

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

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE
EDIFÍCIO INSTITUCIONAL ESTRUTURADO EM AÇO.
O CASO DA SEDE DA PREFEITURA MUNICIPAL DE
MARIANA, MG.**

Ouro Preto, junho de 2008

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

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE
EDIFÍCIO INSTITUCIONAL ESTRUTURADO EM AÇO.
O CASO DA SEDE DA PREFEITURA MUNICIPAL DE
MARIANA, MG.**

AUTORA: ÉLEN SILVA ATAÍDE

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: Construção Metálica.

Ouro Preto, junho de 2008

A862a	<p data-bbox="491 1245 691 1274">Ataíde, Élen Silva.</p> <p data-bbox="491 1279 1265 1361">Avaliação de desempenho térmico de edifício estruturado em aço [manuscrito]: o caso sede da Prefeitura Municipal de Mariana, MG / Élen Silva Ataíde - 2008.</p> <p data-bbox="539 1397 943 1426">xii, 85f.: il., color.; graf.; tabs.; mapas.</p> <p data-bbox="533 1456 997 1485">Orientador: Prof. Dr. Henor Artur de Souza.</p> <p data-bbox="491 1516 1294 1601">Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.</p> <p data-bbox="533 1606 999 1635">Área de concentração: Construção Metálica.</p> <p data-bbox="507 1664 1294 1722">1. Análise numérica - Teses. 2. Ventilação - Teses. 3. Conforto térmico - Teses. I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.</p> <p data-bbox="1003 1753 1254 1783">CDU: 624.014.2(815.1)</p>
-------	---

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFÍCIO
INSTITUCIONAL ESTRUTURADO EM AÇO. O CASO DA SEDE
DA PREFEITURA MUNICIPAL DE MARIANA, MG.**

AUTORA: ÉLEN SILVA ATAÍDE

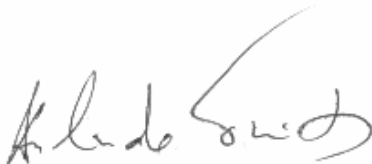
Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 10 de junho de 2008,
pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Dr. Henor Artur de Souza (Orientador / UFOP)



Prof. Dr. Marcílio Sousa da Rocha Freitas (UFOP)



Prof. Dr. Arlindo Tribess (USP)

AGRADECIMENTOS

À minha família por todo o apoio durante essa etapa.

Ao Prof. Henor Artur de Souza, por toda orientação, ajuda e amizade.

Ao colega Adriano, pela ajuda no aprendizado do programa *EnergyPlus*.

A todos os colegas do curso de mestrado pela amizade e companheirismo.

A Prefeitura Municipal de Mariana por permitir o uso do espaço da sua edificação para realização desse trabalho.

Ao programa de pós-graduação em engenharia civil - PROPEC pela oportunidade e ensino.

À Fundação Gorceix e a Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST) pelo apoio financeiro

RESUMO

A avaliação do desempenho térmico de edificações, via simulação numérica, pode contribuir muito para melhoria do conforto térmico dos ambientes construídos e para a redução no consumo de energia, nos processos de aquecimento e/ou resfriamento de ambientes, pois proporciona meios para que se otimize o desempenho energético nos projetos de edificações. Assim, quando condições de conforto humano no interior de um ambiente construído podem ser investigadas via simulação numérica, ainda na fase do pré-projeto, estratégias arquitetônicas e bioclimáticas podem ser definidas de forma a minimizar os ganhos de calor e melhorar o desempenho da edificação. Nessa pesquisa, avalia-se o desempenho térmico de uma edificação, utilizando-se como objeto de estudo o edifício sede da Prefeitura Municipal de Mariana, construção estruturada em aço, que apresenta problemas de conforto térmico aos seus usuários, principalmente nos períodos de verão, devido às altas temperaturas internas. Utiliza-se o programa computacional *EnergyPlus* para a realização das simulações com ênfase em análise térmica e propõe-se algumas estratégias arquitetônicas para a melhoria do desempenho térmico da edificação. Considera-se a condição de edificação ventilada naturalmente e aplica-se o modo de ventilação natural através das zonas térmicas (cômodos) do programa computacional. São propostas estratégias arquitetônicas tais como a substituição da cobertura em policarbonato existente por telha em cerâmica e/ou telha metálica tipo sanduíche, o aumento das aberturas no corredor central da edificação e a colocação de *sheds* na parte central da cobertura. Os resultados indicam que a estratégia que substitui parte da cobertura em policarbonato e que minimiza a radiação solar direta pela cobertura, bem como a colocação de *sheds*, que auxilia na ventilação da edificação, proporcionam uma melhora no desempenho térmico da edificação de 25 a 35%, em relação à configuração arquitetônica atual. Nesse contexto, a simulação numérica representa uma ferramenta importante, no entanto, é necessário que se tenha uma definição correta das variáveis relevantes nas interações térmicas entre a edificação (características do projeto como volume, orientação solar, sistemas de fechamento e cobertura, perfil de ocupação desejado) e o meio externo (condições climáticas locais).

ABSTRACT

The evaluation of building thermal performance, by numerical simulation, can greatly contribute to improving the thermal comfort of built environments and a reduction in energy consumption, in the heating and / or cooling of environments, providing means to optimize projects in the energy performance of buildings. So when conditions for human comfort within the built environment can be investigated by numerical simulation, even during the pre-design, architectural and bioclimatic strategies can be set so as to minimize the gains of heat and improve the performance of the building. In this research, to evaluate the thermal performance in building, was use as object of study, the city hall of Mariana, structured in steel construction, which presents problems of thermal comfort to its users, particularly in periods of summer, due to the high internal temperatures. It is used a computer program EnergyPlus to perform the simulations with emphasis on thermal analysis and proposes to some architectural strategies for improving the performance of the heat building. It is a condition that naturally ventilated building and apply the method of natural ventilation through the thermal areas (rooms) of the computer program. It was proposed architectural strategies such as replacing the existing coverage in policabornate by a ceramic tile and / or tile metal type sandwich, an increase of openings in the central corridor of the building and placement of sheds in the central part of the coverage. The results indicate that the strategy that replaces part of the coverage in policabornate and that minimizes the direct solar radiation by the coverage, and the placement of sheds, which assists in the ventilation building, provide an improved performance in the heat of the building of 25 to 35% , for the current architectural setting. In this context, the numerical simulation represents an important tool, however, it is necessary that they have a correct definition of the relevant variables in interactions between the thermal building (characteristics of the project as volume, solar orientation, closing systems and coverage, profile occupation desired) and the external environment (the local climate).

SUMÁRIO

Resumo	V
Abstract	VI
Lista de Figuras	IX
Lista de tabelas	XII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 – Considerações iniciais	1
1.2 - Objetivos	3
1.2.1 – Objetivo geral	3
1.2.2 – Objetivos específicos	3
1.3 – Estrutura do trabalho	4
2 A CONSTRUÇÃO ESTRUTURADA EM AÇO	5
2.1 – Construção civil industrializada	5
2.1.1 – Edifícios inteligentes	7
2.2 – Sistema de fechamento	9
2.2.1 – Fechamentos verticais	9
2.2.2 – Fechamentos horizontais	12
2.2.3 – Cobertura	13
2.3 – Estratégias arquitetônicas e bioclimáticas	16
2.3.1 – Proteções solares	19
2.3.2 – Ventilação natural	21
3 OBJETO DE ESTUDO: EDIFÍCIO SEDE DA PREFEITURA MUNICIPAL DE MARIANA	23
3.1 – A cidade de Mariana	23
3.2 – O objeto de estudo	25
3.2.1 – As características construtivas	26
3.2.2 – O desempenho ambiental	31
4 A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES	33
4.1 – Considerações iniciais	33
4.2 – Avaliação térmica de edificações via simulação numérica	35
4.2.1 – O programa <i>EnergyPlus</i>	35
4.3 – Metodologia adotada	38
4.3.1 – Caracterização das exigências humanas	38

4.3.2 – Caracterização das condições típicas de exposição ao clima	39
4.3.3 – Caracterização da edificação e sua ocupação	40
4.3.4 – Simulação térmica da edificação	41
4.3.5 – Critérios para avaliação de desempenho térmico da edificação	42
4.4 – Parâmetros gerais da simulação	42
4.4.1 – Condições climáticas	42
4.4.2 – Descrição das zonas térmicas	43
4.4.3 – Parâmetros da simulação	45
4.4.4 – Caracterização das propriedades termo-físicas dos elementos de simulação	46
4.4.5 – Rotina de ocupação	48
4.5 – Simulação de desempenho térmico	50
4.5.1 – Proposição 1 – Brises nas fachadas leste e oeste	50
4.5.2 – Proposição 2 - Substituição do polycarbonato da cobertura	52
4.5.3 – Proposição 3 – Colocação de isolante sob cobertura em cerâmica	53
4.5.4 – Proposição 4 – Alteração dos tamanhos das janelas do corredor central	54
4.5.5 – Proposição 5 – Diminuição da estrutura em aço aparente	55
4.5.6 – Proposição 6 – Colocação de <i>sheds</i> na estrutura	55
4.5.7 – Proposição 7 – Somatório das proposições	56
 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	 57
5.1 – Resultados da simulação com condições climáticas da cidade de Belo Horizonte	57
5.1.1 – Proposição 1: Brises nas fachadas leste e oeste	60
5.1.2 – Proposição 2: Substituição do polycarbonato da cobertura	62
5.1.3 – Proposição 3: Colocação de isolante sob cobertura em cerâmica	65
5.1.4 – Proposição 4: Alteração dos tamanhos das janelas do corredor central	67
5.1.5 – Proposição 5: Diminuição da estrutura em aço aparente	69
5.1.6 – Proposição 6: Colocação de <i>sheds</i> na estrutura	71
5.1.7 – Proposição 7 Somatório das proposições	73
 6 CONCLUSÕES	 79
6.1 – Considerações Finais	79
6.2 – Sugestões para futuras pesquisas	80
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 81

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

FIGURA 2.1 – Maquete eletrônica do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobrás (CENPES).	8
FIGURA 2.2 – Representação do painel de gesso acartonado.	10
FIGURA 2.3 - Bloco de Concreto Celular.	12
FIGURA 2.4 - Representação da laje <i>Steel Deck</i> .	13
FIGURA 2.5 - Esquema de Ventilação em telhados.	15
FIGURA 2.6 – Representação de cobertura do tipo sanduíche.	16
FIGURA 2.7 – Zoneamento bioclimático brasileiro	17
FIGURA 2.8 – Carta bioclimática adaptada	17
FIGURA 2.9 – Exemplo de brise	20
FIGURA 2.10 – Representação de elementos verticais e horizontais e as alterações no fluxo de ar.	22

CAPÍTULO III

FIGURA 3.1 – Mapa de localização da cidade de Mariana-MG.	24
FIGURA 3.2 – Foto da fachada do prédio da Prefeitura Municipal de Mariana.	26
FIGURA 3.3 – Planta baixa do 1º pavimento.	25
FIGURA 3.4 – Planta baixa do 2º pavimento.	28
FIGURA 3.5 – Foto da estrutura do pórtico.	29
FIGURA 3.6 – Foto interna do corredor central.	29
FIGURA 3.7 – Foto interna da sala 23.	29
FIGURA 3.8 – Foto interna da cobertura em policarbonato.	30
FIGURA 3.9 – Foto da cobertura.	30
FIGURA 3.10 – Foto da fachada lateral e fachada.	30
FIGURA 3.11 – Foto da fachada frontal e estacionamento.	30
FIGURA 3.12 – Avaliação de conforto térmico no período de verão e inverno – Prefeitura Municipal de Mariana.	31
FIGURA 3.13 – Avaliação de conforto acústico – Prefeitura Municipal de Mariana	32

CAPÍTULO IV

FIGURA 4.1 – Visualização do objeto de estudo realizado pelo <i>Energyplus</i> no programa <i>Autocad</i> .	37
FIGURA 4.2 - Fluxograma dos principais elementos para a simulação numérica de uma edificação ventilada naturalmente.	41
FIGURA 4.3 – Carta solar da cidade de Mariana.	43
FIGURA 4.4 – Localização das zonas térmicas no 1 e 2 pavimento.	44
FIGURA 4.5 – Foto interna do ambiente considerado como zona térmica 23.	50
FIGURA 4.6 – Foto da zona térmica 23 com sensores em medição.	50

FIGURA 4.7 – Brises nas fachadas leste e oeste.	51
FIGURA 4.8 – Máscara de sombra para as fachadas leste e oeste.	52
FIGURA 4.9 – Localização da cobertura de policarbonato.	53
FIGURA 4.10 – Foto do corredor central com cobertura em policarbonato.	53
FIGURA 4.11 – Telha isolante com poliuretano.	53
FIGURA 4.12 – Localização da cobertura de telha colonial e dos materiais isolantes.	54
FIGURA 4.13 – Localização das janelas do corredor central com aumento do comprimento (1,5 m).	54
FIGURA 4.14 – Foto da janela localizada no corredor central.	54
FIGURA 4.15 – Fotos da estrutura em aço aparente na edificação.	55
FIGURA 4.16 – Localização dos <i>sheds</i> no corredor central.	55

CAPITULO V

FIGURA 5.1 – Localização das zonas do 2º pavimento.	57
FIGURA 5.2 – Temperaturas interna (zona 23) e externa - Configuração original da edificação.	58
FIGURA 5.3 - Temperaturas interna (zona 23) e externa - Configuração original da edificação	59
FIGURA 5.4 – Umidade relativa interna (zona 23) e externa-Configuração original da edificação	59
FIGURA 5.5 – Temperaturas interna (zona 23) e externa.	60
FIGURA 5.6 – Graus.hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).	61
FIGURA 5.7 – Σ Graus.hora diário necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).	62
FIGURA 5.8 – Temperaturas interna (zona 23) e externa.	62
FIGURA 5.9 – Graus.hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).	63
FIGURA 5.10 – Σ Graus.hora diário necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).	63
FIGURA 5.11 – Temperaturas interna (zona 23) e externa.	64
FIGURA 5.12 – Graus.hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).	64
FIGURA 5.13 – Σ Graus.hora diário necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).	65
FIGURA 5.14 – Temperaturas interna (zona 23) e externa.	66
FIGURA 5.15 – Graus.hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).	66
FIGURA 5.16 – Σ Graus.hora diário necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).	67
FIGURA 5.17 – Temperaturas interna (zona 23) e externa	67

FIGURA 5.18 – Graus.hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23)	68
FIGURA 5.19 – Σ Graus.hora diário necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).	69
FIGURA 5.20 – Temperaturas interna (zona 23) e externa.	69
FIGURA 5.21 – Graus.hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).	70
FIGURA 5.22 – Σ Graus.hora diário necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).	70
FIGURA 5.23 – Temperaturas interna (zona 23) e externa.	71
FIGURA 5.24 – Graus.hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).	72
FIGURA 5.25 – Σ Graus.hora diário necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).	72
FIGURA 5.26 – Temperaturas interna (zona 23) e externa.	73
FIGURA 5.27 – Graus.hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).	74
FIGURA 5.28 – Σ Graus.hora diário necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).	74
FIGURA 5.29 – Umidade relativa interna (zona 23) e externa.	75
FIGURA 5.30 – Temperaturas interna (zona 23) e externa.	75
FIGURA 5.31 – Graus.hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).	76
FIGURA 5.32 – Σ Graus.hora diário necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).	77
FIGURA 5.33 – Umidade relativa interna (zona 23) e externa.	77
FIGURA 5.34 – Somatório total diário de graus.hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).	78

LISTA DE TABELAS

CAPITULO II

TABELA 2.1 – Abertura para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 3.	18
TABELA 2.2 – Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 3.	18
TABELA 2.3 – Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 3.	18

CAPITULO IV

TABELA 4.1 – Propriedades termo-físicas de elementos opacos utilizados nas simulações.	47
TABELA 4.2 – Propriedades das câmaras de ar não ventiladas naturalmente com largura muito maior que a espessura.	47
TABELA 4.3 – Propriedades de elementos transparentes utilizados nas simulações.	48
TABELA 4.4 – Rotina de ocupação utilizada nas simulações.	49

CAPITULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

No Brasil, o uso do aço na Arquitetura e na Construção civil vem se expandindo ao longo dos anos. Até a década de 70, as construções metálicas eram restritas basicamente a instalações industriais na configuração de galpões. Só a partir de meados dos anos 80, começou-se a utilizar a estrutura metálica em maior escala. Atualmente, está ocorrendo uma expansão de novas tecnologias construtivas em função do mercado, pois cada vez mais há uma busca de sistemas alternativos que aumentem a produtividade, diminuam o prazo de obra e eliminem o desperdício, e dentre elas destaca-se a construção estruturada em aço (MORAES, 2000).

No entanto, o uso de construções metálicas no Brasil ainda é pequeno quando comparado com outros países, devido a questões culturais e históricas. O concreto armado é, ainda hoje, o material de construção, a nível estrutural, mais utilizado nas construções brasileiras. Essa tendência construtiva já está se modificando, pois o aço está sendo bastante utilizado por projetistas e empreendedores brasileiros, pois apresenta inegáveis vantagens sobre sistemas construtivos tradicionais (von KRÜGER, 2000; SALES, 2001).

O aço é um material desenvolvido a partir de ligas produzidas industrialmente, sob controle rígido. Esse material possui alta resistência mecânica, boa trabalhabilidade, homogeneidade, permite que sejam feitas estruturas mais leves, vãos maiores, racionalização de material e de mão de obra, menor prazo de execução, facilidade de montagem e desmontagem, redução de acidentes, organização do canteiro de obra, além de ser um material totalmente reciclável (BELLEI; PINHO; PINHO, 2004).

Entretanto, a estrutura em aço exige mão-de-obra e equipamentos especializados para sua fabricação e montagem, necessita de tratamento superficial das peças contra

oxidação, há limitação no comprimento das peças em função do transporte até a obra, além de ser um material de alto custo (PINHEIRO, 2005).

Em virtude de tantas vantagens, o mercado da construção tem optado em muitos casos pelo uso da estrutura metálica, devido a um maior retorno na relação custo/benefício que esse tipo de sistema construtivo favorece no custo final da obra. A aplicabilidade desse tipo de estrutura pode ser vista em edifícios institucionais, como *shoppings centers*, edificações comerciais, edificações públicas, edificações para fins educacionais e de saúde e em edifícios residenciais.

O uso da construção industrializada, principalmente em aço, tem contribuído para a minimização do impacto ambiental em relação a outros sistemas construtivos. No entanto, a escolha dos materiais que compõem os fechamentos, deve ser feita de forma criteriosa, levando em consideração não apenas a relação custo/benefício, mas também a sua relação com o clima local, pois a escolha de um material não adequado pode ocasionar um aumento do consumo de energia elétrica, devido a um maior uso de ar condicionado, nos períodos de temperatura elevada.

Diante disso, o estudo do desempenho térmico de edificações torna-se importante, pois o uso do sistema industrializado contribuiu para o surgimento de novos materiais, e para que eles sejam usados de forma adequada, devem ser feitos estudos iniciais levando em consideração o clima local, o tipo de ocupação, a forma da edificação, dentre outros fatores. Esse tipo de análise possibilita projetar ambientes confortáveis que atendam as expectativas humanas ou identificar e minimizar problemas oriundos do projeto, da construção ou da manutenção da edificação.

Nesse trabalho, foi escolhido como estudo de caso a edificação sede da Prefeitura Municipal de Mariana – MG, construída em estrutura metálica em meados da década de 80, da autoria do arquiteto Rafael Fogli Diniz Ribeiro. Essa edificação, juntamente com o ginásio poliesportivo e o terminal rodoviário, causam impacto com o entorno, que possui caráter histórico. Além disso, por ser um edifício administrativo, de utilização

pública, deve proporcionar aos seus usuários condições favoráveis para a realização de seus trabalhos.

Essa pesquisa é uma continuação do trabalho de avaliação pós-ocupação realizado por Rocha (2007), cujo enfoque foi a avaliação ambiental do edifício sede da Prefeitura Municipal de Mariana sob a perspectiva de seus usuários.

A continuidade do trabalho foi realizada por se tratar de uma edificação institucional estruturada em aço, com problemas de desempenho térmico uma vez que foi constatado que a temperatura interna da edificação, em dias de verão, é elevada, causando muito desconforto aos usuários.

1.2 Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Realizar a avaliação do desempenho térmico do edifício sede da Prefeitura Municipal de Mariana, MG, ventilada naturalmente, por meio de simulação numérica.

1.2.2. Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo algumas etapas importantes são contempladas como:

- A caracterização global da edificação (projeto, materiais utilizados, entorno);
- A definição dos parâmetros relevantes para a avaliação de desempenho térmico de edificações;
- A verificação do desempenho térmico da edificação por meio da simulação numérica com proposições de estratégias arquitetônicas e;
- A análise e discussão dos resultados obtidos pela simulação numérica.

1.3. Estrutura do trabalho

Esse trabalho está estruturado em um capítulo relacionado à introdução dessa pesquisa, além de mais cinco capítulos.

No capítulo II é feito uma revisão sobre as construções estruturadas em aço, tipos de fechamentos utilizados nesse tipo de construção além de alternativas para cobertura e proteção solar com intuito de mostrar os benefícios e o funcionamento dessas estratégias. Por último, é feita uma revisão bibliográfica da ventilação natural nos ambientes.

No capítulo III discute-se sobre a cidade de Mariana. Além disso, é feito uma descrição do edifício adotado como objeto de estudo e sobre os estudos de pós-ocupação realizados.

No capítulo IV faz-se uma revisão sobre a avaliação do desempenho térmico de edificações, sobre a metodologia aplicada e os parâmetros de simulação utilizados, além de descrever as estratégias aplicadas para efeito de simulação.

No capítulo V é feito a apresentação dos resultados das simulações realizadas com dados climáticos da cidade de Belo Horizonte para as estratégias propostas com o intuito de minimizar a temperatura interna do ambiente estudado.

No capítulo VI é feito a conclusão sobre os resultados das simulações realizadas e apresentação de sugestões para pesquisas futuras.

CAPITULO II

2. A CONSTRUÇÃO ESTRUTURADA EM AÇO

2.1 Construção civil industrializada

A industrialização da construção civil teve sua origem no Japão há 3 (três) séculos. Após a 2ª Guerra Mundial, principalmente na Europa, o processo da construção industrializada se intensificou, devido à grande necessidade de repor edifícios destruídos durante a guerra (FIRMO¹, 2003 *apud* CAIADO, 2005).

No Brasil, durante o ciclo da borracha, que data do final do século XIX e início do século XX, surgiram construções no norte do país que utilizaram sistemas construtivos industrializados importados da Europa. Eram edifícios comerciais e residências pré-fabricadas, que utilizavam painéis de ferro. No entanto, as aplicações dessas técnicas ocorreram de forma específica, apenas para o desenvolvimento de algumas cidades em determinados períodos de crescimento econômico proporcionado pela exportação de produtos agrícolas. Dessa forma, não houve na época um desenvolvimento nas práticas construtivas como ocorreu na Europa e nos Estados Unidos (von KRÜGER, 2000).

A preocupação com a inovação dos processos construtivos no Brasil ocorreu apenas no final da década de 50. Com a busca do mercado por produtos que permitissem a racionalização da construção civil, muitos empreendedores passaram a oferecer produtos pré-fabricados, que são projetados antes da execução, viabilizando todo o sistema construtivo. Diante disso, muitas siderúrgicas passaram a investir no mercado da construção civil, oferecendo uma demanda de perfis, com variabilidade de formas e tamanhos.

¹ FIRMO, C. da S. *Estruturas tubulares enrijecidas por superfícies de dupla curvatura (hiperbólicas)*. 2003, 194f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003.

Hoje em dia, grande parte da construção industrializada no Brasil está presente em grandes obras. Muitas delas são empreendimentos de padrão elevado, onde o prazo para execução é essencial, justificando a escolha da estrutura e o custo da obra. Geralmente são construções destinadas ao uso institucional, como edifícios públicos (prefeituras, fóruns, câmaras municipais), edifícios com fins comerciais como hotéis, bancos, aeroportos e supermercados e edifícios com fins para saúde e educação.

A construção estruturada em aço, dita industrializada, envolve alguns quesitos tanto para o projetista quanto para o construtor. Inicialmente, deve-se ter uma visão sistêmica do sistema modular de edificações, principalmente entre a estrutura e os fechamentos. Segundo Paes e Veríssimo (1998), “a modulação é uma técnica aplicada à elaboração de projetos que permite relacionar as medidas de projeto com medidas modulares, por meio de um reticulado espacial modular de referência”. Assim a modulação torna-se uma grande aliada ao processo de racionalização da construção metálica, proporcionado economia de custos e assegurando a qualidade da obra.

O arquiteto e/ou o engenheiro deve, durante a fase projetual, conhecer o tipo de estrutura a ser utilizado, o comprimento das peças, os encaixes, tipo de ligações, além do material a ser utilizado como fechamento e esquadrias. Um projeto arquitetônico com a utilização de estrutura metálica deve ter precisão milimétrica, portanto, é importante que haja um grande número de detalhamentos para que a interação entre a estrutura e os fechamentos sejam feitos de forma racional, ou seja, sem que haja desperdícios e improvisações na obra, assegurando assim a sua qualidade.

