impermeabilizadas.
Fonte: CRASTO, 2005, p. 127 e 128.

As chapas de OSB são comercializadas nas dimensões de 1,22 m x 2,44 m com espessuras que variam entre 9, 12, 15 e 18 mm. A espessura das chapas é determinada pelo tipo de acabamento (argamassa ou *siding*), espaçamento entre montantes e função estrutural (se trabalha como diafragma rígido) (TAB. 3.2). As placas podem ser transportadas manualmente e são fixadas por meio de parafusos auto-brocantes e auto-atarraxantes específicos aos perfis galvanizados, de forma semelhante ao método de fixação do gesso acartonado no sistema *drywall*.

TABELA 3.2 – Espessura mínima das placas de OSB de acordo com espaçamento entre montantes e tipo de revestimento.

OSB com revestimento leve tipo Siding vinílico		
Aplicação	Espaçamento máximo entre montantes	Espessura mínima
Horizontal	400 mm	9 mm
	600 mm	9 mm
Vertical	400 mm	12 mm
	600 mm	12 mm
OSB com revestimento tipo argamassa		
Aplicação	Espaçamento máximo entre montantes	Espessura mínima
Horizontal	400 mm	12 mm
	600 mm	12 mm
Vertical	400 mm	12 mm
	600 mm	15 mm

Fonte: CRASTO, 2005, p. 126.

Segundo Crasto (2005), devem-se prever juntas de dilatação entre as placas de fechamento externo e proteção contra a umidade e a água por meio de uma manta ou membrana de polietileno de alta densidade (*Tyvek*), que reveste toda a área externa das placas. Esta manta garante a estanqueidade das paredes e evita a condensação no interior dos painéis, permitindo a passagem da umidade da parte interna do fechamento para o exterior.

Os painéis externos de OSB não devem estar em contato direto com o solo ou fundação. Deve ser feito um embasamento elevado para evitar o contato das placas com a umidade (FIG. 3.14).

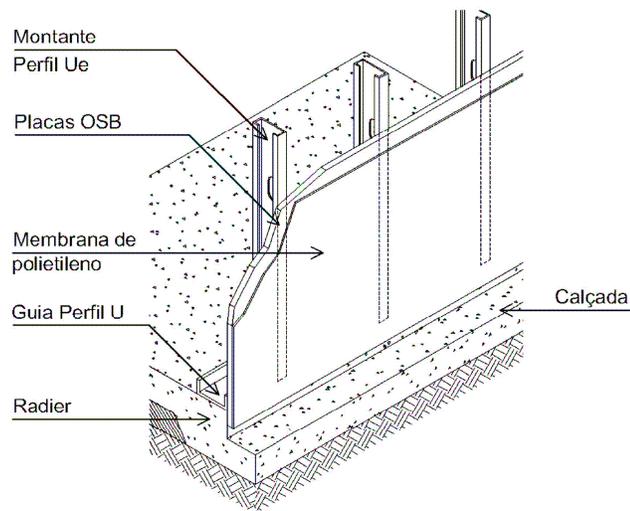


FIGURA 3.14 – Esquema do embasamento elevado.
Fonte: CRASTO, 2005, p. 129.

Para o acabamento final podem ser adotados o *siding* vinílico, de madeira ou cimentício e a argamassa. O *siding* é composto de placas paralelas, sendo o vinílico (feito com PVC) de melhor desempenho e concepção de execução mais industrializada. Esse revestimento é fornecido no mercado em painéis compostos por régua dupla com 5,0 m de comprimento e 25,0 cm de largura, com texturas que imitam a madeira e na cor branca (FIG. 3.15).



FIGURA 3.15 – Acabamento em *Siding* vinílico.
Fonte: CASTRO, 2006, p. 77.

O método mais indicado para o uso da argamassa revestindo as placas de OSB, consiste em aplicar a argamassa sobre a tela de galinheiro ou tela plástica resistente à alcalinidade. Para garantir a aderência da argamassa e evitar patologias, a tela deve estar disposta em duas camadas e fixada com grampos sobre a superfície do OSB impermeabilizada com a membrana de polietileno (FIG. 3.16). A argamassa deve ser aplicada uniformemente, cobrindo toda a tela.



FIGURA 3.16 – Restimento das placas de OSB com argamassa aplicada sobre tela de galinheiro.
Fonte: CRASSTO, 2005, p. 135.

3.3.3 Placas cimentícias

As placas cimentícias são utilizadas principalmente em áreas molhadas ou expostas a intempéries, mas podem constituir fechamentos externos e internos. Essas placas são compostas basicamente por uma mistura de cimento *Portland*, fibras de celulose ou sintéticas e agregados.

Dentre as características da placa cimentícia, destaca-se a grande resistência à umidade, o baixo peso próprio e a rapidez de execução. Os acabamentos como pintura ou revestimentos podem ser aplicados diretamente sobre as placas. No LSF, as chapas utilizadas são comercializadas nas dimensões que possuem largura fixa de 1,20 m e comprimentos que variam de 2,00 m, 2,40 m e 3,00 m; com espessuras de 6, 8 e 10 mm. A espessura das chapas é determinada conforme a aplicação. Na TAB. 3.3 apresenta-se a relação entre a espessura da placa cimentícia e a aplicação da linha *BrasiPlac* da BRASILIT.

TABELA 3.3 - Relação entre espessura da placa cimentícia e aplicação

Dimensões			Peso Placa (kg)	Aplicações Ideais
Espessura (mm)	Comprimento (mm)	Largura (mm)		
4	2,00	1,20	16,3	Para solução de pequenos arremates internos
	2,40	1,20	19,6	
	3,00	1,20	24,5	
6	2,00	1,20	24,4	Divisórias leves, forros, dutos de ar condicionado
	2,40	1,20	29,4	
	3,00	1,20	36,7	
8	2,00	1,20	32,6	Paredes internas e externas
	2,40	1,20	39,2	
	3,00	1,20	49,0	
10	2,00	1,20	40,8	Ideal no fechamento externo em sistemas LSF
	2,40	1,20	49,0	
	3,00	1,20	61,2	
12	2,00	1,20	48,9	Fechamentos que necessitem de maior espessura por questões físicas específicas
	2,40	1,20	58,8	
	3,00	1,20	73,5	

Fonte: BRASILIT, 2006.

Ainda não existem normas brasileiras específicas que controlem a qualidade de fabricação das placas cimentícias. As patologias de maior ocorrência nas placas cimentícias são as trincas no corpo da chapa e em juntas e revestimentos.

Assim, deve-se levar em consideração a variação dimensional das placas devido à temperatura e umidade do ambiente e a natureza dos acabamentos na especificação do tipo de junta. Além disso, deve-se utilizar argamassa colante e flexível no assentamento de peças cerâmicas em locais úmidos.

3.3.4 Chapas de gesso acartonado

As chapas de gesso acartonado são aplicadas no sistema LSF como fechamento vertical da face interna dos painéis estruturais e não-estruturais externos da edificação, e também como fechamento interno.

De acordo com Silva e Silva (200-), as vantagens da utilização de painéis de gesso acartonado em relação ao fechamento em alvenaria tradicional são:

- Menor massa, proporcionando um menor peso próprio dos fechamentos;
- Fácil acesso às instalações hidráulicas e elétricas;
- A qualidade superficial permite a aplicação direta do acabamento;
- Redução do volume de perda de material (se a utilização for planejada);
- Rapidez de execução do fechamento.

As chapas de gesso acartonado são fabricadas industrialmente por meio de um processo de laminação contínua de uma mistura de gesso, água e aditivos entre duas lâminas de cartão. A configuração das chapas combina a resistência à compressão do gesso com a resistência à tração do cartão. As chapas de gesso possuem espessuras de 9,5; 12,5 e 15 mm, largura de 1.200 mm e comprimentos que variam de 1.800 a 3.600 mm (IPT, 2002).

No mercado nacional são disponibilizados três tipos de chapas:

- Placa *Standard* (ST) para aplicação em áreas secas;
- Placa Resistente à Umidade (RU), conhecida como placa verde, para paredes destinadas a ambientes sujeitos à ação da umidade;
- Placa Resistente ao Fogo (RF), conhecida como placa rosa, para aplicação em áreas secas que necessitem de um maior desempenho em relação ao fogo (ex.: saídas de emergência, escadas enclausuradas, *shafts*).

Os painéis de gesso acartonado devem ser montados após a elaboração do projeto arquitetônico e complementar, pois como se trata de um sistema industrializado, não permite improvisação durante a obra.

3.3.5 Sistema Drywall

Quando as divisórias internas não são estruturais, pode-se empregar o sistema *Drywall*. O sistema *Drywall*⁶ é constituído por perfis U e U enrijecido (Ue) de aço galvanizado de dimensões menores que os empregados no sistema LSF, uma vez que suportam apenas o peso dos fechamentos e revestimentos, e de peças fixadas em sua estrutura. Assim como nos painéis do sistema LSF, o espaçamento entre os montantes pode ser de 400 ou 600 mm. Segundo a Abragesso (2004), as chapas de gesso acartonado são fechamentos leves por não possuírem função estrutural e sua densidade pode variar conforme a espessura de 6,5 Kg/m² a 14 Kg/m².

De acordo com Jardim e Campos (2005), sobre as placas de gesso internas podem ser aplicados revestimentos usuais como cerâmica, pintura e textura; nas externas, materiais de acabamento usuais como pastilhas, pedras, reboco e pintura.

⁶ O termo *Drywall* é utilizado nos Estados Unidos considerando todos os componentes de fechamento utilizados na construção a seco.

3.3.5.1 Paredes

O nível de desempenho das paredes em *Drywall* pode variar conforme o número de chapas, a dimensão e posicionamento da estrutura e a incorporação de elementos isolantes no seu interior (KNAUF DRYWALL, 2005). Os materiais isolantes são instalados entre as chapas e são constituídos de lã de vidro ou lã de rocha. Sua aplicação tem o objetivo de aumentar o isolamento termo-acústico. As espessuras de lã de vidro usualmente encontradas no mercado são apresentadas na TAB 3.4, sendo a de 50 mm mais comum.

TABELA 3.4 – Espessura dos materiais isolantes

Referência	Feltros		Paineis		Condutividade térmica (W/m°C)	Resistência térmica (m ² °C/W)
	Compr. x Larg. (m x m)	Espessura (mm)	Compr. x Larg. (m x m)	Espessura (mm)		
WF-50	12,5 x 1,2	50	1,35 x 0,6	50	0,042	1,19
WF-75	12,5 x 1,2	75	1,35 x 0,6	75	0,042	1,78
WF-100	12,5 x 1,2	100	1,35 x 0,6	100	0,042	2,38

Fonte: ISOVER, 2006.

O Manual de projetos de sistemas *Drywall* (2006) faz algumas recomendações de utilização por ambiente do sistema *Drywall* em paredes. Dentre elas, algumas que podem ser aplicadas em residências em LSF:

- a) *Paredes internas a uma mesma unidade*: utilização de paredes com pelo menos uma camada de chapa de gesso de 12,5 mm de espessura em cada face (FIG. 3.17);

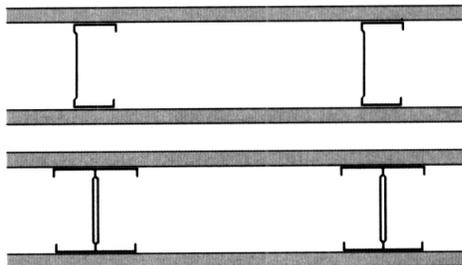


FIGURA 3.17 – Paredes simples.

Fonte: DRYWALL, 2006.

- b) *Paredes entre unidades independentes e áreas de circulação:* utilização de paredes com pelo menos duas camadas de chapas de gesso em cada face, com estrutura simples ou dupla; independentes ou solidarizadas (FIG. 3.18);

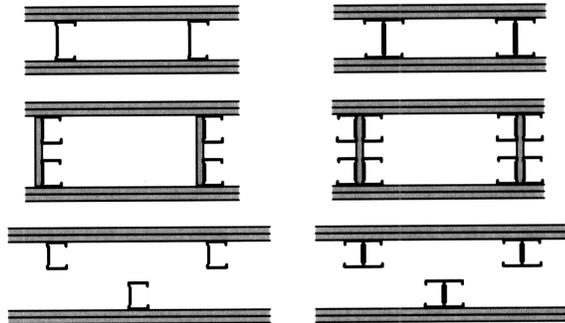


FIGURA 3.18 – Paredes com duas camadas de gesso.
Fonte: DRYWALL, 2006.

- c) *Paredes incorporando tubulações internas a uma mesma unidade:* utilização de paredes com pelo menos uma camada de chapa de gesso em cada face. A dupla estrutura deve possuir travamento executado com pedaços de chapa de gesso com altura de 30 cm, espaçados de 1,00 a 1,50 m (FIG. 3.19);

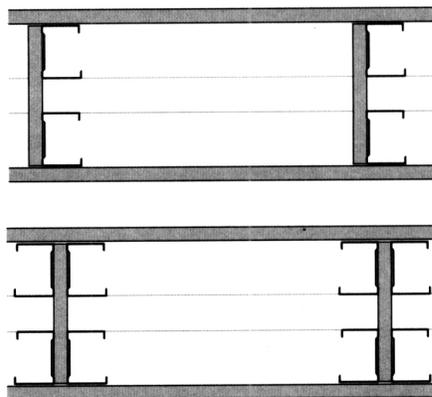


FIGURA 3.19 – Paredes incorporando tubulações internas.
Fonte: DRYWALL, 2006.

- d) *Paredes de altas performances acústicas:* utilização de paredes com pelo menos duas camadas de chapas de gesso em cada face, com lã mineral para aumentar o isolamento acústico. As duas estruturas devem ser independentes, pois assim, a estrutura de enrijecimento alternada evita transmissão acústica pelos montantes (FIG. 3.20).

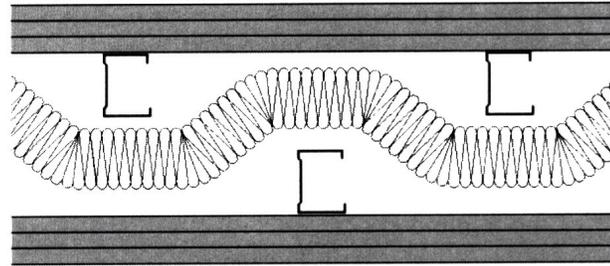


FIGURA 3.20 – Parede de alta performance acústica.
Fonte: DRYWALL, 2006.

3.3.5.2 Forros

Nos forros em Drywall, as chapas de gesso são estruturadas com perfis ou peças metálicas. O nível de desempenho varia conforme os condicionantes das paredes em *Drywall*. Os forros podem ser de quatro tipos:

- e) *Estruturado*: formado pela justaposição de chapas de gesso com 1.200 mm. Este forro é fixo e proporciona uma superfície monolítica;
- f) *Perfurado*: é o forro estruturado com chapas de gesso perfuradas para auxiliar na absorção acústica;
- g) *Aramado*: formado pela justaposição de chapas de gesso com 600 mm. Fazem parte da estruturação as nervuras das chapas de gesso e proporciona uma superfície monolítica;
- h) *Removível*: formado pela sobreposição de chapas de gesso em perfis tipo T. As chapas podem ser removidas para acessar as instalações.

A metragem máxima para a execução do forro é apresentada na TAB. 3.5.

TABELA 3.5 – Metragem máxima dos forros em Drywall.

Tipo de forro	Metragem linear máxima	Metragem quadrada máxima
Forro Estruturado	15 m	225 m ²
Forro Aramado	15 m	50 m ²
Forro Removível	Não há necessidade	

Fonte: DRYWALL, 2006.

3.3.6 Alvenaria

Quando utilizada nas construções em LSF, a alvenaria é um fechamento independente da estrutura, funcionando como um invólucro vinculado a ela por meio de conectores metálicos. As cargas verticais da parede de alvenaria são transferidas diretamente para as fundações.

É necessária a utilização do OSB no assentamento dos tijolos para propiciar uma base para a impermeabilização e funcionar como diafragma rígido (FIG. 3.21). Deve-se planejar a racionalização na execução da parede de alvenaria, uma vez que se trata de um sistema artesanal, diferente do conceito do LSF.

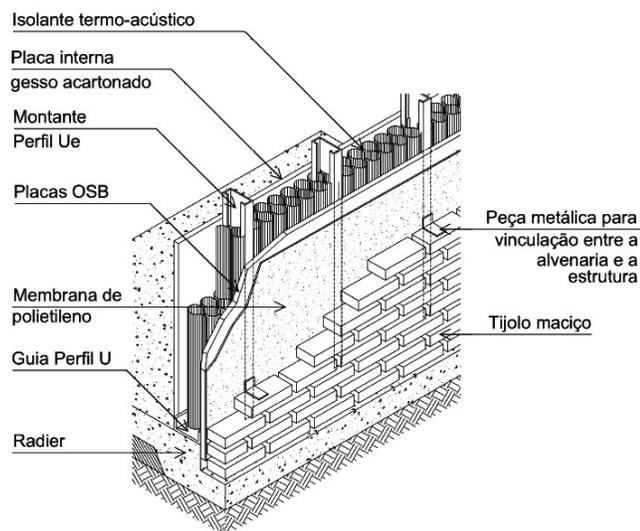


FIGURA 3.21 – Fechamento de alvenaria de painéis LSF.
Fonte: CRASTO, 2006, p. 139.

3.3.7 Isolamento térmico

De acordo com Rivero (1986), “o objetivo de um isolamento é controlar ao máximo as condições térmicas de um meio habitado diante dos agentes térmicos hostis do meio imediato”. Nas construções em LSF o isolamento térmico baseia-se no conceito de *isolação multicamada*, que consiste em combinar placas leves de fechamento, deixando um espaço a ser preenchido com material isolante (lã mineral).

Em um fechamento industrializado constituído por várias camadas, a resistência total do fechamento é igual à soma das resistências de cada uma de suas camadas. O isolamento térmico será maior, quanto mais materiais em forma de camada for agregada a espessura do fechamento. Assim, o poder de amortecimento da onda de calor também se intensifica, aumentando a capacidade térmica do conjunto. A eficiência do fechamento dependerá das propriedades termo-físicas dos componentes.

Nos países de clima temperado, para o isolamento térmico da edificação, é considerada a capacidade dos perfis estruturais de produzir *pontes térmicas* em determinadas condições de temperatura. Nesses países são pesquisados painéis de grande capacidade de isolamento térmico, como painéis de EIFS (*Exterior Insulation and Finish System*) que contém EPS (poliestireno expandido) em uma de suas camadas (FIG. 3.22).

Porém, no clima quente e úmido, o efeito das *pontes térmicas* não tem grande efeito, pois a diferença entre a temperatura interna e externa nas edificações não é tão significativa quanto no clima temperado, sendo pequena a perda de calor pelos perfis no sistema LSF⁷.

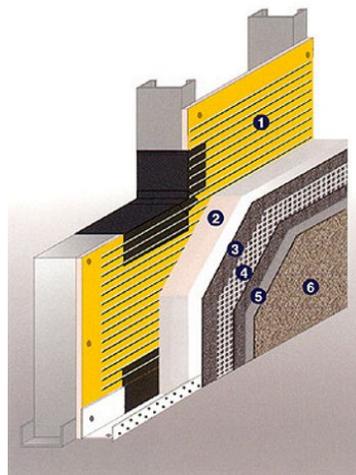


FIGURA 3.22 – Desenho esquemático de fechamento externo com EIFS: 1- substrato; 2- placa de EPS; 3-revestimento de base; 4- malha de reforço; 5- regulador de fundo; 6- revestimento final.

Fonte: PAINEL EIFS, 2006.

⁷ Em construções onde a estrutura metálica aparece como elemento aparente, os perfis atuam como elemento facilitador das trocas térmicas, sendo considerável a perda de calor pela estrutura.

Em Minas Gerais, na cidade de Belo Horizonte, o sistema EIFS foi utilizado como revestimento externo de uma residência em LSF com área construída de 283,5 m², considerando como um de seus condicionantes o aspecto final de revestimento tradicional em argamassa. No projeto da arquiteta Karina Venâncio Bonitese e do professor Francisco Carlos Rodrigues, o revestimento foi composto basicamente por OSB, *Tyvek*, isopor e argamassa elastomérica, formando um conjunto resistente a impactos, capaz de absorver qualquer tipo de movimentação da estrutura (FIG. 3.23). (BONITESE, 2006).



FIGURA 3.23 –. Revestimento externo em EIFS.
Fonte: BONITESE, 2006, p. 10.

CAPÍTULO IV

4 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

4.1 Considerações iniciais

Pode-se definir o conforto térmico de um determinado ambiente como a sensação de bem-estar experimentada por uma pessoa, resultante da combinação satisfatória da temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura do ambiente e velocidade relativa do ar, vestimenta e atividade desenvolvida pelos usuários (ASHRAE, 1997; ISO 7730:1994; RUAS, 1999).

A avaliação do desempenho térmico de edificações consiste em verificar se as condições dos ambientes internos atendem as exigências de conforto térmico de seus usuários. Vittorino (2005) afirma que “o desempenho térmico de uma edificação é função direta do grau de conforto térmico de seus ocupantes, podendo ser considerado, também, o consumo de energia necessário para climatizar a edificação”.

A avaliação compreende ambientes ventilados naturalmente e ambientes condicionados por meio de equipamentos de condicionamento de ar. Para avaliar as edificações condicionadas, é necessário verificar a demanda de cargas térmicas para o condicionamento de ar do ambiente. Neste caso, o desempenho térmico da edificação será melhor, quanto menor forem essas cargas térmicas. No caso de edificações sem condicionamento térmico artificial, a avaliação consiste em verificar se as respostas térmicas dos ambientes internos atendem às exigências humanas de conforto térmico. Nesta modalidade de avaliação, o desempenho térmico estará em função das condições de conforto térmico avaliando-se as temperaturas internas e umidade do ar. Esta verificação deve ser feita considerando a resposta global da edificação e não somente o comportamento térmico dos elementos de fechamento isoladamente (AKUTSU, 1998; IPT, 1998).

Nos países frios, é recomendável a hipótese de regime permanente para a determinação das trocas térmicas que ocorrem através da envoltória da edificação. Considerando esta hipótese, a avaliação do desempenho térmico de edificações é feita adotando como indicadores a resistência térmica ou a condutância dos elementos componentes da edificação. Dessa forma, os critérios de avaliação indicam valores limites para esses indicadores, que são definidos em função do tipo do uso da edificação (perfil de ocupação) e das características do clima local (AKUTSU, 1998).

Estes indicadores se aplicam às avaliações em condições de inverno, pois o objetivo está limitado no cálculo das perdas de energia utilizada no aquecimento dos ambientes. Nas condições de verão, as exigências relativas ao conforto do ambiente são contornadas por meio do controle dos ganhos de energia solar e das trocas de massa de ar do ambiente (SOUZA, 2005).

A hipótese de regime permanente é bastante inadequada para as condições climáticas do Brasil, uma vez que a busca do conforto no verão ocorre por meio de sistemas de condicionamento térmico artificial e as variações de temperatura são significativamente maiores do que as variações dos países de clima frio. Neste caso, é necessário avaliar outras trocas térmicas que ocorram nos ambientes, tais como as possibilidades de perda de energia do ambiente pela ventilação, pela condução e convecção de calor por alguns elementos da edificação por meio de uma abordagem dinâmica. A partir desses parâmetros, deve-se equacionar o equilíbrio entre as perdas e ganhos de energia que ocorrem simultaneamente e que variam significativamente ao longo de um dia. Assim, a capacidade térmica da edificação não pode ser desprezada e deve ser associada juntamente com a resistência térmica dos elementos construtivos para a avaliação do comportamento térmico da edificação (AKUTSU, 1998).

A resposta térmica de uma edificação frente às condições típicas de exposição ao clima e de ocupação pode ser avaliada por meio de medição *in loco* das variáveis representativas do desempenho ou por meio de simulação computacional (numérica). Na avaliação térmica feita por medições *in loco*, busca-se corrigir alguns problemas na construção e retro alimentar o processo de projeto de edificações cuja resposta térmica

atende às exigências de conforto. Por outro lado, a abordagem numérica pode eliminar a necessidade de futuras intervenções arquitetônicas e/ou uso de equipamentos de condicionamento de ar, uma vez que esta avaliação pode ser feita na fase de projeto.

Durante o ano todo, o uso de sistemas de climatização na maior parte das habitações brasileiras é baixo ou até inexistente, devendo a edificação fornecer condições satisfatórias de conforto térmico em condições naturais. Devem-se considerar as interações entre o ambiente natural externo e o ambiente construído para evitar, por exemplo, um gasto maior de energia para seu aquecimento ou resfriamento (SOUZA, 2005; VITTORINO, 2005).

Neste capítulo faz-se uma revisão do processo de simulação do desempenho térmico de edificações, enfocando aquelas condicionadas naturalmente. São apresentados os parâmetros de simulação dos modelos.

4.1.1 Simulação térmica de edificações não condicionadas

Uma edificação energeticamente eficiente é aquela que pode proporcionar conforto aos seus ocupantes sem nenhum ou com menor consumo de energia. Com a crise de energia na década de 70 e o impacto ambiental causado por novas usinas, fez-se necessário repensar numa arquitetura mais eficiente energeticamente.

Por meio da simulação numérica, pode-se prever o desempenho energético de um projeto arquitetônico e conhecer o comportamento dos elementos construtivos propostos. Além disso, conhecendo-se o clima local, a proposta arquitetônica pode otimizar os sistemas naturais e artificiais de iluminação e de condicionamento.

Os *softwares* de simulação energética de edificações utilizam modelos matemáticos complexos que simulam no interior dos ambientes o efeito do armazenamento térmico e das trocas de calor (convecção e radiação). Esses programas foram desenvolvidos devido ao grande número de variáveis envolvidas na simulação energética de um ambiente construído (PINTO, 2000). O ESP-r é um exemplo de programa de simulação

térmica. Esse programa permite avaliar a carga térmica máxima de resfriamento ou aquecimento, onde e quando ela ocorre, o efeito do isolamento na carga térmica, o instante ótimo para que a instalação de climatização entre em operação e também a avaliação do consumo de energia. Os modelos de cálculo do ESP-r utilizam os métodos dos elementos finitos e das diferenças finitas para a simulação do comportamento térmico dos ambientes e sistemas de condicionamento (CLARKE, 1985). Um outro *software* de simulação energética de edificações é o *EnergyPlus* (CRAWLEY *et al*, 2000), que é o programa computacional utilizado neste trabalho.

Para a determinação do comportamento térmico de uma edificação, os *softwares* de simulação devem considerar nos cálculos o caráter dinâmico dos fenômenos de trocas de energia e massa entre o ambiente construído e o ambiente natural externo. Segundo o IPT (1998), esses programas devem possuir as seguintes características: cálculo dos fluxos de energia térmica por condução em regime transitório; cálculo das temperaturas internas e externas dos fechamentos por meio de equações de balanço de energia que considerem simultaneamente as trocas de calor por radiação entre os fechamentos e por convecção com o ar; e cálculo da temperatura do ar interior do ambiente, em conjunto com o cálculo das temperaturas superficiais dos fechamentos, considerando as trocas de massa de ar do ambiente.

Os principais elementos que compõem os *softwares* de simulação do comportamento térmico de edificações são apresentados no fluxograma mostrado na FIG. 4.1.

As condições de exposição da edificação ao clima são determinantes para a avaliação das interações térmicas entre o ambiente externo e interno através da envoltória (fachadas e cobertura) da edificação. Segundo Fransozo (2003), o ideal seria fazer a caracterização climática a partir de dados meteorológicos do local considerado, considerando assim as características do microclima local.

As informações climáticas são caracterizadas pelos valores horários de temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar global e pela velocidade média do vento predominante; nos *dias típicos de projeto* para o período de verão e de inverno. Esses

dias são caracterizados em função de suas frequências de ocorrência, que representam níveis de exigência na avaliação. Tem-se adotado a frequência de ocorrência de 10% tanto para o *dia típico de verão* como para o *dia típico de inverno* (AKUTSU, 1998; IPT, 1998).