A principal característica da construção industrializada é a determinação de cada passo do processo construtivo ainda na fase de projeto, de modo a evitar qualquer alteração na obra em andamento, visto que a racionalização construtiva só pode ser alcançada quando as ações são planejadas desde o momento da concepção do empreendimento (SILVA, 2003).

De acordo com Caiado (2005) a racionalização construtiva busca o desenvolvimento de um projeto baseado na economia, na eficiência e na otimização aproximando-se do

enfoque adotado pela construtibilidade. Isso mostra que a adoção do processo construtivo industrializado, como o aço, implica no conhecimento de sua tecnologia, e a falta desse conhecimento pode implicar na escolha de sistemas incompatíveis gerando futuras patologias e problemas no desempenho térmico da futura edificação. Portanto, após a escolha da estrutura, deve-se fazer um estudo acerca dos tipos de fechamentos, coberturas dentre outros elementos de fechamento, avaliando suas propriedades termo-acústicas, além da sua viabilidade com a estrutura e com o custo da obra.

2.1.1 Edifícios inteligentes

Dentro do conceito da construção estruturada em aço (industrializada) e a questão atual do impacto ao meio ambiente insere-se também o conceito da edificação inteligente.

Edifícios inteligentes podem ser considerados as construções racionais, com pouco impacto ambiental e energeticamente eficientes dentro do conceito de sustentabilidade. Segundo Grillo (2005) novos conceitos de projetos sustentáveis indicam as possibilidades de integração da natureza com os materiais e técnicas construtivas, resultando em ambientes confortáveis, energeticamente eficientes e com baixo custo de manutenção. Neste contexto, deve-se colocar a importância da captação de água da chuva e da energia solar.

O aspecto econômico da sustentabilidade das edificações apresenta vantagens da redução de custos, de forma mais representativa, na fase de utilização. Estas se verificam dentro do ciclo de vida da edificação, considerando o custo de energia, utilização de água, mão-de-obra para manutenção, troca de componentes, equipamentos, entre outros (OLIVEIRA, 2006).

A idéia de sustentabilidade na construção civil representa o desenvolvimento de projetos para construção de edifícios inteligentes, com alternativas que contribuam para menor impacto ambiental e menor desperdício. Hoje, muitas construções e projetos estão adotando medidas alternativas que possam aproveitar água das chuvas; energia

solar; ambientes com ventilação natural; materiais alternativos como o bambu, garrafas de plástico e materiais recicláveis para uma construção sem poluição.

Um exemplo de projeto para construção de um edifício inteligente é o Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobrás (CENPES) que está sendo construído na Cidade Universitária, na Ilha do Fundão, localizado na cidade do Rio de Janeiro (FIG. 2.1). Esse edifício abrigará 23 prédios, 66 laboratórios, além de um inédito Centro de Realidade Virtual (CRV), com ambientes para pesquisas com simulação tridimensional, um amplo centro de convenções e um centro que integrará toda a base de processamento de dados da companhia no Rio de Janeiro. O diferencial do projeto é que toda a água da chuva será utilizada para irrigação de jardins e em vasos sanitários. Haverá o menor consumo possível de energia, aproveitando-se o máximo possível de sombras e ventilação natural. O esgoto será tratado, além de todo o resíduo da construção ser completamente reaproveitado na própria obra. A estrutura do conjunto de edifícios será construída em estrutura metálica. Desde o estágio conceitual o projeto foi desenvolvido com base em avaliações de conforto térmico, acústico, luminoso e eficiência energética por meio de simulação computacional. Será proposto também um paisagismo eficiente que servirá para acelerar ou barrar as ações dos ventos criando microclimas de acordo com as condições ambientais (POR DENTRO..., 2007).



FIGURA 2.1 – Maquete eletrônica do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobrás (CENPES).

Fonte: POR DENTRO..., 2007.

2.2 Sistema de fechamento

O sistema de fechamento da construção é uma barreira entre os ambientes natural e\ou urbano e a gama de ambientes internos requeridos pelas diferentes atividades humanas. A solução para se ter um desempenho térmico adequado da edificação e com isso proporcionar conforto ao usuário está na adequação do projeto da envolvente da edificação: sistemas de fechamento (paredes e coberturas) e sistema de aberturas (SOUZA; FREITAS; von KRUGER, 2001).

Os sistemas de fechamento muitas vezes disponíveis em forma de painéis podem ser horizontais e verticais. Na construção industrializada, principalmente a estrutura metálica, permite uma grande flexibilidade durante a escolha dos sistemas de fechamento horizontal (lajes) e vertical (paredes externas e divisórias internas).

Vale ressaltar que é importante que se tenha domínio das características técnicas e de desempenho dos componentes ao serem utilizados, pois o emprego incorreto pode ocasionar, além da elevação do custo da edificação, desconforto humano no ambiente construído e uma alta incidência de problemas patológicos, causando resistência à utilização desse produto em empreendimentos posteriores (SALES; SOUZA; NEVES, 2001).

2.2.1 Fechamentos verticais

A influência da cultura brasileira ainda faz com que muitas construções tenham fechamentos verticais feitos em alvenaria. Esse tipo de fechamento, que é a união de blocos de cerâmica, barro, de concreto ou de concreto celular com a argamassa, é uma opção considerada barata e com mão de obra mais acessível. No entanto, quando esse sistema é utilizado com construções industrializadas, como estrutura metálica, torna-se inviável, pois sua montagem é mais lenta, exige mais gastos com a mão-de-obra, seu peso é maior em relação aos outros produtos de fechamento industrializados, além de causar mais desperdícios e acúmulo de lixo no canteiro de obras.

Atualmente, nas construções metálicas, são mais utilizados os fechamentos verticais racionalizados devido ao alto nível de industrialização e velocidade de execução. Algumas das principais alternativas disponíveis no mercado são as placas de gesso acartonado, placas cimentícias, painel pré-moldado de concreto e painel de concreto celular autoclavado (von KRÜGER, 2000).

As placas de gesso acartonado, muito conhecido como *drywall*, são fabricadas industrialmente mediante um processo de laminação contínua de uma mistura de gesso, água e aditivos entre duas lâminas de cartão, onde uma é virada nas bordas longitudinais e colada sobre a outra (CHAPAS..., 2007). A configuração em chapas acartonadas combina a resistência à compressão do gesso com a resistência à tração do cartão (FIG. 2.2).



FIGURA 2.2 – Representação do painel de gesso acartonado.
Fonte: PAINEL..., 2007.

Esse sistema de construção a seco constitui-se basicamente de uma estrutura leve em perfis de aço galvanizado formada por guias e montantes sobre os quais são fixadas placas de gesso acartonado, em uma ou mais camadas, gerando uma superfície apta a receber o acabamento final. Além disso, pode ser feito um tratamento acústico e/ou térmico, adicionar reforços para fixação de armários ou pias e o acabamento final pode ser pintura, cerâmica, pastilhas e pedras como o mármore. Não é muito aconselhável a utilização de chapas de gesso acartonado em meio externo ou áreas molháveis da edificação. Esse sistema de fechamento é de aplicação interna.

As placas cimentícias são fechamentos constituídos por uma camada de concreto leve, reforçada por uma camada de tecido de fibra de vidro em cada face. As fibras atuam de modo semelhante ao das barras de aço no concreto armado, aumentam a capacidade de absorver deformações à resistência à tração, à flexão e aos impactos, evitando o aparecimento de trincas.

Essas placas podem ser aplicadas na construção civil na forma de painéis de fechamento interno e externo, principalmente em revestimento de fachadas, pois permitem a reprodução fiel de desenhos, cores e texturas, contribuindo para a reprodução de elementos construtivos que não estão mais disponíveis no mercado, além de serem leves, facilitando o transporte e a montagem.

Os painéis pré-moldados de concreto são feitos a partir de formas metálicas, permitindo a criação de vários modelos, dependendo da maneira com que se modele a fôrma metálica, garantindo a qualidade de acabamento do concreto aparente dos painéis (von KRÜGER, 2000). A união do concreto e aço fornece ao material grande resistência ao fogo, inércia térmica, acústica e boa relação resistência/peso próprio, por isso podem ser utilizados como elementos estruturais ou como fechamentos. Além disso, permite a incorporação de revestimentos, caixilhos e/ou materiais de isolamento na própria fábrica.

No entanto, esses painéis são fechamentos pesados que geram dificuldades durante o manuseio no transporte e na execução. Quando são utilizados vários tipos de painéis o custo passa ser alto, por não aproveitar grande parte das fôrmas utilizadas, dessa forma, torna-se quase inviável a sua utilização a pequenos e médios empreendimentos.

Os painéis de concreto celular autoclavado são constituídos de cal, cimento, areia e pó de alumínio (um agente expensor que funciona como fermento, fazendo a argamassa crescer e ficar cheia de células de ar, tornando-a leve), além de água (BLOCO..., 2007). Podem ser cortados em blocos ou painéis, que vão para uma autoclave para cura. Nesse processo, a argamassa dá origem ao silicato de cálcio, composto com alta resistência à compressão e ao fogo e de ótimo desempenho termo-acústico.

De acordo com Coelho (2002) a vantagem desses painéis é o fato de eles serem leves, e facilmente cortados com serrote (FIG. 2.3), facilitando a montagem; são maciços e bons isolantes térmicos. O ideal é que eles não fiquem na forma aparente nos fechamentos, pois são mais suscetíveis à presença de umidade.



FIGURA 2.3 – Bloco de Concreto Celular
Fonte: BLOCO..., 2007.

Além desses tipos de fechamento vertical, existem as placas de vidro, que muitas vezes estão presentes apenas no fechamento das esquadrias das janelas e portas, mas podem vir a substituir grandes vãos de paredes e coberturas; e existem também os painéis metálicos, que geralmente são utilizados para composição das fachadas. Conforme Costa (2004), o vidro é um material utilizado para painéis de fechamento, possui peso elevado e aceita pequenos deslocamentos, exigindo cuidado especial nas fixações, para que não ocorra trinca ou mesmo quebra. Os tipos de vidro disponíveis no mercado são: o vidro comum, o vidro aramado, o vidro temperado, o vidro laminado e o insulado.

Os painéis metálicos são encontrados principalmente em sanduíche de aço ou alumínio, com isolamento térmico e revestimento interno. Sua aplicação é feita através da fixação do painel em estrutura de armação, geralmente metálica. São muito utilizados em edifícios comerciais, industriais e em edifícios de elevado padrão residencial (SILVA, 2003).

2.2.2 Fechamentos horizontais

Os fechamentos horizontais de uma edificação são as lajes, que podem ser moldadas no local como as lajes maciças, e podem ser industrializadas como as lajes pré-fabricadas

de concreto. Dentre as alternativas de sistemas de fechamentos mais usuais são as lajes com forma incorporada, conhecida como *steel deck*; as lajes de painel armado de concreto celular e as lajes pré-fabricadas de concreto.

As lajes maciças são constituídas por peças maciças de concreto armado ou protendido, e por serem bastante utilizadas nas construções possuem uma demanda de mão-de-obra qualificada. Esse tipo de laje não tem grande capacidade portante, devido à pequena relação rigidez/peso, permitindo a construção de vão livres entre 3 a 6 m podendo chegar até 8 m. Esse tipo de sistema estrutural necessita da utilização de muitas vigas, dificultando a execução das fôrmas. Uma das vantagens da laje maciça é que ela permite uma grande versatilidade geométrica das peças constituintes da edificação uma vez que são moldadas no local.

Já as lajes do tipo *steel deck* são lajes mistas em que a fôrma de aço é incorporada ao sistema de sustentação de cargas, funcionando, antes da cura do concreto, como suporte das ações permanentes e sobrecarga de construção e, depois da cura, como parte em toda a armadura da laje, funcionando como armadura positiva. Para garantir o comportamento misto da laje, em alguns casos é necessário que as fôrmas metálicas tenham mossas, que são nervuras ao longo da estrutura que permitem uma ligação mecânica. Além disso, em muitos casos, há necessidade da utilização de conectores de cisalhamento, conhecidos por *stud bolts*, tipo pino com cabeça, que liga a fôrma à laje de concreto impedindo os esforços de cisalhamento (FIG. 2.4).



FIGURA 2.4 – Representação da laje *Steel Deck*.
Fonte: ARQUITETURA..., 2007.

De acordo com Dias (1998), as lajes de painéis armados de concreto celular é um sistema composto de um material de baixa densidade, portanto de grande leveza, possibilitando fácil manuseio e aplicação na obra. Esses painéis possuem duas linhas de malhas, uma inferior e outra superior, e nas laterais da parte superior um recorte em “L”. Para execução, deve ser feita a justaposição dos painéis lado a lado formando uma canaleta, na qual deve ser feito um preenchimento com argamassa fluida de cimento e areia, para que haja solidarização. No final deve ser feito um capeamento de argamassa, com espessura variando de 2,5 a 4,0 cm.

Em relação às lajes pré-fabricadas de concreto, estas podem ser constituídas por vigotas treliçadas ou armadas, que funcionam como elementos resistentes, cujos vãos são preenchidos com blocos cerâmicos ou de cimento; ou por painéis pré-fabricados protendidos ou treliçados, apoiados diretamente nas vigas de concreto ou metálicas, dispensando o elemento de fechamento.

No caso das lajes constituídas por vigotas e blocos cerâmicos, ao contrário das pré-fabricadas, deve ser feita a solidarização do conjunto com uma capa de concreto, geralmente de 4 cm de espessura.

2.2.3 Cobertura

O sistema de cobertura de uma edificação tem como objetivo fechar a construção, protegendo o seu interior das intempéries (PAES ; VERÍSSIMO, 1998). Durante a fase do projeto da cobertura, é importante ter cuidado no desenvolvimento da forma do telhado e na escolha do tipo do material que compõem as telhas. De acordo com Hertz (1998), o telhado é a área mais exposta ao sol e é durante o dia que há uma grande variação de energia interna nessa parte da construção, sendo necessário evitar que o calor chegue ao interior da edificação.

Para redução de calor podem ser usadas algumas tipologias diferentes na forma do telhado. Pode-se desenvolver um telhado duplo, com uma câmara de ar entre eles, chamada de ático. E essa câmara de ar pode ser ventilada, como nos telhados do tipo

shed e lanternins ou com o uso de janelas posicionadas nas laterais, permitindo a entrada de ventilação natural, gerando assim, a renovação de ar aquecido usando o efeito chaminé através de aberturas de saída nas partes mais elevadas dos telhados (FIG. 2.5).

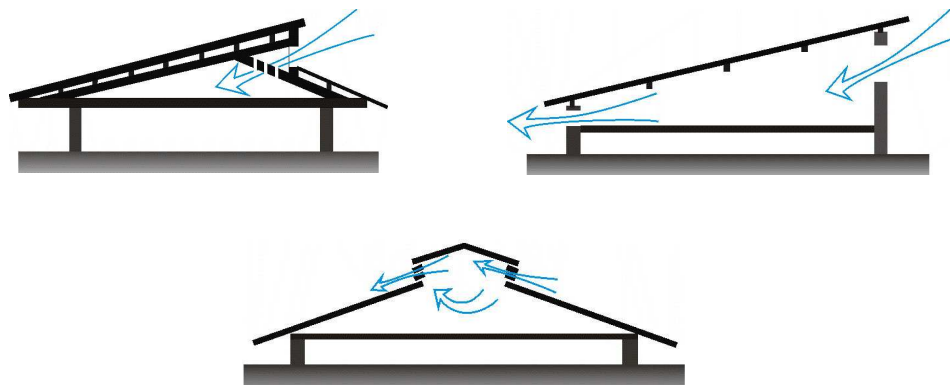


FIGURA 2.5 – Representação de ventilação em telhados.
Fonte: HERTZ, 1998.

Com relação ao material que compõem as telhas, deve-se ter a preocupação em escolher um material com baixo índice de transmitância térmica, com propriedades termo-acústicas ou com películas refletoras para minimizar os ganhos de calor no interior da edificação. No mercado existem vários tipos de telhas, como exemplo pode ser citado as telhas de cerâmica, que quando utilizadas com uma película de alumínio fixado entre as ripas, possuem bom desempenho térmico. Além disso, existem no mercado telhas metálicas comuns que além de possuírem alta transmitância térmica causam bastante ruído e as telhas do tipo sanduíche (FIG. 2.6), em que as duas faces externas são feitas em aço zincado pré-pintado em cores claras ou em alumínio e o núcleo central pode ser feito em EPS (poliestireno expandido), em PUR (espuma de poliuretano), em PIR (poliisocianurato) ou em LDR (lã de rocha), que atuam como um termoisolantes (TERMOROOF EPS..., 2006).

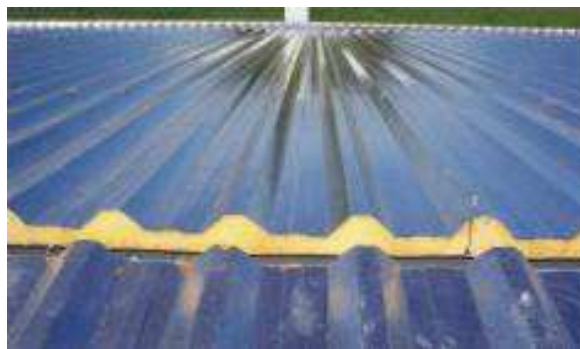


FIGURA 2.6 – Representação de cobertura tipo sanduíche.
Fonte: TERMOROOF EPS..., 2006.

Vale citar também as telhas translúcidas como as de vidro e de polycarbonato, que são utilizadas como forma de suprir ou diminuir a falta de iluminação. A folha extrudada de polycarbonato pode ser encontrada, em geral, em espessuras de 1 mm à 12 mm, transparentes, coloridas e opacas com tamanhos de até 2 m por 6 m, variando conforme o fabricante com diversas texturas de superfície. Em muitos casos o uso indiscriminado desse tipo de cobertura tem causado um sobreaquecimento das edificações devido ao ganho excessivo de carga térmica decorrente da incidência da radiação solar. Com isso a falta de conforto por parte dos usuários tem causado o aumento do consumo de energia elétrica para o condicionamento artificial do ambiente. Hoje, em virtude do aparecimento desses problemas, existem no mercado componentes translúcidos como vidros e polycarbonatos que buscam a alta transmissão luminosa, baixa transmissão de calor no infravermelho, e baixa transmissão de ultravioleta.

2.3 Estratégias arquitetônicas e bioclimáticas

A bioclimatologia aplicada à arquitetura vem de forma a adaptar por meio dos próprios elementos arquitetônicos as condições favoráveis do clima para satisfazer as condições de conforto térmico do homem. Essa forma de aplicação começou na década de 60 com os irmãos Olgyay com o desenvolvimento da carta bioclimática. Na mesma década Givoni desenvolveu uma carta bioclimática adequada para os países em desenvolvimento, com correção de algumas limitações existentes na carta de Olgyay (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Para as condições climáticas brasileiras a norma NBR 15220:2005 apresenta um zoneamento bioclimático baseado na carta sugerida por Givoni de 1992. Ao todo são 8 diferentes zonas estabelecendo parâmetros e estratégias para atingir o nível de conforto térmico em determinada localidade (FIGS 2.7 e 2.8).

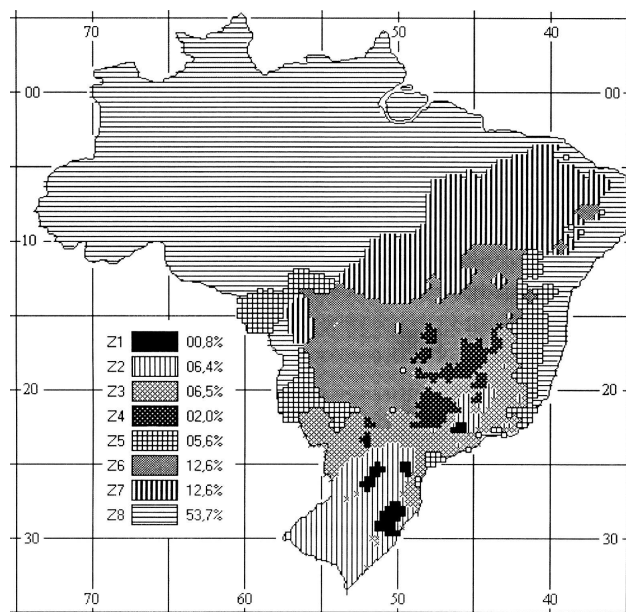
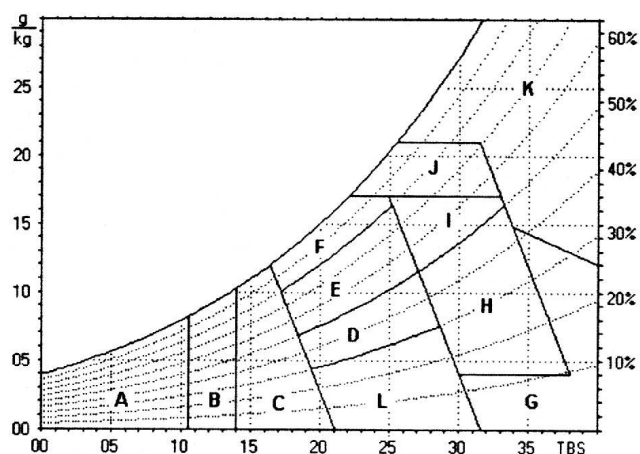


FIGURA 2.7 – Zoneamento bioclimático brasileiro
Fonte: NBR 15220:2005 (parte 3) p.2



A – Zona de aquecimento artificial (calefação)
B – Zona de aquecimento solar da edificação
C – Zona de massa térmica para aquecimento
D – Zona de conforto térmico (baixa umidade)
E – Zona de conforto térmico
F – Zona de desumidificação (renovação do ar)

G+H – Zona de resfriamento evaporativo
H+I – Zona de massa térmica de refrigeração
I+J – Zona de ventilação
K – Zona de refrigeração artificial
L – Zona de umidificação do ar

FIGURA 2.8 – Carta bioclimática adaptada
Fonte: NBR 15220:2005 (parte 3) p.18

De acordo com esse zoneamento proposto a cidade de Belo Horizonte e Mariana localizam-se na zona bioclimática 3.

Para a zona bioclimática 3, a norma NBR15220:2005 sugere algumas diretrizes arquitetônicas conforme apresentadas nas tabelas 2.1, 2.2 e 2.3.

TABELA 2.1-Abertura para ventilação e sombreamento para a zona bioclimática 3

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

Fonte: NBR 15220:2005(parte 3) p.5

TABELA 2.2-Tipos de vedações externas para a zona bioclimática 3

Vedações externas	Transmitância Térmica (W/m².K)	Atraso Térmico (h)	Fator solar (%)
Parede: Leve refletora	3,60	4,3	4,0
Cobertura; Leve isolada	2,00	3,3	6,5

Fonte: NBR 15220:2005(parte 3) p.5

TABELA 2.3-Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 3

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

Fonte: NBR 15220:2005(parte 3) p.5

A partir desses dados sugeridos pela norma, podem-se desenvolver estratégias arquitetônicas ou adequar as existentes, de forma a melhorar o conforto térmico do ambiente de acordo com o clima local. Em seguida faz-se uma revisão de algumas estratégias utilizadas nessa pesquisa.

2.3.1 Proteções solares

No Brasil, em função das diversas condições climáticas que variam pelas regiões do país, um desempenho térmico mais adequado é muitas vezes alcançado pelo uso de proteções solares, além de outras estratégias em conjunto. O uso de protetores solares pode diminuir o impacto da radiação solar dentro da edificação, contribuindo para melhor distribuição da luz no interior dos ambientes. De acordo com Olgyay e Olgyay² (1963) *apud* Loura (2006) o desempenho satisfatório das proteções solares é influenciado basicamente por três fatores, a saber: a refletividade do material empregado e sua cor; a localização do elemento de proteção, pois se estiver mal posicionado possibilita a radiação e a convecção do calor para o interior do edifício, e a eficiência do método de proteção escolhido.

Pode-se ter várias estratégias para a elaboração de uma proteção solar eficiente. O ideal é que na fase do desenvolvimento do projeto já se tenha uma preocupação com a orientação da edificação e o posicionamento das aberturas. Rivero³ (1986) *apud* Silva (2007) enfatiza que a orientação norte-sul dos planos principais é preferível na região quente compreendida entre o Equador e o começo da região sempre fria. A partir desse limite, a orientação mais conveniente modifica-se, inclinando-se a leste-oeste. De acordo com Silva (2007), o uso de elemento de proteção solar externo e interno como varanda, marquise, sacada, *brise-soleil* vertical, *brise-soleil* horizontal, *brise-soleil* de composição de placas verticais e horizontais (mistos), telas especiais, toldos, cortinas e persianas, elementos vazados, pérgulas, vidros reflexivos e vegetação, podem ser usados como estratégias para se obter boa iluminação e ventilação sem ganhos excessivos de calor (FIG 2.9).

² OLGAYAY, Victor; OLGAYAY, Aladar. *Design with climates: bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton: 1963. 190p.

³ RIVERO, Roberto. *Arquitetura e Clima: acondicionamento térmico natural*. 2ª. Ed. Porto Alegre: D. C . Luzzatto Editores, 1986.