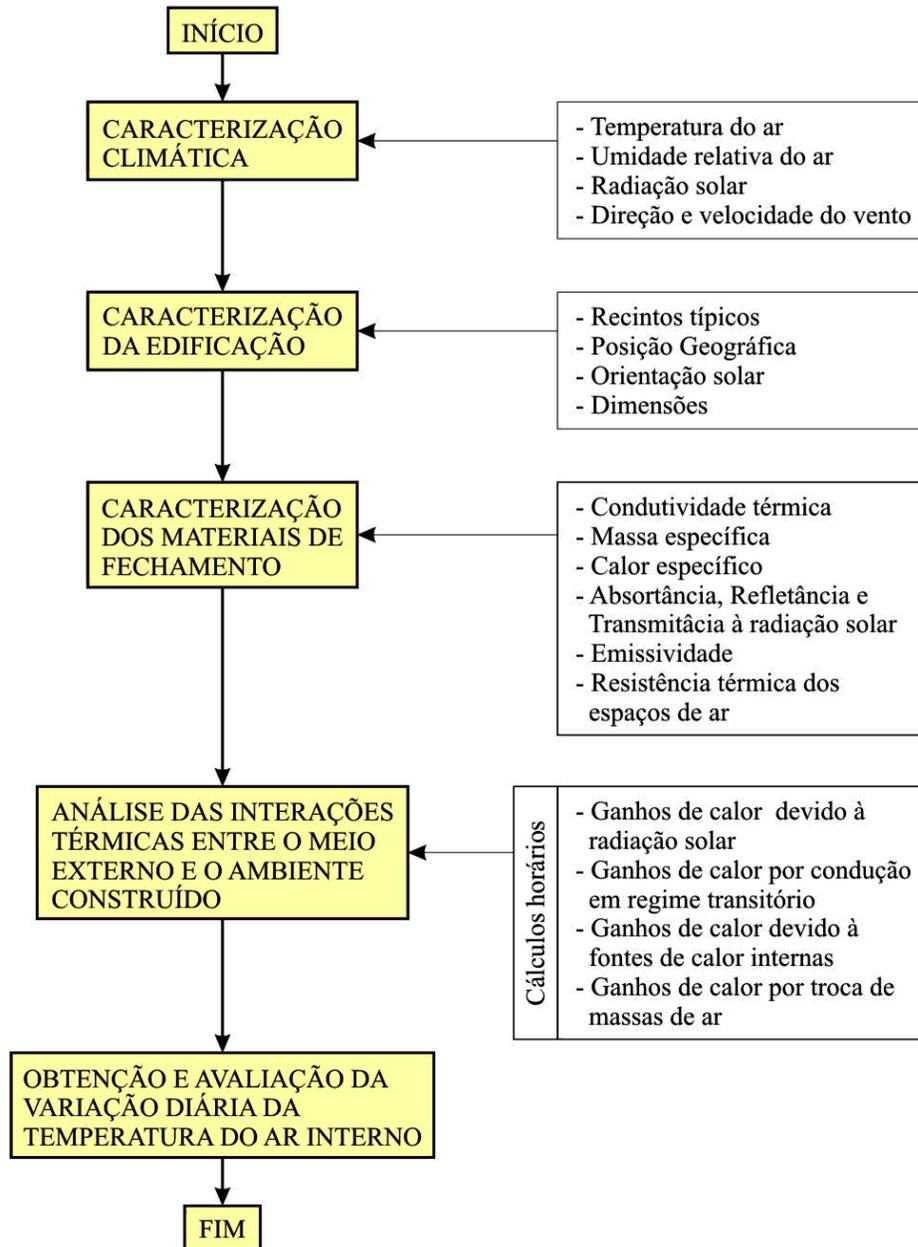


FIGURA 4.1 – Fluxograma dos principais elementos para a simulação térmica de uma edificação ventilada naturalmente
Fonte: adaptado de AKUTSU, 1998.

A caracterização da edificação está associada à identificação dos ambientes típicos e o levantamento das condições de ocupação para cada ambiente, à posição geográfica, à orientação solar e às dimensões da edificação.

As condições de ocupação determinam as principais fontes internas de calor e são caracterizadas pelo período de ocupação, número de ocupantes, atividades típicas dos ocupantes, taxas de liberação de energia térmica e de vapor d'água de equipamentos e processos no interior do recinto, taxas de ventilação do ambiente e uso de dispositivos de sombreamento de aberturas e fechamentos externos (IPT, 1998).

A orientação e a época do ano estão associadas à quantidade de radiação solar que incide em cada superfície externa da edificação. As informações relativas à forma arquitetônica influenciam no conforto térmico da edificação e no consumo de energia. Além disso, a forma interfere diretamente sobre os fluxos de ar no interior e no exterior e, também, na quantidade de luz recebida pela edificação (SOUZA, 2005).

Os materiais de fechamento são caracterizados por suas propriedades termo-físicas. Conhecendo-se a condutividade térmica, o calor específico e a massa específica dos materiais componentes, pode-se determinar a resistência térmica, que é importante na avaliação do mecanismo de condução através da envoltória da edificação e paredes internas. A absorvância, refletância e transmitância são propriedades importantes na avaliação do mecanismo de radiação, principalmente através de áreas envidraçadas, e também para a radiação solar incidente (SOUZA, 2005). Estes dados são necessários para a determinação da resposta térmica da edificação e, em geral, são apresentados em manuais e publicações de instituições de pesquisa. Além dessas propriedades, também é importante considerar a forma, as dimensões e a orientação dos componentes dos materiais empregados.

4.1.2 Critérios de avaliação para edificações não condicionadas

O critério de avaliação para edificações não condicionadas desenvolvido pelo IPT (1998) classifica o desempenho térmico da edificação em função do seu comportamento nos dias típicos de verão e inverno, respectivamente, segundo níveis "A", "B", ou "C";

adotando-se como parâmetro de avaliação, a temperatura do ar interior. Esses critérios estão representados nos fluxogramas da FIG. 4.2 e são definidos para edificações térreas de interesse social.

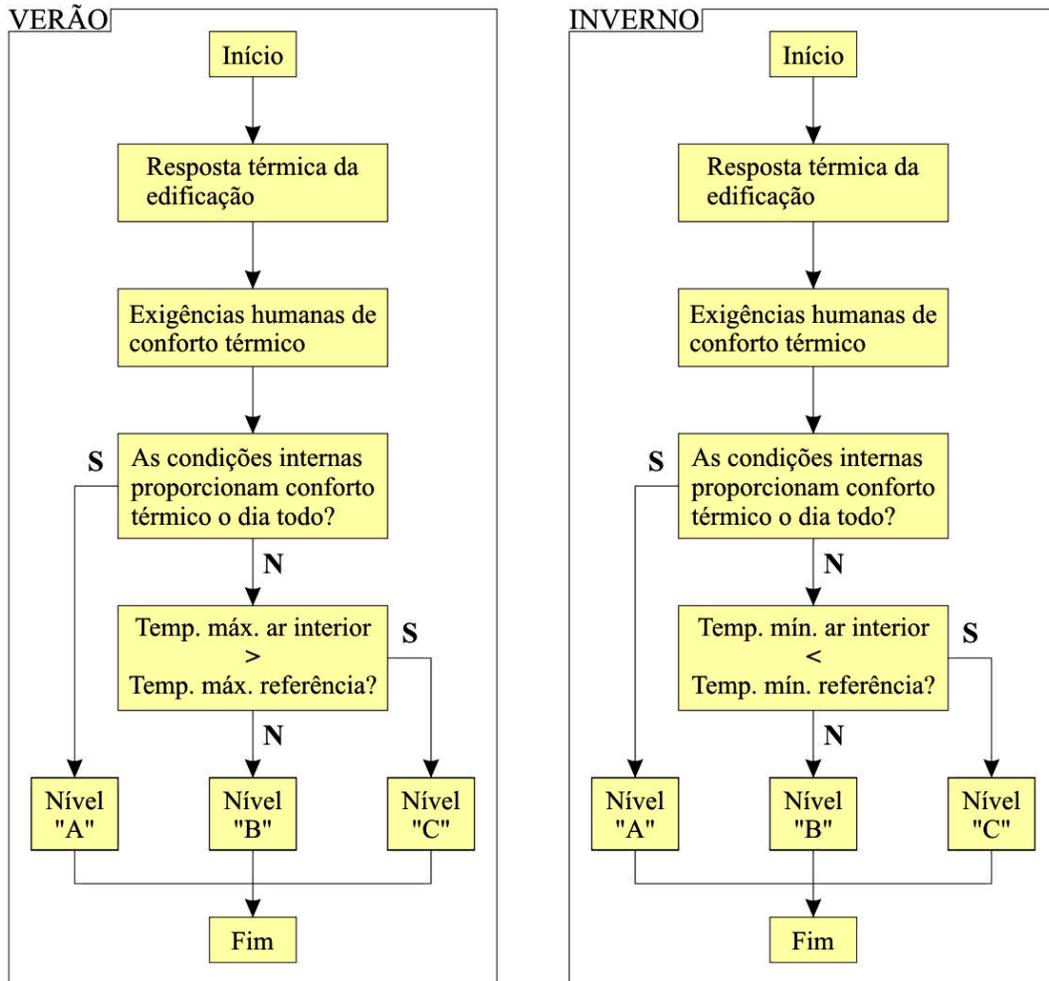


FIGURA 4.2 – Classificação do desempenho térmico da edificação.
 Fonte: adaptado de AKUTSU, 1998.

No verão, uma habitação será classificada como *nível A* quando seu ambiente interno apresentar temperatura inferior a 29 °C durante todo o dia; *nível B*, se o valor máximo diário da temperatura do ar interior não ultrapassar o valor máximo diário da temperatura do ar exterior, adotada como temperatura máxima de referência; e será

classificada como *nível C*, quando o valor máximo diário da temperatura do ar interior for superior ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior.

Já no inverno, uma habitação será considerada *nível A* quando a temperatura do ar interior for maior ou igual a 17 °C durante todo o dia; *nível B* quando o valor mínimo diário da temperatura do ar interior for maior ou igual a 12 °C; e será classificada como *nível C* quando o valor mínimo diário de temperatura do ar interior for menor do que 12 °C. Não sendo aceitas edificações com desempenho classificado dentro do nível C, tanto para o inverno quanto para o verão (IPT, 1998).

4.2 O programa *EnergyPlus*

Atualmente, o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) disponibiliza informações sobre 318 programas de simulação para avaliação da eficiência energética, da energia renovável e da sustentabilidade nos edifícios. No *Building Energy Tools Directory* (U. S. DOE, 2006) disponibilizam-se várias ferramentas e programas de simulação do desempenho energético de edifícios. Embora sejam muitos programas e informações disponibilizados, a aplicação prática dessas ferramentas tem sido pouco expressiva devido ao tempo necessário para treinamento do usuário.

O *EnergyPlus* (versão 1.2.3) foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (CRAWLEY *et al*, 2000). Utilizando um arquivo climático da região de interesse e considerando dados como caracterização geométrica da edificação, componentes construtivos, cargas elétricas instaladas, sistemas de condicionamento de ar e padrões de uso, o programa *EnergyPlus* estima o consumo de energia considerando as trocas térmicas da edificação com o exterior.

O *EnergyPlus* possibilita grande flexibilidade nas simulações e maior precisão na simulação de ambientes condicionados naturalmente. A modelagem matemática empregada no *EnergyPlus* utiliza o menor número de hipóteses simplificadoras entre todos os *softwares* disponíveis, implicando na melhor representação física das trocas

térmicas no interior dos ambientes em modelos de simulação detalhada. Este *software* também permite a solicitação de diversos relatórios, incluindo a temperatura interna de cada zona térmica (LBNL, 2006; PEREIRA, 2004).

O programa *EnergyPlus*, dentre outras, apresenta as seguintes vantagens no trabalho de módulos: simulação de edifícios de formas complexas e de vários pavimentos; diversidade e quantidade de dados de entrada que torna o programa mais preciso; extenso banco de dados de materiais construtivos e suas características e variedade de dados de saída, o que permite análises diversificadas e bem fundamentadas (BUORO *et al.*, 2006; LARA e ALUCCI, 2006)

Muitas das características de simulação do *EnergyPlus* foram herdadas dos programas BLAST e DOE-2. Esses programas ainda são ferramentas válidas na simulação de ambientes, sendo escritos em FORTRAN (U.S. DOE, 2006).

O *EnergyPlus* é um executável e não tem uma interface gráfica definida para o usuário e as entradas e saídas são em texto simples, podendo ser tabulados em outras plataformas. Porém, na instalação do *EnergyPlus* existe um componente opcional da instalação: o *EP-Launch*, que evita a linha de comando do DOS para executar o *EnergyPlus*, simplificando a entrada de dados. As interfaces específicas são desenvolvidas por empresas de acordo com a área de interesse, como é o caso do programa *DesignBuilder* (FIG. 4.3), que facilita o desenho da edificação e faz o tratamento de dados de forma gráfica (DESIGNBUILDER, 2006).

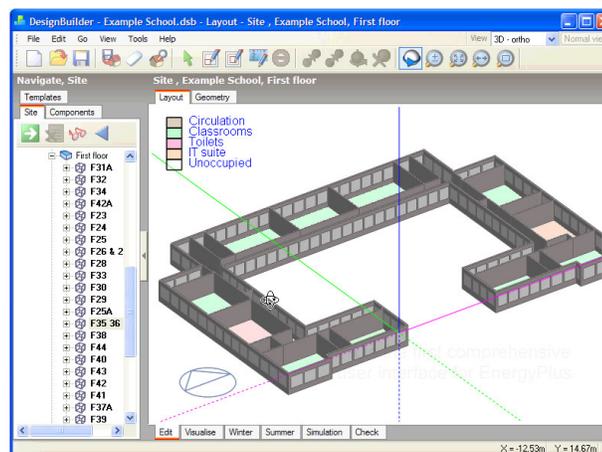


FIGURA 4.3 – Interface do *DesignBuilder*. Fonte: DESIGNBUILDER, 2006

4.3 Metodologia adotada

A avaliação do desempenho térmico de uma edificação, ventilada naturalmente, consiste em verificar se as condições de temperatura do ar interior podem proporcionar sensação de conforto térmico aos usuários. Esta análise é feita considerando a resposta global da edificação em relação às interações térmicas existentes entre o ambiente natural externo e o ambiente construído e não somente o comportamento térmico de elementos de fechamento isoladamente.

Como no Brasil as condições climáticas predominantes são as de verão, a avaliação térmica das edificações é realizada considerando-se as condições para um dia típico de verão.

Como dito anteriormente, as etapas relevantes do processo de avaliação do desempenho térmico de uma edificação, por meio de simulação numérica, abrangem principalmente a caracterização das exigências humanas de conforto térmico, a caracterização das condições típicas de exposição ao clima, a caracterização da edificação e seu perfil de ocupação e também a caracterização do sistema de fechamento vertical, horizontal e cobertura.

Para a determinação do comportamento térmico dos modelos utiliza-se o programa computacional de simulação numérica *EnergyPlus*, seguindo as seguintes etapas:

- a) Caracterização das exigências humanas;
- b) Caracterização das condições climáticas
- c) Caracterização dos modelos em LSF;
- d) Caracterização e configuração dos fechamentos;
- e) Simulação numérica das interações térmicas entre o ambiente externo e interno;
- f) Obtenção do perfil da temperatura do ar interno;
- g) Avaliação das condições de conforto térmico interno.

4.3.1 Caracterização das exigências humanas

A caracterização das exigências humanas de conforto térmico é uma das etapas do processo de avaliação do desempenho térmico; que também abrange a caracterização das condições climáticas, da edificação e sua ocupação e a determinação do comportamento térmico da edificação.

Não existe uma temperatura exata para definir o conforto térmico. Um indivíduo que sente conforto numa determinada condição climática pode não sentir desconforto imediato quando a temperatura do ar sofrer uma variação. As exigências humanas são caracterizadas por valores, ou intervalos de valores inter-relacionados da temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura radiante média do ambiente. Esses valores são fixados em função das características do ocupante, dadas pela sua taxa metabólica, atividade e pelo índice de resistência térmica de sua vestimenta, e devem representar condições satisfatórias de conforto térmico (FANGER, 1972).

A norma NBR 6401:1980 apresenta valores recomendáveis de temperatura do ar e máximas de bulbo seco e úmido, para as condições de verão e inverno, conforme o local e finalidade para ambientes condicionados. A norma ISO 7730:1994 estabelece que há conforto térmico quando pelo menos 80% dos ocupantes de um recinto expressem satisfação em relação ao ambiente térmico. Essas normas permitem a definição dos intervalos de valores para os parâmetros de conforto que vão caracterizar as exigências humanas de conforto térmico.

4.3.2 Caracterização das condições climáticas

Os dados climáticos para o dia típico de verão das cidades analisadas foram obtidos no diretório do *EnergyPlus* (U. S. DOE, 2006). As cidades contempladas na caracterização climática são: Curitiba, Belo Horizonte, Brasília, Goiânia, Teresina e Belém. A escolha dessas cidades para a simulação dos modelos teve como condicionantes a disponibilidade de dados no diretório do *EnergyPlus* de forma a contemplar o maior número possível de zonas bioclimáticas definidas na norma NBR 15220:2005.

No Anexo I, é apresentada a caracterização climática dos dias típicos considerando os dados solicitados pelo programa, juntamente com as trajetórias solares para cada caso. A visualização gráfica das trajetórias solares facilita o entendimento do comportamento térmico dos ambientes apresentados nos resultados. Por meio do programa *Analysis SOL-AR* (UFSC, 2006), pode-se obter a carta solar conforme as latitudes especificadas. Nas cartas solares podem-se extrair as informações relativas ao horário de insolação sobre as superfícies verticais¹ (FIG. 4.4). As fachadas foram consideradas livres de obstáculos externos.

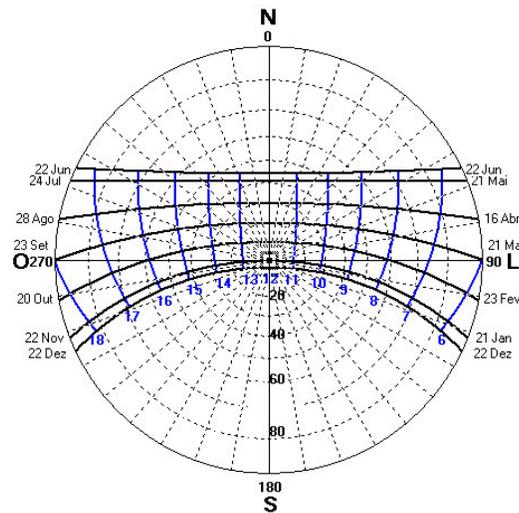


FIGURA 4.4 – Carta solar para latitude 19.85 S.
Fonte: UFSC, 2006.

4.3.3 Caracterização dos modelos em LSF

4.3.3.1 Modelo 1

O projeto arquitetônico do modelo 1 é baseado em um protótipo residencial em *Light Steel Framing* construído em Indaiatuba, cidade do interior do Estado de São Paulo. O modelo 1 foi simulado considerando as cidades: Curitiba, Belo Horizonte, Brasília, Goiânia, Teresina e Belém. A seguir é apresentado o protótipo.

¹ Para melhor visualização do movimento relativo entre o Sol e a Terra, foram extraídas imagens do programa SUNPATH_ desenvolvido na Universidade Federal de São Carlos – ANEXO 1.

a) Protótipo residencial em LSF

Por meio da iniciativa de uma empresa de consultoria imobiliária e construtora local, foi construído um protótipo de uma residência unifamiliar com o sistema *Light Steel Framing* em Indaiatuba - SP. O projeto foi orientado pelas especificações do manual da Caixa Econômica Federal (CEF, 2003). O protótipo, com área de 37,30 m², possui em seu programa: sala, cozinha, dois quartos e um banheiro (FIG. 4.5).

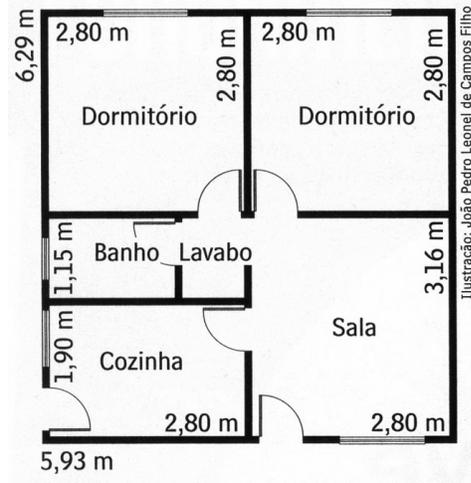


FIGURA 4.5 – Planta baixa do protótipo.
Fonte: CASTRO, 2006, p. 78.

Os painéis dos fechamentos foram montados *in loco*, assim como as tesouras do telhado. Na cobertura de telha cerâmica, foi empregada uma manta de polietileno de alta densidade sobre as tesouras para evitar a infiltração de água de chuva. Internamente foram utilizadas placas de gesso acartonado padrão *standard* nas áreas secas e placas de gesso resistentes à umidade nas áreas molháveis (FIG. 4.6).



FIGURA 4.6 – Aplicação de gesso resistente à umidade no banheiro.
Fonte: CASTRO, 2006, p. 79.

Como fechamento externo, foi utilizado placas de OSB com manta de impermeabilização e acabamento em *siding* vinílico (FIG. 4.7).



FIGURA 4.7 – Aplicação de chapa de OSB.

Fonte: CASTRO, 2006, p. 79 e 80.

O protótipo foi executado em 45 dias, empregando três operários. O objetivo da construção desta residência era demonstrar a viabilidade do emprego da tecnologia do *Light Steel Framing*.

b) Modificações e complementações do protótipo

CRASTO (2005) apresenta alguns condicionantes para a elaboração de projetos de arquitetura em LSF. Em fase de estudo preliminar, pode ser empregada uma malha de 1200 x 1200 mm, uma vez que nesse momento não se sabe se a modulação estrutural será de 400 ou 600 mm.

No projeto do modelo simulado, foi considerado uma malha geométrica modular de 600 x 600 mm, uma vez que se trata de um projeto de uma residência térrea unifamiliar de interesse social; ou seja, a estrutura não recebe grandes solicitações implicando em uma distância maior entre os montantes.

As modificações e complementações foram realizadas para adequar a edificação ao sistema construtivo. A planta modificada apresenta o mesmo programa de necessidades do protótipo. A diferença básica no Modelo 1 é a adequação da planta e da elevação do protótipo a uma malha de 600 x 600 mm (FIG. 4.8, 4.9 e 4.10)



FIGURA 4.8 – Planta baixa do Modelo 1 (malha de 600 x 600 mm).

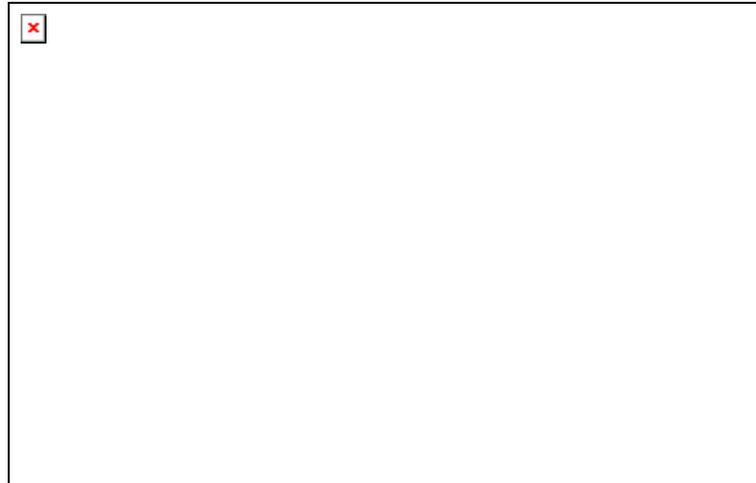


FIGURA 4.9 – Elevação do Modelo 1 (malha de 600 x 600 mm).

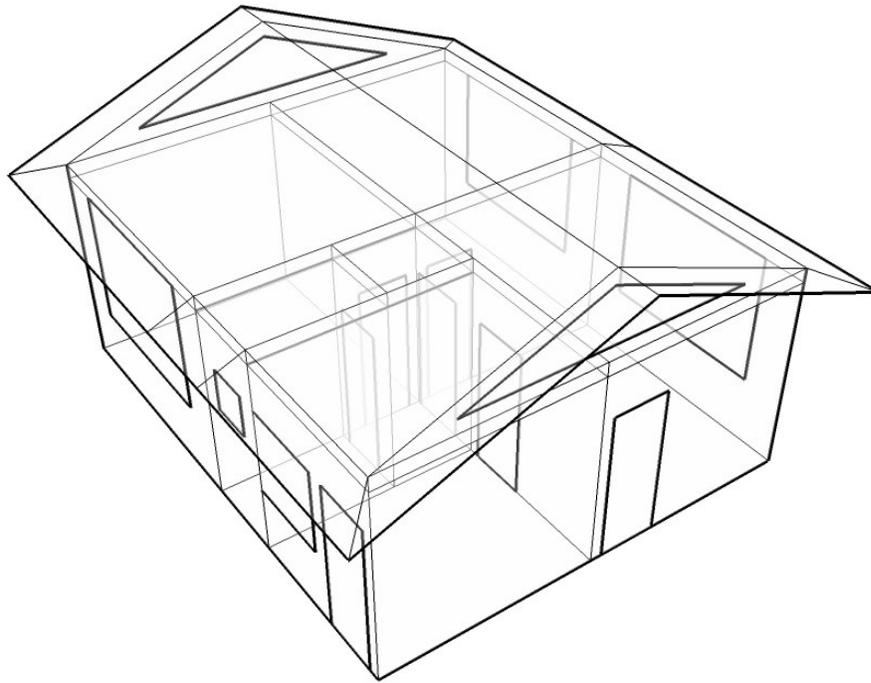


FIGURA 4.10 – Perspectiva do Modelo 1 (gerada após a simulação).

4.3.3.2 Modelo 2

O Modelo 2 é uma residência unifamiliar de dois pavimentos em LSF projetada pelo arquiteto Guilherme Torres da Cunha Jardim, que faz parte da gerência e desenvolvimento da aplicação do aço na empresa USIMINAS.

O Modelo 2 foi simulado somente para a cidade de Belo Horizonte, por ser o local de implantação do projeto. As plantas e a volumetria da edificação são apresentadas nas FIG. 4.11; 4.12 e 4.13.

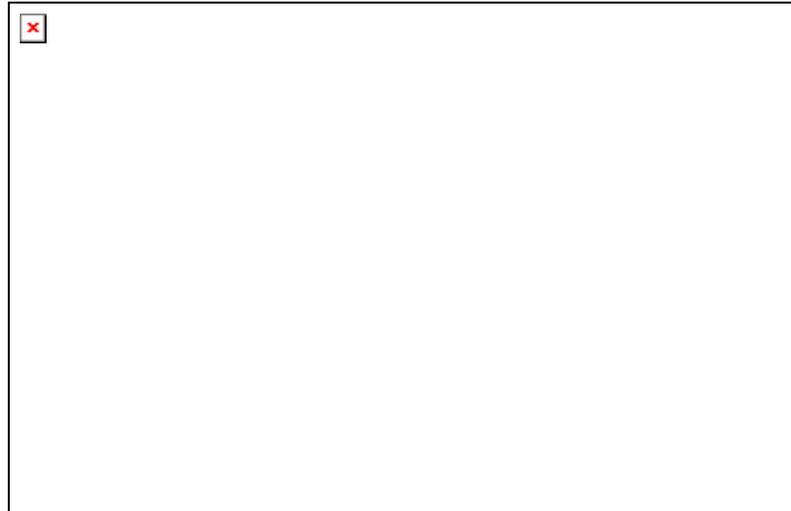


FIGURA 4.11 - Planta baixa do Modelo 2 (1° pvto.)

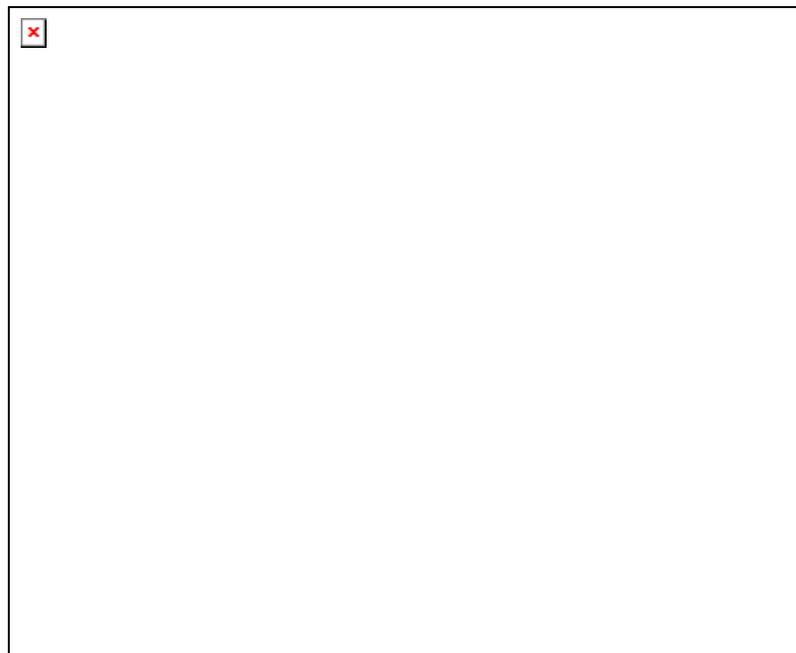


FIGURA 4.12 - Planta baixa do Modelo 2 (2° pvto.)

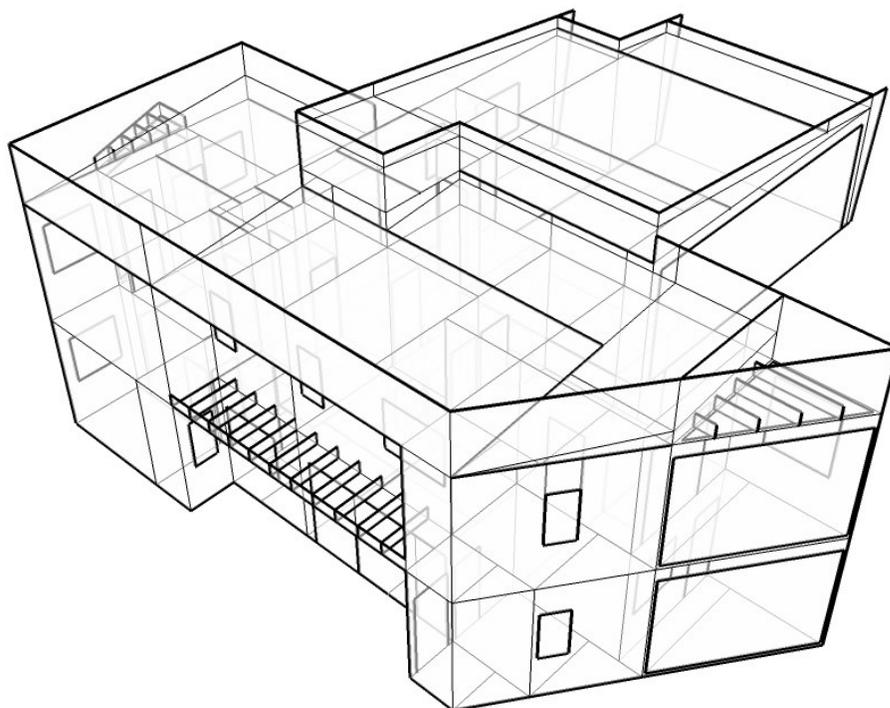


FIGURA 4.13 – Perspectiva do Modelo 2 (gerada após a simulação).