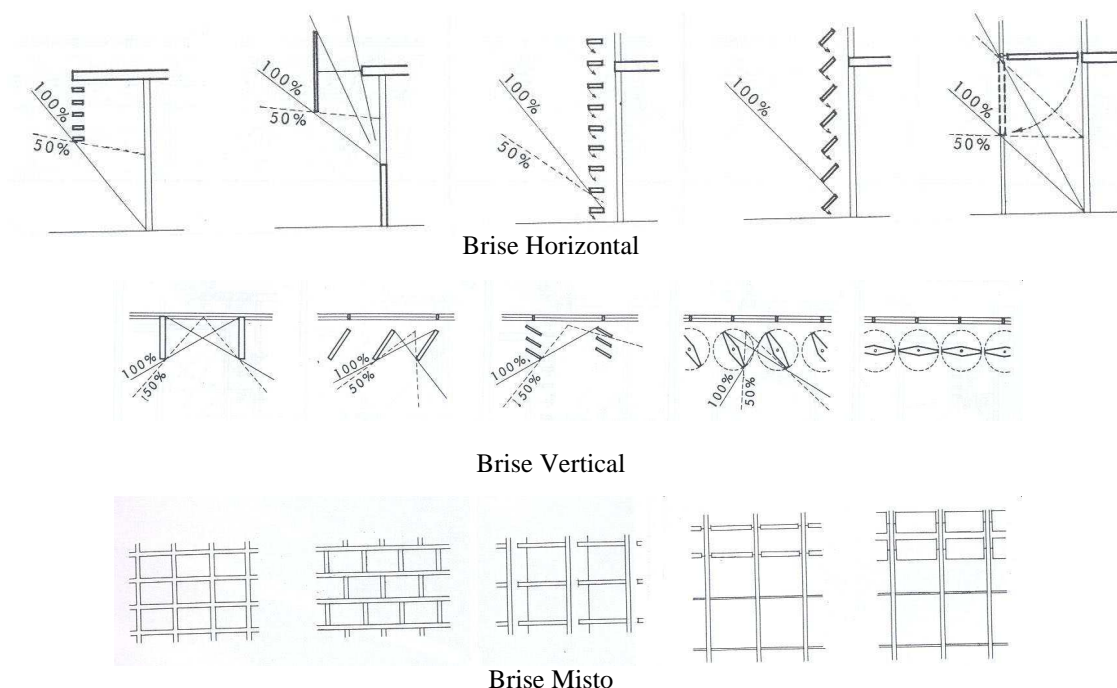


FIGURA 2.9 – Exemplo de brises.
Fonte: SILVA, 2007.

Para o desenvolvimento das proteções solares deve-se ter bom conhecimento do uso das cartas solares e da máscara de sombra. Pereira (2004) afirma que o dimensionamento destes dispositivos depende da eficiência que se deseja alcançar, ou seja, de qual horário e época do ano se deseja a proteção de superfícies e aberturas da radiação solar direta. Para se projetar adequadamente tais dispositivos é necessário o domínio da trajetória solar aparente na latitude local.

De acordo com Bittencourt (2000) os passos para a elaboração de um dispositivo de sombreamento começa pela definição do horário e período do ano a ser protegido; desenho da máscara de sombra considerando as edificações vizinhas, massas de vegetação e saliências existentes na própria edificação como marquises e beirais; verificação do tipo de insolação de cada fachada por meio do posicionamento da linha da fachada passando pelo centro geográfico solar, coincidindo o Norte do gráfico com o Norte verdadeiro do local da edificação existente ou a ser construída; escolha do tipo de dispositivo mais adequado para o local (vertical, horizontal, mista, fixa ou móvel) considerando aspectos como visibilidade, luminosidade e custos; e por fim detalhamento dos protetores solares.

2.3.2 Ventilação Natural

O uso de ventilação natural nos ambientes pode contribuir para a redução da temperatura interna, além de contribuir para a higiene e qualidade do ar. A configuração do fluxo de ar no interior de uma construção é determinada pelo tamanho e a localização das aberturas de entrada de ar na parede; o tipo e a configuração das aberturas usadas; localização de outros componentes arquitetônicos nas proximidades das aberturas, como divisórias internas e painéis verticais ou horizontais adjacentes a elas (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2005).

Durante a fase de projeto de uma edificação deve-se prever a localização das aberturas em função da direção dos ventos dominantes na área a ser implantada. O tipo de abertura e o tamanho devem ser desenvolvidos de forma a produzir maior ventilação para o interior da edificação. De acordo com Cândido (2006) a relação entre as aberturas de entrada e saída de ar é de grande importância nos valores de velocidade média nos espaços internos. De modo geral, as aberturas de entrada com mesma dimensão das dimensões de saída proporcionam uma melhor distribuição do fluxo de ar e valores da velocidade média mais uniformes nos ambientes.

As tipologias das aberturas também influenciam na ventilação do ambiente. A presença de marquises, beirais, protetores solares e outros elementos semelhantes podem redirecionar o fluxo de ar, mantendo a integridade com o exterior além de proteger as aberturas contra a radiação solar direta. Outro fator que pode influenciar na ventilação é a presença de vegetação e edificações no entorno que podem causar obstrução do ar, modificando sua velocidade e pressão (FIG 2.10).

A ventilação é um dos componentes importantes na dispersão de poluentes aéreos gerados pelas atividades do homem e na renovação do ar viciado de ambientes fechados (SOUZA 2006). Além disso, contribui para o conforto térmico do ambiente, aumentando as trocas térmicas entre o homem e o meio, sendo um fator importante para a renovação do ar.

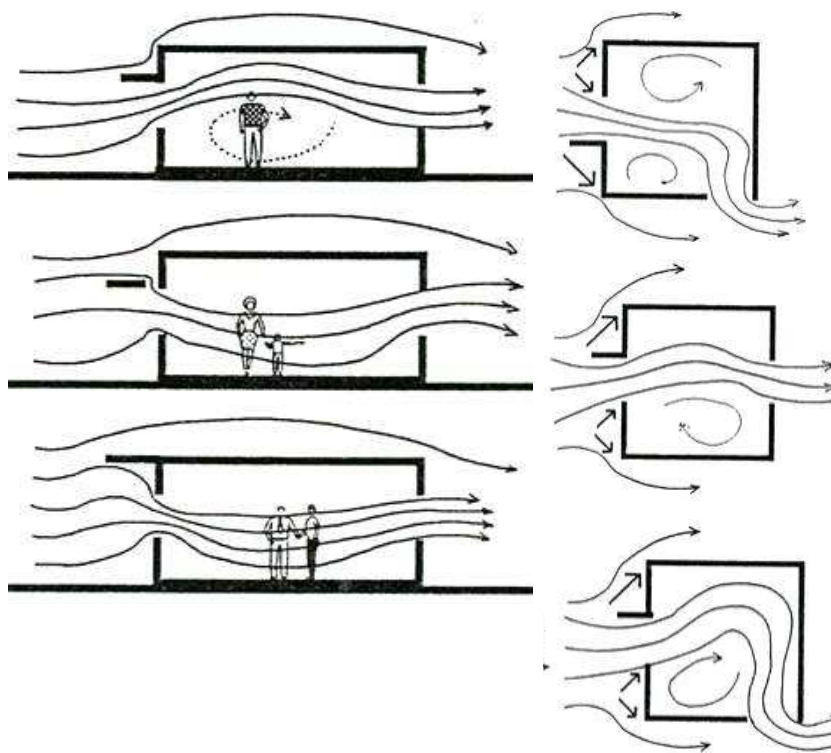


FIGURA 2.10 – Representação de elementos verticais e horizontais e as alterações no fluxo de ar.
 Fonte: TRINDADE, 2006.

CAPITULO III

3. OBJETO DE ESTUDO: EDIFÍCIO SEDE DA PREFEITURA MUNICIPAL DE MARIANA

3.1 A cidade de Mariana

Mariana foi a primeira capital de Minas Gerais e também a primeira cidade a sofrer intervenções urbanísticas no Estado. Em 1745 concretizou-se a criação do bispado e a Vila do Carmo foi elevada à categoria de Cidade de Mariana em homenagem à D. Maria Anna D'Áustria, esposa de D. João V. Mas a Vila do Carmo se achava bastante decaída e decidiu-se que uma nova cidade deveria ser construída. Encarregou-se o engenheiro militar José Fernandes Pinto de Alpoim de levantar a planta da nova cidade.

O plano Alpoim era baseado nas cartas régias, estas que determinavam o local para construção de praças, principais edifícios e que as ruas deveriam ser largas e direitas e que as fachadas fossem uniformes mantendo a harmonia das ruas. Na ocasião, a cidade beneficia-se de substanciais modificações. Seu novo traçado, mais ordenado e regular é mais concentrado e muitas ruas cortam-se perpendicularmente. É pouco acidentada. O cenário urbano é calmo. Na condição de colônia, decisões como estas representavam uma contribuição essencial à ordem urbanística (REIS FILHO, 1968).

Ao longo do séc. XIX o espaço de Mariana sofreu pouquíssimas alterações e somente no início do século XX é que a cidade sofreu algumas mudanças significativas com a chegada da estrada de ferro e a construção do edifício da estação.

A cidade está situada a 115 km de Belo Horizonte, na zona metalúrgica de Minas Gerais, onde se concentra o maior volume de patrimônio histórico arquitetônico do período colonial no Estado. Faz limite com os municípios de Ouro Preto, Piranga, Catas Altas, Diogo de Vasconcelos, Acaiaca, Barra Longa e Alvinópolis. Tem como principais vias de acesso às rodovias BR 356 e a MG 262 (FIG. 3.1).



FIGURA 3.1 – Mapa de localização da cidade de Mariana–MG.
Fonte: MAPA..., 2007.

O município possui uma extensão territorial de 1.193 km² localizados a 712 m acima do nível do mar, ficando a sede do município a - 20,37778° de longitude oeste de Greenwich e - 43,41611° de latitude sul da linha do equador. Observa-se uma altitude mínima de 598 m, na Foz do Rio Gualaxo do Sul, e máxima de 1.722 m, no Pico do Itacolomy. Seu território apresenta 60 % de relevo montanhoso, 30 % ondulado e 10 % plano. Além disso, ele é composto por nove distritos além da Sede: Furquim, Passagem de Mariana, Padre Viegas, Cláudio Manoel, Monsenhor Horta, Camargos, Bandeirantes, Santa Rita Durão e Cachoeira do Brumado. O município conta ainda com 23 subdistritos.

A cidade integra a Bacia do Rio Doce, com sua fronteira a Oeste marcando os limites com a do São Francisco por intermédio do Rio das Velhas. Além do Rio Piracicaba, principal formador do Rio Doce, Mariana é banhada pelos rios Gualaxo do Norte e do Sul e pelo Ribeirão do Carmo.

Na região predomina o clima tropical de altitude, com inverno seco e verão ameno. A temperatura anual média é de 17,4° C, com média máxima de 22,6° C e mínima de 13,1° C.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2000), a população estimada para Mariana no ano de 2006 é de 53.015 habitantes, apresentando uma taxa

anual de crescimento populacional de 3,73 %, bastante superior às verificadas na capital Belo Horizonte de 1,61 % e na vizinha Ouro Preto de 1,62 %. A população está concentrada nas áreas urbanas do município, onde residem 82 % dos marianenses.

A economia do município se baseia principalmente no extrativismo mineral, com várias companhias mineradoras de grande porte instaladas na cidade, principais fontes empregadoras da região. Além disso, pode-se contar com o comércio local que atende a uma freguesia de industriários e trabalhadores rurais, além dos turistas, atraídos pelo casario colonial de Mariana, suas igrejas, museus, arte sacra, artesanato, cachoeiras, minas, grutas e a culinária mineira. As atividades agropecuárias vêm ocupando papel secundário na economia municipal, prejudicadas pela baixa qualidade do solo e pelo relevo de fortes declives.

As atividades culturais estão ligadas principalmente a manifestações artísticas, como música, teatro e escultura. A cidade conta, culturalmente, além de seus tradicionais colégios e seminário, com uma Casa de Cultura, um Centro Cultural do SESI, uma Fundação Cultural da Arquidiocese, além de museus, vários grupos de teatro amador, cursos e rodas de capoeira, algumas escolas de samba e um bloco de bonecos.

Além disso, a cidade possui um campus da UFOP onde está o Instituto de Ciências Humanas e Sociais, que oferece alguns cursos na área de humanas como História e Letras, atraindo vários estudantes para a cidade.

3.2 O objeto de estudo

Nesse trabalho o objeto de estudo é o prédio sede da Prefeitura Municipal de Mariana, projetada pelo arquiteto Rafael Fogli Diniz Ribeiro em meados de 1980. O prédio localiza-se na Praça JK, s/nº, no centro da cidade, ao lado da estação ferroviária. Nesse local, antes da construção do novo prédio da prefeitura, funcionava o antigo terminal rodoviário da cidade.

3.2.1 As características construtivas

O prédio possui dois pavimentos, nos quais se localizam as recepções e as salas de trabalho. Sua forma, em geral, é retangular, com algumas outras formas arredondadas sobressaindo do edifício, que constituem as escadas de acesso. No segundo pavimento há uma varanda que dá vista para a cidade (FIGS 3.2, 3.3 e 3.4).



FIGURA 3.2 – Foto da fachada do prédio da Prefeitura Municipal de Mariana.

A estrutura é feita em perfis metálicos soldados, com seção do tipo “T” em quase todo o edifício. Apenas em algumas barras verticais do pórtico localizado à frente e na parte posterior da edificação, possui seção tubular com placas soldadas em seu entorno, com função de enrijecedor e também estético. Até certa altura a barra vertical do pórtico possui perfil tubular, depois há uma ligação com uma chapa de topo, ligando a barra a um perfil de seção do tipo “T”, finalizando o pórtico. As ligações da estrutura do edifício são rígidas, do tipo soldada. Toda a estrutura externa do edifício é aparente, pintada na cor branco (FIG 3.5).

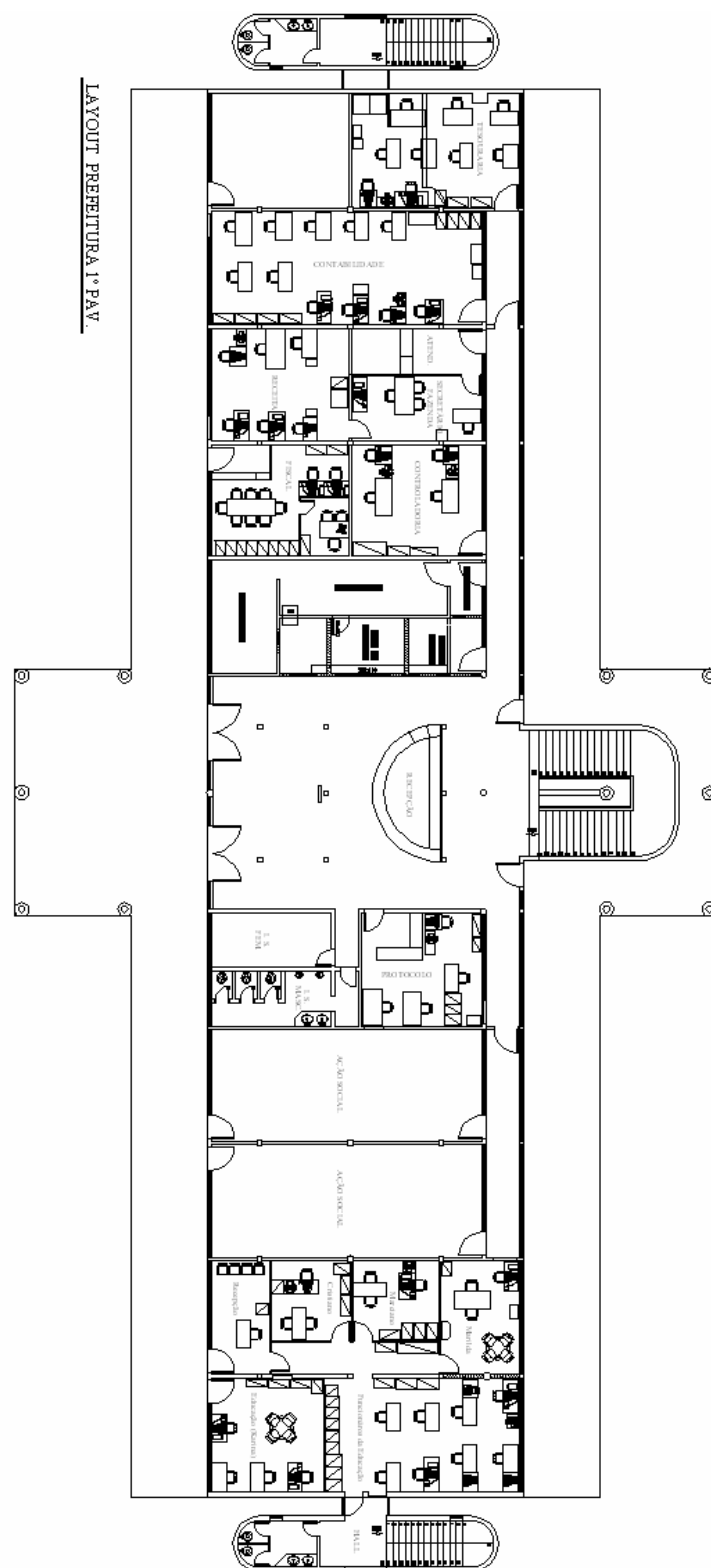


FIGURA 3.3 – Planta baixa do 1º pavimento.



FIGURA 3.5 – Foto da estrutura do pórtico.

O pé direito do 1º pavimento é de 3,15 m e do 2º pavimento é de 3,30 m. As envoltórias internas e externas são constituídas de alvenaria, com tijolo cerâmico, cuja espessura é de 15 cm. As paredes são revestidas em ambos os lados com 2 cm de argamassa, pintadas com tinta látex, sendo as faces externas pintadas na cor azul claro e as faces internas pintadas na cor amarelo claro. As esquadrias são feitas em perfis leves, conhecidos como metalon, pintadas na cor branca, preenchidas com vidro simples. Na maioria são janelas de correr e algumas portas de acesso ao edifício. As portas internas são feitas em madeira compensada do tipo prancheta. O piso do edifício é de granilite na cor cinza, e o forro é feito com o material PVC, na cor branca. A laje do 1º pavimento é do tipo pré-moldada e no 2º pavimento não há laje (FIGS 3.6 e 3.7).

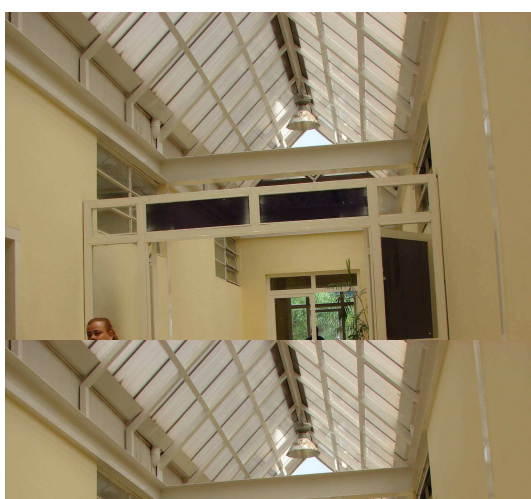


FIGURA 3.6 – Foto interna do corredor central.



FIGURA 3.7 – Foto interna da sala 23.

A cobertura é feita com telhas cerâmicas em grande parte do edifício. Nos corredores e na recepção do 2º pavimento, a cobertura é feita em policarbonato transparente. Há um beiral em todo o entorno do prédio, sendo a única proteção para as aberturas. Devido à grande incidência de radiação solar através da cobertura de policarbonato, foram instaladas algumas lonas, revestidas em alumínio, abaixo dessa cobertura, para minimizar a entrada de calor no ambiente interno (FIGS 3.8 e 3.9).



FIGURA 3.8 – Foto interna da cobertura em policarbonato.



FIGURA 3.9 – Foto da cobertura.

O entorno do prédio possui pouca vegetação, há muito ruído, causado pelo trânsito de veículos no estacionamento e pela Maria Fumaça que voltou a funcionar no ano de 2006 (FIGS 3.10 e 3.11).



FIGURA 3.10 – Foto da fachada lateral e praça.



FIGURA 3.11 – Foto da fachada frontal e estacionamento.

3.2.2 O desempenho ambiental

No edifício da Prefeitura Municipal de Mariana foi realizada uma avaliação pós-ocupação por Rocha (2007), onde foram avaliados aspectos relativos à funcionalidade, aspectos construtivos, aspectos de conforto ambiental e uma avaliação tipológica da edificação e sua inserção no entorno.

A avaliação pós-ocupação constitui na investigação do ambiente construído considerando o espaço arquitetônico nos seus aspectos físicos, técnicos, funcionais, estéticos e comportamentais por meio da opinião de projetistas, clientes e usuários. Em relação à avaliação do seu desempenho ambiental a metodologia utilizada foi medição *in loco* de caráter quantitativo, da temperatura interna e externa, dos níveis de ruído e de iluminação; e aplicação de questionários junto aos usuários como uma avaliação de caráter mais qualitativo.

De acordo com Rocha (2007), o quesito conforto térmico, no período de verão, foi considerado insatisfatório. As temperaturas registradas *in loco* estão acima dos padrões de conforto humano ou no seu limite de 29°C (IPT, 1998). As entrevistas de campo confirmaram essa questão, pois, 83% dos entrevistados consideraram o edifício desconfortável e 61% consideraram a sala onde trabalham desconfortável durante o período de verão. Em relação ao período de inverno o desempenho da edificação é considerado adequado (FIG. 3.12).

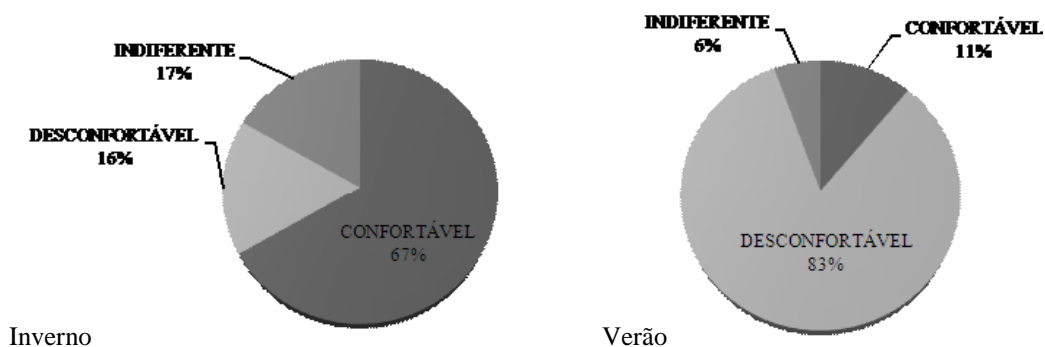


FIGURA 3.12 – Avaliação de conforto térmico no período de inverno e verão – Prefeitura Municipal de Mariana.

Fonte: ROCHA, 2007.

Rocha (2007) também constatou que com relação ao conforto acústico no interior da edificação, as medições resultaram em valores situados entre 65 dB(A) e 80 dB(A), considerados acima dos valores estabelecidos pela norma NBR 10152:1987 em que a faixa de ruído permitido situa-se entre 30 dB(A) e 55 dB(A). Em termos qualitativos, os entrevistados confirmaram as medições, pois 83% deles consideraram que o ruído causa incômodo (FIG. 3.13).

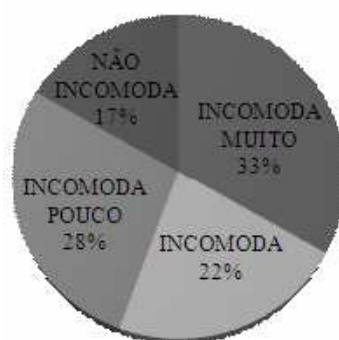


FIGURA 3.13 – Avaliação de conforto acústico - Prefeitura Municipal de Mariana.
Fonte: ROCHA, 2007.

Foi feita também uma avaliação acerca da iluminação nas condições de trabalho. Os entrevistados consideraram as condições de iluminação satisfatórias, mas com visitas *in loco*, a orientação do edifício em relação ao norte e a existência de muitas áreas de vidro nas fachadas longitudinais permite muita passagem de radiação solar ocasionando ofuscamento da visão aos usuários (ROCHA, 2007).

CAPITULO IV

4. A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

4.1. Considerações iniciais

Em meados de 1970, a busca por meios de conservação de energia foi intensificada para assegurar o desenvolvimento econômico devido a uma séria crise energética. A construção civil é considerada como responsável pelo consumo de uma parcela significativa de energia elétrica, e diante disso, houve uma maior preocupação em avaliar o desempenho térmico das edificações no intuito de projetar ambientes confortáveis com consumo mínimo de energia elétrica (BATISTA; LAMBERTS; WESTPHAL, 2005).

A avaliação do desempenho térmico de edificações consiste em verificar se as condições do ambiente interno são satisfatórias quanto ao conforto térmico proporcionado aos ocupantes, e envolve tanto ambientes não condicionados quanto os condicionados (AKUTSU, 1998).