4.3.4 Caracterização e configuração dos fechamentos

4.3.4.1 Propriedades termo-físicas dos materiais

As características dos materiais utilizados na composição dos fechamentos são apresentadas nas TAB. 4.1 a 4.3. A maior parte dos dados foi retirada da norma de NBR 15220:2005. Dados específicos de entrada no *EnergyPlus* foram retirados do programa E2-AC, que é uma interface simplificada do *EnergyPlus* desenvolvido pelo LabEEE (UFSC, 2006).

TABELA 4.1 – Elementos de construção das superfícies

Material	Rugosidade	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/m.K)	Massa específica (kg/m³)	Calor específico (J/kg.K)	Coefficiente de absorção térmica
Placa de OSB	<i>Medium</i> <i>Rough</i>	0,012; 0,015; 0,018	0,12	550	2300	0,9
Placa cimentícia	<i>Medium</i> <i>Rough</i>	0,01	0,95	2200	840	0,9
Gesso acartonado	<i>Smooth</i>	0,0125; 0,015	0,35	1000	840	0,9
Lã de vidro	<i>Rough</i>	0,015; 0,025; 0,05; 0,075	0,045	100	700	0,9
Tijolo maciço	<i>Rough</i>	0,09	0,9	1600	920	0,9
<i>Siding</i> PVC	<i>Smooth</i>	0,002	0,16	1379	1004	0,9
Argamassa comum	<i>Rough</i>	0,01	1,15	2100	1000	0,9
Concreto normal	<i>Rough</i>	0,1; 0,04	1,75	2400	1000	0,9
Piso cerâmico	<i>Medium</i> <i>Rough</i>	0,01	0,9	1600	920	0,9
Compensado	<i>Smooth</i>	0,005	0,15	550	2300	0,9
Telha cerâmica	<i>Rough</i>	0,01	1,05	2000	920	0,9
Chapa metálica	<i>Smooth</i>	0,0035	55	7800	460	0,9

Fonte: NBR 15220-2:2005; CLARKE, 1985; UFSC, 2006.

TABELA 4.2 – Resistência das câmaras de ar não ventiladas, com largura muito maior que a espessura

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
Superfície de alta emissividade (ε > 0,8)	1,0 ≤ e ≤ 2,0	0,14	0,13	0,15
	2,0 < e ≤ 5,0	0,16	0,14	0,18
	e > 5,0	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade (ε < 0,2)	1,0 ≤ e ≤ 2,0	0,29	0,23	0,29
	2,0 < e ≤ 5,0	0,37	0,25	0,43
	e > 5,0	0,34	0,27	0,61

Fonte dos dados: NBR 15220-2:2005. p. 11.

TABELA 4.3 - Características dos vidros utilizados em portas e janelas

Nome	Vidro comum 3 mm	Vidro comum 6 mm
Propriedades óticas	Média espectral	Média espectral
Espessura	0,003	0,006
Transmitância (incidência solar normal)	0,837	0,775
Refletância (incidência solar normal) superfície frontal	0,075	0,071
Refletância (incidência solar normal) superfície oposta	0,075	0,071
Transmitância na faixa do visível (incidência normal)	0,898	0,881
Refletância na faixa do visível (incidência solar normal) superfície frontal	0,081	0,08
Refletância na faixa do visível (incidência solar normal) superfície oposta	0,081	0,08
Transmitância na faixa do infravermelho (incidência	0	0

normal)		
Emissividade hemisférica na faixa do infravermelho (superfície frontal)	0,84	0,84
Emissividade hemisférica na faixa do infravermelho (superfície oposta)	0,84	0,84
Condutividade térmica	0,9	0,9
Fator de correção (limpeza da superfície) e transmitância na faixa do visível	1	1
Difusão solar	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>

Fonte: UFSC, 2006.

4.3.4.2 Composição dos fechamentos

Os fechamentos foram classificados em: fechamento interno pesado (FIP), fechamento interno leve (FIL), fechamento externo leve (FEL), fechamento externo tradicional (FET), fechamento externo pesado (FEP), laje úmida pesada (LUP), laje seca isolada (LSI) e laje seca leve (LSL). A classificação dos fechamentos se deu por meio do cálculo da inércia térmica pelo programa ARQUITROP desenvolvido pela Universidade Federal de São Carlos (UFSC, 2006).

Na definição da composição dos fechamentos leves, procurou-se valores de atraso térmico próximos daquele referente a uma parede de tijolos de 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão, com 2,5 cm de argamassa nas duas faces ($\phi = 3.3$ h). Na composição das coberturas o atraso térmico é maior que o recomendado pela norma NBR 15220:2005, uma vez que a laje foi contemplada nos cálculos de inércia térmica. Mesmo assim, as lajes foram classificadas em úmida pesada, seca leve e seca isolada.

Nas TAB. 4.4 a 4.10 são apresentados os tipos de fechamentos analisados. Nesses fechamentos, a parede possui estrutura metálica simples (Perfil Ue de 90 mm) e distância entre eixos dos montantes de 600 mm. As cotas apresentadas nas composições dos fechamentos estão em milímetros.

TABELA 4.4 – Fechamentos internos pesados

Denominação	Esquema físico
<p>Esquema FIP 1 Retardamento: 6.67 h Amortecimento: 83 %</p>	<p>Diagram showing the physical scheme for Esquema FIP 1. It consists of two concrete slabs (placa cimentícia) and a central insulation layer (isolante) with a wavy profile. The total thickness is 130. Dimensions from top to bottom are: 10, 10, 50, 10, 10, 10.</p>
<p>Esquema FIP 2 Retardamento: 6.87 h Amortecimento: 83 %</p>	<p>Diagram showing the physical scheme for Esquema FIP 2. It consists of two OSB sheets (chapa de OSB) and a central insulation layer (isolante) with a wavy profile. The total thickness is 138. Dimensions from top to bottom are: 12, 12, 50, 12, 12.</p>
<p>Esquema FIP 3 Retardamento: 6.81 h Amortecimento: 83 %</p>	<p>Diagram showing the physical scheme for Esquema FIP 3. It consists of two gypsum board sheets (chapa de gesso acartonado) and a central insulation layer (isolante) with a wavy profile. The total thickness is 145. Dimensions from top to bottom are: 12,5, 15, 75, 15, 12,5.</p>

TABELA 4.5 – Fechamentos internos leves

Denominação	Esquema físico
<p>Esquema FIL 1 Retardamento: 4.04 h Amortecimento: 65 %</p>	<p>Diagrama de um fechamento interno leve (Esquema FIL 1). A estrutura é composta por duas placas cimentícias, uma isolante e uma malha metálica. As dimensões são: placa cimentícia superior (10 mm), malha (50 mm), isolante (10 mm) e placa cimentícia inferior (10 mm). O total da espessura é de 110 mm.</p>
<p>Esquema FIL 2 Retardamento: 3.98 h Amortecimento: 65 %</p>	<p>Diagrama de um fechamento interno leve (Esquema FIL 2). A estrutura é composta por duas chapas de OSB, uma isolante e uma malha metálica. As dimensões são: chapa de OSB superior (12 mm), malha (50 mm), isolante (12 mm) e chapa de OSB inferior (12 mm). O total da espessura é de 114 mm.</p>
<p>Esquema FIL 3 Retardamento: 3.23 h Amortecimento: 57 %</p>	<p>Diagrama de um fechamento interno leve (Esquema FIL 3). A estrutura é composta por duas chapas de gesso acartonado, uma isolante e uma malha metálica. As dimensões são: chapa de gesso acartonado superior (12,5 mm), malha (50 mm), isolante (12,5 mm) e chapa de gesso acartonado inferior (12,5 mm). O total da espessura é de 115 mm.</p>

TABELA 4.6 – Fechamentos externos leves e tradicional

Denominação	Esquema físico
<p>Esquema FEL 1 Retardamento: 3.20 h Amortecimento: 57 %</p>	<p>placa cimentícia 112,5 10 50 12,5 isolante chapa de gesso acartonado</p>
<p>Esquema FEL 2 Retardamento: 3.18 h Amortecimento: 56 %</p>	<p>siding vinílico (2 mm) camada de ar (5 mm) membrana de polietileno chapa de OSB 139 12 7 1515 chapa de gesso acartonado</p>
<p>Esquema FET Retardamento: 5.00 h</p>	<p>siding vinílico (2 mm) camada de ar (5 mm) membrana de polietileno chapa de OSB 121,5 12 7 50 12,5 isolante chapa de gesso acartonado</p>

TABELA 4.7 – Fechamentos externos pesados

Denominação	Esquema físico
<p>Esquema FEP 1 Retardamento: 6.73 h Amortecimento: 83 %</p>	
<p>Esquema FEP 2 Retardamento: 6.97 h Amortecimento: 84 %</p>	
<p>Esquema FEP 3 Retardamento: 6.68 h Amortecimento: 83 %</p>	

TABELA 4.8 – Fechamentos externos pesados (continuação)

Denominação	Esquema físico
<p>Esquema FEP 4 Retardamento: 6.62 h Amortecimento: 82 %</p>	<p>siding vinílico (2 mm) camada de ar (5 mm) membrana de polietileno chapa de OSB isolante chapa de OSB</p>
<p>Esquema FEP 5 Retardamento: 7.02 h Amortecimento: 84 %</p>	<p>siding vinílico (2 mm) camada de ar (5 mm) membrana de polietileno chapa de OSB isolante chapa de gesso acartonado</p>
<p>Esquema FEP 6 Retardamento: 7.21 h Amortecimento: 85 %</p>	<p>argamassa tela membrana de polietileno chapa de OSB isolante chapa de gesso acartonado</p>

TABELA 4.9 – Laje úmida pesada

Denominação	Esquema físico
<p>Esquema LUP Retardamento: 10.68 h Amortecimento: 94 %</p>	<p>telha cerâmica</p> <p>chapa de OSB</p> <p>manta de impermeabilização</p> <p>contrapiso de concreto</p> <p>armadura</p> <p>manta de polietileno</p> <p>painel de lã de vidro compacta</p> <p>chapa metálica ondulada 0,38 mm</p> <p>viga de piso perfil Ue 200 mm</p> <p>lã de vidro</p> <p>chapa de gesso acartonado</p> <p>101</p> <p>121</p> <p>15</p> <p>40</p> <p>270</p> <p>15</p>

TABELA 4.10 – Laje seca isolada

Denominação	Esquema físico
<p>Esquema LSI Retardamento: 8.04 h Amortecimento: 88 %</p>	

TABELA 4.11 – Laje seca leve

Denominação	Esquema físico
<p>Esquema LSL Retardamento: 4.28 h Amortecimento: 67%</p>	

4.3.5 Parâmetros gerais de simulação

As informações necessárias para executar o programa *EnergyPlus* (versão 1.2.3) correspondem às características do modelo simulado, e são indicadas a seguir:

4.3.5.1 Parâmetros da simulação

1 – Edificação

i - Ângulo que o eixo “Y” do edifício faz com a direção do norte verdadeiro: - 90°.

ii – Tipo do terreno (para determinar a forma que o adensamento influi na ventilação do edifício). Adotado: *suburbs* – ambiente arborizado.

iii - Precisão da convergência de cargas térmicas (representa o número em que os valores das cargas devem concordar antes que a convergência seja alcançada). Adotado: erro de 0,01 W.

iv - Precisão da convergência de temperatura: erro de 0,1 °C.

v - Radiação solar e reflectância das superfícies externas que entram no edifício: *FullInteriorAndExteriorWithReflections*.

2 - Intervalo de tempo por hora da simulação (*Time Step in Hour*): 4 – *default* do programa.

3 - Algoritmo de convecção interna (correlaciona o coeficiente de transferência térmica com a variação de temperatura para várias orientações): *Detailed* – detalhado.

4 - Algoritmo de convecção externa (considera a rugosidade do edifício): *Detailed* – detalhado.

5 - Algoritmo de solução (seleciona qual o algoritmo de transferência de calor que será utilizado na envoltória do edifício): *CTF* – considera apenas o calor sensível.

6 - Período de tempo em que os cálculos de sombreamento são feitos: *default* do programa 20’.

7 – Modelo de fluxo de ar: defini-se a utilização ou não do *COMIS* - considera modos complexos de ventilação. Adotado: *Simple* - calcula o fluxo de ar a partir do fluxo calculado em projeto.

8– Período simulado: a simulação foi feita para os dias típicos de verão.

4.3.5.2 Descrição das zonas térmicas

Uma zona térmica não corresponde necessariamente a um ambiente da edificação. Ela é caracterizada por um volume de ar da edificação com temperatura uniforme. Para a simulação dos modelos, cada ambiente foi considerado como uma zona térmica, conforme o uso e ocupação distintos, a fim de se obter resultados mais detalhados.

4.3.5.3 Rotinas de ocupação dos modelos

Por meio do item *Schedule* do programa *EnergyPlus*, define-se a rotina de ocupação ao longo do dia de projeto. A rotina de ocupação de pessoas é apresentada na TAB. 4.12. Os ocupantes foram considerados utilizando roupas com resistência de 1,0 CLO e realizando atividades sedentárias, liberando uma taxa de calor de 131 W por pessoa (71 sensível e 60 latente), sendo adotada a parcela radiante de 60% (*default* do programa).

TABELA 4.12 - Horário de ocupação de pessoas no dia de projeto

Período	Porcentagem de ocupação de pessoas(%)
De 24 – 08 h	100
De 08 – 12 h	50
De 12 – 13 h	100
De 13 – 18 h	50
De 18 – 24 h	100

Para a iluminação, a rotina de ocupação é o acendimento das lâmpadas às 18:00 h (100 %) e o desligamento total às 22:00 h. Para iluminação tipo fluorescente para uso residencial, a potência dissipada é de 10 W/m², sendo a parcela radiante de 40% e a visível de 20%.

Nos ganhos internos de calor, também foram considerados equipamentos como chuveiro elétrico e um fogão comum. Os dados são apresentados na TAB. 4.13.

TABELA 4.13 - Consumo de eletrodomésticos

Eletrodoméstico	Potência (W)	Média de utilização / dia (min)	Período
Chuveiro elétrico	350	60	De 18 – 19 h
Fogão comum	60	60	De 12 – 13 h

Fonte: PROCEL, 2006; FRANSOZO, 2003

Na ventilação natural da edificação, o fluxo de ar de cada ambiente é calculado pelo *EnergyPlus* por meio da seguinte equação:

$$Ventilação = (V_{projeto}) (F) [A + B |T_{zona} - T_{ar\ externo}| + C(V_{vento}) + D(V_{vento}^2)] \quad (4.1)$$

onde $V_{projeto}$ é a quantidade máxima de ventilação esperada em condições do projeto; F é uma fração (0 a 1) que varia o volume de ar do $V_{projeto}$; T_{zona} é a temperatura da zona térmica que está sendo simulada; $T_{ar\ externo}$ é a temperatura do ambiente externo e V_{vento} é a velocidade do vento.

As aberturas foram consideradas totalmente abertas de 8 as 22 h. Os coeficientes A, B, C e D (Eq. (4.1)) foram definidos conforme os exemplos contidos no banco de dados do programa, resultando em $A = 0,606$; $B = 0,0202$; $C = 0,000598$ e $D = 0,0$.

Para uma mesma região definida no zoneamento bioclimático brasileiro da norma NBR 15220:2005, existem diversas condições reais de ventilação. Além disso, sabe-se que não é possível obter o mesmo número de renovações de ar em todos os ambientes de uma edificação. Mas, como na entrada de dados no programa *EnergyPlus* a taxa de renovação de ar é um item que deve ser considerado na simulação, foi estipulado quatro renovações de ar por hora por ambiente nos dois modelos (COSTA, 2005). Esse valor é considerado o mesmo para todos os cômodos da edificação, o que na verdade, não é real.

Para todas as simulações foram consideradas duas árvores nas fachadas leste e oeste nos dias típicos de verão; como medida de proteção solar.

A interferência do número de renovações de ar nos ambientes e da rotina de ocupação estabelecida, no comportamento térmico da edificação, é apresentada nos resultados mostrados nas FIG. 4.14, 4.15 e 4.16, considerando o Modelo 1 e os dados climáticos da cidade de Belo Horizonte.

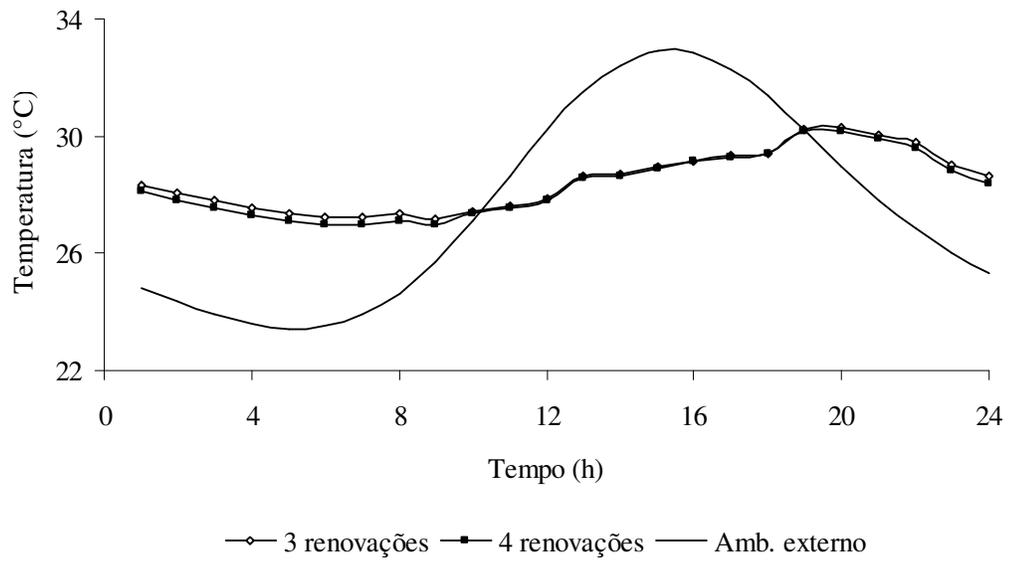


FIGURA 4.14 – Influência do número de renovações do ar por hora na temperatura interna da edificação.

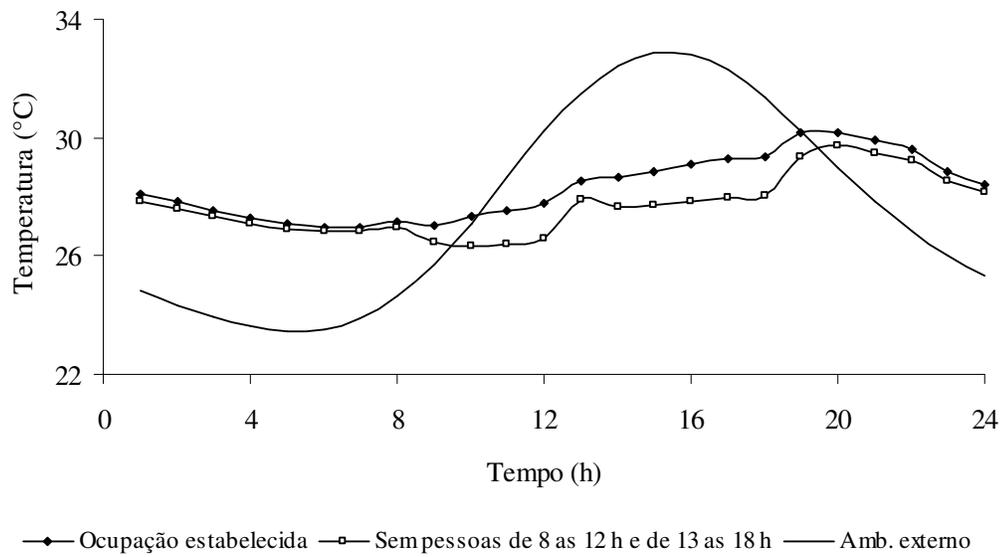


FIGURA 4.15 – Influência do perfil de ocupação nos ganhos internos de calor.

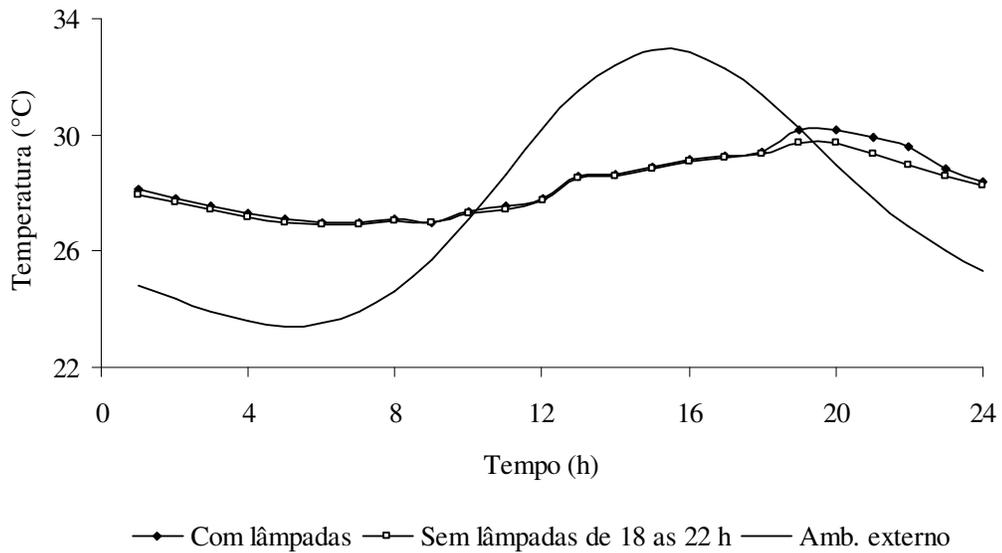


FIGURA 4.16 – Influência do uso de iluminação interna nos ganhos internos de calor.

Observa-se pelos resultados mostrados nas FIG. 4.15 e 4.16, que a rotina de ocupação influencia no valor da temperatura do ar interno. Como o Modelo 1 contempla zonas (cômodos) pequenas, desse modo a carga térmica interna (perfil de ocupação) tem grande influência na resposta do ambiente às interações térmicas com ambiente externo. Sendo assim, uma combinação de estratégias bioclimáticas (por exemplo, ventilação cruzada com fechamento interno pesado) pode proporcionar uma melhora no desempenho térmico da edificação.

CAPÍTULO V

5 RESULTADOS

5.1 Modelo 1

Nos resultados apresentam-se de forma gráfica os comportamentos da temperatura do ambiente externo (Amb. Externo) e das temperaturas dos ambientes internos das zonas térmicas (Cozinha, Sala, Banheiro, Quarto 1, Quarto 2), para as condições de verão e inverno considerando-se as cidades: Belém, Belo Horizonte, Curitiba, Goiânia, Brasília e Teresina. Os fechamentos analisados são definidos por siglas, conforme as tabelas de composição de fechamentos (TAB. 4.4 a 4.11).

5.1.1 Resultados da avaliação na cidade de BELÉM

Nas FIG. 5.1, 5.2 e 5.3 apresentam-se os resultados obtidos para a configuração com fechamento externo FEL 2, fechamento interno FIL 3 e cobertura com laje LSL.

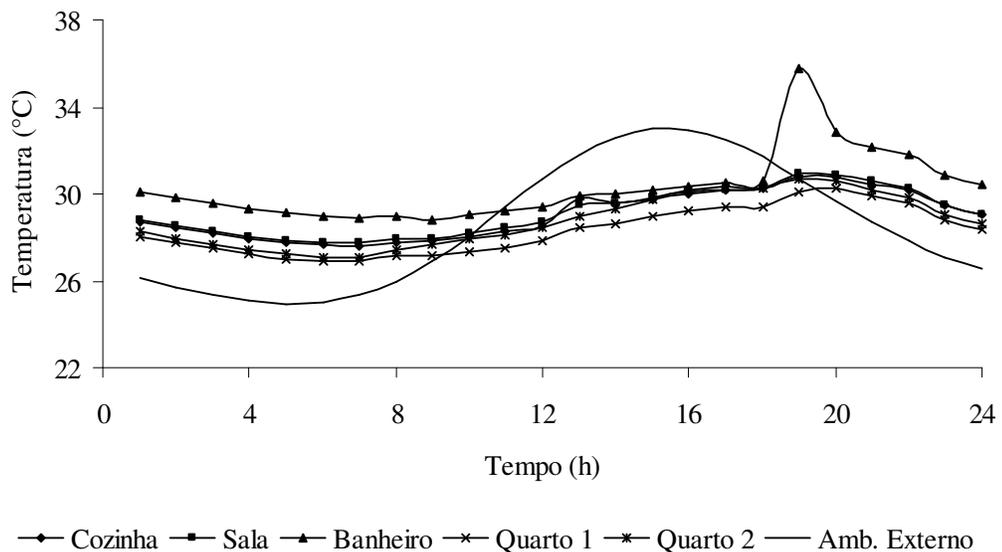


FIGURA 5.1 – Evolução temporal da temperatura com vegetação e solo do entorno coberto com grama (reflexão 0,2) para o dia típico de verão em Belém.

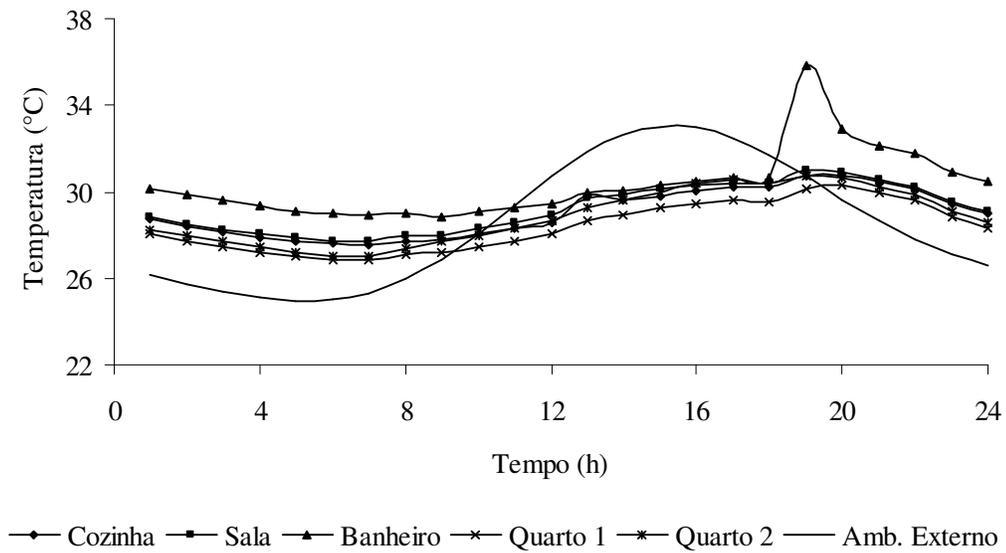


FIGURA 5.2 - Evolução temporal da temperatura sem vegetação e solo do entorno em concreto (reflexão 0,4) para o dia típico de verão em Belém.

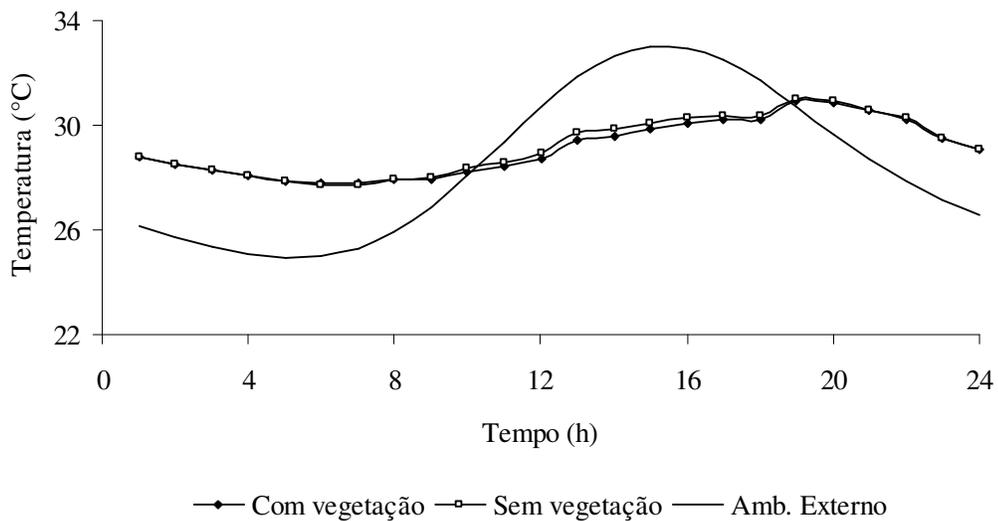


FIGURA 5.3 - Comparação entre os resultados obtidos considerando a SALA para o dia típico de verão em Belém.

Considerando-se os resultados apresentados nas FIG. 5.1 e 5.2, pode-se observar o amortecimento da onda de calor externa pelos fechamentos. Mesmo considerando os fechamentos com amortecimentos indicados na norma NBR 15220:2005, as

temperaturas internas atingem valores maiores que 29° C. Entretanto, já era previsto que o condicionamento passivo seria insuficiente durante as horas mais quentes do dia.

Na FIG. 5.3 observa-se pelos resultados apresentados que o uso de vegetação e grama no entorno da edificação atenua um pouco as temperaturas internas nas horas mais quentes do dia típico de verão. Esse resultado é esperado uma vez que a grama no entorno da edificação diminui a parcela refletida da radiação solar pelo solo. Mas, não foram considerados fatores como o aumento da umidade relativa ou diminuição da temperatura do ar com o uso de vegetação, o que aumentaria a diferença das temperaturas.

Nos gráficos, os resultados apresentam a forma das rotinas de ocupação previamente estabelecidas. Como exemplo, o chuveiro elétrico é ligado de 18 às 19h, gerando um pico na temperatura interna.

5.1.2 Resultados da avaliação na cidade de BELO HORIZONTE

Para a cidade de Belo Horizonte foram montadas quatro configurações de fechamentos (A, B, C e D) de acordo com a norma NBR 15220:2005 para posteriormente fazer o cruzamento de resultados. São apresentados resultados de cada esquema para o dia típico de verão em Belo Horizonte.

Na FIG. 5.4 apresenta-se o resultado obtido para a configuração com fechamento externo FEL 2, fechamento interno FIP 3 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “A”).

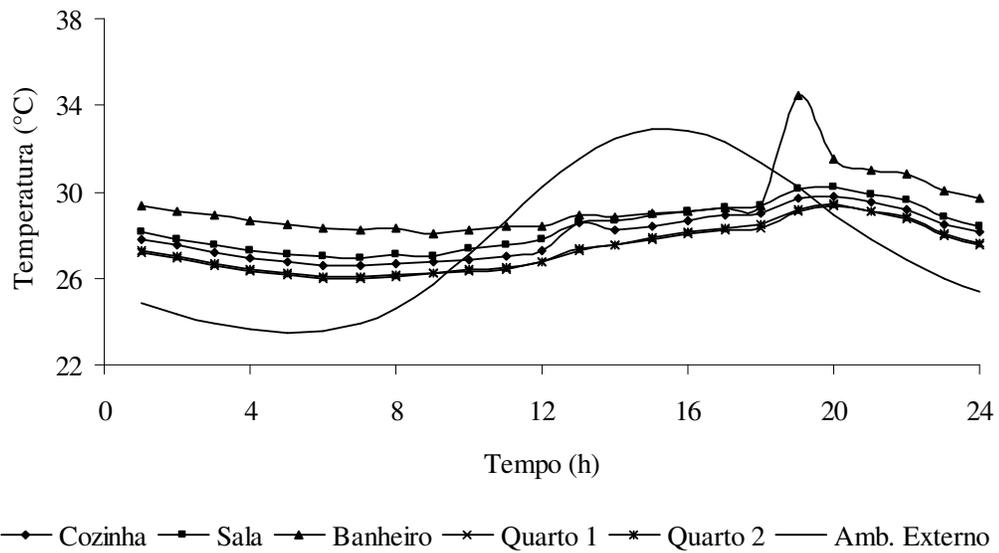


FIGURA 5.4 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte (ESQUEMA “A”).

Na FIG. 5.5 apresenta-se o resultado obtido para a configuração com fechamento externo FEL 1, fechamento interno FIP 3 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “B”).

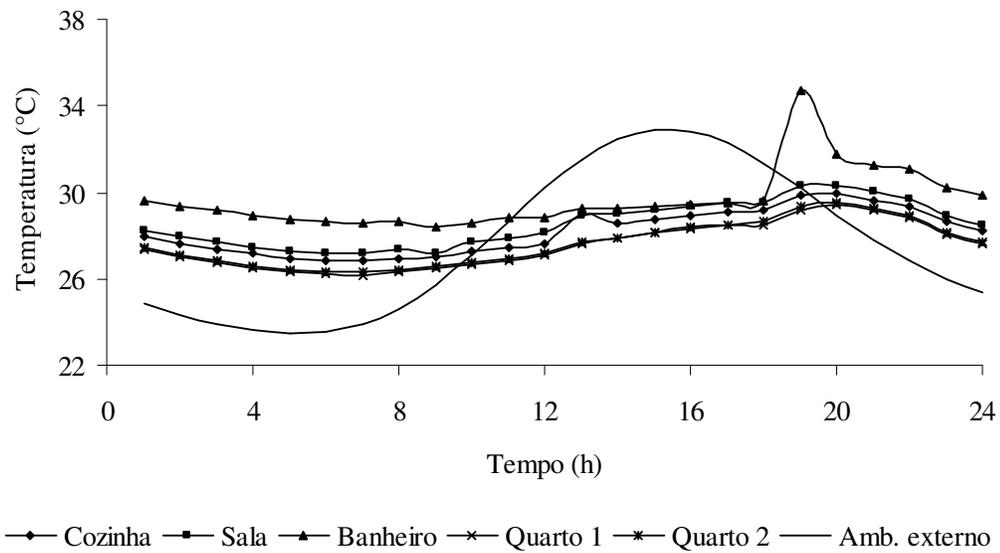


FIGURA 5.5 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte (ESQUEMA “B”).

Na FIG. 5.6 apresenta-se o resultado obtido para a configuração com fechamento externo FIL 1, fechamento interno FIP 1 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “C”).

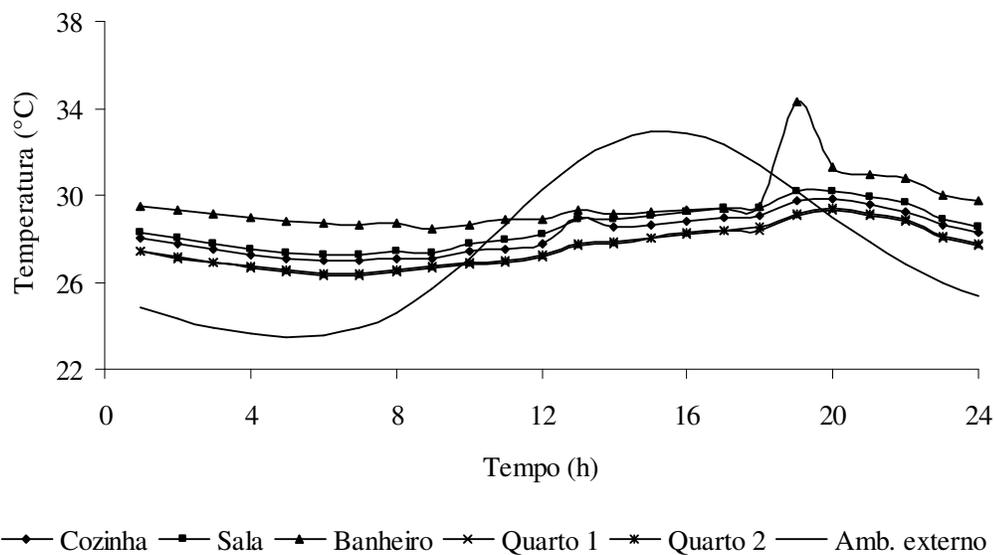


FIGURA 5.6 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte (ESQUEMA “C”).

Na FIG. 5.7 apresenta-se o resultado obtido para a configuração com fechamento externo FIL 2, fechamento interno FIP 2 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “D”).

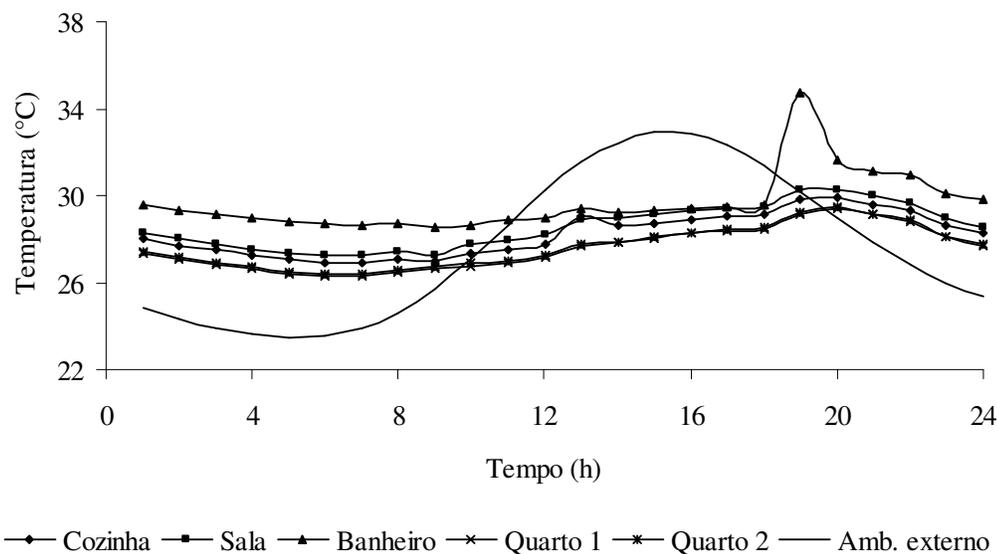


FIGURA 5.7 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte (ESQUEMA “D”).

Na FIG. 5.8 apresenta-se a comparação dos resultados obtidos com as configurações A, B, C e D considerando a Sala para o dia típico de verão em Belo Horizonte.

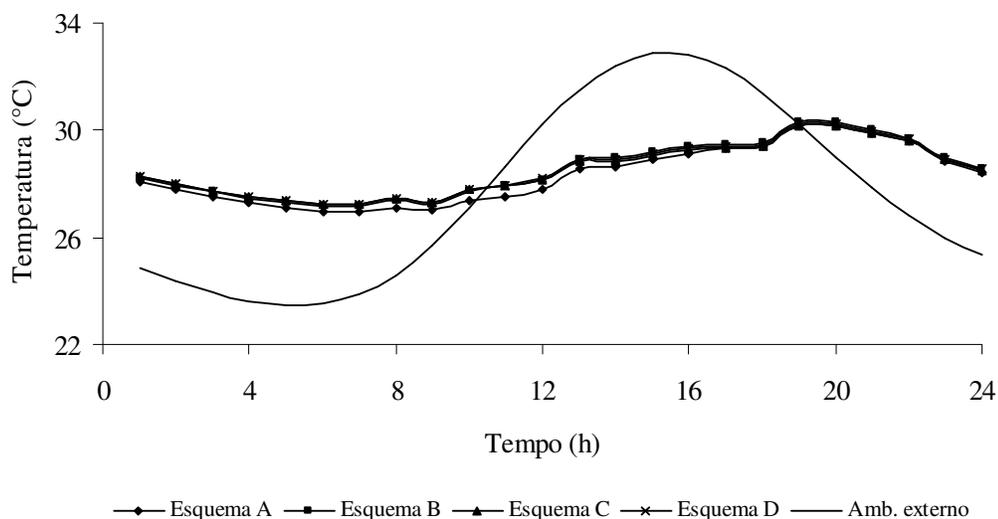


FIGURA 5.8 – Comparação dos esquemas A, B, C e D considerando a sala para o dia típico de verão em Belo Horizonte.

Para o dia típico de verão, o comportamento dos fechamentos analisados foi bastante semelhante (FIG. 5.8).

Para o clima da cidade de Belo Horizonte, o comportamento da temperatura interna nos dois quartos é parecido. Diferentemente de Belém, que possui latitude próxima à linha do equador e a fachada sul recebe incidência solar direta durante todo o dia no verão, acarretando em diferenciais de temperatura interna entre os quartos 1 e 2 (com temperatura mais elevada no verão).

5.1.3 Resultados da avaliação na cidade de CURITIBA

Para Curitiba foi analisado o comportamento dos fechamentos com inércia térmica indicada pela norma NBR 15220:2005, variando-se entre a cobertura com laje seca leve e seca isolada.

Na FIG. 5.9 apresenta-se o resultado obtido para a configuração com fechamento externo FIL 1, fechamento interno FIP 1 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “A”).

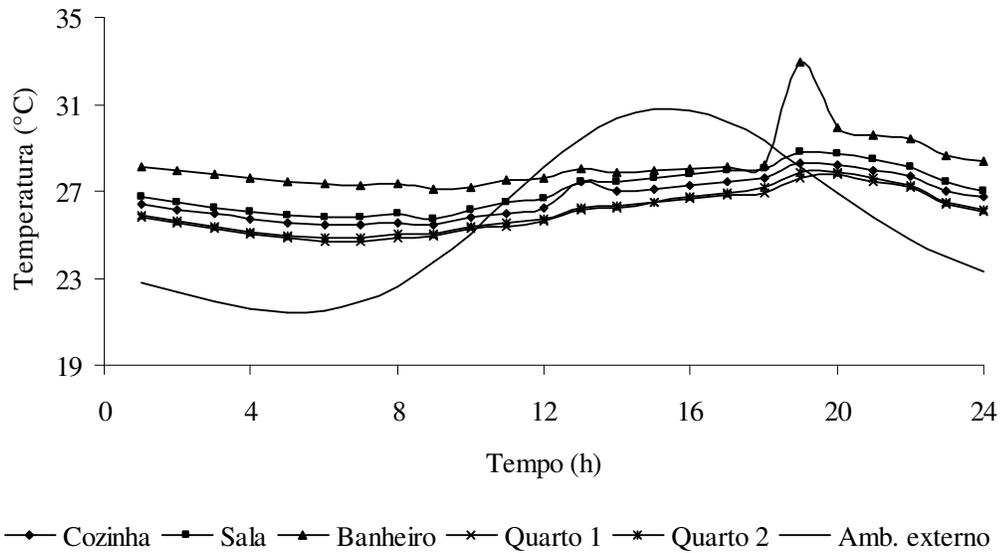


FIGURA 5.9 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Curitiba (ESQUEMA “A”).

Na FIG. 5.10 apresenta-se o resultado obtido para a configuração com fechamento externo FIL 1, fechamento interno FIP 1 e cobertura com laje LSI (ESQUEMA “B”).

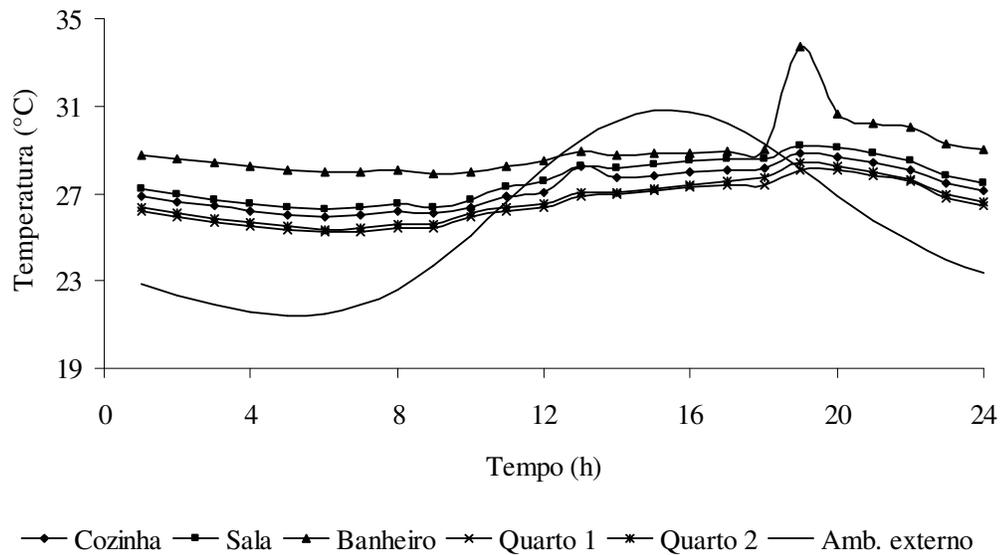


FIGURA 5.10 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Curitiba (ESQUEMA “B”).

Na FIG. 5.11 apresenta-se a comparação dos resultados obtidos com as configurações A e B considerando a Sala para o dia típico de verão em Curitiba.

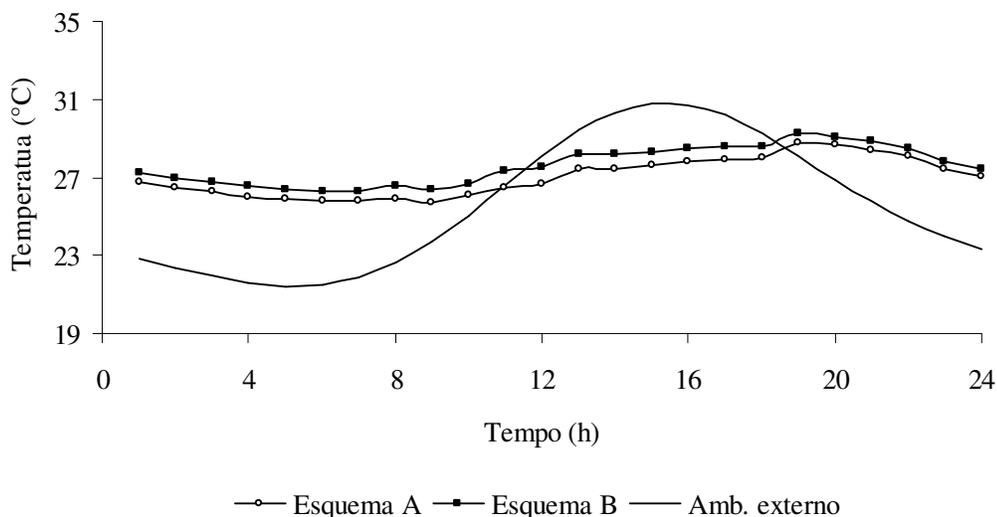


FIGURA 5.11 – Comparação entre a cobertura com laje seca leve (Esquema “A”) e isolada (Esquema “B”) considerando a sala para o dia típico de verão em Curitiba.

Na FIG. 5.11 mostra-se que o uso da cobertura com laje seca isolada chega a apresentar uma diferença de quase 1°C se comparada à cobertura com laje seca leve. Mesmo assim, as duas coberturas proporcionam temperaturas internas abaixo de 29°C para o dia típico de verão em Curitiba, indicando um desempenho térmico adequado da configuração proposta.

5.1.4 Resultados da avaliação na cidade de GOIÂNIA

Para Goiânia foi analisado o comportamento dos fechamentos com inércia térmica indicada pela norma NBR 15220:2005 e dos fechamentos tradicionalmente utilizados em edificações em LSF.

Na FIG. 5.12 apresenta-se o resultado obtido para a configuração com fechamento externo FEP 3, fechamento interno FIP 3 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “A”).

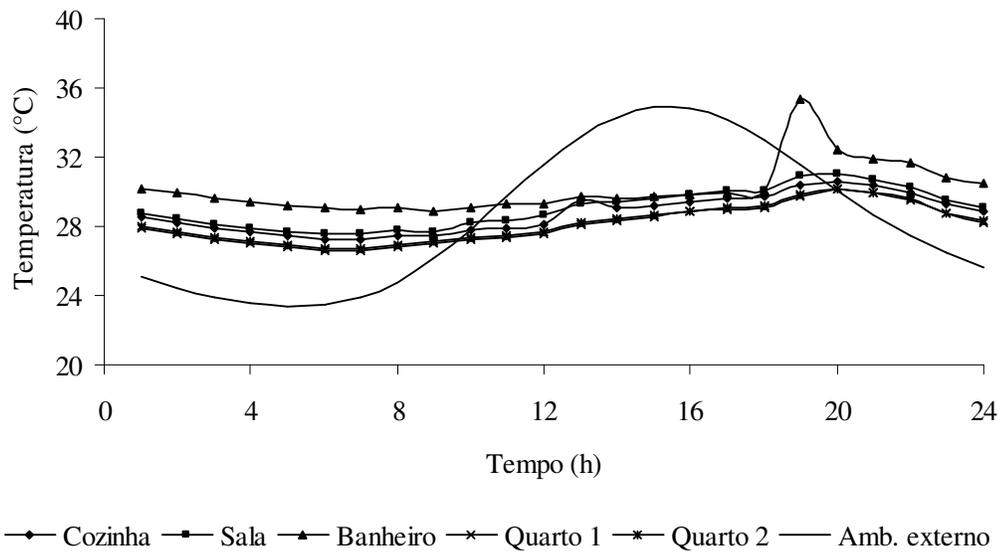


FIGURA 5.12 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Goiânia (ESQUEMA “A”).

Na FIG. 5.13 apresenta-se o resultado obtido para a configuração com fechamento externo FET, fechamento interno FIL 3 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “B”).

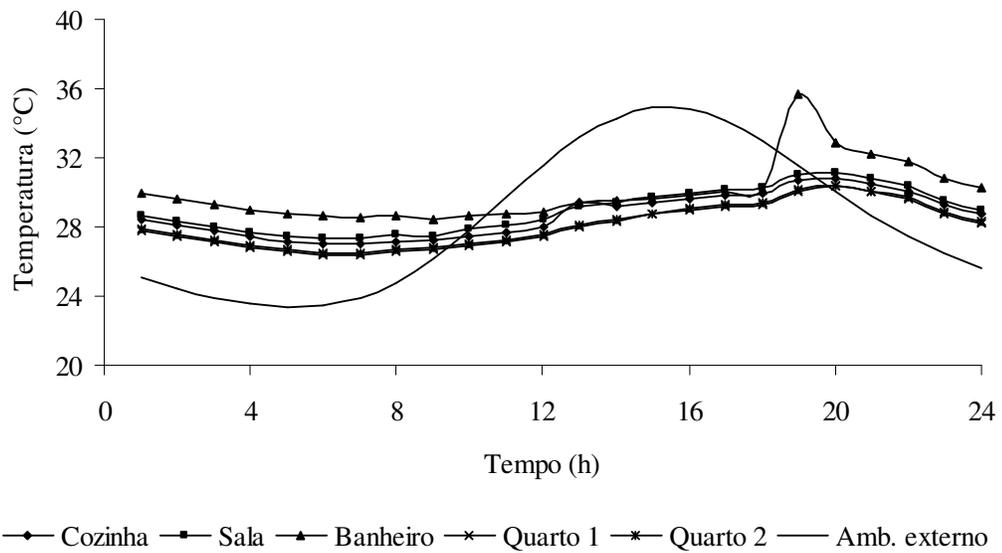


FIGURA 5.13 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Goiânia (ESQUEMA “B”).

Na FIG. 5.14 apresenta-se a comparação dos resultados obtidos com as configurações A e B considerando a Sala para o dia típico de verão em Goiânia.

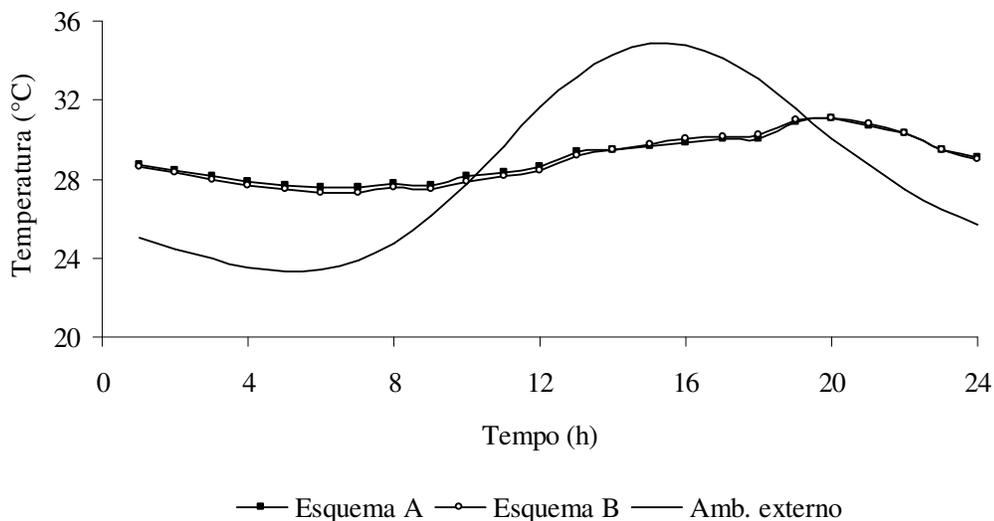


FIGURA 5.14 – Comparação entre os fechamentos pesados (Esquema “A”) e o tradicional (Esquema “B”) considerando a sala para o dia típico de verão em Goiânia.

Na FIG 5.14 vê-se que a diferença no comportamento dos fechamentos analisados é pequena para o clima da cidade de Goiânia. O uso dos dois fechamentos proporciona conforto térmico no verão por quase todo o dia com temperaturas internas abaixo de 29°C nas horas mais quentes, indicando mais uma vez um desempenho adequado da configuração proposta para essas condições climáticas.

5.1.5 Resultados da avaliação na cidade de BRASÍLIA

Para Brasília foi analisado o comportamento dos fechamentos com inércia térmica indicada pela norma NBR 15220:2005, variando-se o acabamento entre *siding* vinílico e argamassa.

Na FIG. 5.15 apresenta-se o resultado obtido para a configuração com fechamento externo FEP 5, fechamento interno FIP 3 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “A”).

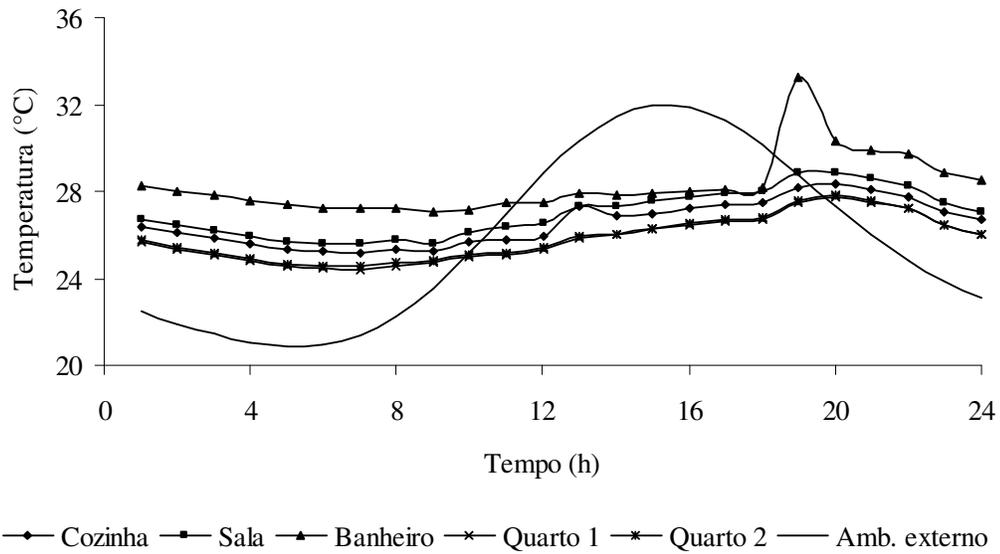


FIGURA 5.15 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Brasília (ESQUEMA “A”).

Na FIG. 5.16 apresenta-se o resultado obtido para a configuração com fechamento externo FEP 6, fechamento interno FIP 3 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “B”).

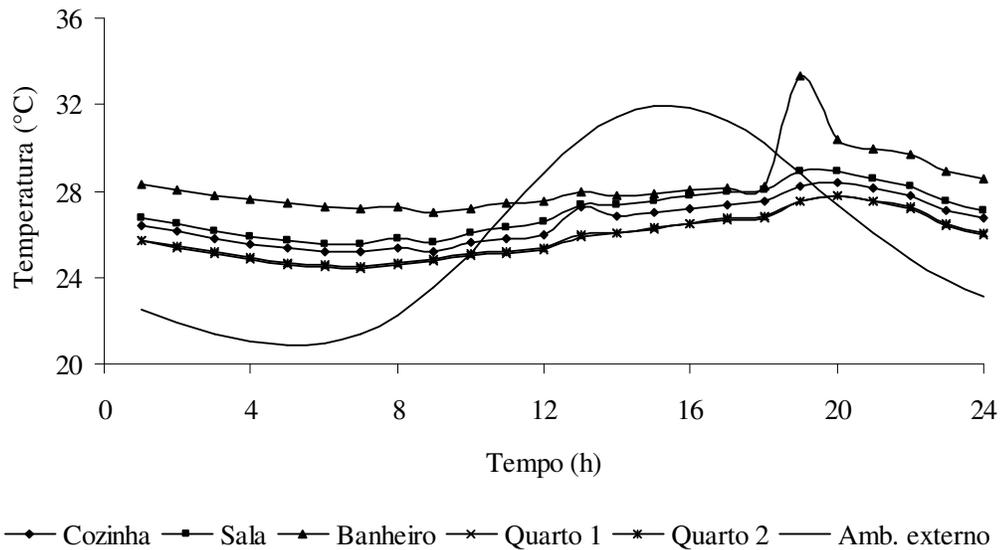


FIGURA 5.16 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Brasília (ESQUEMA “B”).

Na FIG. 5.17 apresenta-se a comparação dos resultados obtidos com as configurações A e B considerando a Sala para o dia típico de verão em Brasília.

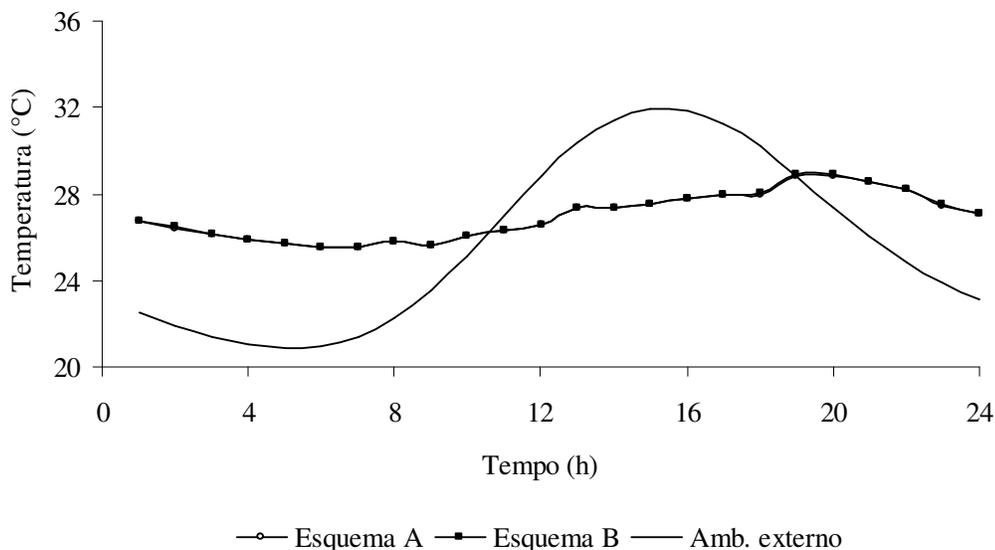


FIGURA 5.17 – Comparação entre os fechamentos com acabamento em *siding* (Esquema “A”) e argamassa (Esquema “B”) considerando a sala para o dia típico de verão de Brasília.