Nas edificações não condicionadas artificialmente, a avaliação térmica é feita em função de um estudo da temperatura e da umidade do ar do ambiente, verificando-se a existência das condições de conforto térmico. Esta verificação deve ser feita considerando a resposta global da edificação e não somente o comportamento térmico dos elementos de fechamento isoladamente, considerando as interações entre o ambiente natural externo e o ambiente construído. Em relação aos ambientes condicionados por meio de equipamentos de condicionamento de ar é necessário avaliar a demanda de cargas térmicas para o condicionamento dos ambientes internos (IPT, 1998).

Quando a temperatura interna fica muito acima da faixa de temperatura de conforto, verifica-se a necessidade do resfriamento do ambiente, e isso pode ser feito pela retirada de carga térmica do ambiente pelo equipamento de condicionamento de ar, mantendo a

temperatura e a umidade nas condições desejadas. Nesses ambientes, a troca de renovação do ar é um parâmetro muito importante na demanda de carga térmica, além de ser uma variável que influencia na qualidade do ar interno (PINTO, 2000).

Em países frios, as condições climáticas são muito diferentes das regiões de clima tropical, e a hipótese de regime permanente é adequada para a determinação das trocas térmicas que ocorrem através da envoltória da edificação. Nesse caso, a avaliação de desempenho térmico é feita adotando-se como indicadores a resistência térmica ou condutância dos elementos componentes da edificação. Dessa forma, os critérios de avaliação indicam valores limites para esses parâmetros (resistência térmica ou condutância), definidos em função do tipo do uso da edificação e das características do clima local. Esses indicadores se aplicam às avaliações em condições de inverno, cujo 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 (AKUTSU, 1998).

No entanto, a hipótese de regime permanente para o Brasil é bastante inadequada, pois a busca do conforto no verão ocorre por meio de condicionamento térmico mecânico e as variações de temperatura são significativamente maiores em relação aos países de clima frio. Portanto, é importante avaliar outras trocas térmicas que ocorram nos ambientes, tais como as possibilidades de perda de energia do ambiente pela ventilação, pela condução e convecção por alguns elementos da edificação por meio de uma abordagem dinâmica. A partir disso, deve-se equacionar o equilíbrio entre as perdas e ganhos de energia que ocorrem simultaneamente e que variam significativamente ao longo de um dia. Sendo assim, a capacidade de armazenamento térmico da edificação não deve ser desprezada e deve ser associada juntamente com a resistência térmica dos elementos construtivos para a avaliação do comportamento térmico da edificação.

Para a realização da avaliação térmica de uma edificação, pode-se utilizar como ferramenta a simulação numérica (computacional) ou as medições *in loco*. O uso da simulação proporciona aos profissionais da área meios de dimensionar corretamente

sistemas de condicionamento de ar e melhorias no desempenho energético das edificações, principalmente na fase de projeto. As medições *in loco* permitem a correção de problemas no edifício já construído, pois com o levantamento das temperaturas internas e externas pode-se avaliar o ambiente construído diante das exigências de nível de conforto. Neste caso, dependendo das estratégias arquitetônicas a serem feitas o custo pode ser elevado.

4.2. Avaliação térmica de edificações via simulação numérica

O uso da simulação computacional para obtenção da temperatura, umidade interna e das cargas térmicas de um ambiente tem sido uma ferramenta muito utilizada na avaliação térmica de edificações. Esses programas computacionais permitem a análise energética de uma edificação, baseada na simulação das trocas térmicas resultantes da configuração construtiva e de sistemas de condicionamento e demais equipamentos existentes, permitem também simular os ganhos de calor que passam através dos elementos construtivos, como elementos de fechamento e coberturas e as interações térmicas com o meio externo.

4.2.1. O programa *EnergyPlus*

O programa de simulação computacional *EnergyPlus* é uma ferramenta desenvolvida pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory* em sociedade com outros laboratórios para o Departamento de Energia Norte-Americano. Essa ferramenta é baseada nos programas de simulação BLAST e DOE-2, mas inclui muitas inovações, como menores intervalos de tempo no processo de simulação, sistemas modulares e planta integrada com a simulação de energia de cada zona, fluxo de ar em multizonas, equipamentos de aquecimento e de resfriamento, ventilação e iluminação. (*Energy simulation software*, 2008).

O *Energyplus* é um programa executável, gratuito para fins acadêmicos, de fácil acesso, mas exige certo treinamento por parte do usuário para sua utilização. Ele permite o desenvolvimento de interfaces específicas por empresas de acordo com a área de

interesse, como é o caso do programa *DesignBuilder*, que facilita o desenho da edificação e faz o tratamento de dados de forma gráfica (*Energy simulation software*, 2008).

Além disso, esse programa permite a simulação de edifícios com vários pavimentos, com formas arquitetônicas diversificadas. Possui banco de dados climáticos e de materiais construtivos e uma interface gráfica simples para a entrada de dados para a simulação. Permite a visualização do desenho em programa gráfico como o *autocad* (FIG 4.1), fornece avisos de erros gerados durante a simulação e vários tipos de relatórios, como o de temperatura interna do ambiente de cada zona térmica.

Como dados de entrada tem-se aqueles relativos à descrição do projeto a ser estudado, como sua localização, entorno, orientação, dados climáticos e suas coordenadas para a concepção do desenho, a especificação de todos os materiais e suas formas de aplicação no projeto, rotinas de utilização pelos usuários do edifício durante o ano, dados dos ganhos internos gerados por pessoas, iluminação e por outros equipamentos elétricos presente nos ambientes.

Para efeito de cálculo do módulo de balanço das massas de ar, o programa trabalha com ventilação, exaustão e infiltração. Neste item foi acrescentado o algoritmo COMIS (*Conjunction Of Multizone Infiltration Specialistits*) para detalhar a infiltração de ar entre várias zonas, levando em conta a infiltração por frestas e mecanismos de transporte através de grandes aberturas e suas geometrias, usando no cálculo a temperatura interna e externa, a pressão do vento, entre outras variáveis (LOURA, 2006).

De acordo com Matos *et al* (2005), o algoritmo COMIS não considera a existência de elementos de sombreamento, como venezianas e brises, nos seus cálculos. Logo, o resultado obtido durante as simulações não sofre nenhuma interferência resultante da presença desses elementos.

A partir da versão 1.3.0 do programa, o modelo de cálculo do fluxo de ar passou a ser chamado de *Airflow Network*. Esse modelo, além de incluir partes da versão mais recente do COMIS, passou a adotar partes da rotina de cálculo do programa AIRNET. Entre eles há pouca diferença, funcionando basicamente da mesma forma. Alguns dados de entrada foram suprimidos outros acrescentados, mas a mudança é mínima. Ele permite o cálculo do fluxo de ar através das zonas e exterior da edificação com sistemas naturais e artificiais integrados.

No caso do uso de ventilação no modo simples e/ou com o uso da infiltração é necessário o cálculo da renovação do ar para cada ambiente. Os fluxos de ar que entram ou saem de uma zona são divididos pela seção principal constituído pela altura e por uma das larguras dessa zona (WALLAUER, 2003).

O programa possui muitas opções de saídas, de modo geral, estão relacionadas com o objetivo da simulação. Assim, antes de realizar a simulação deve-se determinar as saídas, para obter os relatórios corretos, caracterizando a variável e suas frequências para efeito de cálculo.

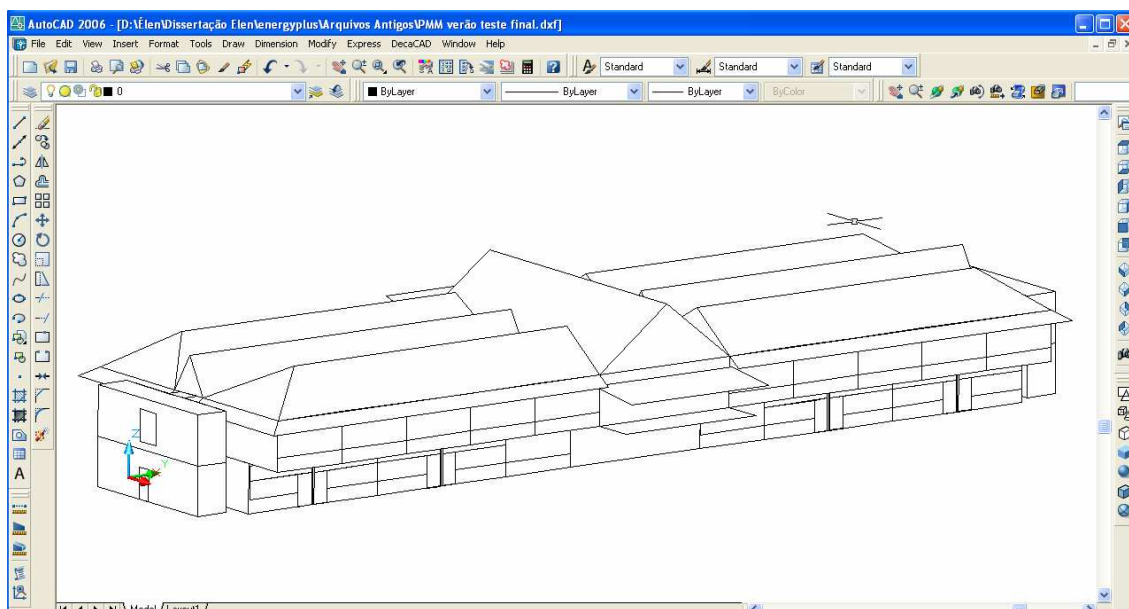


FIGURA 4.1 – Visualização do objeto de estudo realizado pelo *EnergyPlus* no programa *Autocad*.

4.3. Metodologia adotada

Na avaliação do comportamento térmico da edificação estudada utiliza-se o programa *EnergyPlus*, levando em consideração um dia típico de verão, já que as pesquisas de pós-ocupação realizadas nessa edificação apontaram maior desconforto aos usuários durante o período de verão (ROCHA, 2007).

Considera-se o caso de uma edificação, ventilada naturalmente, verificando-se se as condições de temperatura e umidade do ar interior proporcionam sensação de conforto térmico aos usuários. Nesta análise são observadas as seguintes etapas:

- 1- Caracterização das exigências humanas de conforto térmico;
- 2- Caracterização das condições típicas de exposição ao clima;
- 3- Caracterização da edificação e sua ocupação:
 - 3.1 - Caracterização das condições de ocupação;
 - 3.2 - Caracterização dos materiais, elementos e componentes da edificação;
 - 3.3 - Caracterização do projeto arquitetônico;
- 4- Realização da simulação numérica para análise das interações térmicas dos ambientes externos e internos;
- 5- Obtenção e avaliação da variação diária da temperatura e umidade internas.

4.3.1 Caracterização das exigências humanas

Segundo Fanger (1972), as condições de conforto térmico são influenciadas pela atividade desenvolvida pelo indivíduo, sua vestimenta e pelas variáveis do ambiente que proporcionam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente. As variáveis do ambiente englobam a temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura média radiante do meio ambiente.

Não existe uma temperatura exata para definir conforto térmico. Uma pessoa pode sentir conforto numa faixa de temperatura, que ao ser mudada, não significará que a sensação de desconforto seja imediata. Isso depende das características do ocupante,

dadas pela sua taxa metabólica e pelo índice de resistência térmica da sua vestimenta e devem representar condições satisfatórias de conforto térmico (FANGER, 1972).

As recomendações das normas ASHRAE 55:2004 e ISO 7730:1994 consideram a necessidade de que 80 % dos ocupantes expressem satisfação com as condições ambientais internas de conforto, para se considerar um ambiente adequado. Por meio das cartas de conforto são definidos intervalos de valores de temperatura e umidade para nível de conforto, caracterizando as exigências humanas quanto ao conforto térmico para uma ampla faixa de atividades humanas.

A Norma NBR 6401:1980 apresenta valores das temperaturas do ar recomendáveis e de temperaturas máximas de bulbo seco e úmido, para as condições de verão e de inverno, de acordo com o local e tipo de ocupação, além de outros parâmetros a serem observados em ambientes condicionados mecanicamente.

4.3.2 Caracterização das condições típicas de exposição ao clima

A caracterização climática é um fator importante para a avaliação do desempenho térmico de edificações. É por meio desses dados que se pode avaliar a interação entre os elementos de fechamento e os ambientes envolvidos (internos e externos). As condições de exposição da edificação ao clima são caracterizadas pelos valores horários da temperatura e da umidade relativa do ar e da radiação solar global, bem como pela velocidade média do vento dominante, para os dias típicos de verão e de inverno.

Um dia típico de verão com frequência de ocorrência igual a 10% representa um dia tal que 10% dos dias do período de verão têm temperatura máxima diária maior ou igual à desse dia; da mesma forma, um dia típico de inverno com frequência de ocorrência igual a 10% representa um dia tal que 10% dos dias do período de inverno têm temperatura mínima diária menor ou igual à desse dia (IPT, 1998).

Nesta pesquisa utiliza-se a metodologia do dia típico e avalia-se para o verão os dados climáticos da cidade de Belo Horizonte devido à dificuldade de obter dados climáticos

disponíveis para a cidade de Mariana. O dia típico de verão para a cidade de Belo Horizonte é considerado dia 02 de fevereiro e foi obtido pela metodologia apresentada por Akutsu (1998) considerando um intervalo de dados de 10 anos.

4.3.3 Caracterização da edificação e sua ocupação

Em relação à caracterização da edificação deve-se considerar a sua forma arquitetônica, como tipos de aberturas e elementos de fechamento, localização geográfica e orientação solar, o entorno, o tipo de ocupação e equipamentos. A forma arquitetônica pode possibilitar meios de orientar a ventilação natural no interior do recinto, posicionando o lado de maior dimensão da edificação, com aberturas, voltado para a região de ventos dominantes.

O fluxo de ar que entra ou sai do edifício depende da diferença de pressão do ar entre os ambientes externos e internos, da resistência oferecida pelas aberturas, pelas obstruções internas e por implicações devido à forma do edifício. A localização do edifício bem como o seu entorno influenciam no melhoramento da ventilação natural aproveitando-se a direção predominante do vento, além de influenciar no estudo da projeção solar e sombreamentos ao longo do ano, e ganhos de calor devido à radiação solar.

Em relação aos ocupantes e aos equipamentos, deve-se conhecer o tipo e a duração da atividade ou funcionamento das máquinas para o cálculo do calor dissipado para ambiente.

Para a caracterização da edificação, torna-se necessário também o conhecimento das propriedades térmicas dos elementos de fechamento para o estudo do comportamento térmico das edificações a serem analisadas. As propriedades mais relevantes são a condutividade térmica, o calor específico, a emissividade, a massa específica, a absorptância à radiação solar, a refletância em ondas longas e a transmitância à radiação solar. Esses dados podem ser obtidos em tabelas fornecidas por publicações de institutos de pesquisa ou pelos fabricantes dos materiais.

4.3.4 Simulação térmica da edificação

O uso da simulação térmica e energética de edificações tem sido muito utilizado por arquitetos e engenheiros, como ferramenta de auxílio para dimensionamento de sistemas de ar condicionado, estudos de retrofit e cálculo de transferência de calor através de sistemas construtivos e pelo solo, permitindo a avaliação de diversos materiais disponíveis no mercado da construção civil em diversas localidades nas quais existam dados climáticos disponíveis (BATISTA; LAMBERTS; WESTPHAL, 2005).

Na realização da avaliação do desempenho térmico de uma edificação ventilada naturalmente, por meio da simulação numérica deve seguir as etapas apresentadas no fluxograma mostrado na FIG. 4.2.

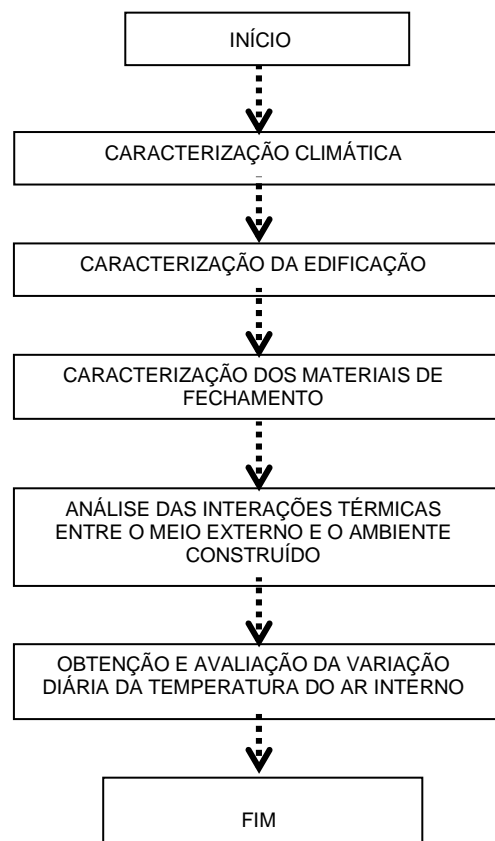


FIGURA 4.2 – Fluxograma dos principais elementos para a simulação numérica de uma edificação ventilada naturalmente.

Fonte: adaptado de AKUTSU, 1998.

4.3.5 Critérios de avaliação do desempenho da edificação

Para a avaliação de ambientes de edificações não condicionadas tem-se os critérios apresentados pelo IPT (1998) que classifica o desempenho térmico em função do seu comportamento nos dias típicos de verão e de inverno, respectivamente, segundo níveis “A”, “B”, ou “C”; adotando como parâmetro de avaliação a temperatura do ar interior.

Para a avaliação do dia típico de verão, o nível “A” corresponde ao ambiente com condições internas confortáveis às exigências humanas, ou seja, a temperatura interna é sempre menor ou igual à temperatura limite de conforto no verão considerada 29 °C. O nível “B” relaciona o ambiente no qual o valor máximo diário da temperatura interna não ultrapassa o valor da temperatura de referência (29°C) e a classificação em nível “C” determina o ambiente com valor máximo diário da temperatura interna com valores superiores aos da temperatura máxima de referência.

Já na avaliação dos dias típicos de inverno, o nível “A” é aquele ambiente com temperaturas internas favoráveis, isto é, a temperatura interna é sempre maior ou igual à temperatura limite de conforto, considerada para o inverno o valor de 17 °C. O nível “B” ocorre quando o ambiente possui temperatura interna maior ou igual à temperatura mínima de referência e o nível “C” corresponde ao ambiente cujo valor mínimo diário da temperatura é menor ao valor de temperatura mínima de referência, considerada 12°C.

De acordo com os padrões de conforto humano, adotados pela norma ASHRAE 55: 2004, a faixa de temperatura está compreendida entre 19°C e 28°C. Nessa pesquisa foi adotado o limite máximo (condições de verão) para avaliação dos resultados.

4.4. Parâmetros gerais da simulação

4.4.1 Condições climáticas

Para a realização das simulações da edificação foram utilizados dados climáticos de Belo Horizonte que se situa zona bioclimática 3, conforme mapeamento bioclimático do Brasil sugerido pela NBR 15220:2005 (parte 3) p.2.

Os dados climáticos da cidade de Belo Horizonte foram utilizados para efeito de simulação, pois são dados disponíveis no diretório do programa *EnergyPlus* e pelo fato de que já existem estudos e levantamentos climáticos para a cidade que possibilitaram o cálculo para dia típico de verão, considerado dia 02 de fevereiro, necessário para a simulação, conforme metodologia apresentada por Akutsu (1998).

Por meio do programa Analysis SOL-AR desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina, pode-se obter a carta solar relativa à latitude da cidade de Mariana (FIG. 4.3), que permite analisar as trajetórias solares de acordo com cada fachada durante todos os meses do ano (ANALYSIS..., 2006).

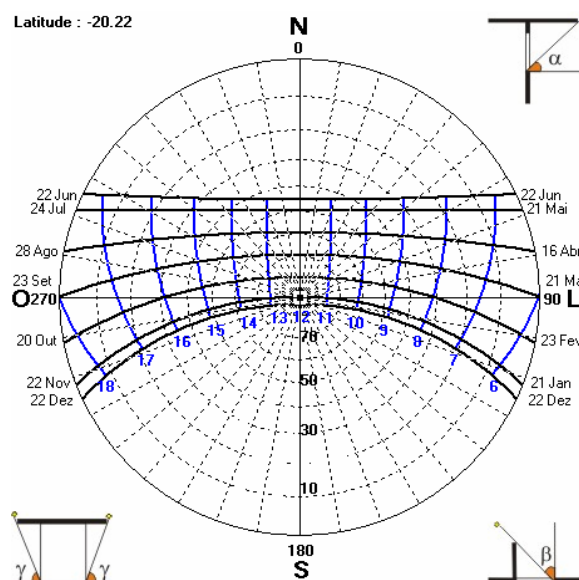
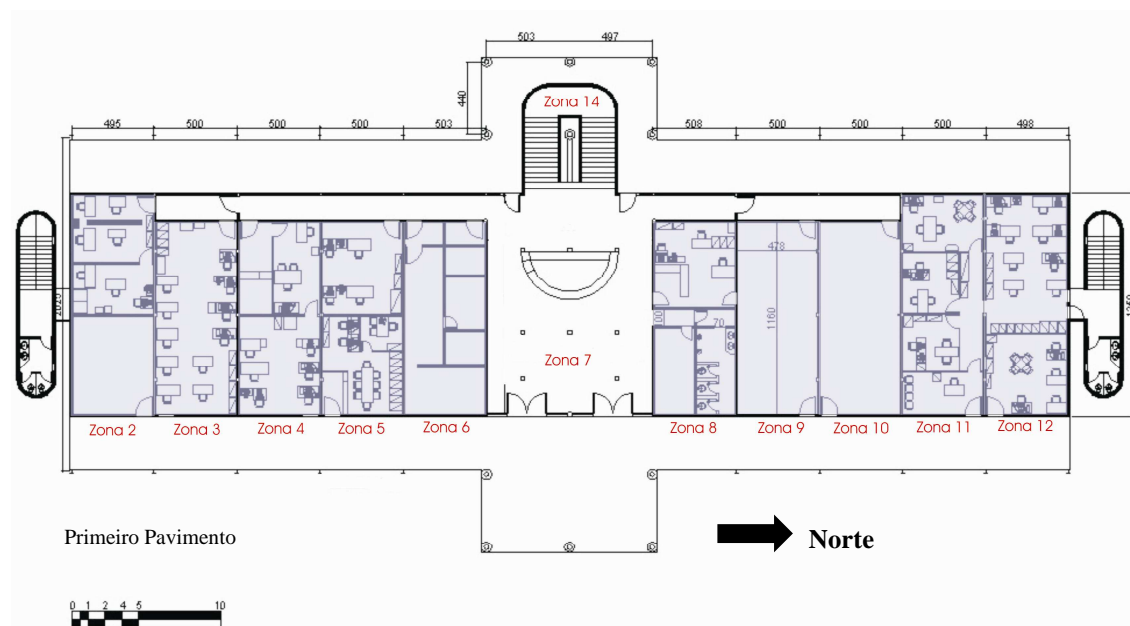


FIGURA 4.3–Carta solar da cidade de Mariana.

4.4.2 Descrições das zonas térmicas

De acordo com Pereira (2004), zona térmica pode ser definida como um volume de ar da edificação com temperatura uniforme, ou seja, uma zona não corresponde necessariamente a um cômodo em uma edificação. Para a simulação do objeto em estudo, as zonas térmicas ficaram limitadas aos ambientes de trabalho (vários cômodos pertencentes ao mesmo ambiente de trabalho, divididos por divisórias com altura inferior ao pé direito) totalizando 33 zonas, além das zonas formadas pelo ático pertencente à cobertura. A zona térmica apresentada nessa pesquisa refere-se à zona 23, que está situada no segundo pavimento da edificação com orientação solar voltada para a região nordeste. Esta situação é crítica, pois pela orientação solar e por não haver nenhuma proteção esse ambiente fica exposto a uma grande taxa de insolação no período da tarde, principalmente nos meses mais quentes do ano (FIG 4.4).



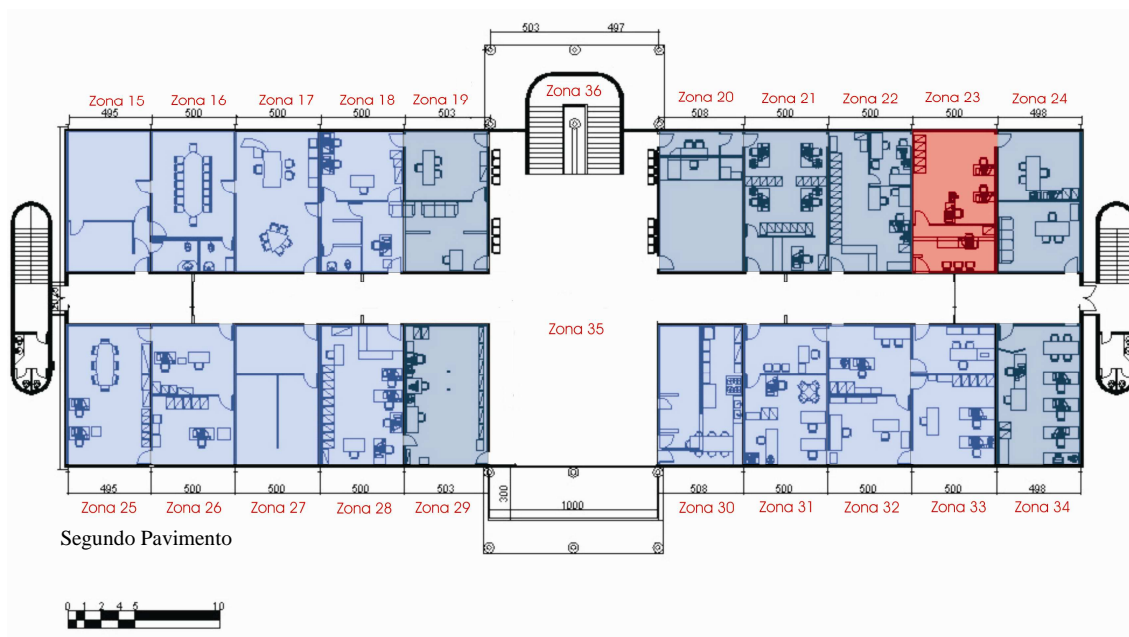


FIGURA 4.4–Localização das zonas térmicas no 1 e 2 pavimentos.