Tanto o fechamento com acabamento em *siding* vinílico ou argamassa apresentou o mesmo comportamento para o verão, uma vez que são camadas finas implicando em pouca influência no desempenho global da edificação.

5.1.6 Resultados da avaliação na cidade de TERESINA

Para Teresina foi analisado o comportamento dos fechamentos com inércia térmica indicada pela norma NBR 15220:2005, variando-se entre a cobertura com laje úmida pesada e seca leve.

Na FIG. 5.18 apresenta-se o resultado obtido para a configuração com fechamento externo FEP 5, fechamento interno FIP 3 e cobertura com laje LUP (ESQUEMA “A”).

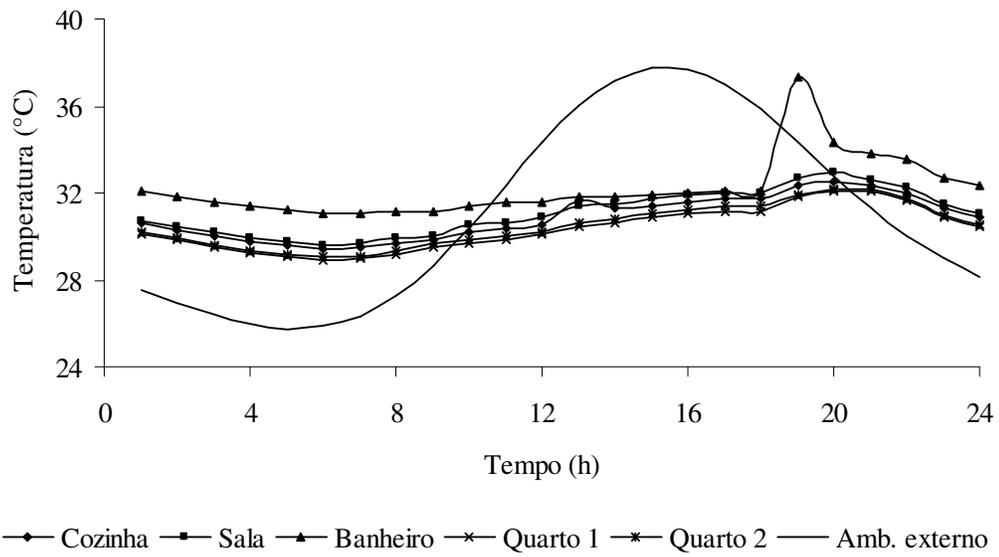


FIGURA 5.18 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Teresina (ESQUEMA “A”).

Na FIG. 5.19 apresenta-se o resultado obtido para a configuração com fechamento externo FEP 5, fechamento interno FIP 3 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “B”).

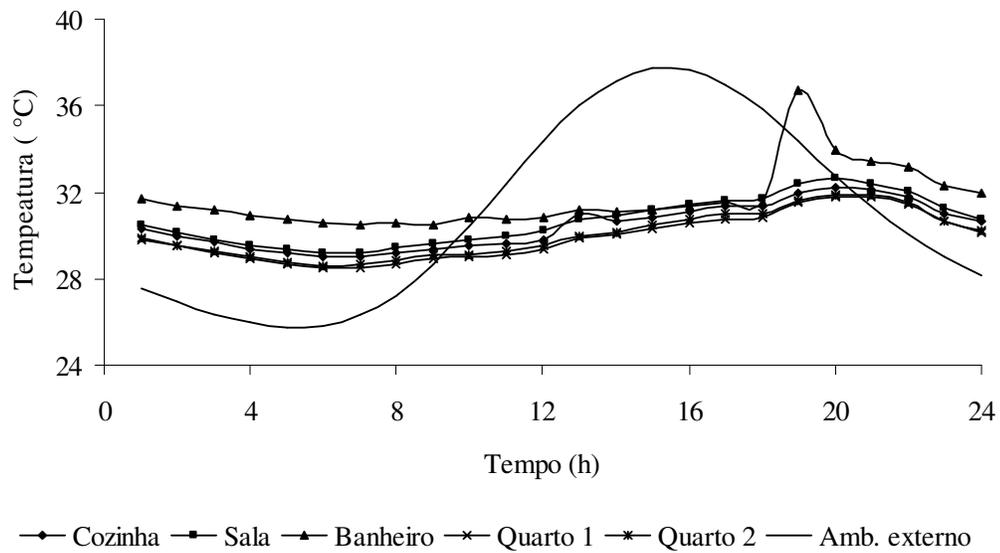


FIGURA 5.19 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Teresina (ESQUEMA “B”).

Na FIG. 5.20 apresenta-se a comparação dos resultados obtidos com as configurações A e B considerando a Sala para o dia típico de verão em Teresina.

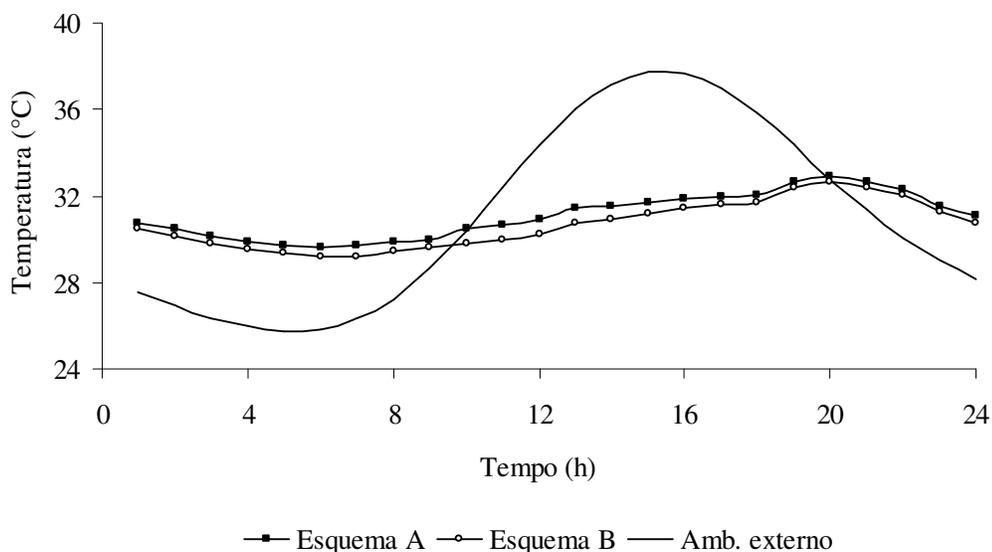


FIGURA 5.20 – Comparação entre cobertura com laje úmida pesada (Esquema “A”) e seca leve (Esquema “B”) considerando a sala para o dia típico de verão em Teresina.

Considerando os resultados mostrados na FIG. 5.20, pode-se dizer que o uso da cobertura com laje úmida pesada implica em temperaturas internas mais elevadas no verão. Os resultados foram obtidos considerando o ático ventilado para as duas configurações de laje.

5.2 Modelo 2

Nos resultados do Modelo 2 apresentam-se de forma gráfica os comportamentos da temperatura do ambiente externo (Amb. Externo) e das temperaturas dos ambientes internos das seguintes zonas térmicas: Quarto empregada, Área de serviço, Cozinha, Sala, Escritório, Quarto 2, Quarto 1, Copa e Suíte; para as condições de verão e inverno¹ considerando a cidade de Belo Horizonte.

¹ Para este caso, foram considerados dados horários de temperatura e umidade para o dia típico de inverno em Belo Horizonte – Fonte dos dados: PINTO, 2000.

Neste caso, foi analisado o comportamento dos fechamentos com inércia térmica indicada pela Norma de Desempenho Térmico e dos fechamentos tradicionalmente utilizados nas edificações em LSF. Nas FIG. 5.21 e 5.22 apresentam-se os resultados obtidos para a configuração com fechamento externo FET, fechamento interno FIL 3 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “A”).

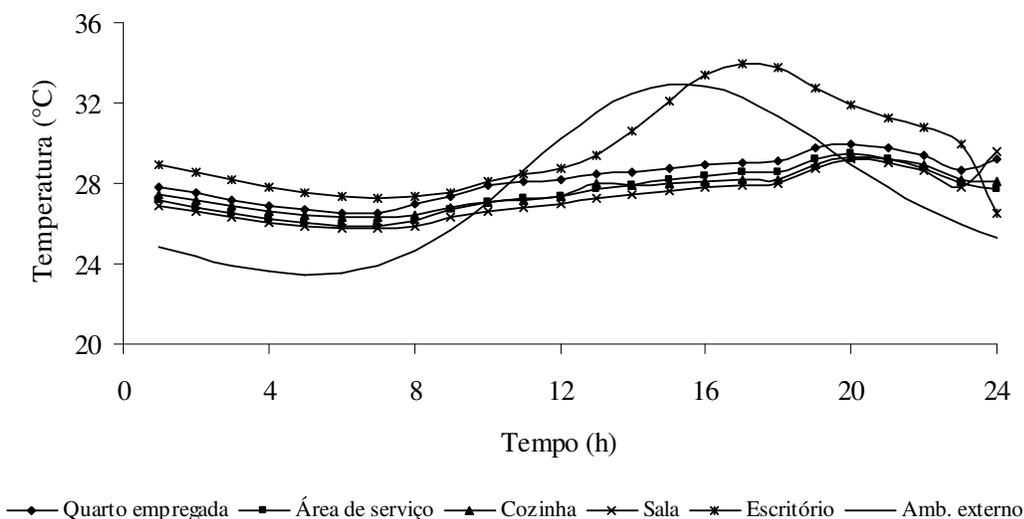


FIGURA 5.21 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte - 1º pvto (ESQUEMA “A”).

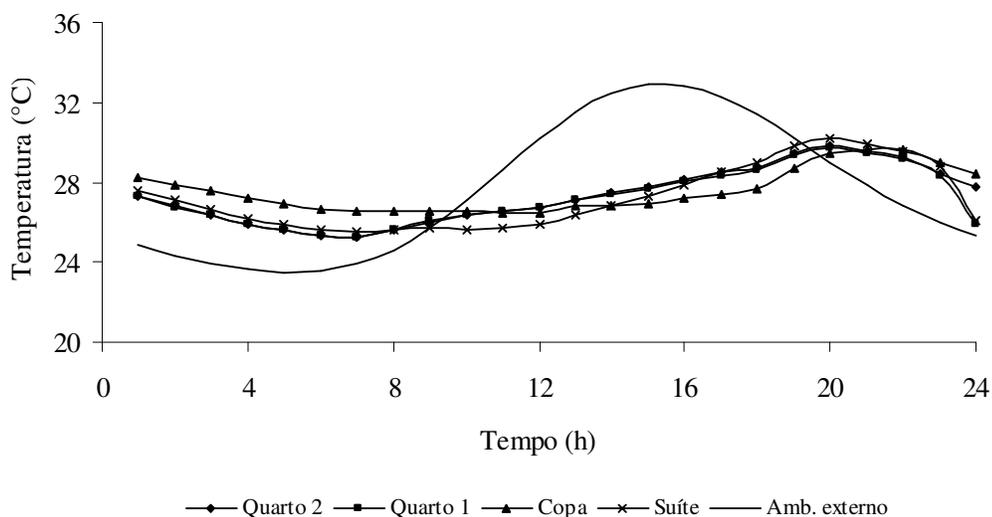


FIGURA 5.22 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte - 2º pvto (ESQUEMA “A”).

Nas FIG. 5.23 e 5.24 apresentam-se os resultados obtidos para a configuração com fechamento externo FIL 1, fechamento interno FIP 1 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “B”).

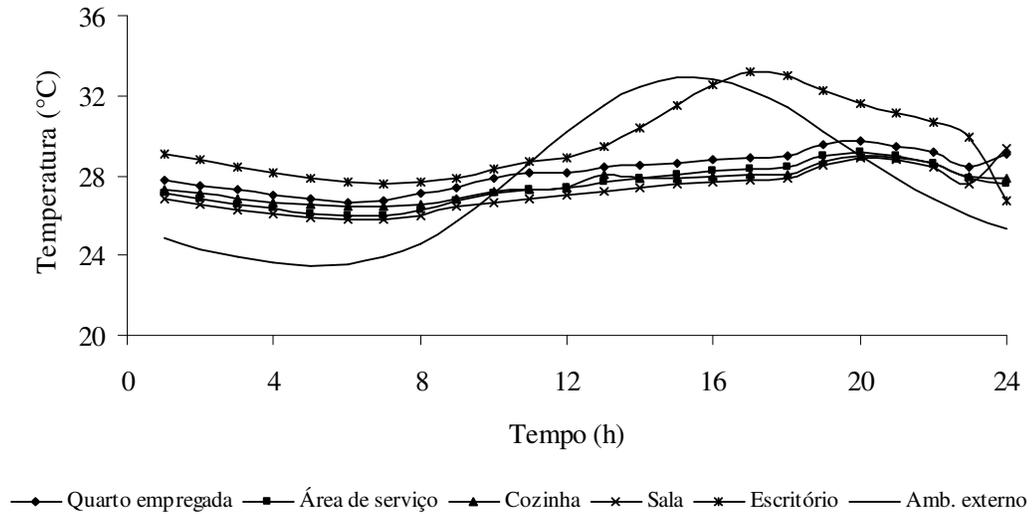


FIGURA 5.23 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte - 1º pvto (ESQUEMA “B”).

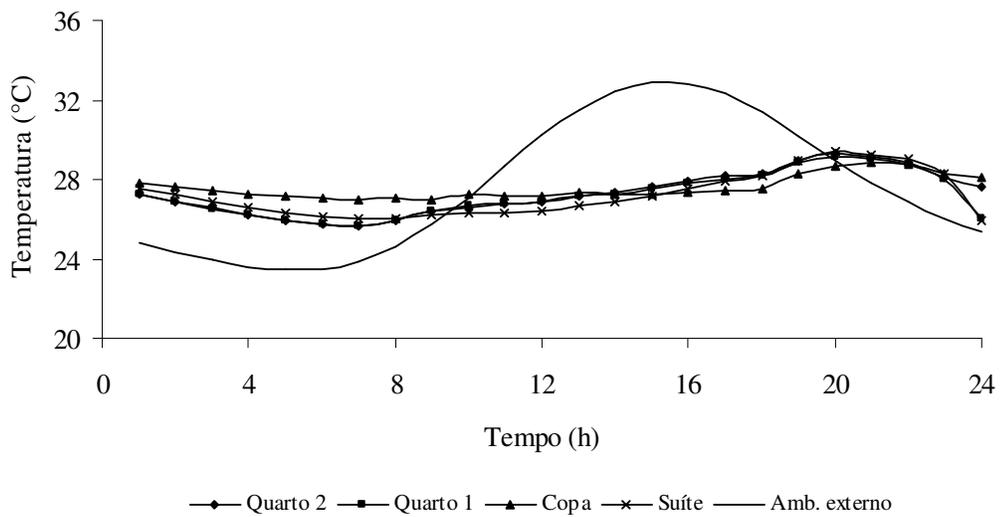


FIGURA 5.24 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte - 2º pvto (ESQUEMA “B”).

Na FIG. 5.25 apresenta-se a comparação dos resultados obtidos com as configurações A e B considerando o QUARTO 1 (2° pvto.) e ESCRITÓRIO (1° pvto.) para o dia típico de verão em Belo Horizonte.

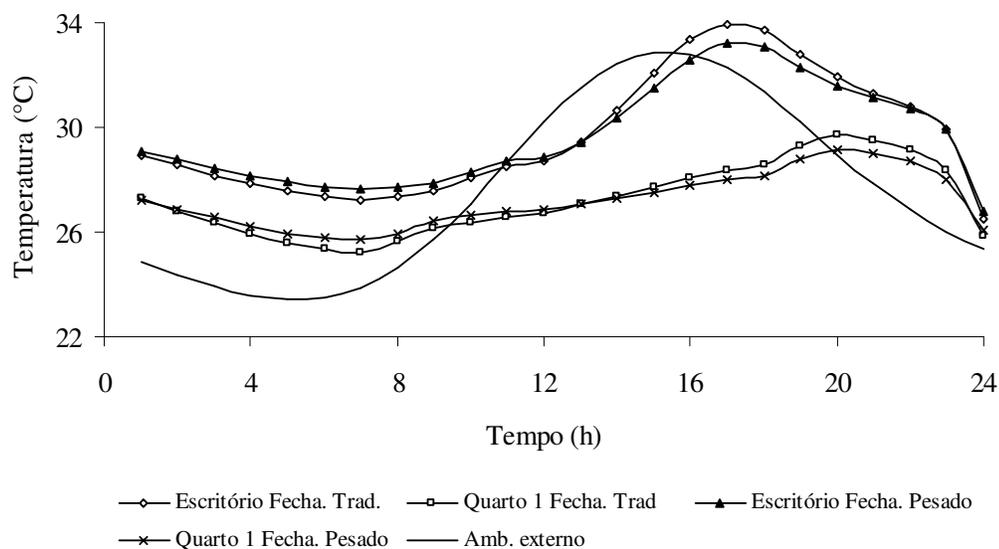


FIGURA 5.25 – Comparação entre fechamento tradicional (Esquema “A”) e pesado (Esquema “B”) considerando o QUARTO 1 (2° pvto.) e ESCRITÓRIO (1° pvto.) para o dia típico de verão em Belo Horizonte.

Nas FIG. 5.26 e 5.27 apresentam-se os resultados obtidos para a configuração com fechamento externo FET, fechamento interno FIL 3 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “A”).

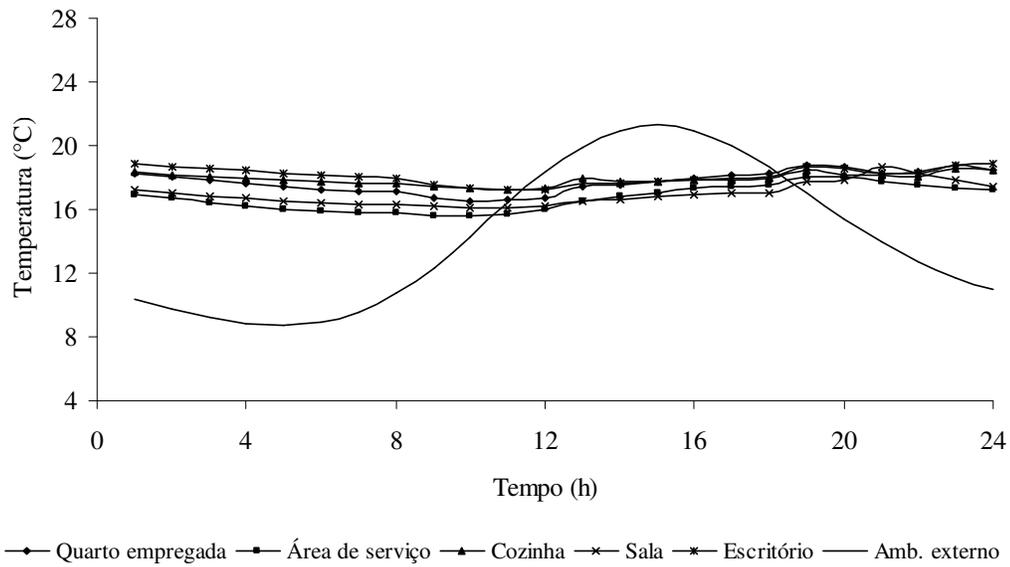


FIGURA 5.26 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno em Belo Horizonte - 1° pvto (ESQUEMA “A”).

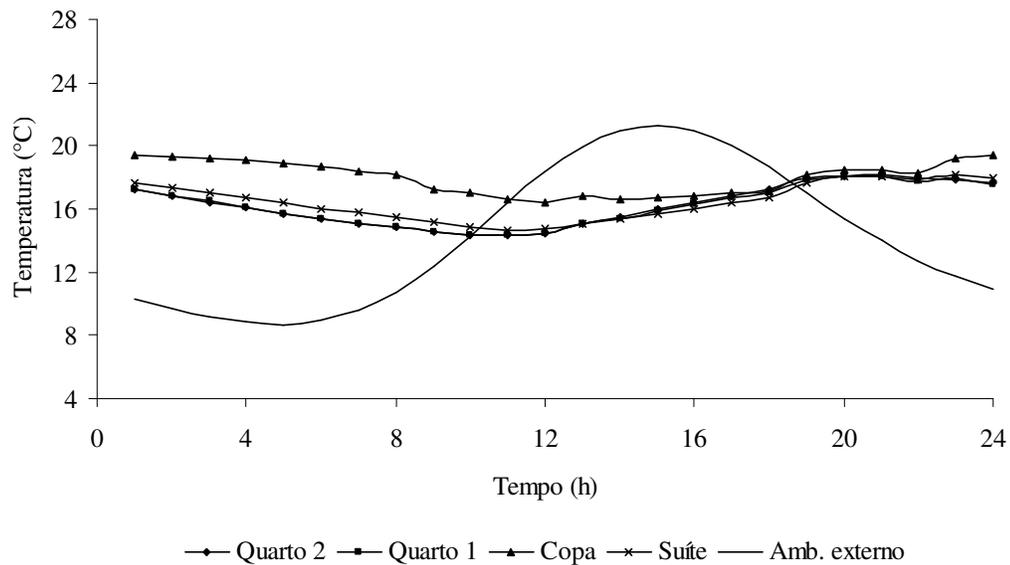


FIGURA 5.27 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno em Belo Horizonte - 2° pvto (ESQUEMA “A”).

Nas FIG. 5.28 e 5.29 apresentam-se os resultados obtidos para a configuração com fechamento externo FIL 1, fechamento interno FIP 1 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “B”).

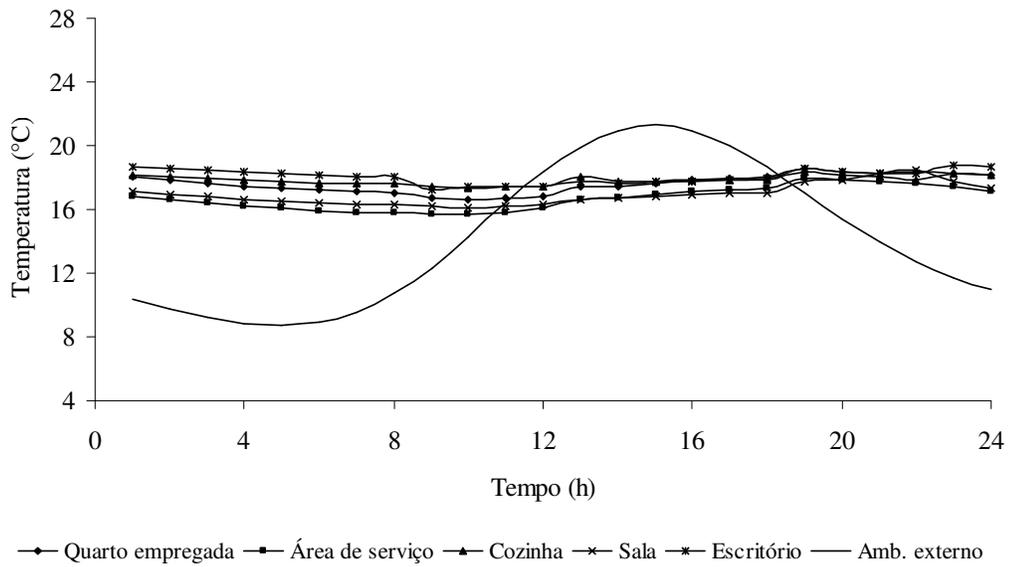


FIGURA 5.28 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno em Belo Horizonte - 1° pvto (ESQUEMA “B”).

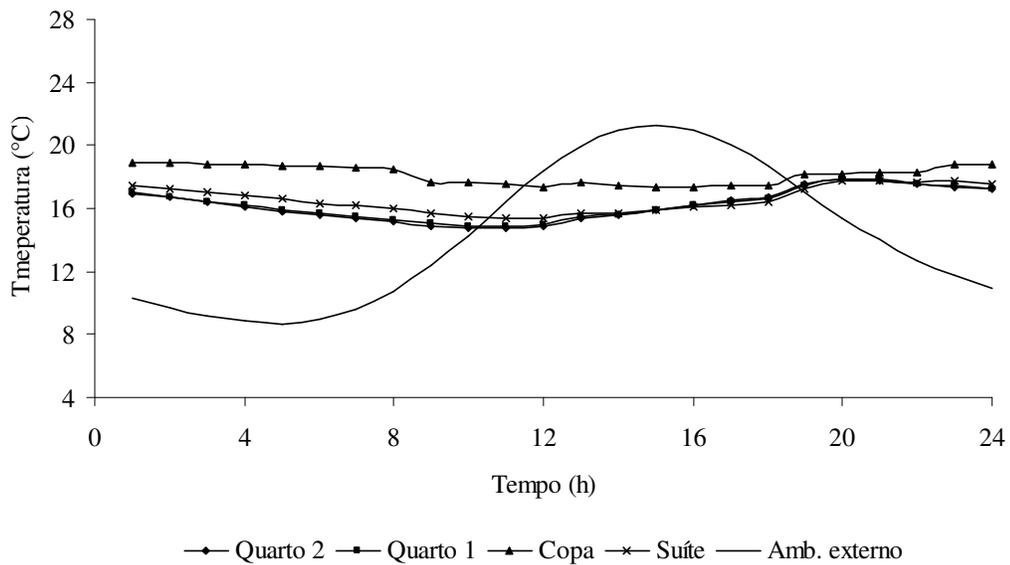


FIGURA 5.29 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno em Belo Horizonte - 2° pvto (ESQUEMA “B”).

Na FIG. 5.30 apresenta-se a comparação dos resultados obtidos com as configurações A e B considerando o QUARTO 1 (2° pvto.) e ESCRITÓRIO (1° pvto.) para o dia típico de inverno em Belo Horizonte.

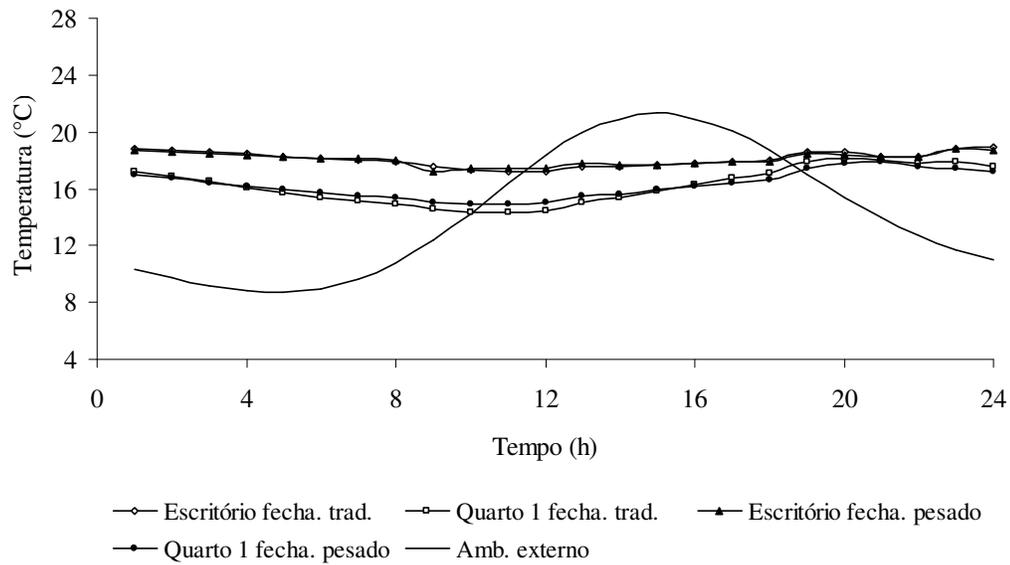


FIGURA 5.30 – Comparação entre fechamento tradicional (Esquema “A”) e pesado (Esquema “B”) considerando o QUARTO 1 (2° pvto.) e ESCRITÓRIO (1° pvto.) para o dia típico de inverno em Belo Horizonte.

Para a comparação dos resultados foram escolhidos os ambientes com melhor e pior desempenho térmico. Para o dia típico de verão, o uso do fechamento interno pesado implica na diminuição da amplitude térmica se comparado ao tradicional, minimizando as temperaturas internas no escritório. Já para o inverno, o comportamento dos dois esquemas é semelhante, embora atuem de forma diferente; pois um esquema tem o fechamento externo com melhor isolamento, e o outro, tem o fechamento interno com uma capacidade de atraso térmico maior.

CAPÍTULO VI

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1 Considerações finais

Comparando os sistemas de fechamentos com atraso térmico indicado pela norma NBR 15220:2005 nos dois modelos, observa-se que, para qualquer configuração de fechamento adotada, houve um amortecimento da onda de calor exterior para os dias típicos de verão analisados. Embora, nos climas quentes e úmidos as construções de uso noturno não devam ter uma inércia térmica muito grande, para não evitar a retirada do calor armazenado pela ventilação noturna, a inércia térmica na maioria das vezes exerce uma influência reguladora nas flutuações da temperatura, contribuindo com o conforto ambiental.

Considerando os dois modelos simulados, nos períodos do dia em que a temperatura externa está mais amena, os ambientes de maior permanência como os quartos apresentam temperaturas mais elevadas. Este comportamento ocorre devido à falta de ventilação dos ambientes no horário de 22 às 8 horas (previamente estabelecido nas rotinas de ocupação), aos ganhos internos de calor e à inércia térmica da edificação.

Para as regiões climáticas analisadas, para um dia típico de verão, a configuração de projeto proposta proporciona um desempenho térmico adequado para a maioria dessas regiões, a menos de Teresina e Belém como era esperado. Nessas duas regiões têm-se condições climáticas mais severas e nesse caso para algumas horas do dia haveria a necessidade de uma intervenção mecânica para se alcançar as condições internas de conforto térmico.