4.4.3 Parâmetros de simulação

As informações necessárias e utilizadas para realização da simulação computacional via *EnergyPlus* são descritas a seguir:

1- Edificação:

- a) - Ângulo da edificação com a direção norte: -20° ;
- b) – Tipo de terreno, que determina o adensamento que influencia na ventilação: *Urban* (urbano);
- c) - 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;
- d) - Precisão da convergência de temperatura: erro de 0,1 $^\circ\text{C}$;
- e) - Radiação solar e refletância das superfícies externas que entram no edifício: *FullInteriorAndExteriorWithReflections* e *FullInterior*

2- *Timestep* (intervalos de tempo por hora que são consideradas na simulação): 2 (a cada 30 minutos);

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

4- Algoritmo de convecção externa (considera a rugosidade do edifício velocidade do vento e terreno no qual o edifício está implantado): *Detailed* – detalhado.

5- Algoritmo de solução (algoritmo de transferência de calor que será utilizado nas envoltórias do edifício) foi adotado: CTF (*Conduction Transfer Function*) – solução que calcula a condução através das paredes considerando apenas o calor sensível, desconsiderando o armazenamento da umidade ou difusão nos elementos construtivos.

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

7- Modelo de fluxo de ar: utilização do *Airflow Network model* que permite o cálculo de ventilação simples integrada com infiltração, cálculo da ventilação através de zonas e cálculo para sistemas de ventilação artificial. Adotado: simulações com *Airflow Network model* para ventilação natural através de zonas.

Os dados relativos aos tipos de materiais, formas construtivas, desenhos das zonas térmicas e rotinas de ocupação são detalhadas nos próximos itens.

4.4.4 Caracterização das propriedades termo-físicas dos elementos de simulação

As propriedades termo-físicas dos elementos construtivos que foram utilizadas para as simulações e para as estratégias propostas estão inseridas nas Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3.

Tabela 4.1 – Propriedades termo-físicas de elementos opacos utilizados nas simulações

Elemento	Rugosidade	Espessura (m)	Condutividade Térmica (W/m.K)	Massa Específica (kg/m³)	Calor Específico (J/kg.K)
Alvenaria	<i>Medium Rough</i>	0,12	0,7	1300	920
Concreto	<i>Medium Rough</i>	0,12	1,75	2200	1000
Lã de vidro	<i>Medium Rough</i>	0,05	0,045	100	750
Manta de Alumínio	<i>Smooth</i>	0,003	230	2700	880
PVC	<i>Smooth</i>	0,01	0,2	1400	1004
Piso granilite	<i>Smooth</i>	0,03	0,85	1800	754
Porta de madeira	<i>Smooth</i>	0,0125	0,15	550	2300
Poliuretano	<i>Medium Rough</i>	0,05	0,03	30	837
Reboco	<i>Smooth</i>	0,02	1,15	1800	1000
Telha cerâmica	<i>Rough</i>	0,01	0,7	1300	920
Viga metálica	<i>Smooth</i>	0,008	55	7800	460

Fonte: NBR 15220:2005 (parte 2) p.13.

Tabela 4.2 – Propriedades das câmaras de ar não ventiladas naturalmente com largura muito maior que a espessura

Nome	Resistência Térmica (m².K/W)
Ar Policarbonato	0,15
Ar Porta	0,16
Ar Alvenaria	0,17
Ar Telhado	0,21
Ar Forro	0,21

Fonte: NBR 15220: 2005 (parte 2) p.11

Tabela 4.3 – Propriedades de elementos transparentes utilizados nas simulações

Nome	Vidro comum 3mm	Policarbonato 8 mm
Propriedades óticas	Média espectral	
Espessura	0,003	0,008
Transmitância (incidência solar normal)	0,837	0,6
Refletância (incidência solar normal) superfície frontal	0,075	0,075
Refletância (incidência solar normal) superfície oposta	0,075	0,075
Transmitância na faixa do visível (incidência normal)	0,898	0,6
Refletância na faixa do visível (incidência solar normal) superfície frontal	0,081	0,081
Refletância na faixa do visível (incidência solar normal) superfície oposta	0,081	0,081
Transmitância na faixa do infravermelho (incidência normal)	0	0
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	0,19
Fator de correção (limpeza da superfície) e transmitância na faixa do visível	1	1
Difusão solar	Yes	Yes

Fonte: UFSC, 2006.

4.4.5 Rotina de ocupação

Esse item pertence a um dos dados de entrada do programa *EnergyPlus*, denominado de *Schedule*. Nele são discriminadas todas as rotinas necessárias para uma simulação correta como velocidade do ar, tipo de vestimenta, tipo de atividade, uso da iluminação e equipamentos, ocupação e ventilação do ambiente. Os dados utilizados nas simulações estão relacionados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Rotina de ocupação utilizada nas simulações

Horas	Cargas internas					Ventilação	
	Atividade	Ocupação	Iluminação	Computador	Fogão	Aberta/Fechada	Aberta
1	60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00
2	60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00
3	60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00
4	60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00
5	60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00
6	60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00
7	60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00
8	60	1,00	1,00	1,00	0,0	0,0	1,00
9	60	1,00	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00
10	60	1,00	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00
11	60	1,00	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00
12	60	1,00	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00
13	60	0,0	0,1	0,1	1,00	1,00	1,00
14	60	1,00	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00
15	60	1,00	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00
16	60	1,00	1,00	1,00	0,0	1,00	1,00
17	60	1,00	1,00	0,9	0,0	1,00	1,00
18	60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,00
19	60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00
20	60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00
21	60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00
22	60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00
23	60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00
24	60	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00

Os valores de algumas rotinas citadas variam de 0 a 1 e outras possuem apenas um valor, como é o caso da rotina de ocupação cujo valor é de 60W. O período de ocorrência das rotinas é considerado para o período de 1 ano. Os valores das rotinas de ocupação como vestimenta é de 0,6 clo e velocidade do ar é de 0,137 m/s.

4.5 Simulações de desempenho térmico

As simulações realizadas para a edificação foram feitas, inicialmente, com a configuração original e, posteriormente, com estratégias propostas ao ambiente com intuito de minimizar a temperatura interna. São apresentados somente os resultados para a zona térmica 23 (FIGS 4.5 e 4.6), localizada no segundo pavimento, pois foram realizadas nesse ambiente medições de temperatura *in loco* por Rocha (2007), além de ser um ambiente com condições de conforto térmico crítico para o período do verão. Todas as simulações foram feitas com dados climáticos da cidade de Belo Horizonte com ventilação natural.



FIGURA 4.5–Foto interna do ambiente considerado como zona térmica 23.



FIGURA 4.6–Foto da zona térmica 23 com sensores em medição.

Com o objetivo de melhorar o desempenho térmico da edificação, estratégias arquitetônicas de fácil intervenção são propostas. Essas estratégias compõem sete casos descritos a seguir:

4.5.1 Proposição 1 - Brises nas fachadas leste e oeste

Como primeira estratégia arquitetônica, propõe-se a colocação de brises nas fachadas leste e oeste (FIG 4.7).

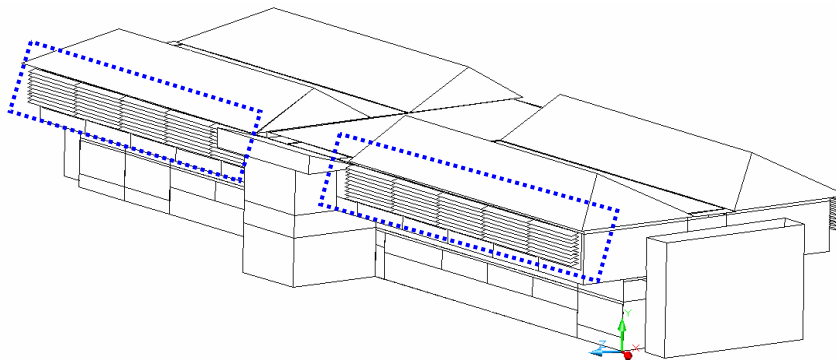


FIGURA 4.7–Brises nas fachadas leste e oeste.

Para a elaboração dos brises foram feitos estudos com máscara de sombra para as fachadas leste e oeste, que são fachadas críticas de incidência solar, considerando os meses e os horários mais quentes (FIG 4.8). Segundo Yeang⁴ (2000) *apud* Pereira (2004), o sombreamento gerado pelos brises corta os maiores ganhos de calor proveniente do sol que acontecem diretamente através da transmissão pelas janelas e, indiretamente, os ganhos da radiação e da condução de superfícies quentes.

Por meio da máscara de sombra foi escolhido o ângulo de 30°, com dispositivo de sombreamento vertical, tanto para a fachada leste quanto a oeste, pois foi a melhor situação para o sombreamento total e parcial nos meses e horários críticos (meses de verão com horários a partir das 16 h para fachada oeste e a partir das 8 h para a fachada leste). Logo, o sombreamento ocorre nesses brises com altura solar superior a 30°. Todos os cálculos utilizados para a realização das máscaras de sombra foram realizados no programa Analysis SOL-AR, desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Catarina.

⁴ YEANG, K. *The Green Skyscraper: the basis for designing sustainable intensive buildings*. New York: Prestel Verlag, 2000.304 p.

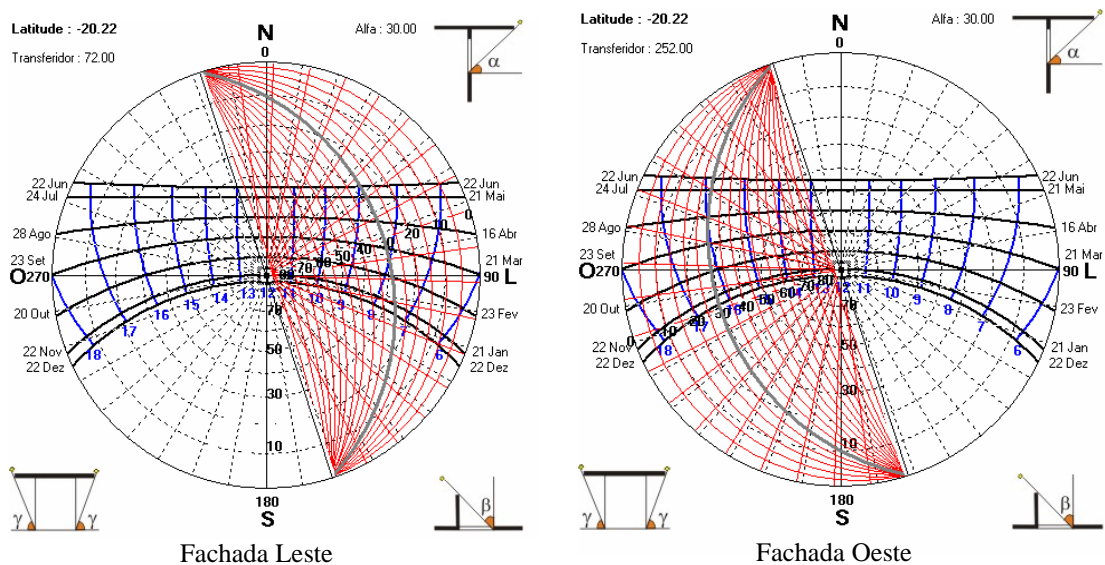


FIGURA 4.8–Máscara de sombra para as fachadas leste e oeste.

A simulação com brises (proteção solar) nas fachadas leste e oeste onde os dados de entrada foram inseridos no programa *EnergyPlus* no item *Surface: shading Attached* que leva em conta as coordenadas para o desenho dos brises e um material opaco para o sombreamento.

4.5.2 Proposição 2 – Substituição do policarbonato da cobertura

Propõe-se uma intervenção com a substituição da cobertura de policarbonato situada no corredor central do segundo pavimento (FIG 4.9) por telhas coloniais que possuem menor transmitância térmica (proposição 2.1). A cobertura representa uma área de grande incidência solar e a substituição por um elemento com menos transmitância da radiação solar contribuirá para diminuir a temperatura interna.

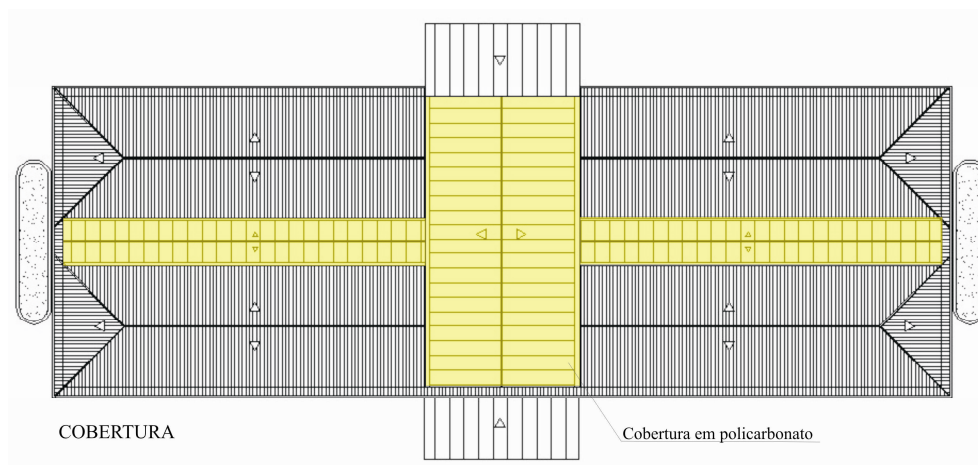


FIGURA 4.9–Localização da cobertura de policarbonato.

Propõe-se, também, a substituição dessa cobertura de policarbonato situada no corredor central por telhas isolantes (proposição 2.2) ilustradas nas FIGS 4.10 e 4.11.



FIGURA 4.10–Foto do corredor central com cobertura em policarbonato.



FIGURA 4.11–Telha isolante com poliuretano.
Fonte: PAINÉIS ..., 2008.

4.5.3 Proposição 3 - Colocação de isolante sob a cobertura em cerâmica

Neste caso propõe-se o acréscimo de materiais isolantes, como manta de alumínio na cobertura de telha colonial e lã de vidro acima do forro de PVC situado acima dos ambientes de trabalho do segundo pavimento (FIG 4.12).

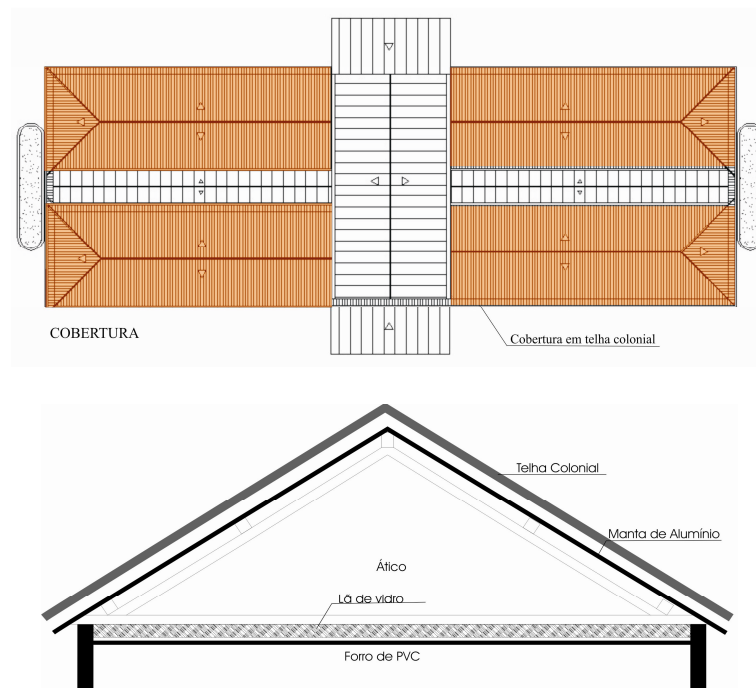


FIGURA 4.12—Localização da cobertura de telha colonial e dos materiais isolantes.

4.5.4 Proposição 4 – Alteração de tamanho das janelas do corredor central

Propõe-se um aumento do comprimento (no valor de 1,5m) das janelas voltadas para o corredor central do segundo pavimento (FIG 4.13 e 4.14) com intuito de aumentar a ventilação cruzada.

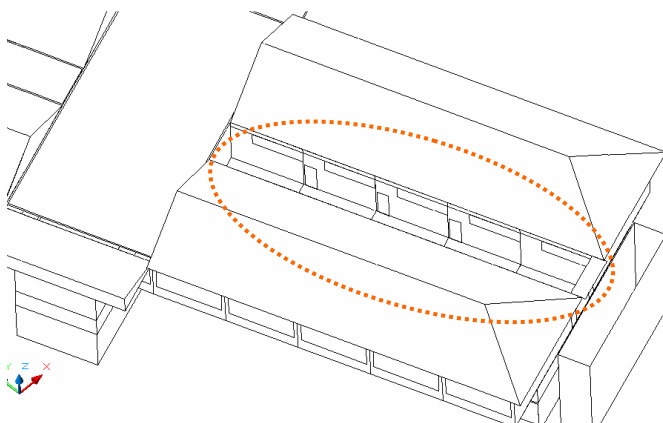


FIGURA 4.13—Localização das janelas do corredor central com aumento do comprimento (1,5m).



FIGURA 4.14-Foto da janela localizada no corredor central.

4.5.5 Proposição 5 – Diminuição da estrutura em aço aparente

Faz-se, na simulação, uma análise considerando a ausência de qualquer estrutura metálica aparente, com revestimento do fechamento externo em aço feita com concreto aparente (FIG 4.15).



FIGURA 4.15–Fotos da estrutura em aço aparente na edificação.

4.5.6 Proposição 6 – Colocação de *sheds* na cobertura

Propõe-se a inserção de *sheds* no corredor central do segundo pavimento (FIG 4.16), o que pode proporcionar o efeito chaminé. Utilizou-se, apenas nessa simulação, como parâmetro de radiação solar e refletância das superfícies externas que entram no edifício o item *FullInterior*.

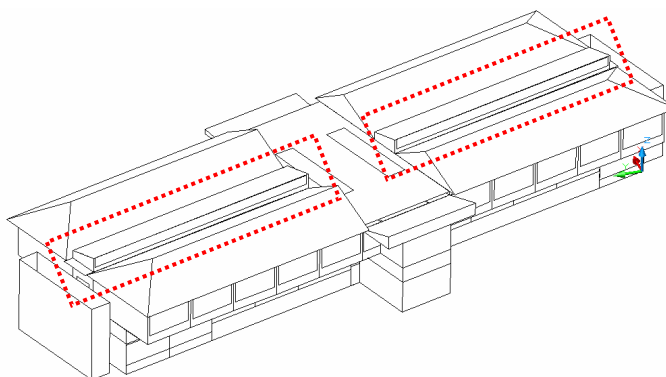


FIGURA 4.16–Localização dos *sheds* no corredor central.

4.5.7 Proposição 7 - Somatório das proposições

Faz-se o somatório da colocação de brises nas fachadas leste e oeste (proposição 1) com substituição do polycarbonato da cobertura (proposição 2) e desta forma pode-se avaliar a influência da radiação solar direta no interior da edificação (proposição 7.1).

Como mais uma estratégia propõe-se o somatório de todas as proposições anteriores, ou seja, colocação de brises nas fachadas leste e oeste, substituição do polycarbonato da cobertura, colocação de material isolante sob cobertura em cerâmica, alteração de tamanho das janelas do corredor central do segundo pavimento e diminuição da estrutura metálica aparente, proposições 1, 2, 3, 4 e 5 (proposição 7.2).

.

CAPITULO V

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resultados da simulação com condições climáticas da cidade de Belo Horizonte

Para a avaliação do desempenho térmico via simulação numérica da edificação e a eficiência das proposições sugeridas utiliza-se a metodologia do dia típico de projeto utilizando o dia típico de verão da cidade de Belo Horizonte. Foram realizadas no total 8 simulações, utilizando-se o modo de ventilação *Airflow Network model*, que calcula o fluxo de ar através das zonas da edificação com sistemas naturais artificiais e naturais integrados. Nas simulações realizadas, foram feitas simulações para a edificação com a configuração original e simulações com as estratégias propostas com ventilação natural.

Os resultados obtidos são apresentados para apenas uma zona (sala 23) situada no segundo pavimento (FIG 5.1). A escolha pela sala 23 deve-se ao fato de que foram realizadas medições *in loco* por Rocha (2007), além de ser um ambiente com fachada voltada para oeste, com insolação durante todos os períodos da tarde. O objetivo dessas simulações é de avaliar o comportamento da temperatura interna e da umidade com o uso das proposições apresentadas.

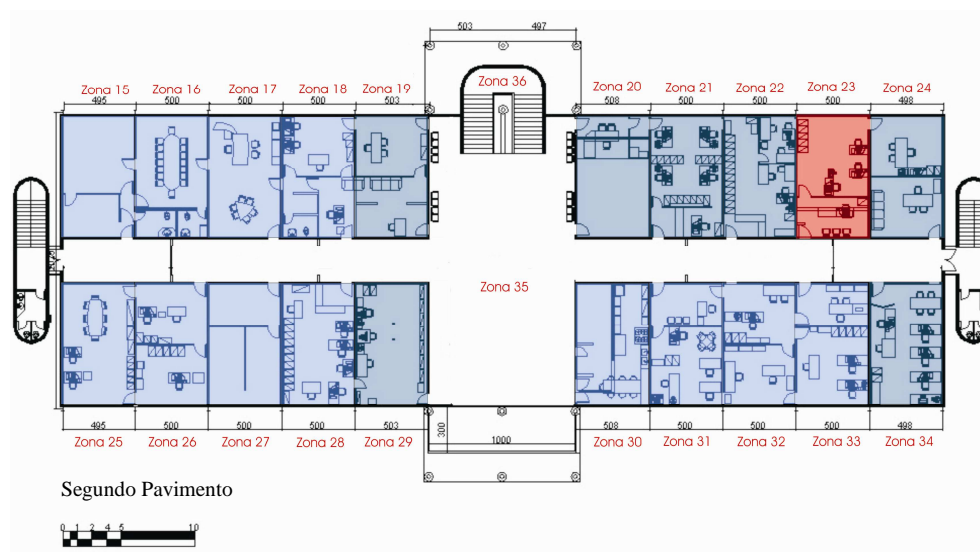


FIGURA 5.1 – Localização das zonas do 2º pavimento.

Na figura 5.2 apresenta-se o comportamento da temperatura interna do ar com a configuração atual da edificação em estudo, ventilada naturalmente.

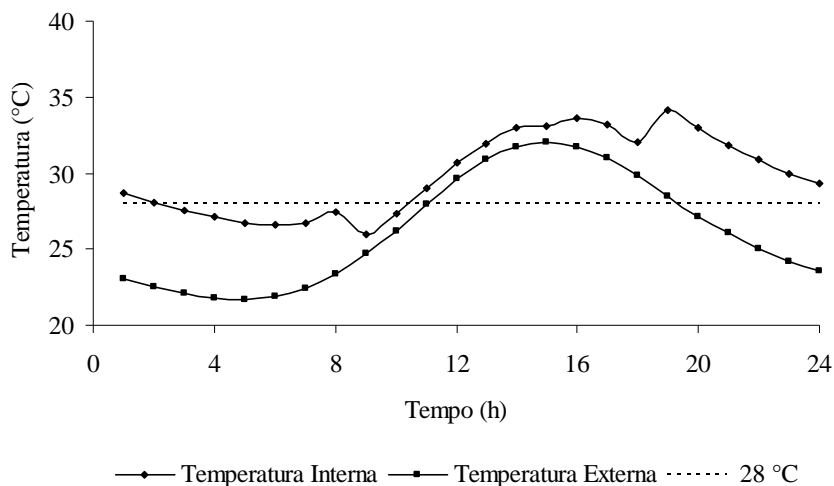


FIGURA 5.2 – Temperaturas interna (zona 23) e externa - Configuração original da edificação.

Pode-se observar nas curvas mostradas que a temperatura interna na sala 23 está superior à temperatura externa e da temperatura máxima da faixa de conforto (19 °C a 28°C) segundo a ASHRAE 55 : 2004. Isso ocorre em função do perfil de ocupação e da posição do ambiente, o que o torna totalmente desfavorável. Após essa análise, pode-se ver a necessidade de se propor estratégias que possam minimizar a temperatura do ar melhorando o conforto térmico do ambiente.

Nos outros ambientes, situados no mesmo pavimento da sala considerada como zona 23 (FIG 5.1), houve variações da temperatura interna máxima diária. A sala em estudo, zona 23, teve a temperatura interna máxima diária no valor de 34,1°C. Na zona 24, localizada na extremidade do edifício e voltada para fachada oeste, teve a menor temperatura interna máxima diária em torno de 33,1°C, enquanto que na zona 19, com fachada voltada para oeste, ocorreu a maior temperatura interna máxima diária em torno de 34,7°C. A zona 24, apesar de estar voltada para oeste, possui as fachadas bem ventiladas e poucos ganhos internos. Já a zona 19, voltada também para oeste, é mal ventilada e isso influencia muito na temperatura interna do ambiente.

Na figura 5.3 apresenta-se a temperatura da superfície interna da parede externa (p23d), localizada na fachada oeste.

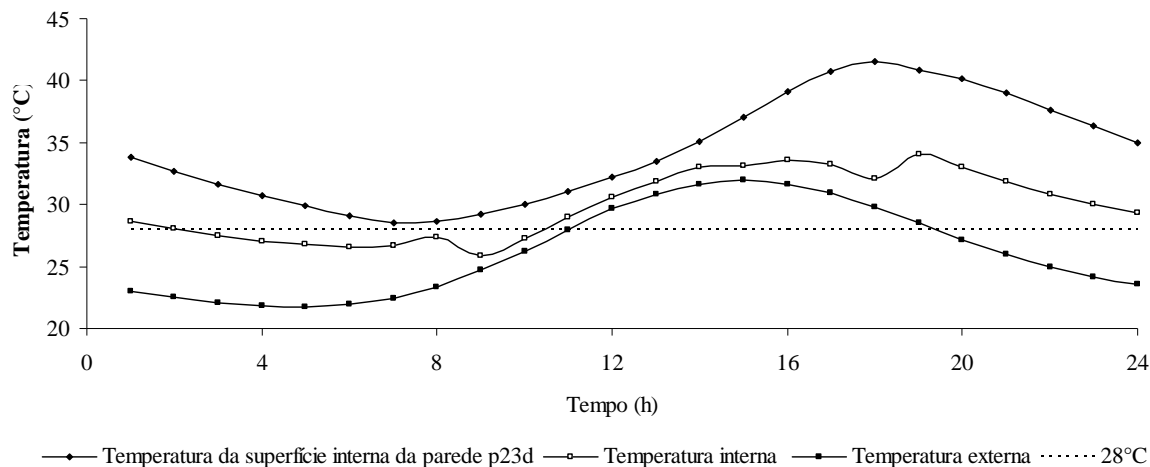


FIGURA 5.3 – Temperaturas interna (zona 23) e externa - Configuração original da edificação

Ao analisar o comportamento da temperatura da superfície interna da parede externa (p23d), voltada para o oeste e que recebe radiação solar durante toda a tarde, pode-se observar um atraso térmico em torno de 3h. No entanto, em função da insolação em todo período da tarde o seu valor resulta elevado, o que influencia na temperatura interna do ambiente.

Na figura 5.4 apresenta-se as curvas da umidade relativa para a zona 23 com configuração original.

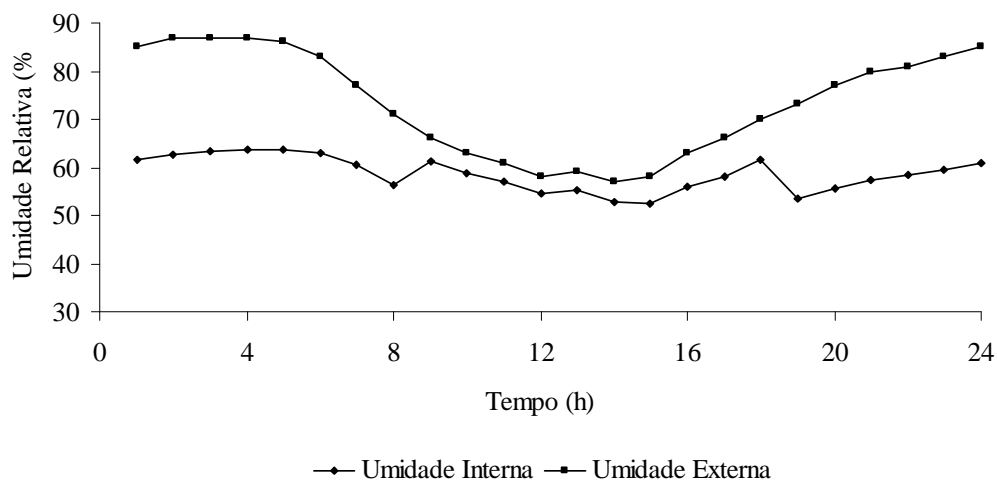


FIGURA 5.4 – Umidade relativa interna (zona 23) e externa - Configuração original da edificação.

Em relação à umidade interna observa-se que o modo de ventilação adotado proporciona variações mais acentuadas, nos horários da abertura e fechamento das janelas, 8h e 18 h respectivamente, devido às trocas de umidade com o ambiente externo. De um modo geral, o valor médio diário da umidade resulta num valor adequado e dentro dos limites sugeridos pelas normas ASHRAE 55:2004 e ISO 7730:2005.

As estratégias propostas compõem 7 casos já descritos no capítulo anterior a saber: Brises na fachada leste e oeste (proposição 1), Substituição do polycarbonato da cobertura por telha cerâmica (proposição 2.1), por telha metálica tipo sanduíche (proposição 2.2), Colocação de isolante sob cobertura em cerâmica (proposição 3), Alteração das janelas do corredor central (proposição 4), Diminuição da estrutura em aço aparente (proposição 5), Colocação de *sheds* na cobertura (proposição 6) e Somatório das proposições 1, 2 (proposição 7.1) e somatório das proposições 1, 2, 3, 4 e 5 (proposição 7.2).

5.1.1 Proposição 1: Brises nas fachadas leste e oeste

Na figura 5.5 pode-se analisar o comportamento da temperatura do ar interno da sala 23 com a inserção de brises e sem a presença desses brises nas fachadas leste e oeste.

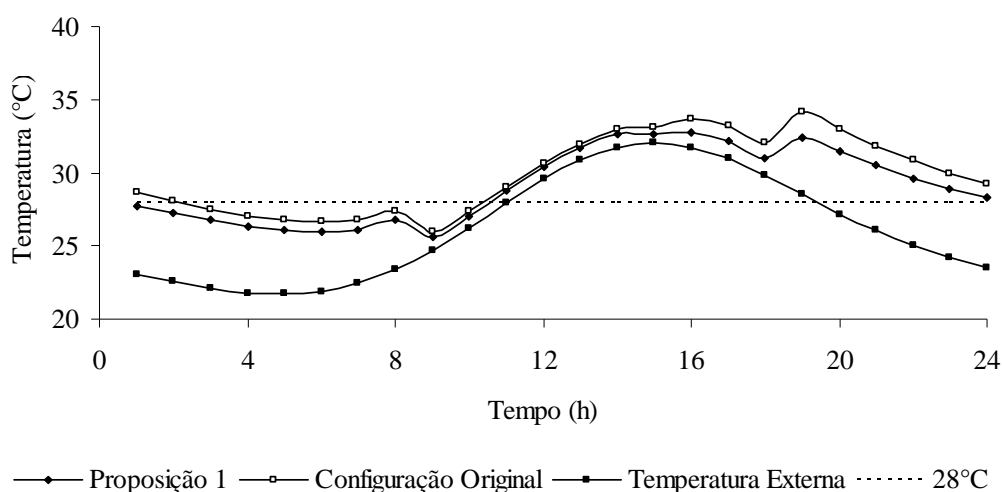


FIGURA 5.5 – Temperaturas interna (zona 23) e externa.

Pode-se observar (figura 5.5) que a presença da proteção solar diminuiu a temperatura interna, com redução de temperatura no horário das 16 h (horário em que a temperatura é máxima para o período de ocupação) em torno de $1,0^{\circ}\text{C}$.

Na figura 5.6 apresenta-se os valores graus.hora para o dia típico de verão com a utilização de brises nas fachadas, necessários para resfriamento do ambiente. O parâmetro “graus-hora” é definido como sendo a diferença de temperatura horária, quando esta se encontra acima da temperatura máxima da faixa de conforto (28°C), no caso de resfriamento ou abaixo da temperatura mínima de conforto (19°C), para graus-hora de aquecimento. Neste caso avalia-se apenas o parâmetro para resfriamento do ambiente.

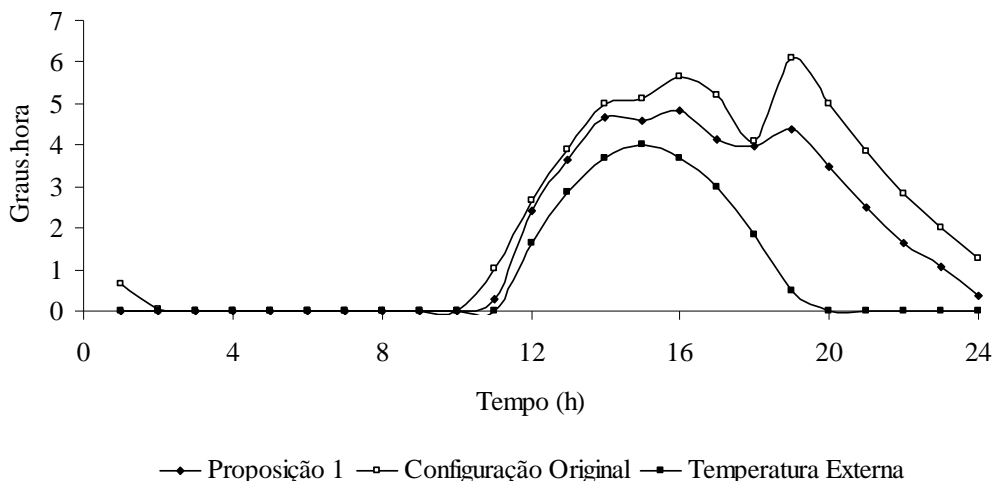


FIGURA 5.6 – Graus.hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).

Na figura 5.7, apresenta-se o somatório de graus.hora necessários para o resfriamento do ambiente (zona 23). Observa-se pelos resultados mostrados nas figuras 5.6 e 5.7 um desempenho satisfatório da proposição 1 (colocação de brises na fachada leste e oeste) reduzindo os graus.hora, necessários para resfriamento do ambiente, em média de $4,0^{\circ}\text{C.h}$, durante o período de ocupação dos ambientes (horário de trabalho dos ocupantes).

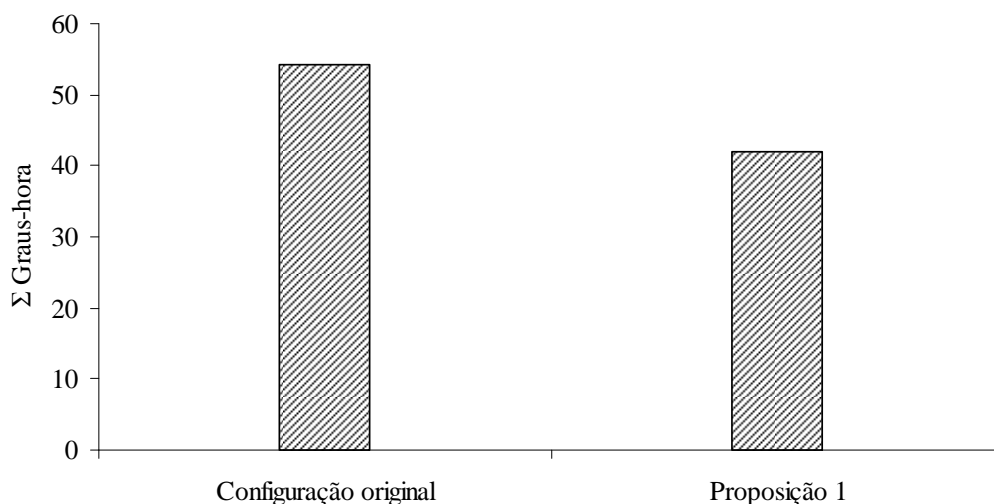


FIGURA 5.7 – Σ Graus-hora diário necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).

5.1.2 Proposição 2: Substituição do policarbonato da cobertura

Na figura 5.8 apresenta-se a evolução da temperatura interna com a substituição da telha em policarbonato situado no corredor central do segundo pavimento por telhas coloniais em cerâmica (proposição 2.1).

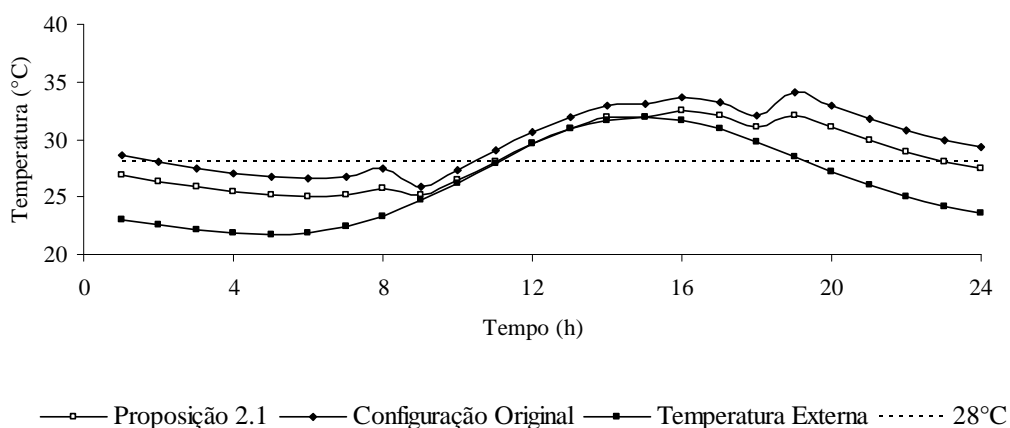


FIGURA 5.8 – Temperaturas interna (zona 23) e externa.

Analisando as curvas mostradas na figura 5.8, pode-se ver que a substituição da cobertura de telha de policarbonato por telhas coloniais contribuiu para redução da temperatura interna diária em torno de 1,6°C, em média, ao longo de todo o período.

Na figura 5.9 pode-se observar os valores graus.hora de resfriamento quando a cobertura de telha de policarbonato é substituída por telha colonial.

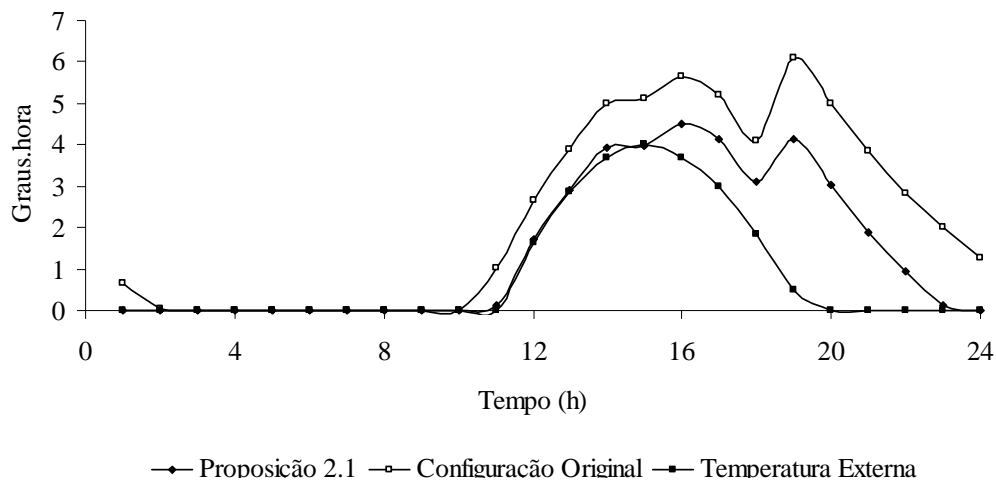


FIGURA 5.9 – Graus.hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).

Observa-se pelos resultados mostrados na figuras 5.9 uma redução dos graus.hora, necessários para resfriamento do ambiente, em média de 3,0°C.h, durante o horário de expediente. Na figura 5.10 apresenta-se o somatório total diário de graus.hora necessários para o resfriamento do ambiente.

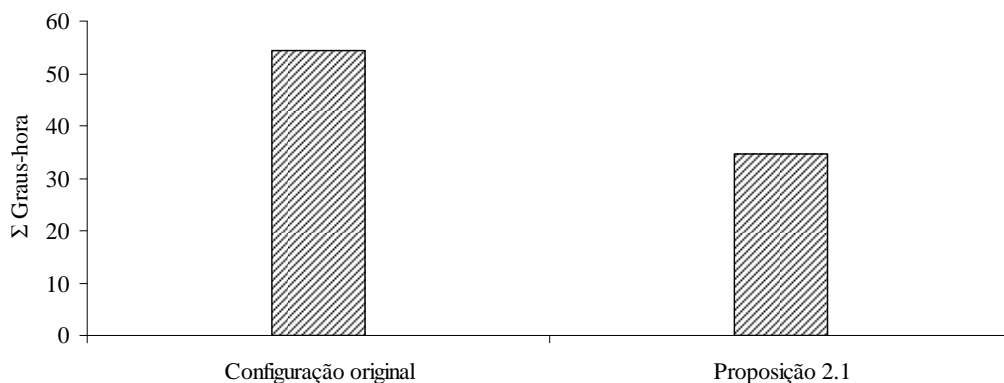


FIGURA 5.10 – Σ Graus-hora diário necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).

Com a redução dos ganhos de calor no ambiente os valores de graus.hora diminuíram, mas ainda é necessário resfriar o ambiente para que ele se torne confortável. Comparada a proposição 1 observa-se que a proposição 2.1 apresenta um desempenho melhor, figura 5.10.

Na figura 5.11 apresenta-se o comportamento das curvas da temperatura interna com a substituição da cobertura de policarbonato por telhas isolantes (proposição 2.2).

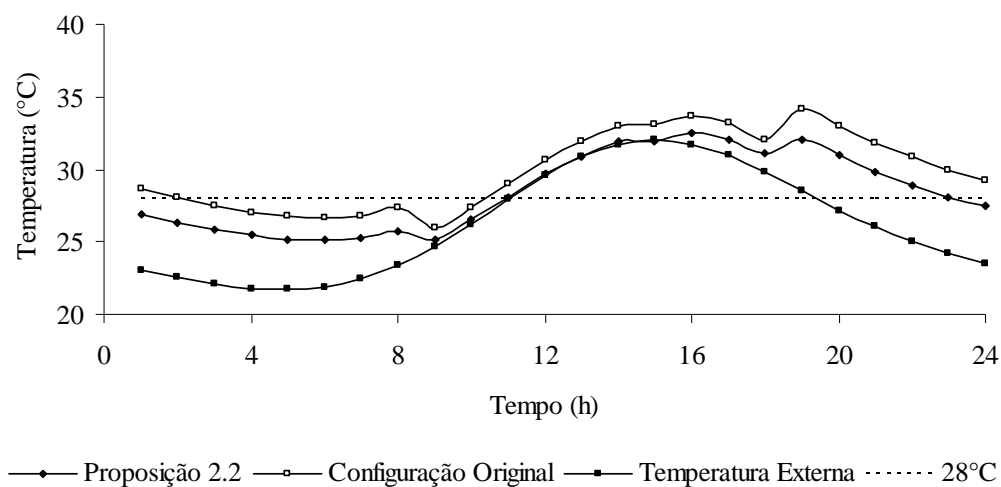


FIGURA 5.11 – Temperaturas interna (zona 23) e externa.

Pode-se observar (figura 5.11), que o uso de telhas isolantes no corredor central, contribuiu para redução da temperatura do ar interna, com valores de redução aproximados no período onde as janelas estavam sempre abertas nos horários de 8 h às 18 h, cujo valor foi em média 1,1°C, e no período do expediente de trabalho cuja temperatura interna é mais elevada a redução foi em média de 1,5°C.

Na figura 5.12 pode-se analisar os valores de graus.hora para a zona 23 quando utilizado telhas isolantes no corredor central.

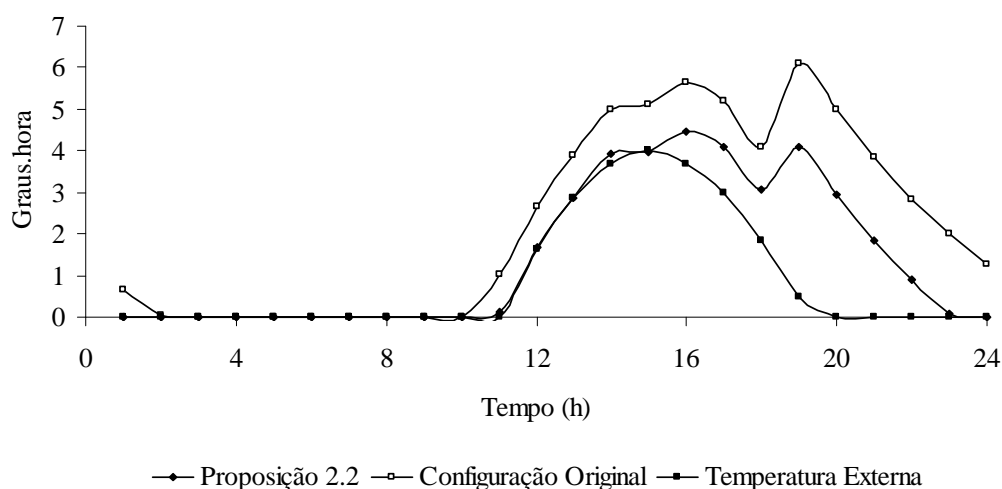


FIGURA 5.12 – Graus.hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).

Pode-se observar pelos resultados obtidos que houve queda nos valores de graus.hora quando há substituição da cobertura de policarbonato por telhas isolantes. A redução entre a proposição 2.2 utilizada e a configuração original foi de 1,8°C.h, ou seja, houve uma redução em torno de 31% dos graus.hora necessários para resfriamento do ambiente, figura 5.13.

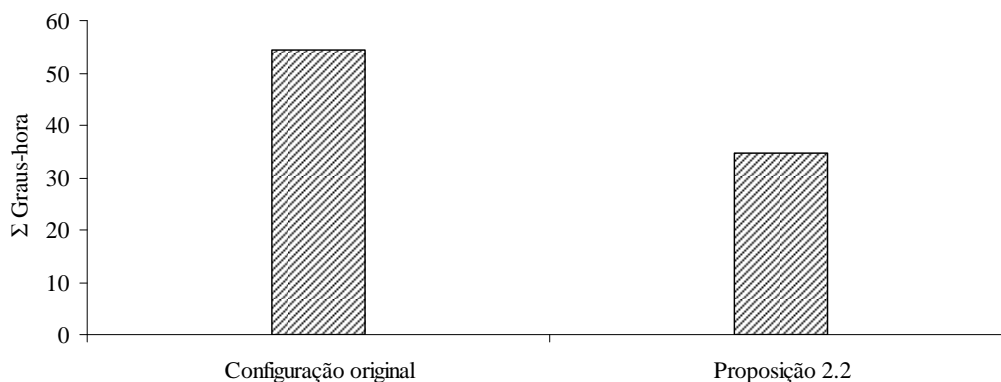
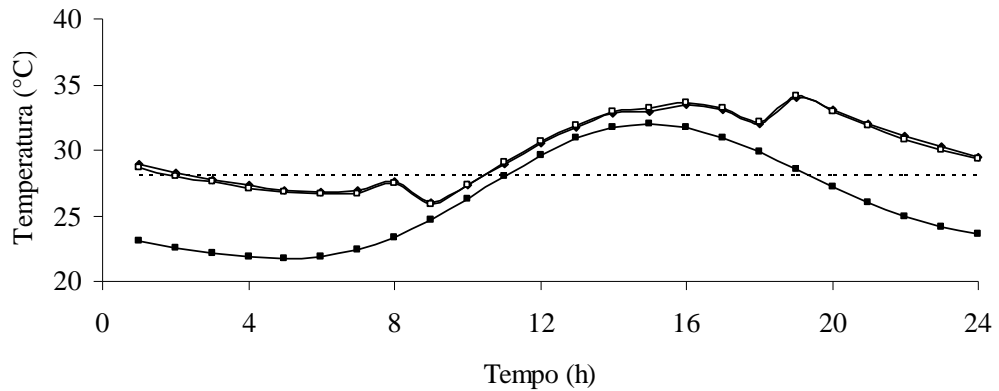


FIGURA 5.13 – Σ Graus-hora diário necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).

Observa-se também pelos resultados obtidos que a telha isolante (tipo sanduíche) apresenta desempenho térmico similar à telha convencional de cerâmica (colonial), figura 5.10 e 5.13. A substituição do policarbonato, por um destes elementos, influencia na resposta da edificação, pois ameniza a radiação solar incidente na cobertura. O uso dessa proposição no local necessitaria de poucas intervenções arquitetônicas e seria de fácil aplicação. Como a telha cerâmica apresentou um desempenho térmico semelhante à telha isolante deve-se então optar pela mesma, em função do custo inferior comparado à telha metálica sanduíche, além de ser o material mais utilizado nas edificações do entorno.

5.1.3 Proposição 3: Colocação de isolante sob cobertura em cerâmica

Na figura 5.14 apresenta-se o comportamento da temperatura interna com o acréscimo de materiais isolantes na cobertura em cerâmica e acima do forro de PVC existente.