O modelo 1, por se tratar de uma adaptação de um protótipo de residência unifamiliar de caráter popular em *Light Steel Framing*, está sujeito a problemas advindos da má concepção do projeto arquitetônico. Como a produção da habitação de interesse social é caracterizada pela preocupação do barateamento da construção, a qualidade

arquitetônica da edificação fica comprometida, forçando os moradores a se adaptarem às dimensões mínimas dos ambientes (HERMSDORFF, 2005). Mesmo utilizando fechamentos internos e externos que amenizem as condições climáticas mais severas, um projeto com problemas de formulação construtiva não é capaz de proporcionar reais condições de conforto ambiental.

A utilização de mais de uma chapa de qualquer material (gesso acartonado, placa cimentícia e placa de OSB) nos fechamentos internos das edificações em *Light Steel Framing* não é uma prática comum no Brasil; embora seja eficiente no atraso térmico das paredes. Uma alternativa seria aumentar a alma dos montantes a fim de aumentar a camada de ar; mas implicaria em um aumento de custos que não seriam compatíveis com o conceito de uma casa residencial popular.

Como o sistema de fechamento no LSF é baseado no conceito de isolamento multicamada, é possível reproduzir quaisquer comportamentos térmicos de fechamentos de acordo com as exigências do projeto, sem esquecer o conceito da estrutura do sistema, que deve ser leve.

No entanto, a escolha entre qualquer um dos sistemas de fechamento deve, além do desempenho térmico, contemplar o custo, a facilidade construtiva, a disponibilidade local do produto e também a estética.

A abordagem numérica para avaliação de desempenho térmico de edificações, ventiladas naturalmente e/ou condicionadas artificialmente, permite prever o desempenho energético de um projeto arquitetônico e conhecer o comportamento dos elementos construtivos propostos, ainda na fase de estudo preliminar. Em função da complexidade do modelo físico e matemático, que representa as interações térmicas entre o ambiente interno e externo, a solução numérica é uma ferramenta imprescindível.

Embora sejam muitos os programas computacionais de avaliação de desempenho de edificações disponibilizados, a aplicação prática dessas ferramentas tem sido pouco

expressiva devido ao tempo necessário para treinamento do usuário. Em função da preocupação com a preservação ambiental, esse tipo de ferramenta deveria ser de conhecimento dos profissionais da área de construção civil (engenheiros e arquitetos). Na atualidade, essa metodologia está se consolidando no Brasil ainda de forma lenta e esse trabalho vem, nesse sentido, dar uma contribuição na obtenção de edificações mais eficientes energeticamente.

6.2 Sugestões para futuras pesquisas

- Estudo de viabilidade econômica das diferentes composições de fechamentos utilizadas no sistema *Light Steel Framing*;
- Avaliação do desempenho térmico dos modelos, com mais configurações de fechamentos e/ou combinação de estratégias bioclimáticas;
- Análise acústica dos modelos, considerando os diferentes tipos de fechamentos;
- Análise do desempenho da iluminação natural integrada à artificial fazendo-se um estudo de custos de consumo energético;
- Análise experimental *in loco* do Modelo 2 e confrontação dos resultados com a análise numérica realizada neste trabalho;
- Simulação integrando sistemas de condicionamento natural e artificial;
- Simulação de edificações utilizando o recurso COMIS do *EnergyPlus*, modo complexo de ventilação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKUTSU, Maria. *Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil*. 1998. 156 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

AMERICAN Society of Heating, Refrigerating and Air Conditionig Engineers (ASHRAE). *ASHRAE Handbook: Fundamentals*. Atlanta, ASHRAE, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE CHAPAS PARA DRYWALL - DRYWALL. *Manual de projetos de sistemas Drywall: paredes, forros e revestimentos*. São Paulo: Pini, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE BLOCOS E CHAPAS DE GESSO - Abragesso. *Manual de montagem de sistemas drywall*. São Paulo: Pini, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 15220: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social*. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 6355: Instalações centrais de ar condicionado para conforto: parâmetros básicos de projeto*. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 6401: Instalações centrais de ar condicionado para conforto: parâmetros básicos de projeto*. Rio de Janeiro, 1980.

BONITESE, Karina Venâncio. Primeira residência de BH em *Light Steel Framing*. *REVISTA OBRAS ON LINE*. São Paulo: OBRAS ON LINE, n. 29, jul. 2006.

BRASILIT. *Linha BrasiPlac*. Catálogo. São Paulo: SAINT-GOBAIN BRASILIT LTDA, 2006.

BROWN, G. Z. *Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

BUORO, Anarrita Bueno *et al.* Análise comparativa na simulação de modelo habitacional nos softwares *EnergyPlus* e *Tas*. In: ENTAC 2006, 11, 2006, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: ENTAC 2006, 2006. p. 113-122.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. *Sistema Construtivo utilizando perfis estruturais formados a frio de aços galvanizados (steel framing): requisitos e condições mínimas para financiamento pela CAIXA*. 2003.

CAPELLO, Giuliana. Construções eficientes. *REVISTA TÉCNICA*. São Paulo: PINI, n. 111, jun. 2006.

CASA EFICIENTE. Disponível em: <<http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/>> Acesso em: 25 abr. 2006.

CASTRO, Eduardo Munhoz de Lima. Casa popular com estrutura de aço leve. *REVISTA TÉCNICA*. São Paulo: PINI, n. 115, out. 2006.

CLARKE, J. A. *Energy simulation in building design*. . Bristol: Adam Hilger Ltda, 1985.

CORBELLA, Oscar. *Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental*. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

COSTA, Ennio Cruz da. *Ventilação*. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

CRASTO, Renata Cristina Moraes de. *Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: light steel framing*. 2005. 231 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

CRAWLEY, D. B. *et al.* EnergyPlus: Energy Simulation Program. *ASHRAE journal*. Atlanta: ASHRAE, 2000, v.42, p. 49-56.

DESIGNBUILDER SOFTWARE. DesignBuilder: Building Design, Simulation, Visualisation. Disponível em <<http://www.designbuilder.co.uk/>>. Acesso em: 19 jun. 2006.

FANGER, P. O. *Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering*. United States: McGraw-Hill Book Company, 1972.

FRANSOZO, Hélder Luíz. *Avaliação de desempenho térmico de habitações de baixo custo estruturadas em aço*. 2003. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003.

FREITAS, Arlene M. Sarmanho; CRASTO, Renata C. Moraes. *Steel Framing: Arquitetura*. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. (Série Manual da Construção em Aço).

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. *Manual de conforto térmico*. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GIVONI, B. *Comfort climate analysis and building design guidelines*. Energy and Buildings, v. 18, n. 1, 1992.

GOULART, S. *et al. Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico*. Florianópolis: UFSC, 1994. Relatório interno 02/94 - NPC.

GOULART, S. *et al. Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras*. São Paulo: PW ed, 1997.

GREEN BUILDING COUNCIL. Disponível em: <[http:// www.usgbc.org/LEED - U.S/](http://www.usgbc.org/LEED_U.S/)> Acesso em: 9 nov. 2006.

HERMSDORFF, Mariana M. de Carvalho. *A estrutura metálica como solução para a habitação de interesse social: uma avaliação pós-ocupação do conjunto habitacional usiteto em Nova Lima*. 2005. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Sistema Lafarge Gypsum: paredes de chapas de gesso acartonado*. São Paulo: Divisão de Engenharia Civil, 2002. (Referência técnica nº 17).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. *Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social*. São Paulo: Ed. Mandarim Ltda, 1998. 82 p. (Relatório Técnico nº 33.800).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 7730: Moderate thermal environments: Determination of the PMV and PPD índices and specification of the conditions for thermal comfort*. Switzerland, 1994.

ISOVER. Wallfelt para paredes em Drywall. Disponível em <[http:// www.saint-gobain-isover.com.br](http://www.saint-gobain-isover.com.br)>. Acesso em: 19 jun. 2006.

IZARD, J. L.; GUYOT, A. *Arquitetura bioclimática*. Barcelona: Gustavo Gili, 1980.

JARDIM, G. T. C.; CAMPOS, A. S. Light Steel Framing: uma aposta do setor siderúrgico no desenvolvimento tecnológico da construção civil. In: MARTINS, P. *et al. Inovação em construção civil: monografias*. São Paulo: Instituto UNIEMP, 2005. p. 27-45.

KNAUF DRYWALL. *Paredes Knauf com estrutura metálica*. Catálogo. Rio de Janeiro: Knauf do Brasil, 2005.

KRUGER, P. von. *Análise de painéis de vedação nas edificações em estrutura metálica*. 2000, 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2000.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. *Eficiência energética na arquitetura*. São Paulo: PW Editores, 1997.

LARA, Valéria Cristina Diniz; ALUCCI, Márcia Peinado. O uso de tecnologias passivas e a eficiência energética no edifício sede dos correios, em Belo Horizonte. In: ENTAC 2006, 11, 2006, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: ENTAC 2006, 2006. p. 484-493.

LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. *EnergyPlus Engineering Reference: The Reference to EnergyPlus Calculations*. April 20, 2006.

LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. *EnergyPlus Input Output Reference: The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output*. April 20, 2006.

LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. *Getting Started with EnergyPlus: Everything You Need to Know about Running EnergyPlus*. April 20, 2006.

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

MASISA. *Painel estrutural OSB Masisa: recomendações práticas*. Catálogo. Ponta Grossa: Masisa, 2003.

MONTENEGRO, Gildo A. *Ventilação e cobertas*. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1984.

PAINEL EIFS. Disponível em: <[http:// www.futureeng.com/eifs.htm/](http://www.futureeng.com/eifs.htm/)> Acesso em: 9 nov. 2006.

PEREIRA, Iraci Miranda. *Novas metodologias para simulação energética de edificações: estudo de caso*. 2004. 231 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares) – Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

PINTO, Maria Angélica Vieira. *Avaliação térmica de edifícios em estrutura metálica*. 2000. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2000.

- PRIMAVERA GREEN OFFICE. Disponível em: <<http://www.officegreen.com.br/>> Acesso em: 9 nov. 2006.
- PROCEL. Programa nacional de conservação de energia elétrica. Canal do consumidor. Consumo de eletrodomésticos. Disponível em: <<http://www.eletronbras.gov.br/procel/>>. Acesso em: nov. 2006.
- RIVERO, Roberto. *Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural*. 2. ed. Porto Alegre: D. C. Luzzatto Editores, 1986.
- RODRIGUES, Francisco Carlos. *Steel Framing: Engenharia*. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. (Série Manual da Construção em Aço).
- ROMERO, M. A. B. *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. São Paulo: Projeto Editores Associados Ltda, 1998.
- RORIZ, M. *et al.* Um zoneamento bioclimático para a arquitetura no Brasil. São Carlos, 7 p, 2000. Disponível em: <www.labeee.ufsc.br>. Acesso em: 29 maio. 2006.
- RUAS, Álvaro Cesar. *Conforto térmico nos ambientes de trabalho*. São Paulo: Fundacentro, 1999.
- SALES, U. C. *Mapeamento dos problemas gerados na associação entre sistemas de vedação e estrutura metálica e caracterização acústica e vibratória de painéis de vedação*. 2001. 249 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001.
- SALES, U. C.; SOUZA, H. A.; NEVES, Francisco de Assis das. Interfaces entre Sistemas de Vedação e Estruturas Metálicas, Problemas Reais. *Téchne*, São Paulo, v. ago, n. 53, p. 98-102, 2001.
- SILVA, Maristela Gomes da; SILVA, Vanessa Gomes da. *Painéis de Vedação*. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 200-. (Série Manual da Construção em Aço).
- SOUZA, Henor Artur de. *Análise térmica de edificações*. Ouro Preto: Escola de Minas, 2005. 122 f. Notas de aula.
- SOUZA, H. A; MAZON, A. A. O.; SILVA, Rodolfo Gonçalves Oliveira da. Ventilação natural em galpões: o uso de lanternins nas coberturas. *Revista da Escola de Minas*, v. 59, p. 179-184, 2006.
- TENÓRIO, Rosângela. Australianos misturam influências britânicas do passado com a rapidez e leveza dos sistemas atuais. *ARQUITETURA E URBANISMO*. São Paulo: ABM, n. 92, out./nov. 2000.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Programas: Analysis SOL-AR, Arqitrop, E2-AC, Sunpath. Disponível em <<http://www.labee.ufsc.br/software/software>>. Acesso em: 05 abr. 2006.

U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. Building Energy Software Tools Directory. Disponível em <http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/>. Acesso em: 19 jun. 2006.

U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus Energy Simulation Software. Disponível em <<http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>>. Acesso em: 19 jun. 2006.

USIMINAS. *Steel Framing*: solução USIMINAS para a construção civil. Catálogo. Belo Horizonte: USIMINAS, 2005.

VITTORINO, Fúlvio. Desempenho térmico e lumínico de edifícios habitacionais: discussão da proposta de normalização para habitações de até cinco pavimentos. In: HABITAÇÃO: DESEMPENHO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2005, São Paulo. *Anais do seminário Habitação: desempenho e inovação tecnológica*. São Paulo: IPT, 2005. p. 7-16.

WESTPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto. Simulação energética de edificações no programa EnergyPlus utilizando dados das normais climatológicas. In: ENCAC-ELACAC 2005, 2005, Maceió. *Anais...* Maceió: ENCAC-ELACAC 2005, 2005. p. 2183-2192.

ANEXO I

ANEXO I

Nas TAB. A.1 a A.6 apresentam-se as características dos dias típicos de verão para as regiões consideradas: Curitiba, Belo Horizonte, Brasília, Goiânia, Teresina e Belém.

TABELA A.1 – Dia típico de verão de Curitiba.

Nome do dia de projeto	Curitiba verão
Temperatura de bulbo seco máxima do dia (°C)	30.9
Amplitude diária da temperatura (°C)	9.5
Temperatura indicativa de umidade na máxima TBS (°C)	20.2
Pressão barométrica constante do dia (Pa)	90882
Velocidade do vento (m/s)	4.4
Direção do vento em graus	300
Índice de <i>limpidez</i> do céu	1
Indicador de chuva	0
Indicador de neve	0
Dia do mês	21
Mês	1
Tipo do dia	<i>SummerDesignDay</i>
Indicador de horário de verão	0
Temperatura indicativa de umidade	<i>Wet-Bulb</i>

Fonte: U. S. DOE, 2006

TABELA A.2 – Dia típico de verão de Belo Horizonte.

Nome do dia de projeto	Belo Horizonte verão
Temperatura de bulbo seco máxima do dia (°C)	33
Amplitude diária da temperatura (°C)	9.6
Temperatura indicativa de umidade na máxima TBS (°C)	20.7
Pressão barométrica constante do dia (Pa)	92243
Velocidade do vento (m/s)	2.4
Direção do vento em graus	100
Índice de <i>limpidez</i> do céu	1
Indicador de chuva	0
Indicador de neve	0
Dia do mês	21
Mês	2
Tipo do dia	<i>SummerDesignDay</i>
Indicador de horário de verão	0
Temperatura indicativa de umidade	<i>Wet-Bulb</i>

Fonte: U. S. DOE, 2006

TABELA A.3 – Dia típico de verão de Brasília.

Nome do dia de projeto	Brasília verão
Temperatura de bulbo seco máxima do dia (°C)	32.1
Amplitude diária da temperatura (°C)	11.3
Temperatura indicativa de umidade na máxima TBS (°C)	18
Pressão barométrica constante do dia (Pa)	89212
Velocidade do vento (m/s)	3.2
Direção do vento em graus	60
Índice de <i>limpidez</i> do céu	1
Indicador de chuva	0
Indicador de neve	0
Dia do mês	21
Mês	10
Tipo do dia	<i>SummerDesignDay</i>
Indicador de horário de verão	0
Temperatura indicativa de umidade	<i>Wet-Bulb</i>

Fonte: U. S. DOE, 2006

TABELA A.4 – Dia típico de verão Goiânia.

Nome do dia de projeto	Goiânia verão
Temperatura de bulbo seco máxima do dia (°C)	35
Amplitude diária da temperatura (°C)	11.7
Temperatura indicativa de umidade na máxima TBS (°C)	20.3
Pressão barométrica constante do dia (Pa)	92667
Velocidade do vento (m/s)	2.7
Direção do vento em graus	90
Índice de <i>limpidez</i> do céu	1
Indicador de chuva	0
Indicador de neve	0
Dia do mês	21
Mês	10
Tipo do dia	<i>SummerDesignDay</i>
Indicador de horário de verão	0
Temperatura indicativa de umidade	<i>Wet-Bulb</i>

Fonte: U. S. DOE, 2006

TABELA A.5 – Dia típico de verão Teresina.

Nome do dia de projeto	Teresina verão
Temperatura de bulbo seco máxima do dia (°C)	37.9
Amplitude diária da temperatura (°C)	12.2
Temperatura indicativa de umidade na máxima TBS (°C)	24.7
Pressão barométrica constante do dia (Pa)	100499
Velocidade do vento (m/s)	1.3
Direção do vento em graus	0
Índice de <i>limpidez</i> do céu	1
Indicador de chuva	0
Indicador de neve	0
Dia do mês	21
Mês	10
Tipo do dia	<i>SummerDesignDay</i>
Indicador de horário de verão	0
Temperatura indicativa de umidade	<i>Wet-Bulb</i>

Fonte: U. S. DOE, 2006

TABELA A.6 – Dia típico de verão Belém.

Nome do dia de projeto	Belém verão
Temperatura de bulbo seco máxima do dia (°C)	33.1
Amplitude diária da temperatura (°C)	8.2
Temperatura indicativa de umidade na máxima TBS (°C)	26.1
Pressão barométrica constante do dia (Pa)	101133
Velocidade do vento (m/s)	3.8
Direção do vento em graus	120
Índice de <i>limpidez</i> do céu	1
Indicador de chuva	0
Indicador de neve	0
Dia do mês	21
Mês	11
Tipo do dia	<i>SummerDesignDay</i>
Indicador de horário de verão	0
Temperatura indicativa de umidade	<i>Wet-Bulb</i>

Fonte: U. S. DOE, 2006

Nas FIG. A.1 a A.6 apresenta-se o movimento relativo do sol para cada região considerada e a trajetória solar é mostrada nas FIG. A.7 a A.13.

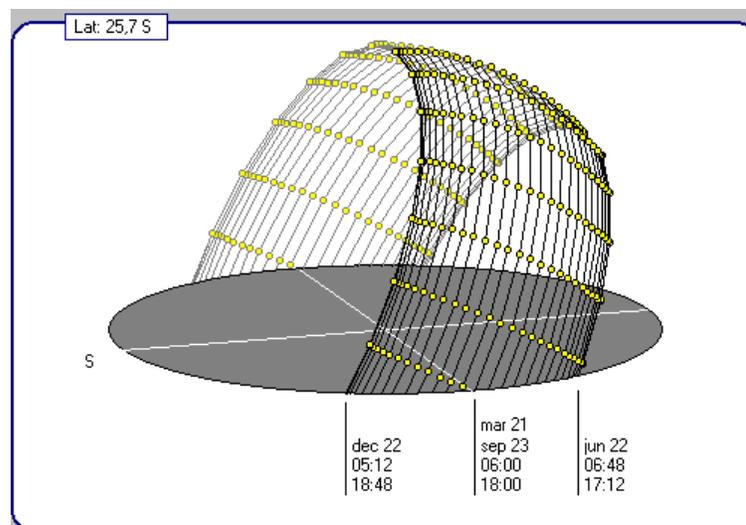


FIGURA A.1 – Movimento relativo do sol para a cidade de Curitiba.
Fonte: UFSC, 2006.

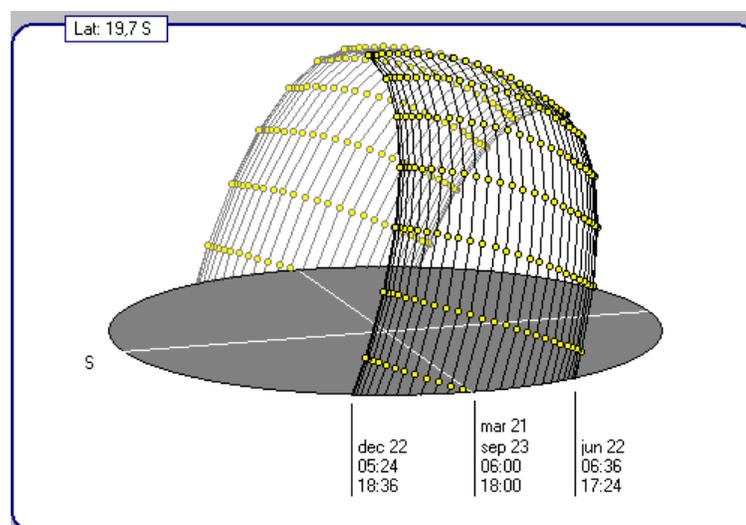


FIGURA A.2 – Movimento relativo do sol para a cidade de Belo Horizonte.
Fonte: UFSC, 2006.

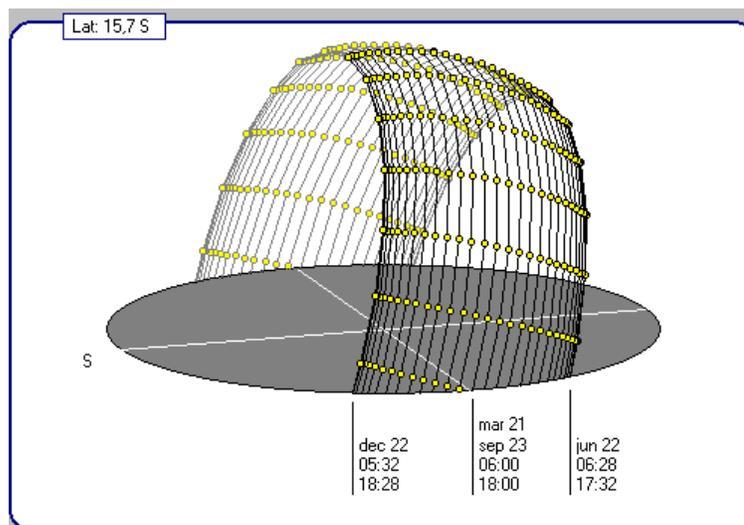


FIGURA A.3 – Movimento relativo do sol para a cidade de Brasília.
Fonte: UFSC, 2006.

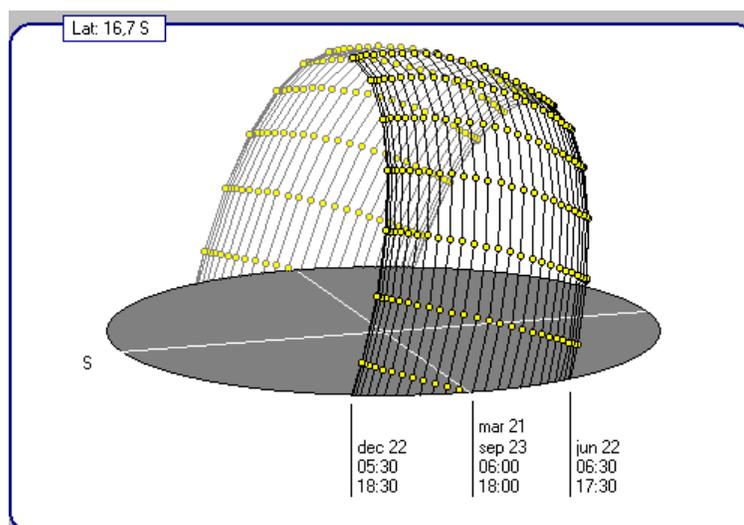


FIGURA A.4 – Movimento relativo do sol para a cidade de Goiânia.
Fonte: UFSC, 2006.

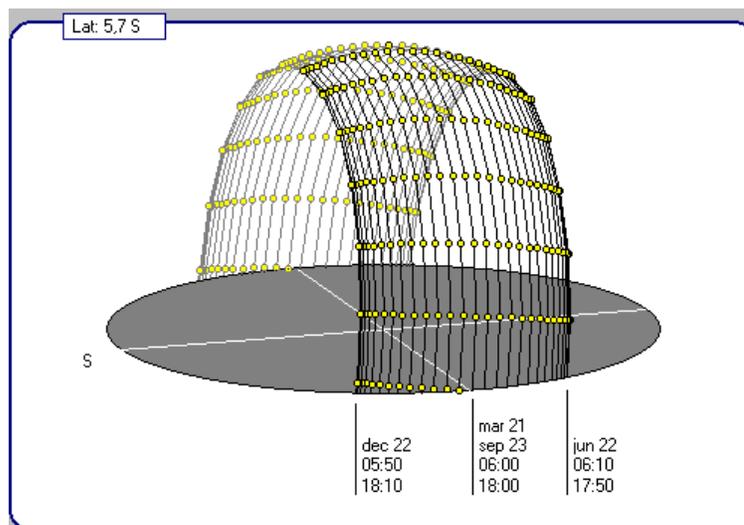


FIGURA A.5 – Movimento relativo do sol para a cidade de Teresina.
Fonte: UFSC, 2006.

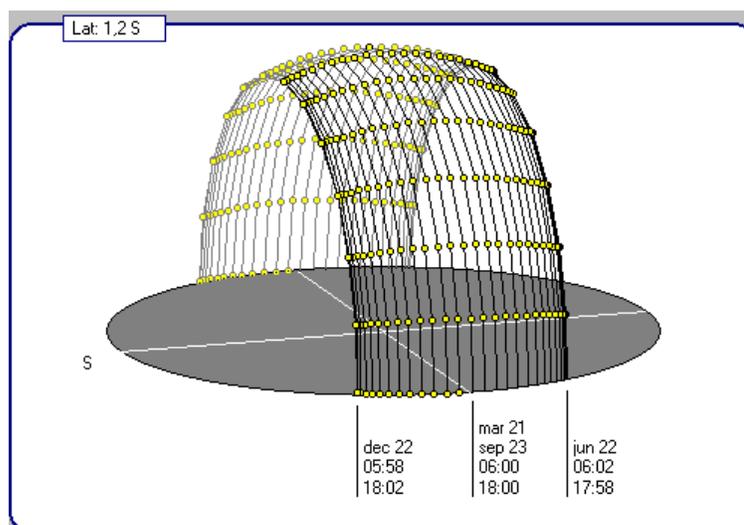


FIGURA A.6 – Movimento relativo do sol para a cidade de Belém.
Fonte: UFSC, 2006.

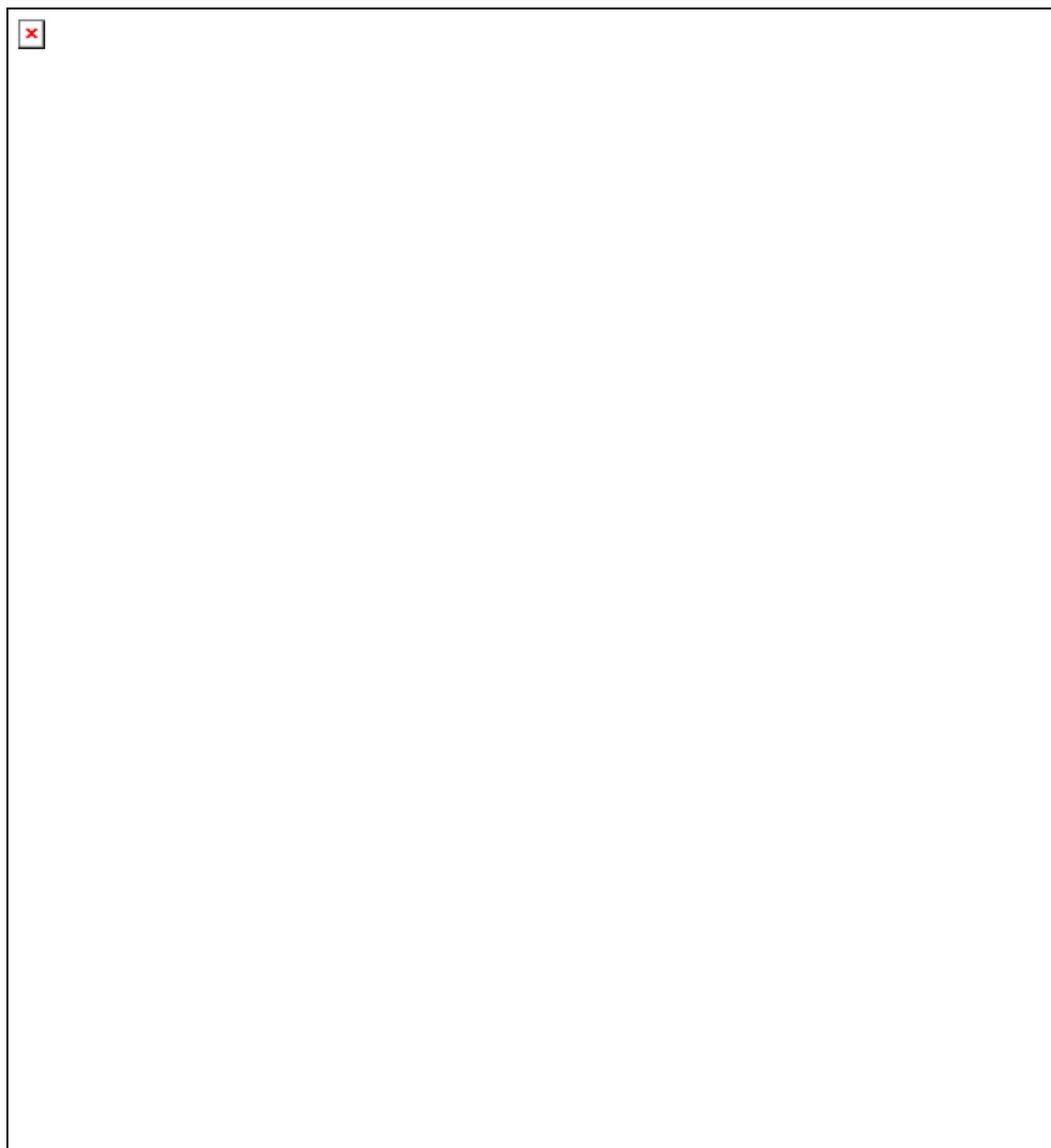


FIGURA A.7 – Trajetórias solares de Curitiba plotadas sobre a projeção do modelo 1.