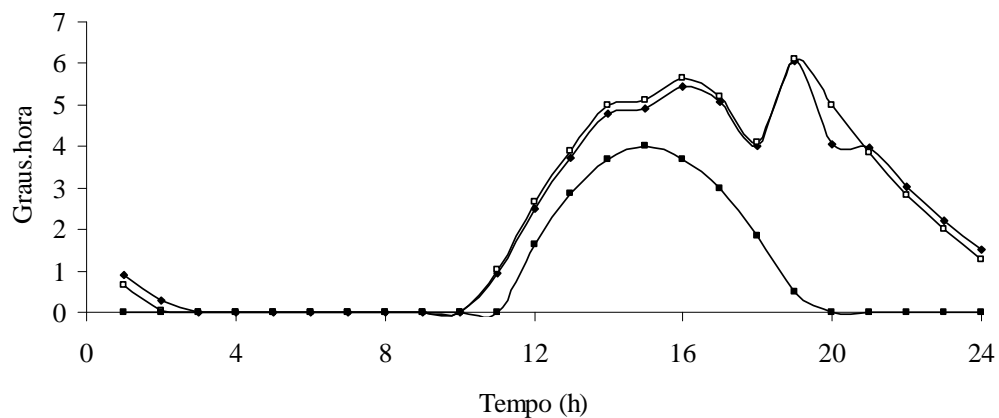


—●— Proposição 3 —○— Configuração Original —■— Temperatura Externa 28°C

FIGURA 5.14 – Temperaturas interna (zona 23) e externa.

A influência do material isolante entre cobertura e forro foi muito pequena reduzindo a temperatura de no máximo 0,5°C. Comparando esses resultados com os das estratégias anteriores pode-se concluir que o uso de isolantes foi pouco eficiente.

Na figura 5.15 pode-se analisar as curvas de graus.hora quando utilizada a proposição 3.



—●— Proposição 3 —○— Configuração Original —■— Temperatura Externa

FIGURA 5.15 – Graus.hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).

A redução de graus.hora necessários para resfriamento do ambiente com o uso de materiais isolantes na cobertura e no forro foi mínima, em torno de 3%, figura 5.16. Comparada com as estratégias anteriores a colocação de material isolante não se mostrou uma estratégia eficiente. Além disso, a aplicação de materiais isolantes

implicaria na retirada de toda a cobertura o que poderia causar transtornos, pois a edificação não possui laje de cobertura, tornando sua aplicação inviável quando se analisa custo/benefício.

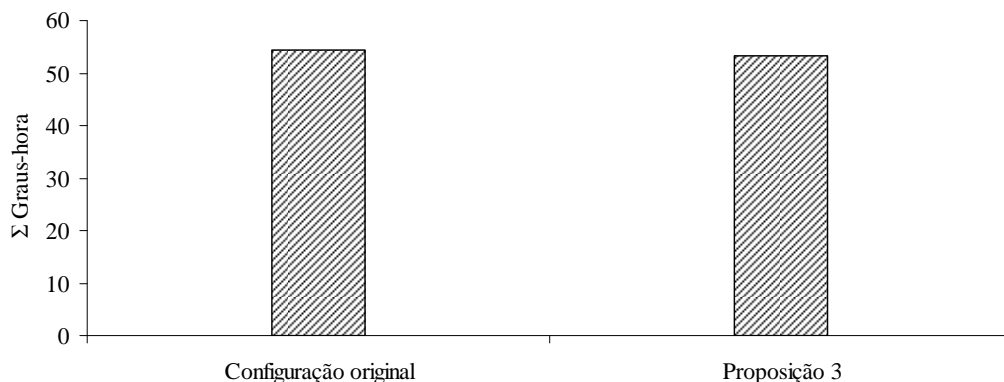


FIGURA 5.16 – Σ Graus-hora diário necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).

5.1.4 Proposição 4: Alteração das janelas do corredor central

Na figura 5.17 apresenta-se a evolução da temperatura interna com o aumento do comprimento das janelas do corredor central em 1,5 m.

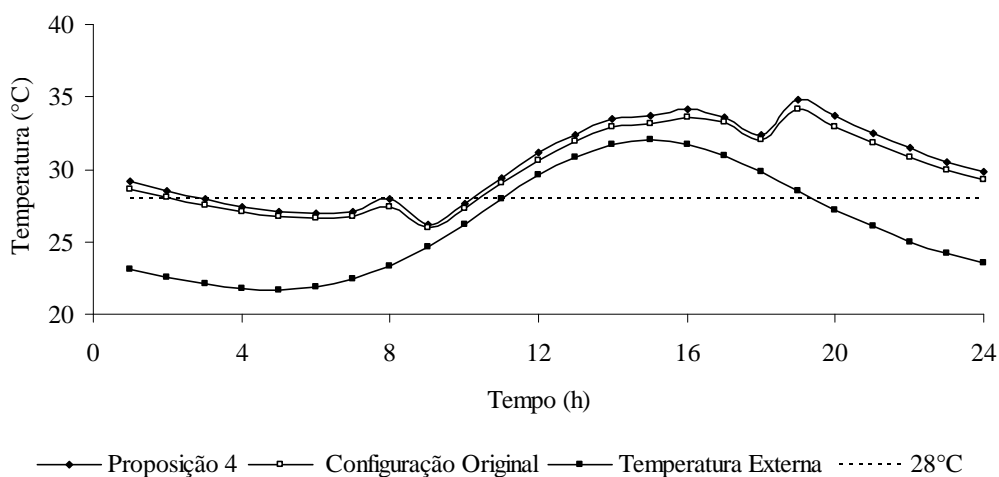


FIGURA 5.17 – Temperaturas interna (zona 23) e externa.

Analisando as curvas mostradas na figura 5.17, pode-se observar que o aumento de 1,5 m no comprimento das janelas situadas no corredor central não teve grande influência na redução de temperatura do ar interno. A diferença no aumento de temperatura para

efeito de simulação foram valores no máximo de 1°C para todos os horários do dia. Isso pode ser explicado pelo fato da temperatura interna do corredor central estar bem elevada em relação ao interior das salas (aqui apresentado somente a sala 23) e com o aumento das trocas de calor obtidas pelas aberturas ocasionou o aumento da temperatura interna das salas (aqui sala 23). Esta estratégia teria um desempenho mais satisfatório somente após a retirada da cobertura em policarbonato do corredor central. Na figura 5.18 pode-se os graus.hora necessários para o resfriamento, para zona 23, quando há alteração das aberturas do corredor central.

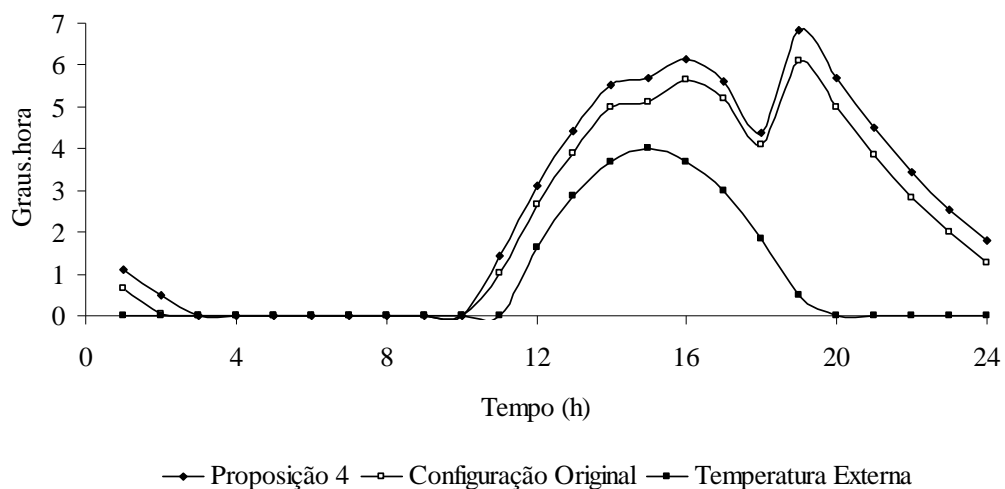


FIGURA 5.18 – Graus.hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).

Pode-se ver que nesse caso o aumento das aberturas do corredor central não foi uma boa estratégia para redução dos ganhos de calor nas salas (aqui zona 23). O uso dessa estratégia ocasionou um aumento de graus.hora em torno de 10 %, figura 5.19. Outra desvantagem do uso dessa proposição (aumento do comprimento das janelas do corredor central) é um custo maior comparado as demais proposições. Neste caso haveria um custo adicional necessário para remover as esquadrias e inserir outras com aberturas maiores, além do barulho e incômodo que geraria para os usuários do local.

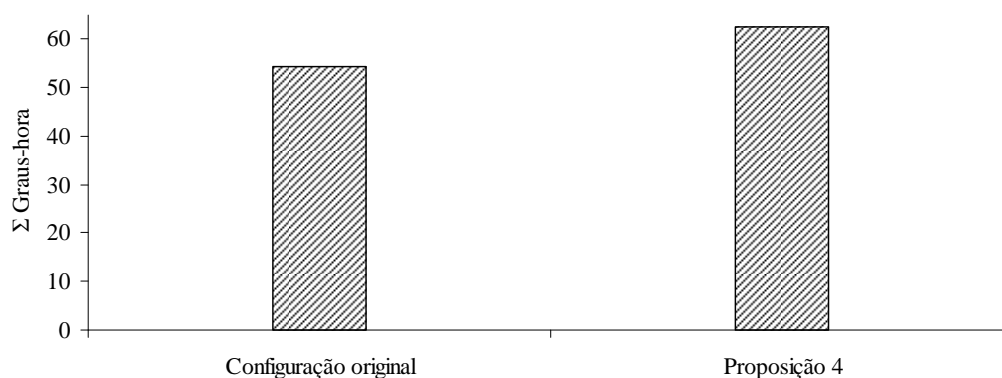


FIGURA 5.19 – Σ Graus-hora diário necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).

5.1.5 Proposição 5: Diminuição da estrutura em aço aparente

Na figura 5.20 apresenta-se o comportamento das curvas da temperatura interna com o fechamento da viga em aço com concreto.

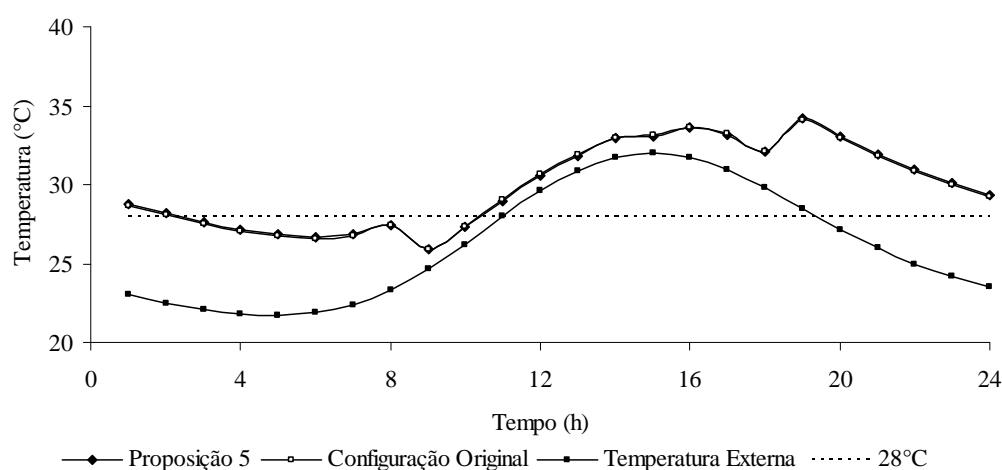


FIGURA 5.20 – Temperaturas interna (zona 23) e externa.

Observando as curvas mostradas, na figura 5.20, pode-se ver que o preenchimento de pequena área em aço aparente, quase não teve nenhuma influência na diminuição da temperatura interna. Embora o aço seja um material com condutividade térmica superior ao do concreto e a viga de aço ter espessura pequena, em torno de 8 mm, a área de troca de calor é muito pequena, comparada à área da fachada inteira. Desse modo a área em aço aparente influencia muito pouco no processo de condução de calor através da fachada.

Na figura 5.21 apresenta-se os graus.hora, necessários para o resfriamento, quando há o fechamento da viga de aço com concreto.

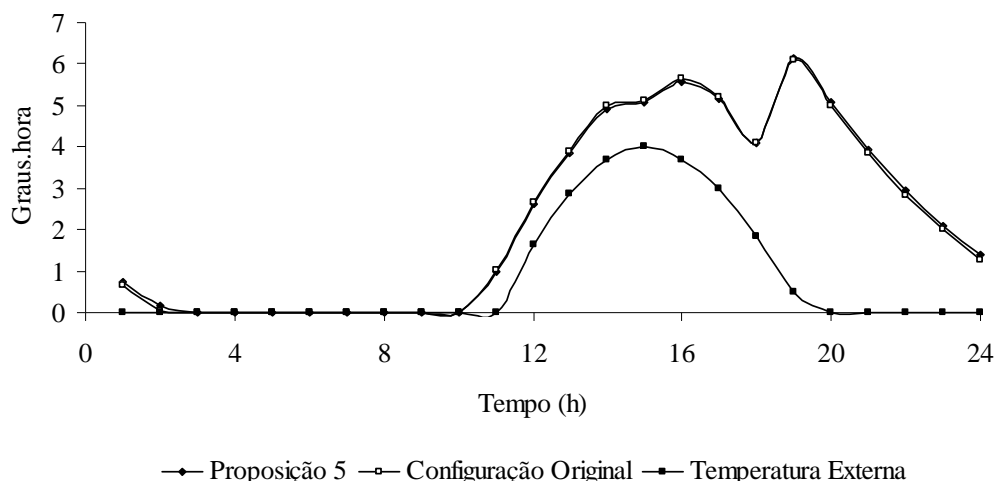


FIGURA 5.21 – Graus.hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).

O uso da proposição 5 não foi eficiente para redução dos graus.hora no ambiente quando comparado ao caso da viga de aço aparente. Desse modo, observa-se que quando a área em aço aparente for pequena muito comparada a área total da fachada a influência no processo de condução de calor, através da fachada externa, é muito pequena, Figura 5.22.

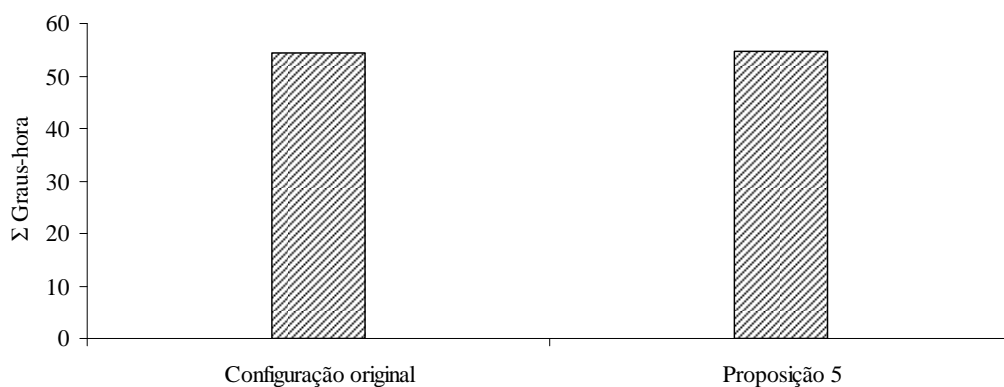


FIGURA 5.22 – Σ Graus-hora diário necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).

5.1.6 Proposição 6: Colocação dos *sheds* na estrutura

Na figura 5.23 apresenta-se o comportamento da temperatura interna com a inserção de *sheds* na cobertura.

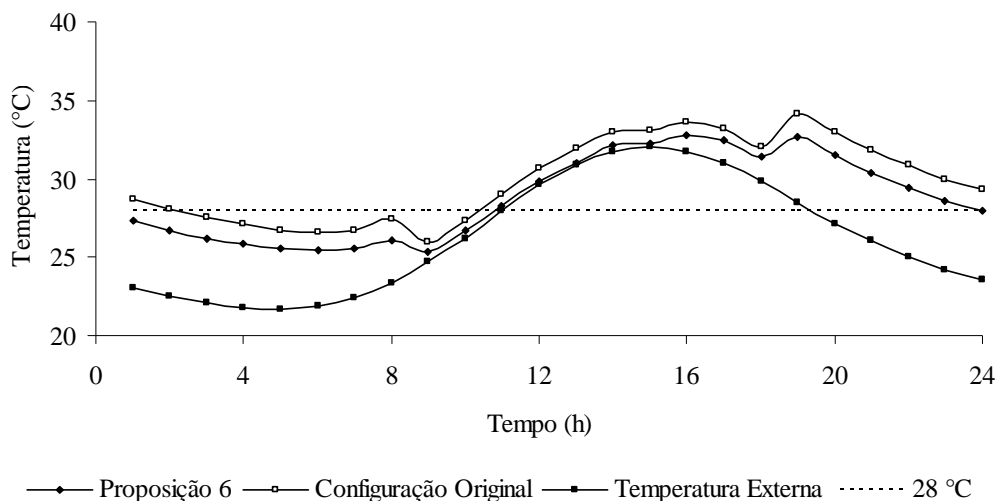


FIGURA 5.23 – Temperaturas interna (zona 23) e externa.

O uso de *sheds* na cobertura localizada acima do corredor central apresenta um bom desempenho. A redução de temperatura interna para temperatura máxima diária foi de 1,4°C, e para os horários de 8 h às 18 h foi em torno de 1°C, em média. Isso se deve ao fato de que os *sheds* permitem um aumento de ventilação no ambiente (efeito chaminé), consequentemente aumentando as taxas de renovação de ar, contribuindo para queda da temperatura interna além de auxiliar na melhoria da qualidade do ar.

Na figuras 5.24 apresenta-se os graus.hora, necessários para o resfriamento do ambiente, com o uso de *sheds* na edificação analisada.

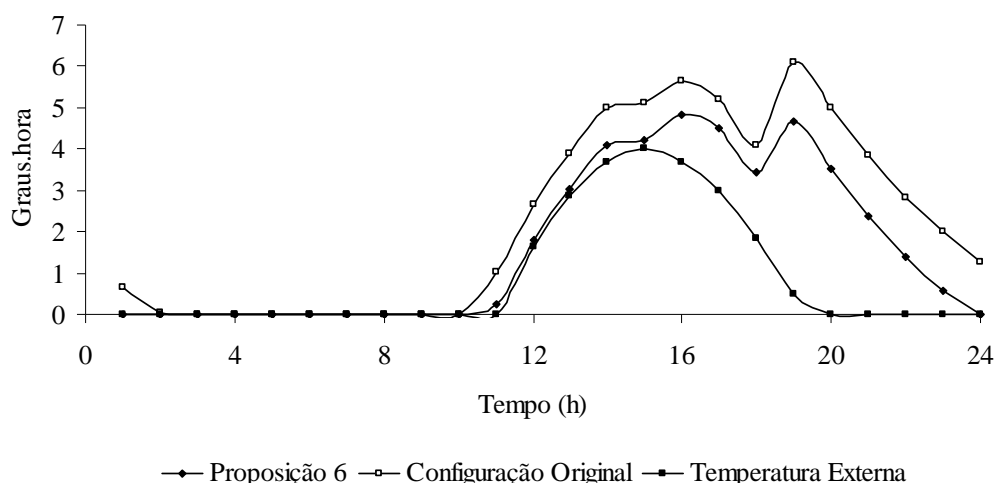


FIGURA 5.24 – Graus.hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).

O uso de *sheds* contribuiu para uma boa redução de graus.hora, necessários para resfriamento do ambiente. A redução foi, para o valor de graus.hora máximo diário, em torno de 28%, mas ainda é necessário resfriar o ambiente para torná-lo confortável, em valores próximos de 4,0°C.h, figura 5.25. Por ser uma proposição eficiente, torna-se viável o uso de *sheds* nessa edificação. Sua instalação no local poderia utilizar as paredes do corredor central como apoio, a estrutura poderia ser de madeira ou metalon com cobertura em telha colonial e aberturas nas laterais para ventilação e iluminação.

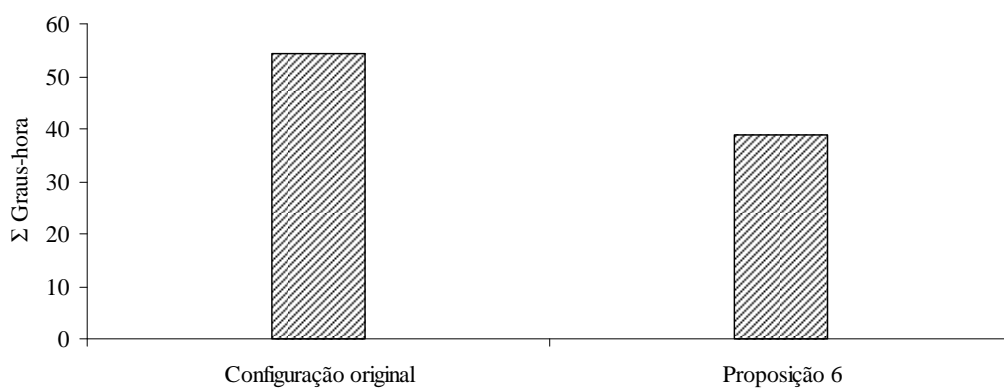


FIGURA 5.25 – Σ Graus-hora diário necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).

5.1.7 Proposição 7: Somatório das proposições

Na figura 5.26 apresenta-se o comportamento das curvas da temperatura interna quando são avaliadas as proposições 1 e 2 somadas (proposição 7.1).

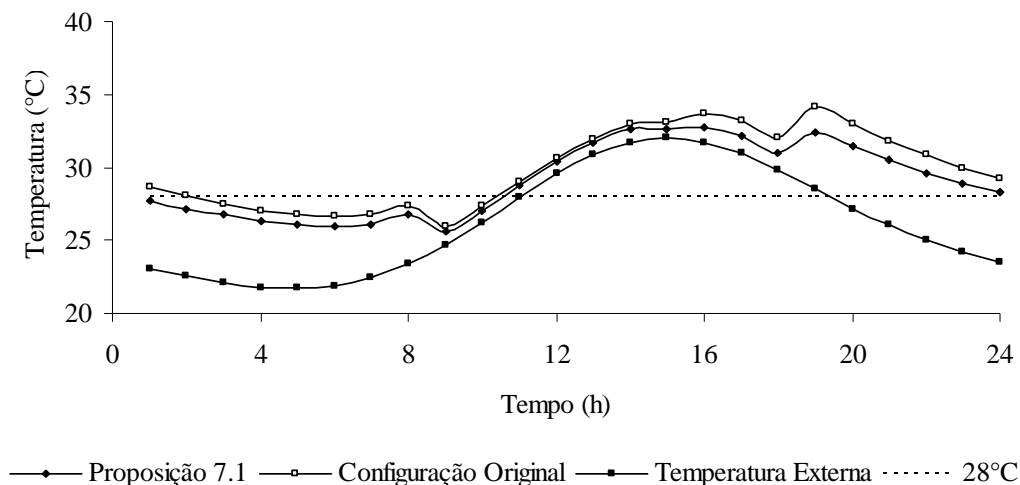


FIGURA 5.26 – Temperaturas interna (zona 23) e externa.

Nas curvas mostradas na figura 5.26 pode-se avaliar o comportamento da temperatura interna com relação à redução da radiação solar. O uso de brises e a substituição da cobertura em policarbonato por cobertura em telha cerâmica contribuíram para diminuição da temperatura interna. O desempenho térmico das proposições foi maior nos horários do período da manhã e no período da tarde, a partir das 15h, com redução na temperatura máxima diária de 1,7°C.

Na figuras 5.27 pode-se analisar os graus.hora necessários para o resfriamento do ambiente utilizando as proposições 1 e 2 (proposição 7.1).

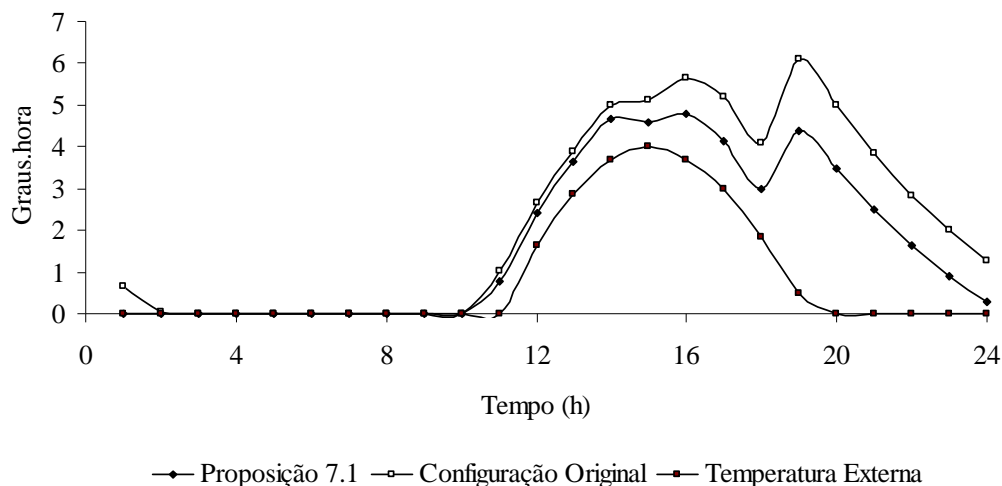


FIGURA 5.27 – Graus.hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).