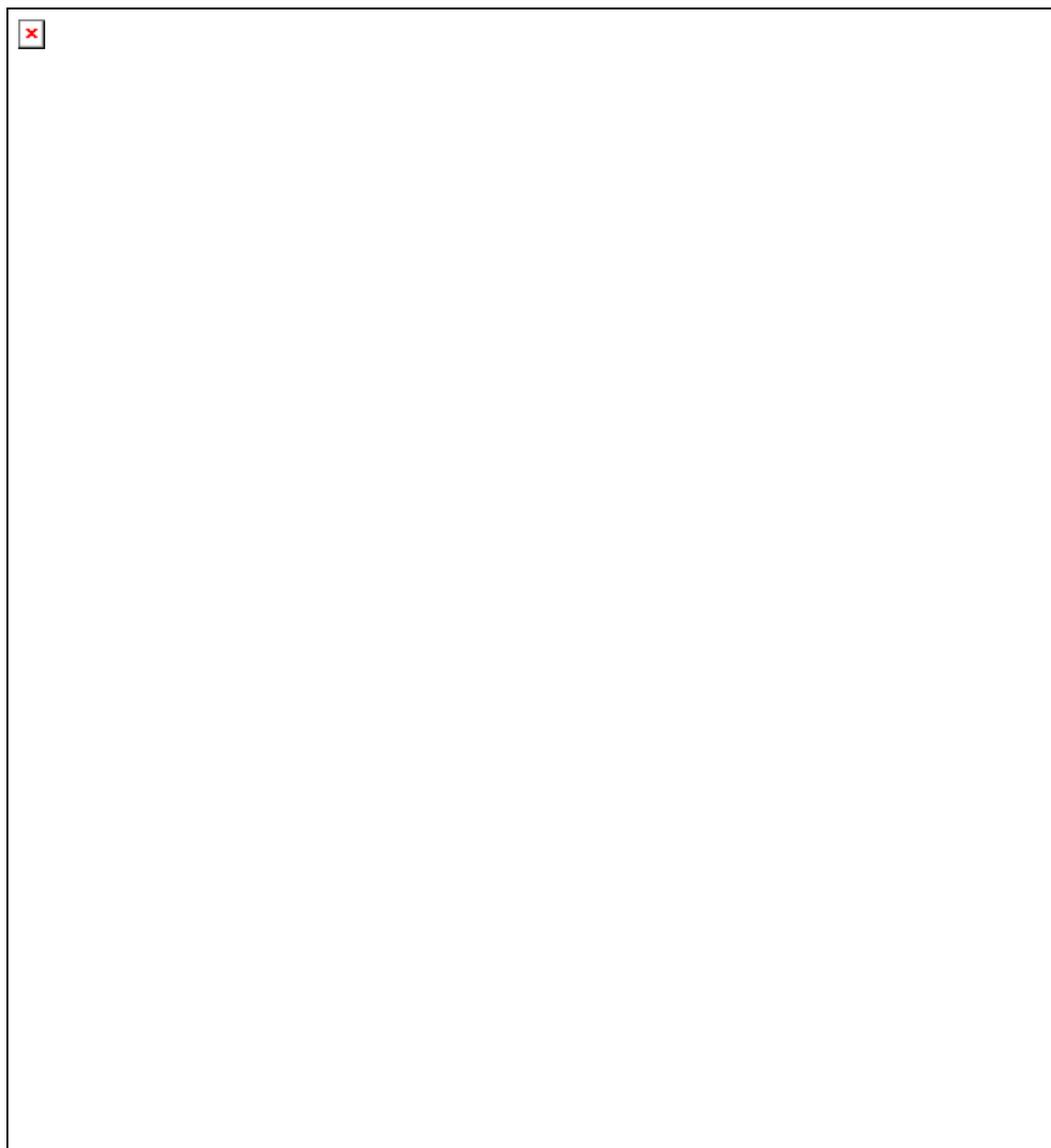


FIGURA A.8 – Trajetórias solares de Belo Horizonte plotadas sobre a projeção do modelo 1.



FIGURA A.9 – Trajetórias solares de Belo Horizonte plotadas sobre a projeção do modelo 2.

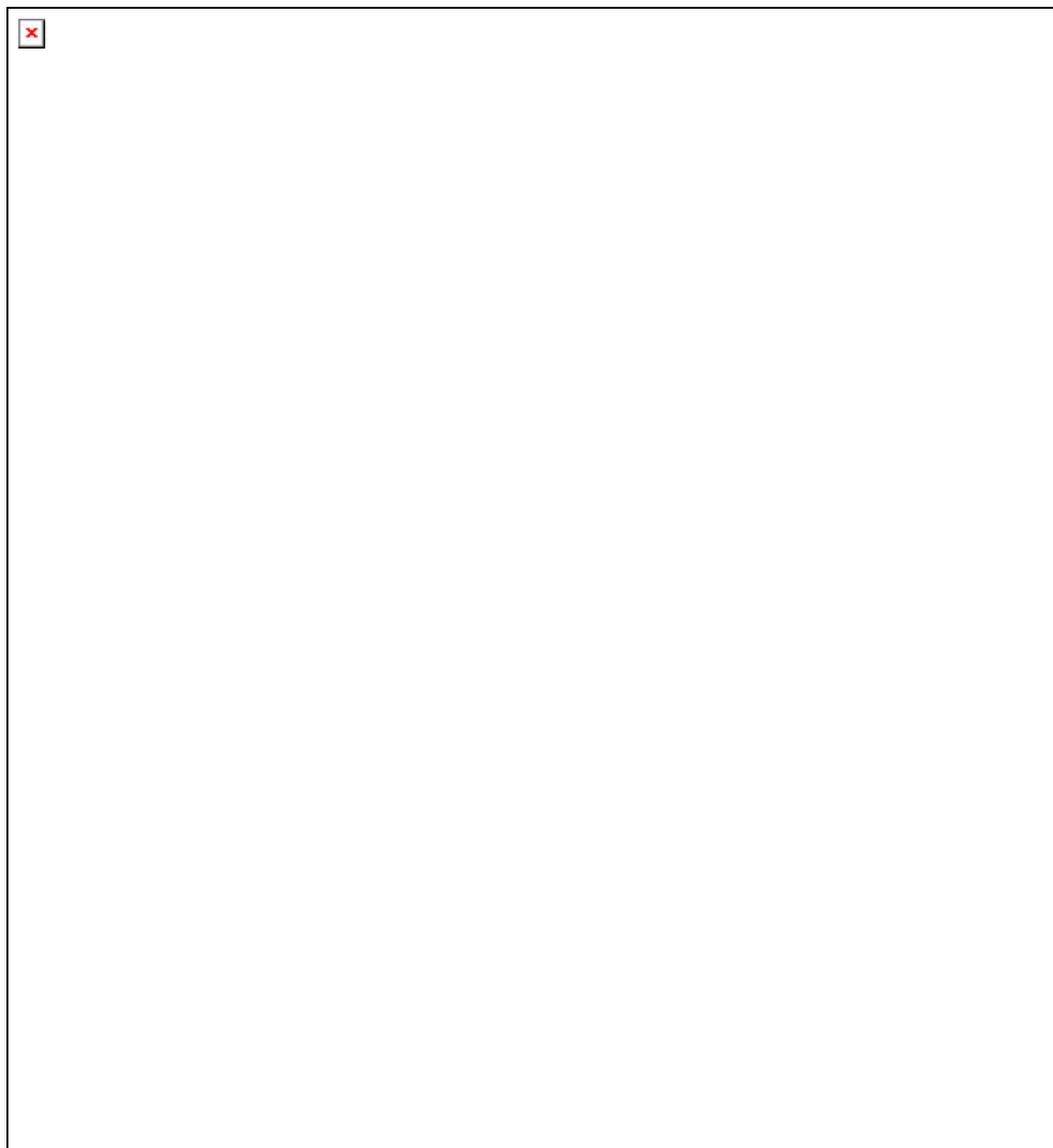


FIGURA A.10 – Trajetórias solares de Brasília plotadas sobre a projeção do modelo 1.

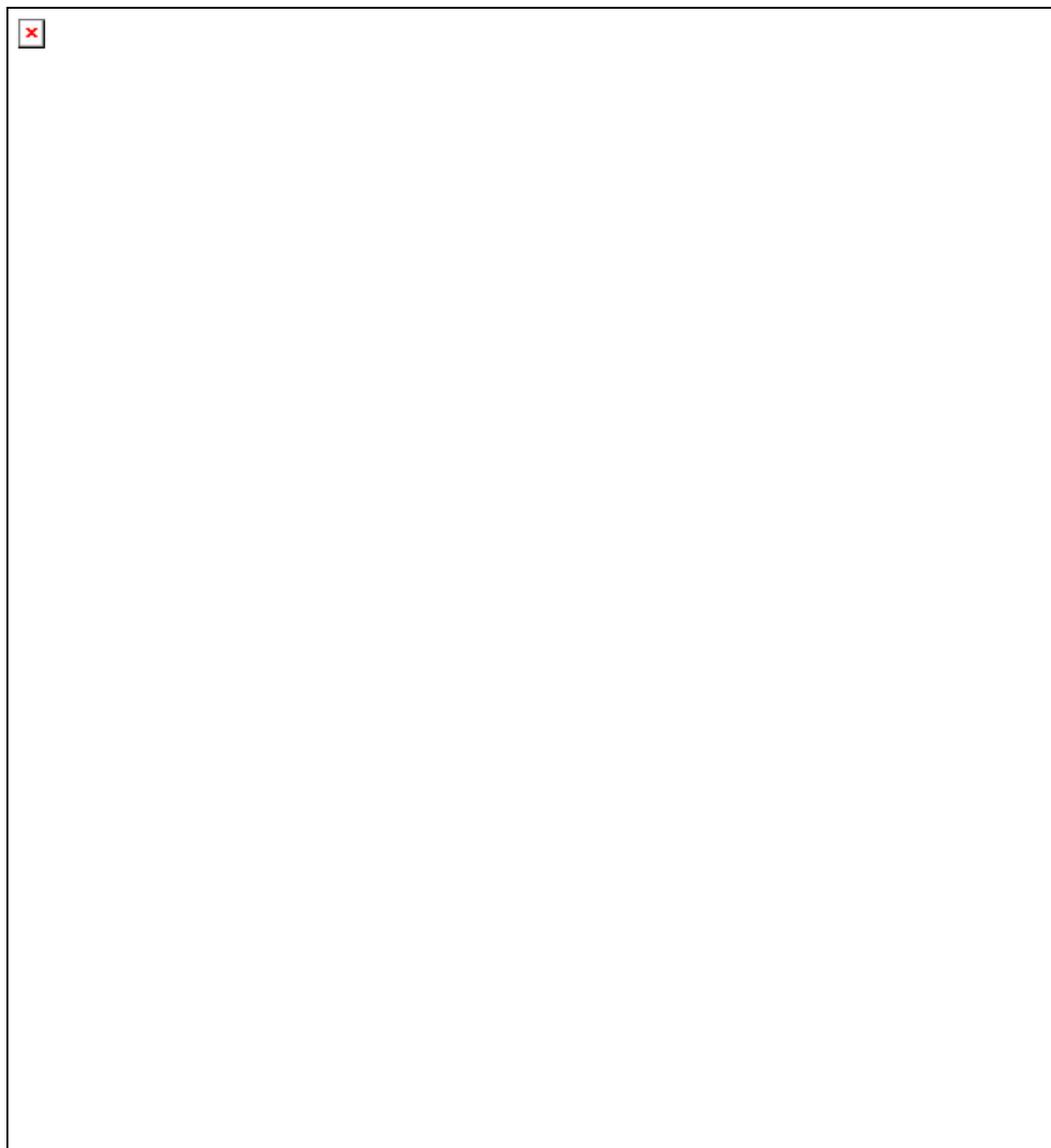


FIGURA A.11 – Trajetórias solares de Goiânia plotadas sobre a projeção do modelo 1.

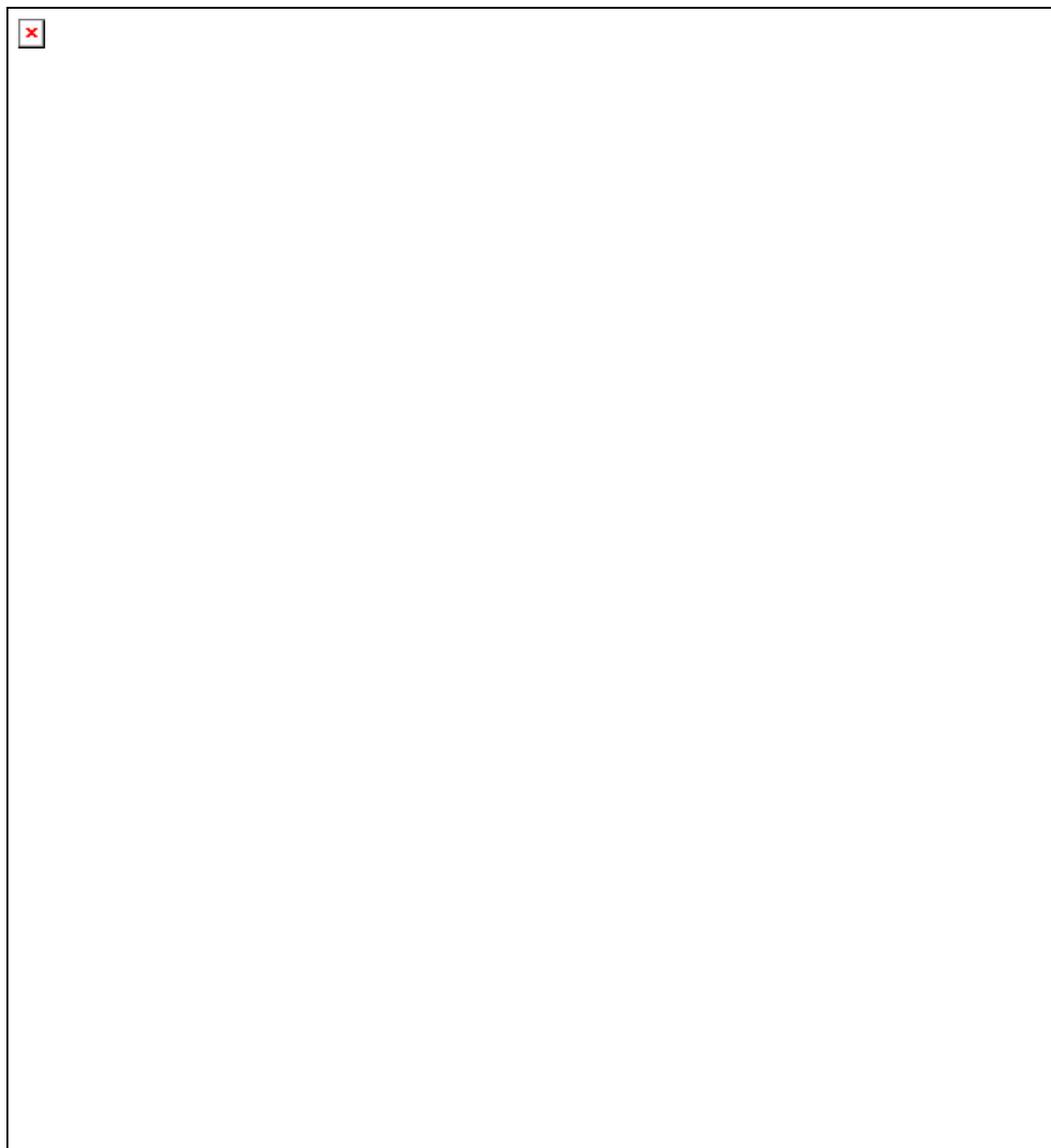


FIGURA A.12 – Trajetórias solares de Teresina plotadas sobre a projeção do modelo 1.

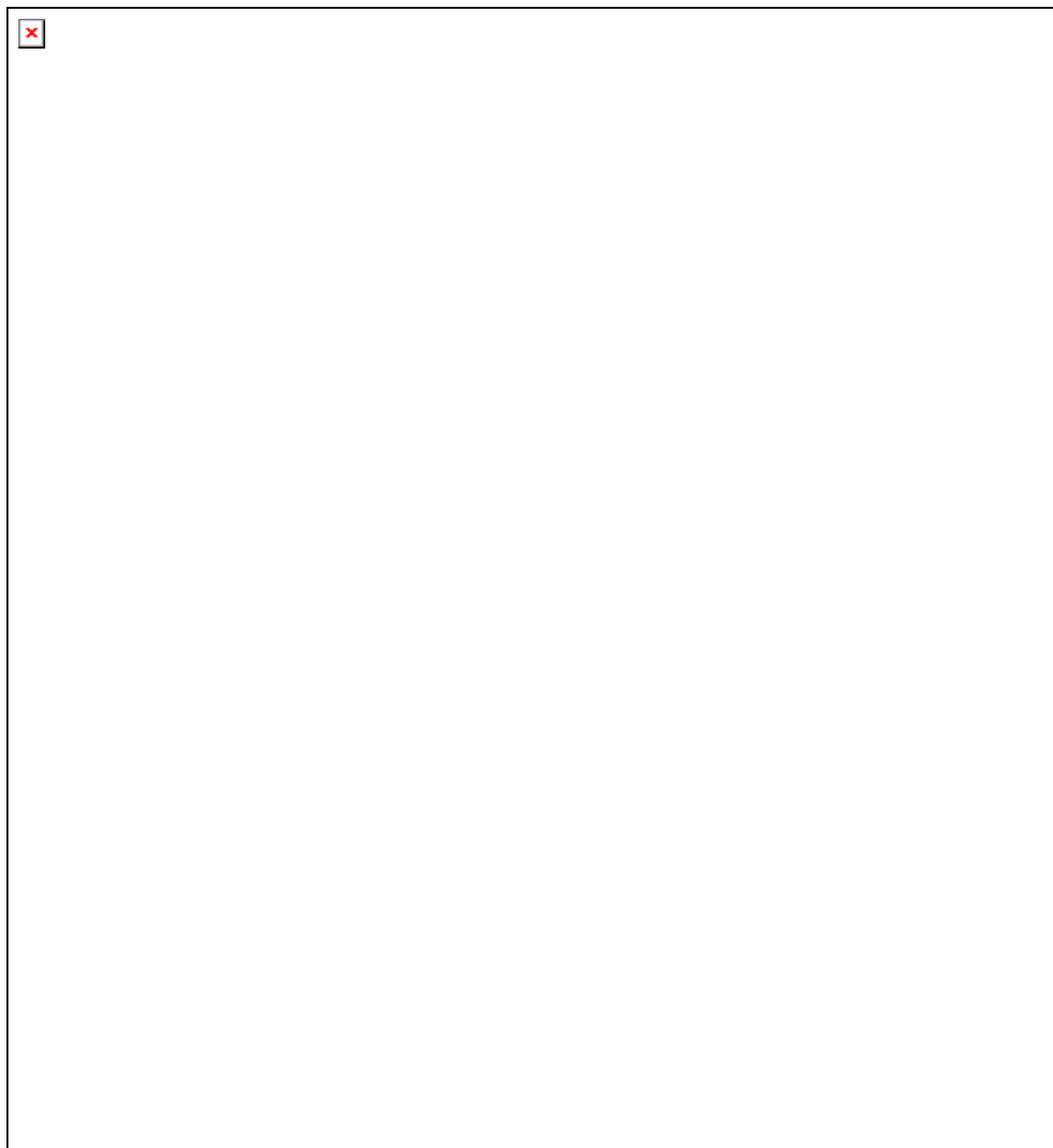


FIGURA A.13 – Trajetórias solares de Belém plotadas sobre a projeção do modelo 1.

ANEXO II

ANEXO – II

2.1 Temperaturas internas da habitação em Belém (Modelo 1)

Nas TAB. B.1 e B.2 apresentam-se as temperaturas internas obtidas para a configuração com fechamento externo FEL 2, fechamento interno FIL 3 e cobertura com laje LSL.

TABELA B.1 - Resultados com vegetação e solo do entorno coberto com grama (reflexão 0,2) para o dia típico de verão em Belém

Horas	Cozinha	Sala	Banheiro	Quarto 1	Quarto 2	Amb. externo
1	28,74	28,79	30,11	28,03	28,27	26,12
2	28,46	28,52	29,82	27,74	27,96	25,71
3	28,19	28,27	29,56	27,47	27,68	25,35
4	27,96	28,04	29,33	27,22	27,42	25,07
5	27,76	27,86	29,12	27,03	27,21	24,93
6	27,64	27,76	28,98	26,90	27,08	25,00
7	27,61	27,76	28,91	26,88	27,09	25,32
8	27,76	27,94	29,00	27,13	27,38	25,94
9	27,87	27,93	28,82	27,19	27,65	26,88
10	28,05	28,22	29,04	27,31	27,90	28,05
11	28,25	28,42	29,22	27,52	28,13	29,38
12	28,54	28,72	29,37	27,83	28,43	30,72
13	29,83	29,45	29,89	28,42	29,01	31,83
14	29,54	29,58	29,96	28,66	29,31	32,61
15	29,73	29,84	30,16	28,97	29,74	33,01
16	29,98	30,06	30,36	29,22	30,13	32,95
17	30,18	30,19	30,51	29,38	30,39	32,50
18	30,23	30,23	30,57	29,42	30,30	31,72
19	30,77	30,92	35,75	30,07	30,65	30,71
20	30,76	30,86	32,81	30,25	30,63	29,65
21	30,46	30,57	32,11	29,91	30,21	28,68
22	30,13	30,24	31,77	29,58	29,83	27,83
23	29,46	29,51	30,88	28,80	29,05	27,11
24	29,05	29,09	30,43	28,34	28,59	26,56

TABELA B.2 - Resultados sem vegetação e solo do entorno em concreto (reflexão 0,4)
para o dia típico de verão em Belém

Horas	Cozinha	Sala	Banheiro	Quarto 1	Quarto 2	Amb. externo
1	28,71	28,80	30,13	28,03	28,27	26,12
2	28,42	28,52	29,84	27,74	27,96	25,71
3	28,15	28,27	29,57	27,46	27,67	25,35
4	27,91	28,04	29,33	27,21	27,41	25,07
5	27,71	27,85	29,13	27,01	27,19	24,93
6	27,58	27,74	28,98	26,88	27,06	25,00
7	27,56	27,74	28,91	26,86	27,06	25,32
8	27,71	27,95	29,01	27,12	27,37	25,94
9	27,83	27,98	28,84	27,22	27,69	26,88
10	28,04	28,33	29,08	27,42	28,01	28,05
11	28,27	28,60	29,28	27,71	28,30	29,38
12	28,59	28,94	29,45	28,06	28,65	30,72
13	29,88	29,68	29,98	28,66	29,25	31,83
14	29,61	29,83	30,07	28,93	29,58	32,61
15	29,80	30,09	30,28	29,24	29,99	33,01
16	30,04	30,29	30,47	29,47	30,36	32,95
17	30,22	30,37	30,61	29,58	30,57	32,50
18	30,25	30,36	30,66	29,57	30,42	31,72
19	30,76	31,01	35,82	30,16	30,73	30,71
20	30,74	30,91	32,86	30,31	30,61	29,65
21	30,44	30,59	32,15	29,94	30,23	28,68
22	30,10	30,26	31,80	29,59	29,83	27,83
23	29,43	29,52	30,91	28,81	29,06	27,11
24	29,01	29,10	30,46	28,35	28,60	26,56

2.2 Temperaturas internas da habitação em Belo Horizonte (Modelo 1)

Na TAB. B.3 apresentam-se as temperaturas internas obtidas para a configuração com fechamento externo FEL 2, fechamento interno FIP 3 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “A”).

TABELA B.3 - Resultados para o dia típico de verão em Belo Horizonte (Esquema “A”)

Horas	Cozinha	Sala	Banheiro	Quarto 1	Quarto 2	Amb. externo
1	27,80	28,10	29,38	27,21	27,27	24,83
2	27,50	27,81	29,13	26,91	26,98	24,35
3	27,22	27,54	28,89	26,62	26,69	23,93
4	26,97	27,30	28,67	26,36	26,44	23,60
5	26,76	27,10	28,47	26,15	26,23	23,44
6	26,62	26,98	28,33	26,02	26,10	23,52
7	26,58	26,97	28,26	25,98	26,06	23,89
8	26,69	27,12	28,29	26,10	26,19	24,61
9	26,73	27,00	28,06	26,24	26,28	25,72
10	26,86	27,36	28,25	26,29	26,39	27,08
11	27,01	27,53	28,37	26,45	26,54	28,64
12	27,26	27,79	28,43	26,72	26,79	30,22
13	28,59	28,55	28,90	27,29	27,36	31,51
14	28,22	28,63	28,84	27,51	27,54	32,42
15	28,42	28,88	28,97	27,81	27,84	32,89
16	28,68	29,12	29,12	28,07	28,11	32,82
17	28,89	29,29	29,26	28,25	28,31	32,29
18	29,02	29,38	29,37	28,36	28,47	31,38
19	29,70	30,17	34,45	29,08	29,17	30,20
20	29,79	30,19	31,49	29,33	29,40	28,96
21	29,51	29,90	31,03	29,06	29,11	27,83
22	29,20	29,57	30,81	28,75	28,80	26,83
23	28,51	28,83	30,02	27,97	28,03	25,99
24	28,11	28,40	29,65	27,52	27,59	25,34

Na TAB. B.4 apresentam-se as temperaturas internas obtidas para a configuração com fechamento externo FEL 1, fechamento interno FIP 3 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “B”).

TABELA B.4 - Resultados para o dia típico de verão em Belo Horizonte (Esquema “B”)

Horas	Cozinha	Sala	Banheiro	Quarto 1	Quarto 2	Amb. externo
1	27,94	28,23	29,63	27,34	27,41	24,83
2	27,66	27,96	29,38	27,05	27,13	24,35
3	27,40	27,70	29,15	26,78	26,86	23,93
4	27,16	27,47	28,94	26,53	26,62	23,60
5	26,96	27,28	28,77	26,33	26,42	23,44
6	26,84	27,18	28,64	26,21	26,30	23,52
7	26,82	27,18	28,58	26,19	26,29	23,89
8	26,96	27,36	28,63	26,35	26,44	24,61
9	27,00	27,22	28,42	26,50	26,61	25,72
10	27,26	27,70	28,59	26,66	26,78	27,08
11	27,41	27,90	28,82	26,83	26,93	28,64
12	27,66	28,15	28,87	27,09	27,18	30,22
13	28,98	28,90	29,30	27,65	27,73	31,51
14	28,60	28,97	29,23	27,84	27,89	32,42
15	28,74	29,17	29,33	28,10	28,14	32,89
16	28,95	29,37	29,45	28,31	28,36	32,82
17	29,11	29,50	29,55	28,46	28,52	32,29
18	29,20	29,55	29,64	28,52	28,64	31,38
19	29,85	30,32	34,75	29,21	29,32	30,20
20	29,94	30,29	31,78	29,44	29,52	28,96
21	29,64	30,01	31,30	29,17	29,23	27,83
22	29,32	29,69	31,06	28,86	28,92	26,83
23	28,64	28,94	30,25	28,08	28,15	25,99
24	28,24	28,53	29,89	27,65	27,72	25,34

Na TAB. B.5 apresentam-se as temperaturas internas obtidas para a configuração com fechamento externo FIL 1, fechamento interno FIP 1 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “C”).

TABELA B.5 - Resultados para o dia típico de verão em Belo Horizonte (Esquema “C”)

Horas	Cozinha	Sala	Banheiro	Quarto 1	Quarto 2	Amb. externo
1	27,99	28,25	29,50	27,38	27,45	24,83
2	27,74	27,99	29,30	27,11	27,19	24,35
3	27,49	27,75	29,11	26,86	26,94	23,93
4	27,27	27,53	28,93	26,63	26,71	23,60
5	27,09	27,35	28,78	26,44	26,53	23,44
6	26,97	27,25	28,67	26,33	26,42	23,52
7	26,96	27,25	28,63	26,31	26,41	23,89
8	27,09	27,42	28,68	26,46	26,56	24,61
9	27,06	27,29	28,48	26,63	26,74	25,72
10	27,41	27,77	28,62	26,79	26,90	27,08
11	27,52	27,94	28,88	26,92	27,03	28,64
12	27,72	28,16	28,91	27,14	27,23	30,22
13	28,96	28,84	29,29	27,64	27,73	31,51
14	28,52	28,87	29,17	27,78	27,84	32,42
15	28,65	29,05	29,25	28,00	28,06	32,89
16	28,84	29,24	29,33	28,19	28,26	32,82
17	28,98	29,36	29,41	28,33	28,41	32,29
18	29,07	29,42	29,47	28,39	28,52	31,38
19	29,71	30,17	34,31	29,07	29,17	30,20
20	29,80	30,19	31,31	29,31	29,40	28,96
21	29,54	29,92	30,93	29,07	29,13	27,83
22	29,26	29,62	30,76	28,79	28,85	26,83
23	28,60	28,89	30,00	28,04	28,11	25,99
24	28,26	28,52	29,72	27,66	27,73	25,34

Na TAB. B.6 apresentam-se as temperaturas internas obtidas para a configuração com fechamento externo FIL 2, fechamento interno FIP 2 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “D”).

TABELA B.6 - Resultados para o dia típico de verão em Belo Horizonte (Esquema “D”)

Horas	Cozinha	Sala	Banheiro	Quarto 1	Quarto 2	Amb. externo
1	27,98	28,25	29,57	27,37	27,44	24,83
2	27,72	27,99	29,35	27,10	27,18	24,35
3	27,47	27,74	29,15	26,84	26,92	23,93
4	27,24	27,52	28,97	26,61	26,69	23,60
5	27,05	27,34	28,81	26,42	26,50	23,44
6	26,94	27,24	28,70	26,30	26,39	23,52
7	26,93	27,25	28,65	26,29	26,38	23,89
8	27,06	27,43	28,71	26,44	26,54	24,61
9	27,02	27,29	28,50	26,61	26,72	25,72
10	27,38	27,78	28,63	26,77	26,89	27,08
11	27,50	27,96	28,91	26,91	27,02	28,64
12	27,72	28,19	28,95	27,15	27,24	30,22
13	29,02	28,91	29,38	27,68	27,76	31,51
14	28,59	28,94	29,26	27,83	27,88	32,42
15	28,70	29,12	29,33	28,06	28,11	32,89
16	28,89	29,30	29,43	28,25	28,32	32,82
17	29,04	29,43	29,51	28,39	28,46	32,29
18	29,13	29,48	29,58	28,45	28,58	31,38
19	29,79	30,26	34,73	29,15	29,26	30,20
20	29,88	30,24	31,62	29,41	29,45	28,96
21	29,59	29,97	31,11	29,13	29,18	27,83
22	29,30	29,66	30,91	28,83	28,89	26,83
23	28,63	28,93	30,11	28,07	28,13	25,99
24	28,25	28,53	29,79	27,65	27,72	25,34

2.3 Temperaturas internas da habitação em Curitiba (Modelo 1)

Na TAB. B.7 apresentam-se as temperaturas internas obtidas para a configuração com fechamento externo FIL 1, fechamento interno FIP 1 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “A”).

TABELA B.7 - Resultados para o dia típico de verão em Curitiba (Esquema “A”)

Horas	Cozinha	Sala	Banheiro	Quarto 1	Quarto 2	Amb. externo
1	26,43	26,76	28,14	25,77	25,87	22,81
2	26,18	26,50	27,94	25,50	25,61	22,34
3	25,94	26,25	27,75	25,25	25,35	21,92
4	25,71	26,03	27,57	25,02	25,13	21,60
5	25,53	25,86	27,42	24,83	24,94	21,44
6	25,42	25,76	27,31	24,71	24,82	21,52
7	25,41	25,76	27,28	24,70	24,83	21,89
8	25,56	25,93	27,35	24,84	25,02	22,60
9	25,44	25,73	27,11	24,95	25,02	23,69
10	25,80	26,12	27,21	25,24	25,40	25,05
11	26,00	26,47	27,51	25,37	25,51	26,59
12	26,19	26,69	27,58	25,58	25,71	28,15
13	27,46	27,43	28,01	26,12	26,23	29,43
14	27,00	27,42	27,85	26,23	26,31	30,33
15	27,11	27,60	27,92	26,46	26,52	30,79
16	27,30	27,80	28,00	26,66	26,73	30,72
17	27,46	27,93	28,09	26,81	26,94	30,20
18	27,59	27,99	28,18	26,88	27,13	29,30
19	28,31	28,78	32,95	27,61	27,86	28,13
20	28,23	28,69	29,95	27,73	27,89	26,90
21	27,98	28,43	29,57	27,46	27,57	25,78
22	27,69	28,13	29,40	27,17	27,27	24,80
23	27,04	27,40	28,64	26,43	26,53	23,97
24	26,70	27,03	28,36	26,05	26,15	23,32

Na TAB. B.8 apresentam-se as temperaturas internas obtidas para a configuração com fechamento externo FIL 1, fechamento interno FIP 1 e cobertura com laje LSI (ESQUEMA “B”).

TABELA B.8 - Resultados para o dia típico de verão em Curitiba (Esquema “B”)

Horas	Cozinha	Sala	Banheiro	Quarto 1	Quarto 2	Amb. externo
1	26,89	27,21	28,78	26,18	26,32	22,81
2	26,65	26,97	28,59	25,93	26,08	22,34
3	26,43	26,74	28,41	25,70	25,84	21,92
4	26,22	26,54	28,24	25,49	25,64	21,60
5	26,06	26,38	28,10	25,32	25,47	21,44
6	25,96	26,30	28,01	25,22	25,37	21,52
7	25,97	26,33	28,00	25,23	25,39	21,89
8	26,15	26,52	28,09	25,40	25,60	22,60
9	26,06	26,37	27,89	25,42	25,60	23,69
10	26,39	26,71	28,01	25,94	26,13	25,05
11	26,85	27,33	28,24	26,18	26,38	26,59
12	27,02	27,54	28,54	26,37	26,55	28,15
13	28,23	28,22	28,91	26,86	27,02	29,43
14	27,75	28,19	28,77	26,94	27,07	30,33
15	27,83	28,33	28,82	27,11	27,23	30,79
16	27,97	28,48	28,87	27,27	27,39	30,72
17	28,09	28,57	28,93	27,37	27,55	30,20
18	28,19	28,61	29,00	27,41	27,71	29,30
19	28,82	29,22	33,71	28,10	28,41	28,13
20	28,67	29,10	30,63	28,11	28,26	26,90
21	28,40	28,83	30,23	27,83	27,97	25,78
22	28,09	28,52	30,03	27,53	27,65	24,80
23	27,47	27,81	29,27	26,80	26,94	23,97
24	27,14	27,46	28,99	26,44	26,58	23,32

2.4 Temperaturas internas da habitação em Goiânia (Modelo 1)

Na TAB. B.9 apresentam-se as temperaturas internas obtidas para a configuração com fechamento externo FEP 3, fechamento interno FIP 3 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “A”).

TABELA B.9 - Resultados para o dia típico de verão em Goiânia (Esquema “A”)

Horas	Cozinha	Sala	Banheiro	Quarto 1	Quarto 2	Amb. externo
1	28,51	28,74	30,16	27,90	27,98	25,04
2	28,20	28,43	29,90	27,59	27,66	24,46
3	27,90	28,13	29,65	27,28	27,36	23,94
4	27,63	27,87	29,42	27,01	27,09	23,55
5	27,41	27,66	29,23	26,78	26,87	23,34
6	27,27	27,54	29,09	26,65	26,74	23,45
7	27,25	27,54	29,03	26,63	26,73	23,90
8	27,41	27,74	29,08	26,80	26,90	24,78
9	27,46	27,70	28,91	27,03	27,14	26,12
10	27,78	28,18	29,11	27,21	27,33	27,79
11	27,92	28,36	29,31	27,36	27,47	29,69
12	28,16	28,61	29,34	27,61	27,71	31,61
13	29,50	29,34	29,75	28,15	28,24	33,19
14	29,11	29,43	29,66	28,33	28,40	34,30
15	29,24	29,65	29,76	28,59	28,66	34,87
16	29,45	29,87	29,88	28,82	28,89	34,78
17	29,62	30,01	29,99	28,97	29,07	34,14
18	29,73	30,07	30,08	29,05	29,20	33,03
19	30,42	30,89	35,38	29,78	29,89	31,59
20	30,64	31,05	32,41	30,11	30,19	30,07
21	30,34	30,69	31,90	29,95	29,96	28,70
22	29,98	30,31	31,65	29,54	29,60	27,48
23	29,26	29,51	30,81	28,70	28,77	26,46
24	28,84	29,06	30,44	28,24	28,31	25,67

Na TAB. B.10 apresentam-se as temperaturas internas obtidas para a configuração com fechamento externo FET, fechamento interno FIL 3 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “B”).

TABELA B.10 - Resultados para o dia típico de verão em Goiânia (Esquema “B”)

Horas	Cozinha	Sala	Banheiro	Quarto 1	Quarto 2	Amb. externo
1	28,42	28,63	29,93	27,81	27,89	25,04
2	28,06	28,29	29,59	27,45	27,54	24,46
3	27,73	27,97	29,29	27,11	27,20	23,94
4	27,43	27,68	29,01	26,81	26,90	23,55
5	27,18	27,45	28,77	26,56	26,65	23,34
6	27,03	27,32	28,60	26,41	26,50	23,45
7	27,01	27,32	28,54	26,38	26,48	23,90
8	27,17	27,53	28,61	26,57	26,67	24,78
9	27,24	27,50	28,41	26,75	26,86	26,12
10	27,49	27,90	28,67	26,91	27,02	27,79
11	27,68	28,11	28,75	27,11	27,21	29,69
12	27,99	28,43	28,86	27,43	27,52	31,61
13	29,40	29,22	29,40	28,05	28,13	33,19
14	29,16	29,42	29,46	28,36	28,41	34,30
15	29,38	29,72	29,66	28,71	28,76	34,87
16	29,65	29,99	29,87	29,01	29,06	34,78
17	29,86	30,17	30,05	29,21	29,29	34,14
18	30,00	30,25	30,20	29,31	29,44	33,03
19	30,65	31,03	35,69	30,02	30,11	31,59
20	30,81	31,11	32,91	30,33	30,42	30,07
21	30,49	30,76	32,18	30,03	30,11	28,70
22	30,07	30,34	31,78	29,62	29,69	27,48
23	29,30	29,50	30,82	28,73	28,81	26,46
24	28,80	29,00	30,31	28,19	28,28	25,67

2.5 Temperaturas internas da habitação em Brasília (Modelo 1)

Na TAB. B.11 apresentam-se as temperaturas internas obtidas para a configuração com fechamento externo FEP 5, fechamento interno FIP 3 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “A”).

TABELA B.11 - Resultados para o dia típico de verão em Brasília (Esquema “A”)

Horas	Cozinha	Sala	Banheiro	Quarto 1	Quarto 2	Amb. externo
1	26,39	26,74	28,28	25,66	25,73	22,48
2	26,10	26,44	28,04	25,36	25,43	21,92
3	25,81	26,15	27,80	25,07	25,15	21,42
4	25,56	25,90	27,58	24,80	24,89	21,04
5	25,34	25,69	27,39	24,58	24,67	20,84
6	25,21	25,57	27,26	24,45	24,54	20,94
7	25,19	25,58	27,21	24,43	24,53	21,38
8	25,33	25,76	27,27	24,59	24,69	22,23
9	25,23	25,59	27,03	24,71	24,83	23,53
10	25,66	26,08	27,16	24,98	25,10	25,14
11	25,78	26,32	27,48	25,09	25,20	26,97
12	25,97	26,55	27,50	25,30	25,39	28,82
13	27,29	27,34	27,96	25,88	25,95	30,35
14	26,85	27,35	27,82	26,00	26,05	31,42
15	26,98	27,55	27,90	26,24	26,28	31,97
16	27,19	27,77	28,01	26,47	26,50	31,89
17	27,37	27,92	28,11	26,63	26,69	31,27
18	27,49	28,00	28,20	26,72	26,82	30,19
19	28,21	28,86	33,28	27,47	27,53	28,81
20	28,35	28,86	30,36	27,75	27,79	27,34
21	28,08	28,58	29,92	27,51	27,55	26,01
22	27,76	28,24	29,70	27,20	27,24	24,84
23	27,09	27,48	28,90	26,42	26,47	23,85
24	26,70	27,06	28,55	25,98	26,05	23,09

Na TAB. B.12 apresentam-se as temperaturas internas obtidas para a configuração com fechamento externo FEP 6, fechamento interno FIP 3 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “B”).

TABELA B.12 - Resultados para o dia típico de verão em Brasília (Esquema “B”)

Horas	Cozinha	Sala	Banheiro	Quarto 1	Quarto 2	Amb. externo
1	26,40	26,75	28,29	25,68	25,75	22,48
2	26,11	26,45	28,05	25,37	25,45	21,92
3	25,82	26,16	27,81	25,08	25,16	21,42
4	25,56	25,90	27,59	24,81	24,90	21,04
5	25,35	25,70	27,40	24,59	24,68	20,84
6	25,21	25,58	27,27	24,46	24,55	20,94
7	25,19	25,58	27,21	24,44	24,54	21,38
8	25,33	25,76	27,27	24,59	24,70	22,23
9	25,23	25,59	27,03	24,72	24,83	23,53
10	25,66	26,08	27,16	24,99	25,11	25,14
11	25,78	26,32	27,48	25,10	25,20	26,97
12	25,98	26,55	27,49	25,31	25,40	28,82
13	27,29	27,34	27,95	25,89	25,95	30,35
14	26,86	27,36	27,82	26,02	26,05	31,42
15	27,00	27,57	27,90	26,26	26,29	31,97
16	27,21	27,79	28,01	26,49	26,51	31,89
17	27,39	27,94	28,12	26,66	26,71	31,27
18	27,52	28,02	28,21	26,75	26,84	30,19
19	28,23	28,88	33,29	27,50	27,56	28,81
20	28,38	28,88	30,37	27,78	27,82	27,34
21	28,10	28,60	29,94	27,53	27,57	26,01
22	27,78	28,25	29,72	27,22	27,26	24,84
23	27,10	27,49	28,91	26,44	26,49	23,85
24	26,71	27,07	28,56	26,00	26,07	23,09

2.6 Temperaturas internas da habitação em Teresina (Modelo 1)

Na TAB. B.13 apresentam-se as temperaturas internas obtidas para a configuração com fechamento externo FEP 5, fechamento interno FIP 3 e cobertura com laje LUP (ESQUEMA “A”).

TABELA B.13 - Resultados para o dia típico de verão em Teresina (Esquema “A”)

Horas	Cozinha	Sala	Banheiro	Quarto 1	Quarto 2	Amb. externo
1	30,60	30,74	32,07	30,11	30,20	27,51
2	30,30	30,45	31,82	29,81	29,90	26,90
3	30,02	30,17	31,59	29,52	29,62	26,37
4	29,77	29,92	31,37	29,27	29,36	25,96
5	29,56	29,72	31,19	29,06	29,15	25,75
6	29,45	29,63	31,08	28,94	29,05	25,85
7	29,48	29,67	31,06	28,97	29,09	26,33
8	29,67	29,90	31,15	29,17	29,30	27,24
9	29,85	30,01	31,11	29,52	29,68	28,64
10	30,19	30,50	31,40	29,72	29,88	30,38
11	30,33	30,65	31,54	29,86	30,02	32,36
12	30,51	30,88	31,57	30,06	30,21	34,36
13	31,65	31,42	31,85	30,48	30,62	36,01
14	31,27	31,53	31,82	30,64	30,78	37,17
15	31,38	31,73	31,88	30,85	31,01	37,76
16	31,59	31,90	31,99	31,02	31,23	37,67
17	31,72	32,00	32,06	31,14	31,38	37,00
18	31,76	32,02	32,08	31,16	31,36	35,84
19	32,30	32,67	37,29	31,79	31,92	34,35
20	32,53	32,92	34,36	32,07	32,19	32,76
21	32,38	32,64	33,82	32,05	32,15	31,33
22	32,01	32,26	33,54	31,67	31,75	30,06
23	31,30	31,48	32,70	30,87	30,96	28,99
24	30,90	31,05	32,35	30,43	30,52	28,17

Na TAB. B.14 apresentam-se as temperaturas internas obtidas para a configuração com fechamento externo FEP 5, fechamento interno FIP 3 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “B”).

TABELA B.14 - Resultados para o dia típico de verão em Teresina (Esquema “B”)

Horas	Cozinha	Sala	Banheiro	Quarto 1	Quarto 2	Amb. externo
1	30,30	30,45	31,66	29,82	29,89	27,51
2	29,98	30,13	31,39	29,50	29,57	26,90
3	29,68	29,83	31,14	29,19	29,26	26,37
4	29,40	29,56	30,91	28,90	28,98	25,96
5	29,17	29,34	30,71	28,67	28,75	25,75
6	29,04	29,22	30,57	28,54	28,62	25,85
7	29,04	29,23	30,53	28,53	28,64	26,33
8	29,20	29,43	30,60	28,71	28,82	27,24
9	29,37	29,62	30,52	28,97	29,11	28,64
10	29,51	29,78	30,79	29,01	29,14	30,38
11	29,64	29,93	30,79	29,14	29,27	32,36
12	29,83	30,18	30,82	29,38	29,49	34,36
13	31,02	30,78	31,15	29,84	29,95	36,01
14	30,69	30,94	31,12	30,05	30,17	37,17
15	30,86	31,21	31,22	30,34	30,47	37,76
16	31,12	31,44	31,38	30,59	30,76	37,67
17	31,31	31,60	31,50	30,76	30,97	37,00
18	31,39	31,66	31,55	30,84	30,99	35,84
19	31,97	32,36	36,75	31,49	31,58	34,35
20	32,20	32,61	33,91	31,78	31,86	32,76
21	32,15	32,43	33,39	31,82	31,90	31,33
22	31,76	32,03	33,14	31,44	31,49	30,06
23	31,05	31,23	32,32	30,64	30,70	28,99
24	30,62	30,78	31,94	30,16	30,23	28,17

2.7 Temperaturas internas da habitação em Belo Horizonte (Modelo 2)

Nas TAB. B.15 e B.16 apresentam-se os resultados obtidos para a configuração com fechamento externo FET, fechamento interno FIL 3 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “A”).

TABELA B.15 - Resultados para o dia típico de verão em Belo Horizonte (Esquema “A” – 1 pvto.)

Horas	Quarto empregada	Área de serviço	Cozinha	Sala	Escritório	Amb. externo
1	27,82	27,15	27,41	26,91	28,94	24,83
2	27,49	26,82	27,14	26,62	28,54	24,35
3	27,19	26,52	26,88	26,34	28,17	23,93
4	26,91	26,24	26,64	26,09	27,83	23,60
5	26,68	26,01	26,45	25,89	27,54	23,44
6	26,52	25,86	26,32	25,76	27,32	23,52
7	26,52	25,84	26,29	25,75	27,21	23,89
8	26,98	26,15	26,40	25,90	27,33	24,61
9	27,35	26,66	26,76	26,37	27,55	25,72
10	27,87	27,07	27,07	26,60	28,09	27,08
11	28,13	27,27	27,18	26,75	28,48	28,64
12	28,16	27,38	27,33	26,93	28,73	30,22
13	28,43	27,70	28,01	27,22	29,44	31,51
14	28,55	27,93	27,93	27,42	30,64	32,42
15	28,74	28,17	27,96	27,61	32,08	32,89
16	28,93	28,39	28,06	27,79	33,38	32,82
17	29,07	28,54	28,15	27,93	33,94	32,29
18	29,13	28,60	28,21	28,02	33,74	31,38
19	29,80	29,20	28,90	28,74	32,79	30,20
20	29,99	29,46	29,34	29,20	31,90	28,96
21	29,74	29,17	29,24	29,03	31,30	27,83
22	29,43	28,78	28,95	28,66	30,81	26,83
23	28,64	28,00	28,18	27,79	29,94	25,99
24	29,23	27,74	28,07	29,54	26,47	25,34

TABELA B.16 - Resultados para o dia típico de verão em Belo Horizonte (Esquema “A” – 2 pvto.)

Horas	Quarto 2	Quarto 1	Copa	Suíte	Amb. externo
1	27,31	27,26	28,25	27,60	24,83
2	26,81	26,78	27,90	27,10	24,35
3	26,35	26,33	27,54	26,63	23,93
4	25,93	25,92	27,21	26,22	23,60
5	25,58	25,58	26,91	25,86	23,44
6	25,34	25,34	26,68	25,61	23,52
7	25,25	25,25	26,55	25,48	23,89
8	25,57	25,66	26,54	25,60	24,61
9	26,02	26,12	26,56	25,70	25,72
10	26,32	26,37	26,55	25,66	27,08
11	26,57	26,59	26,47	25,72	28,64
12	26,76	26,74	26,46	25,92	30,22
13	27,14	27,09	26,80	26,39	31,51
14	27,45	27,37	26,84	26,81	32,42
15	27,80	27,69	26,96	27,32	32,89
16	28,17	28,04	27,17	27,90	32,82
17	28,49	28,34	27,42	28,47	32,29
18	28,73	28,57	27,69	28,96	31,38
19	29,48	29,31	28,71	29,86	30,20
20	29,83	29,73	29,41	30,19	28,96
21	29,59	29,49	29,60	29,92	27,83
22	29,22	29,13	29,62	29,55	26,83
23	28,44	28,36	29,00	28,76	25,99
24	27,77	25,86	28,45	26,09	25,34

Nas TAB. B.17 e B.18 apresentam-se os resultados obtidos para a configuração com fechamento externo FET, fechamento interno FIL 3 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “A”).

TABELA B.17 - Resultados para o dia típico de inverno em Belo Horizonte (Esquema “A” – 1 pvto.)

Horas	Quarto empregada	Área de serviço	Cozinha	Sala	Escritório	Amb. externo
1	18.29	16.93	18.33	17.23	18.83	10.35
2	18.06	16.68	18.20	17.02	18.71	9.72
3	17.83	16.45	18.07	16.85	18.58	9.20
4	17.61	16.24	17.94	16.69	18.43	8.84
5	17.41	16.05	17.82	16.55	18.29	8.70
6	17.25	15.89	17.72	16.42	18.14	8.95
7	17.13	15.79	17.64	16.33	18.02	9.58
8	17.08	15.77	17.60	16.28	17.92	10.73
9	16.70	15.58	17.41	16.15	17.55	12.35
10	16.55	15.55	17.29	16.09	17.31	14.24
11	16.59	15.71	17.27	16.14	17.21	16.40
12	16.74	15.96	17.29	16.23	17.20	18.40
13	17.40	16.53	17.96	16.50	17.60	19.91
14	17.52	16.78	17.74	16.65	17.59	20.92
15	17.75	17.05	17.75	16.80	17.69	21.30
16	17.98	17.28	17.82	16.93	17.83	20.92
17	18.16	17.44	17.89	17.02	17.95	20.04
18	18.25	17.51	17.93	17.06	18.04	18.65
19	18.75	18.05	18.42	17.76	18.63	17.03
20	18.65	18.02	18.15	17.89	18.61	15.39
21	18.25	17.79	18.18	18.69	18.26	13.99
22	18.33	17.57	18.10	18.21	18.27	12.73
23	18.74	17.35	18.53	17.88	18.81	11.72
24	18.50	17.18	18.42	17.47	18.91	10.98

TABELA B.18 - Resultados para o dia típico de inverno em Belo Horizonte (Esquema "A" – 2 pvto.)

Horas	Quarto 2	Quarto 1	Copa	Suíte	Amb. externo
1	17.25	17.25	19.44	17.68	10.35
2	16.86	16.86	19.36	17.37	9.72
3	16.46	16.47	19.23	17.04	9.20
4	16.07	16.08	19.06	16.70	8.84
5	15.69	15.71	18.86	16.37	8.70
6	15.35	15.38	18.64	16.05	8.95
7	15.07	15.10	18.42	15.76	9.58
8	14.87	14.90	18.21	15.53	10.73
9	14.53	14.56	17.22	15.15	12.35
10	14.31	14.33	17.02	14.84	14.24
11	14.30	14.31	16.67	14.70	16.40
12	14.46	14.46	16.45	14.71	18.40
13	15.06	15.04	16.82	15.12	19.91
14	15.46	15.41	16.66	15.34	20.92
15	15.96	15.87	16.68	15.67	21.30
16	16.44	16.33	16.81	16.05	20.92
17	16.87	16.74	16.98	16.42	20.04
18	17.20	17.05	17.18	16.74	18.65
19	17.98	17.90	18.13	17.69	17.03
20	18.10	18.08	18.44	18.02	15.39
21	18.17	18.03	18.44	18.04	13.99
22	17.92	17.75	18.24	17.84	12.73
23	17.83	17.94	19.20	18.19	11.72
24	17.62	17.60	19.43	17.95	10.98

Nas TAB. B.19 e B.20 apresentam-se os resultados obtidos para a configuração com fechamento externo FIL 1, fechamento interno FIP 1 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “B”).

TABELA B.19 - Resultados para o dia típico de verão em Belo Horizonte (Esquema “B” – 1 pvto.)

Horas	Quarto empregada	Área de serviço	Cozinha	Sala	Escritório	Amb. externo
1	27,79	27,13	27,28	26,81	29,11	24,83
2	27,52	26,84	27,07	26,55	28,77	24,35
3	27,26	26,57	26,86	26,31	28,45	23,93
4	27,03	26,33	26,68	26,09	28,15	23,60
5	26,82	26,12	26,52	25,91	27,90	23,44
6	26,69	25,99	26,43	25,81	27,71	23,52
7	26,69	25,98	26,42	25,81	27,61	23,89
8	27,10	26,26	26,54	25,96	27,69	24,61
9	27,42	26,75	26,80	26,43	27,86	25,72
10	27,90	27,13	27,19	26,66	28,31	27,08
11	28,11	27,29	27,29	26,80	28,72	28,64
12	28,14	27,39	27,41	26,97	28,87	30,22
13	28,39	27,67	28,03	27,23	29,42	31,51
14	28,48	27,86	27,86	27,40	30,39	32,42
15	28,63	28,06	27,87	27,55	31,52	32,89
16	28,79	28,25	27,95	27,70	32,56	32,82
17	28,89	28,37	28,01	27,80	33,19	32,29
18	28,94	28,42	28,04	27,85	33,04	31,38
19	29,55	28,99	28,66	28,51	32,27	30,20
20	29,71	29,21	28,96	28,88	31,59	28,96
21	29,46	28,97	28,92	28,81	31,13	27,83
22	29,20	28,62	28,65	28,45	30,71	26,83
23	28,46	27,86	27,91	27,61	29,93	25,99
24	29,09	27,56	27,83	29,36	26,75	25,34

TABELA B.20 - Resultados para o dia típico de verão em Belo Horizonte (Esquema “B” – 2 pvto.)

Horas	Quarto 2	Quarto 1	Copa	Suíte	Amb. externo
1	27,28	27,22	27,80	27,54	24,83
2	26,91	26,88	27,63	27,21	24,35
3	26,55	26,54	27,46	26,88	23,93
4	26,22	26,22	27,29	26,57	23,60
5	25,93	25,95	27,14	26,30	23,44
6	25,73	25,75	27,03	26,11	23,52
7	25,65	25,68	26,98	26,01	23,89
8	25,90	25,93	27,01	26,03	24,61
9	26,37	26,42	26,98	26,25	25,72
10	26,59	26,64	27,23	26,27	27,08
11	26,74	26,76	27,20	26,29	28,64
12	26,86	26,84	27,16	26,39	30,22
13	27,15	27,11	27,38	26,68	31,51
14	27,37	27,29	27,28	26,89	32,42
15	27,63	27,52	27,28	27,17	32,89
16	27,91	27,77	27,35	27,52	32,82
17	28,14	27,99	27,43	27,88	32,29
18	28,32	28,15	27,52	28,19	31,38
19	28,99	28,81	28,29	28,95	30,20
20	29,33	29,14	28,65	29,37	28,96
21	29,15	29,01	28,83	29,26	27,83
22	28,84	28,73	28,77	28,99	26,83
23	28,12	28,01	28,25	28,31	25,99
24	27,58	26,05	28,14	25,89	25,34

Nas TAB. B.21 e B.22 apresentam-se os resultados obtidos para a configuração com fechamento externo FIL 1, fechamento interno FIP 1 e cobertura com laje LSL (ESQUEMA “B”).

TABELA B.21 - Resultados para o dia típico de inverno em Belo Horizonte (Esquema “B” – 1 pvto.)

Horas	Quarto empregada	Área de serviço	Cozinha	Sala	Escritório	Amb. externo
1	18.04	16.87	18.13	17.16	18.65	10.35
2	17.86	16.65	18.04	16.97	18.57	9.72
3	17.67	16.44	17.94	16.81	18.48	9.20
4	17.49	16.25	17.84	16.65	18.38	8.84
5	17.32	16.07	17.76	16.52	18.28	8.70
6	17.19	15.93	17.69	16.41	18.18	8.95
7	17.09	15.84	17.64	16.33	18.09	9.58
8	17.06	15.83	17.62	16.29	18.02	10.73
9	16.72	15.65	17.45	16.18	17.25	12.35
10	16.64	15.66	17.38	16.15	17.45	14.24
11	16.71	15.83	17.40	16.21	17.41	16.40
12	16.87	16.06	17.45	16.32	17.41	18.40
13	17.45	16.57	18.09	16.59	17.76	19.91
14	17.44	16.72	17.79	16.70	17.66	20.92
15	17.64	16.97	17.79	16.84	17.71	21.30
16	17.81	17.16	17.84	16.94	17.79	20.92
17	17.95	17.28	17.87	17.01	17.86	20.04
18	18.01	17.34	17.89	17.03	17.91	18.65
19	18.55	17.92	18.33	17.71	18.52	17.03
20	18.34	17.86	18.18	17.87	18.34	15.39
21	18.28	17.75	18.03	18.21	18.29	13.99
22	18.31	17.60	17.87	18.46	18.24	12.73
23	18.28	17.43	18.26	17.70	18.78	11.72
24	18.20	17.08	18.16	17.33	18.68	10.98

TABELA B.22 - Resultados para o dia típico de inverno em Belo Horizonte (Esquema “B” – 2 pvto.)

Horas	Quarto 2	Quarto 1	Copa	Suíte	Amb. externo
1	16.98	17.00	18.86	17.40	10.35
2	16.69	16.73	18.86	17.21	9.72
3	16.40	16.45	18.83	17.01	9.20
4	16.11	16.18	18.78	16.79	8.84
5	15.83	15.91	18.72	16.57	8.70
6	15.57	15.67	18.64	16.36	8.95
7	15.35	15.47	18.56	16.16	9.58
8	15.20	15.32	18.47	16.00	10.73
9	14.90	15.02	17.61	15.67	12.35
10	14.75	14.86	17.68	15.44	14.24
11	14.76	14.87	17.51	15.34	16.40
12	14.90	14.99	17.38	15.33	18.40
13	15.38	15.45	17.70	15.65	19.91
14	15.59	15.61	17.42	15.68	20.92
15	15.93	15.91	17.37	15.84	21.30
16	16.26	16.20	17.38	16.05	20.92
17	16.54	16.45	17.40	16.26	20.04
18	16.76	16.65	17.44	16.44	18.65
19	17.53	17.41	18.14	17.24	17.03
20	17.85	17.81	18.13	17.74	15.39
21	17.76	17.86	18.23	17.76	13.99
22	17.54	17.56	18.32	17.70	12.73
23	17.36	17.49	18.80	17.73	11.72
24	17.21	17.23	18.80	17.54	10.98