O uso das proposições 1 e 2 (proposição 7.1) contribuíram para redução dos ganhos de calor no ambiente interno, comparado à configuração original, Figura 5.28. Mesmo com a redução, o ambiente ainda apresenta temperaturas elevadas, nos horários da tarde, sendo necessário ainda uma redução de graus.hora em torno de 3,5 para que o ambiente se torne confortável.

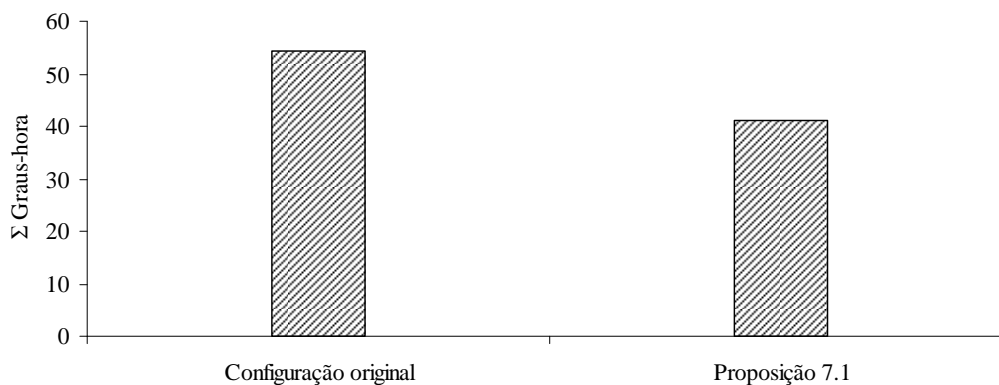


FIGURA 5.28 – Σ Graus-hora diário necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).

Em relação à umidade relativa interna, apresentam-se os valores obtidos levando-se em consideração a configuração original e as proposições 1 e 2 somadas (proposição 7.1) (FIG 5.29).

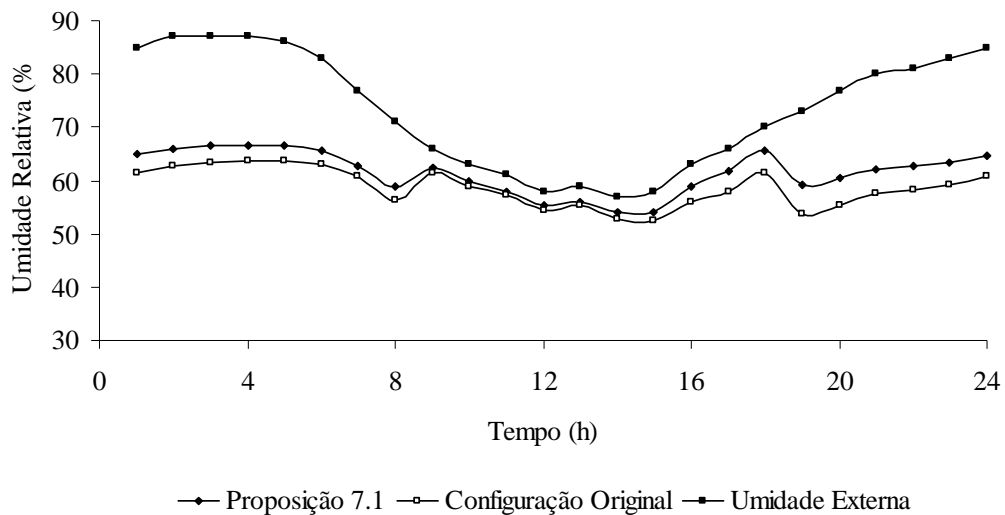


FIGURA 5.29 – Umidade relativa interna (zona 23) e externa.

Observa-se que com o somatório das proposições 1 e 2 obtém-se um acréscimo da umidade relativa interna em torno de 9 % resultando numa diferença média diária de 6%. O valor resultante da umidade interna está de acordo com a faixa sugerida pela norma ASHRAE 55:2004.

Na figura 5.30 apresenta-se o comportamento das curvas da temperatura interna com as proposições 1, 2, 3, 4 e 5 somadas (proposição 7.2).

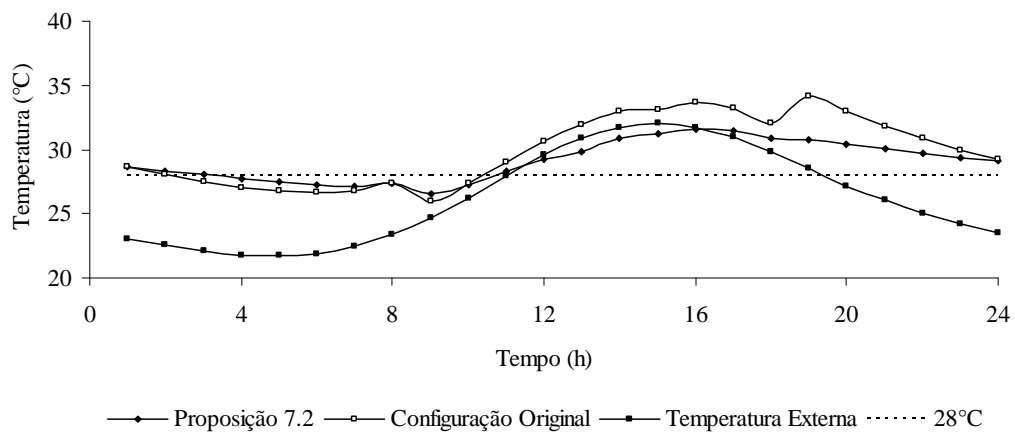


FIGURA 5.30 – Temperaturas interna (zona 23) e externa.

Com o somatório das proposições 1, 2, 3, 4 e 5 (proposição 7.2) houve uma redução de temperatura interna máxima diária no valor de 4,3°C. Durante o período de ocupação do

edifício, os valores das temperaturas internas resultantes estiveram próximos e abaixo dos valores da temperatura externa. Isso demonstra que o uso do somatório das estratégias 1, 2, 3 4 e 5 simultaneamente (proposição 7.2) pode contribuir muito para redução da temperatura do ar, melhorando o conforto térmico do ambiente. Além disso, durante o período de 8 h às 18 h, a temperatura interna resultante também teve valores próximos ou abaixo da temperatura externa melhorando o desempenho térmico da edificação. Com o uso de várias estratégias visando o aumento da ventilação interna, diminuindo a incidência solar direta e minimizando os ganhos internos, no período em que todas as janelas estão abertas, a temperatura interna fica próximo da temperatura de referência para conforto.

Na figura 5.31 pode-se analisar as curvas de graus.hora necessários para o resfriamento do ambiente, considerando o somatório das proposições 1, 2, 3, 4 e 5 (proposição 7.2).

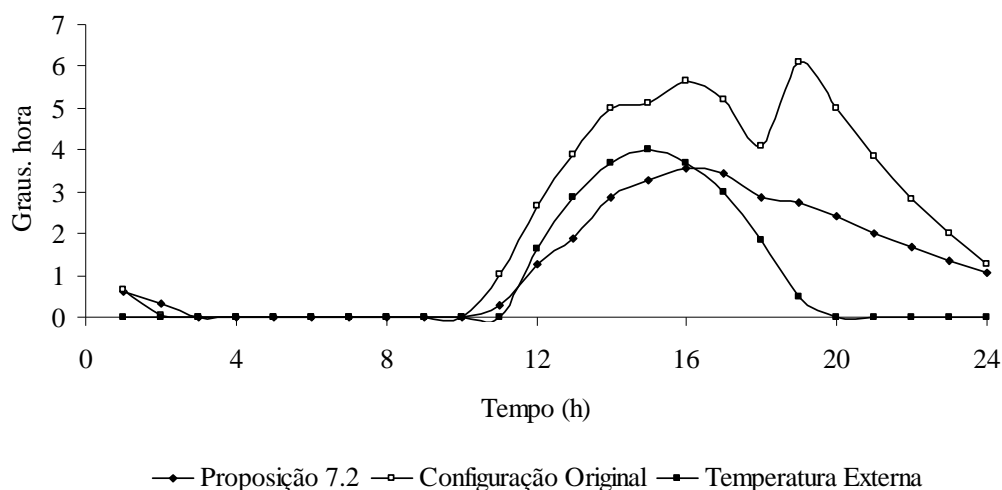


FIGURA 5.31 – Graus.hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).

Pode-se observar que o uso dessas proposições simultaneamente teve muita influência para redução dos graus.hora, para o resfriamento do ambiente. Apesar da redução em torno de 45% nos ganhos de calor, o ambiente não conseguiu atingir a temperatura ideal de conforto, durante todo o período de expediente de trabalho dos usuários, sendo ainda necessário uma redução de graus.hora em torno de 2,4°C.h, Figura 5.32.

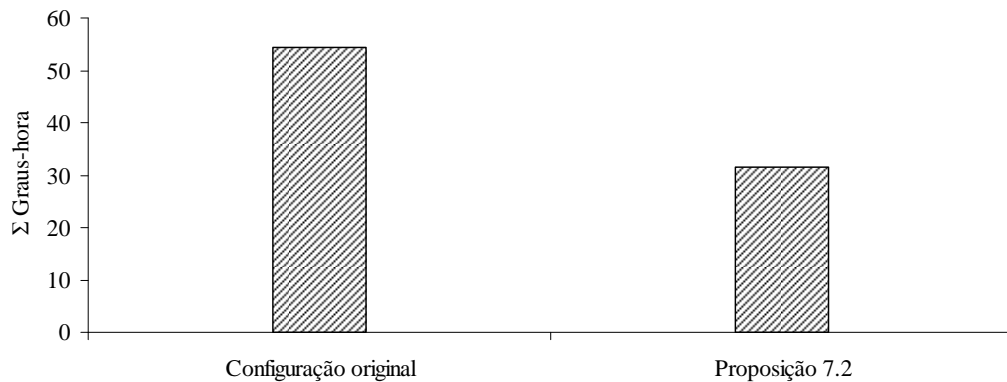


FIGURA 5.32 – Σ Graus-hora diário necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).

Na figura 5.33 apresenta-se as curvas da umidade relativa na zona 23 quando submetida ao somatório das proposições 1, 2, 3, 4 e 5.

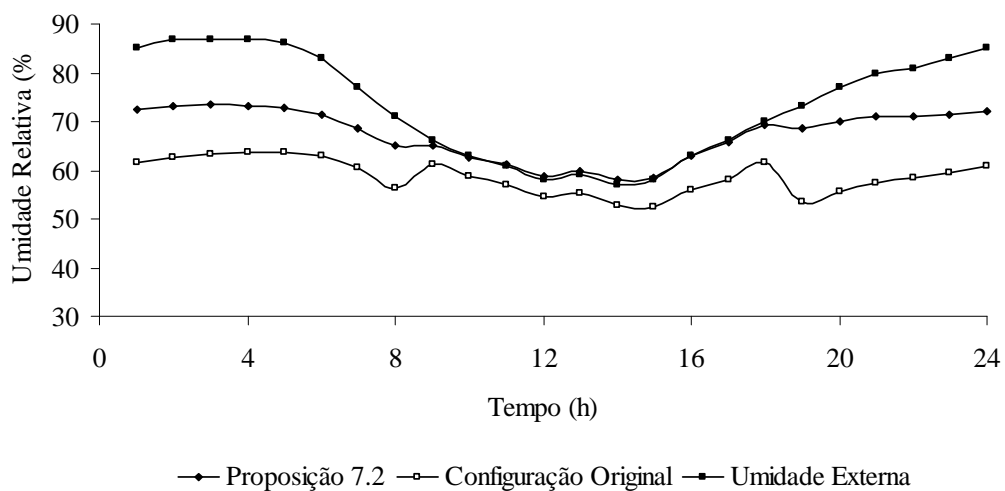


FIGURA 5.33 – Umidade relativa interna (zona 23) e externa.

Observa-se que o uso do somatório dessas proposições contribuiu para o aumento da umidade interna. Isso ocorre devido ao fato que muitas dessas proposições se referem ao aumento de ventilação no interior do ambiente, consequentemente aumento das taxas de renovação do ar com temperaturas internas mais baixas, contribuindo para o aumento da umidade relativa interna.

Na figura 5.34 mostra-se o somatório total diário de graus.hora necessários para o resfriamento do ambiente. Os resultados são apresentados apenas para a zona 23 (ambiente cujos resultados foram apresentados neste trabalho). Observando-se os

resultados obtidos pode-se concluir que a estratégia arquitetônica, substituição da cobertura em policarbonato por telhas coloniais ou por telhas isolantes (proposição 2), que interfere diretamente na redução da radiação solar direta, apresenta um bom desempenho térmico, resultando no menor somatório de graus.hora necessários para o resfriamento. As proposições de intervenção, que compreendem a colocação de isolamento sob a cobertura em cerâmica, aumento das aberturas do corredor central e diminuição do fechamento metálico aparente (proposições 3, 4 e 5, respectivamente) não apresentaram um desempenho adequado e desse modo não justificaria a implementação das mesmas isoladamente, uma vez que o somatório de graus.hora necessários para o resfriamento da edificação foi pouco menor quando comparado aos resultados referentes à configuração da edificação no estado atual. A proposição 6 (uso de *sheds* na cobertura) também apresentou bons resultados, sendo uma boa estratégia e além de ser uma medida construtiva, que pode ser facilmente implementada na edificação. O somatório das proposições 1, 2, 3, 4 e 5, representada pela proposição 7 (proposição 7.2), o desempenho da edificação foi também adequado, resultando no menor somatório de graus.hora para o resfriamento do ambiente, no entanto seria uma alternativa mais cara quando comparada às proposições 2 e 6.

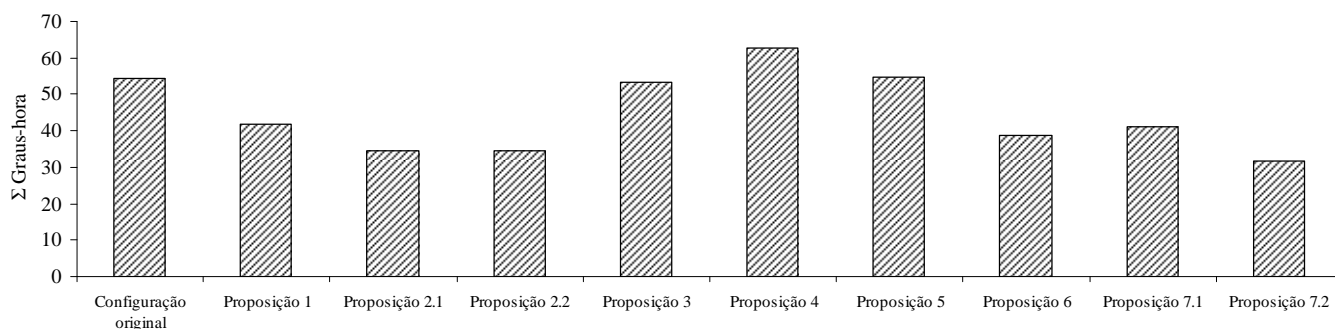


FIGURA 5.34 - Somatório total diário de graus-hora necessários para resfriamento do ambiente (zona 23).

CAPITULO VI

6. CONCLUSÕES

6.1 Considerações finais

O uso da simulação numérica para avaliação térmica de edificações tem contribuído muito para o desenvolvimento de pesquisas e soluções na redução do consumo de energia no condicionamento das mesmas e na melhoria do conforto dos usuários. Nessa pesquisa, foi utilizado o programa computacional *EnergyPlus* para simulações com ênfase em análise térmica. A idéia geral do uso da simulação numérica foi avaliar o desempenho térmico de uma edificação institucional estruturada em aço, com problemas de conforto a seus usuários principalmente no período de verão, e avaliar também a influência de proposições arquitetônicas de intervenção sugeridas. Utiliza-se a metodologia do dia típico de projeto avaliando-se o desempenho térmico da edificação somente para condições de verão. Foram utilizados os dados climáticos da cidade de Belo Horizonte, devido à dificuldade encontrada para se obter dados climáticos representativos da cidade de Mariana.

Avaliar o desempenho de um dado projeto consiste em comparar as condições resultantes (térmica, luz, ruído) com as condições necessárias para o conforto. Se as condições de conforto não são alcançadas, alguns parâmetros de projeto e/ou elementos construtivos devem ser trocados durante o processo de projeto a fim de se obter um ambiente construído que promova e assegure estas condições desejadas de conforto aos usuários.

O sistema de fechamento de uma edificação tem uma função primordial, não só do ponto de vista estético e/ou funcional, como também desempenha papel primordial, nas interações que ocorrem entre o ambiente construído interno e o meio externo. O sistema de fechamento pode atuar no controle de variáveis físicas e ambientais tais como calor e/ou frio, luz e ruído, com o objetivo de proporcionar condições de conforto aos usuários com o menor consumo de energia.

Um desempenho térmico adequado de um dado ambiente construído, que atenda as condições de conforto térmico aos seus usuários com o menor consumo de energia, pode ser alcançado se todos os parâmetros (físicos e ambientais) relevantes em relação ao balanço térmico do ambiente são observados na proposição do projeto. Dentre as variáveis importantes nesse processo destaca-se a capacidade térmica do sistema de fechamento e a ventilação natural seletiva (diurna e/ou noturna).

Neste contexto esta pesquisa mostra que se algumas estratégias arquitetônicas e/ou bioclimáticas são levadas em conta no processo de projeto pode-se obter um ambiente construído com desempenho adequado para a função que ele se propõe e com menor consumo de energia. Na proposição de projeto arquitetônico as variáveis a serem levadas em conta são tanto àquelas referentes ao clima local (temperatura e umidade do ar, radiação solar, velocidade e direção do vento, nível de iluminação e ruído) como também àquelas referentes ao projeto (entorno, forma e orientação, divisão e volume dos ambientes internos, alternativas de fechamento).

6.2 Sugestões para pesquisas futuras

Para futuros trabalhos, que utilizem esta mesma abordagem de análise, sugere-se uma análise mais criteriosa dos parâmetros de simulação observando-se os objetivos propostos e um estudo mais aprofundado em relação às variáveis relevantes no processo de transferência de calor e massa entre ambiente interno e externo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKUTSU, Maria. *Método para avaliação do desempenho térmico em 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 CONDITIONING ENGINEERS. *Thermal environment conditions for human occupancy*. ASHRAE 55: 2004. New York. USA, 2004.

ARQUITETURA com aço: representação de laje *steel deck*. Disponível em: <www.arcoweb.com.br/tecnologia/tecnologia18.asp>. Acesso em: 18 de março de 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15220: *Desempenho térmico de edificações* – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

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 6401: *Instalações centrais de ar condicionado para conforto: parâmetros básicos de projeto*. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10152: *Níveis de ruído para conforto acústico*. Rio de Janeiro, 1987.

BATISTA, J. O.; LAMBERTS, R.; WESTPHAL, F. S. Avaliação de desempenho térmico de componentes construtivos utilizando o *EnergyPlus*. In: ENCAC-ELACAC 2005, 10, 2005, Maceió. *Anais...* Maceió: ENCAC-ELACAC 2005, 2005. p. 145 -154.

BELLEI, I. H.; PINHO, F. O.; PINHO, M. O. *Edifícios de múltiplos andares em aço*. São Paulo: Pini, 2004.

BITTENCOURT, Leonardo. *Uso das Cartas Solares: Diretrizes para Arquitetos*. Maceió: EDUFAL, 2000. 96p. 3. ed. rev.

BITTENCOURT, Leonardo; CÂNDIDO, Christhina. *Introdução à ventilação natural*. Maceió: EDUFAL, 2005. 147p.

BLOCO de concreto celular. Disponível em: <www.ceramicaforte.com.br/sical/det.htm>. Acesso em: 13 de março. 2007.

CAIADO, Kneipp de Figueiredo. *Estudo e concepção de edifícios em módulos pré-fabricados estruturados em aço*. 2005. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

CÂNDIDO, Chisthina Maria. *Ventilação natural e código de obras: uma análise da tipologia das aberturas nos edifícios de escritórios em Maceió/ AL*. 2006. 193 f. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do espaço habitado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

COELHO, Roberto de Araújo. *Vedações para edifícios em estruturas metálicas*. In: Seminário internacional da construção metálica, 2002, 3, 2002, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: Seminário internacional da construção metálica 2002, 2002. 48f.

COSTA, Regina Maria Xavier. *O uso de perfis tubulares metálicos em estruturas de edifícios e sua interface com o sistema de fechamento vertical externo*. 2004. 162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.

CHAPAS de drywall. Disponível em: <www.drywall.org.br>. Acesso em: 13 de março. 2007.

Termoroof EPS: Painel termoisolante para coberturas. Catálogo. Betim: Dânica, 2006.

PAINÉIS de cobertura: *Termoroof* PUR ou PIR. Disponível em: <www.danica.com.br>. Acesso em: 20 de janeiro 2008.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. *Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem*. São Paulo: Zigurate, 1998.

FANGER, P.O., *Thermal Comfort, Analysis and application in Environmental Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1972. 245p.

GRILLO, José Carlos Soares. *Reabilitação ambiental de edifício moderno: o caso do palácio Itamaraty*. 2005. 162 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

GRINGS, E. T. O.; BEYER, P. O. *Comparação entre resultados computacionais e experimentais do comportamento térmico de um ambiente*. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2003. CD-ROM.

HERTZ, John B. *Ecotécnicas em arquitetura: como projetar nos trópicos úmidos do Brasil*. São Paulo: Pioneira, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE – *Censo demográfico 2000: dados estatísticos da cidade de Mariana -MG*. Disponível em: <www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?codmun=314000&r=2>. Acesso em: 18 de março de 2007.

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).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 7730: Moderate thermal environments: Determination of the PMV and PPD índices and specification of the conditions for thermal comfort*. Geneva, 2005.

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

LOURA, Rejane Magiag. *Procedimento de identificação de variáveis e análise de sua pertinência em avaliações termo-energéticas de edificações*. 2006. 212 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Técnicas Nucleares) – Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

MAPA de localização da cidade de Mariana, MG. Disponível em: <www.idasbrasil.com.br/idasbrasil/cidades/mariana/port/chegar.asp>. Acesso em 22 de março de 2007.

MORAES, Flávia Rosindo de. *Uma contribuição ao estudo de projeto de empreendimentos em construção metálica – uma visão segundo a nova filosofia de produção*. 2000. 220 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2000.

MATOS, M.; WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS, R. Análise de área de abertura para ventilação na cidade de Florianópolis utilizando o programa COMIS/ *EnergyPlus*. In: ENCAC-ELACAC 2005, 10, 2005, Maceió. *Anais...* Maceió: ENCAC-ELACAC 2005, 2005. p. 1156 -1163.

OLIVEIRA, Thaisa Francis César Sampaio de. *Sustentabilidade e arquitetura: Uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil*. 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do espaço habitado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

PAES, J. L. R.; VERÍSSIMO, G. S. *Introdução ao estudo das construções metálicas*. Viçosa: Departamento de Engenharia Civil, 1998, 51 f. Notas de aula.

PAINEL de gesso acartonado. Disponível em: <www.knauf.com.br>. Acesso em: 15 de março de 2007.

POR DENTRO da tecnologia: Um cempes mais moderno. Revista Superinteressante, São Paulo, nov.2007. Disponível em: <[www.superabril.com.br/ por dentro da tecnologia/ info2007.html](http://www.superabril.com.br/por_dentro_da_tecnologia/info2007.html)>. Acesso em: 5 de abril de 2008.

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.

PINHEIRO, Antônio Carlos da F. B. *Estruturas Metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos*. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

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.

ROCHA, Marcus Vinícius Marques. *Avaliação pós-ocupação de edifício institucional estruturado em aço. O caso da sede da prefeitura municipal de Mariana, MG*. 2007.113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

REIS FILHO, N. G.. *Evolução urbana do Brasil: 1500-1720*. São Paulo: Pioneira, 1968.

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, Urânia Costa; SOUZA, Henor Artur de; NEVES, Francisco de Assis das. *Painéis de vedação e a construção industrializada em aço. Construção Metálica*. São Paulo, v. nov, n. mai/jun, p.34-39, 2001.

SOUZA, Henor Artur de; FREITAS, Arlene Maria Sarmanho; von KRUGER, Paulo Gustavo. *Desempenho de Painéis de Vedação*. Técnica, São Paulo, v. 56, n. 56, p. 78-81, 2001.

SILVA, Joene Saibrosa. *A eficiência do brise-soleil em edifícios públicos de escritórios: estudo de caso no plano piloto de Brasília*. 2007. 161 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SILVA, Maristela Gomes da; SILVA, Vanessa Gomes da. *Painéis de Vedação*. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2003. (Série Manual da Construção em Aço).

SOUZA, Valéria Moraes Balduino. *A influência da ocupação do solo no comportamento da ventilação natural e na eficiência energética das edificações. Estudo de caso em Goiânia – Clima tropical de altitude*. . 2006. 260 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

TRINDADE, Silene Cirne. *Simulação computacional como ferramenta de auxílio ao projeto: aplicação em edifícios naturalmente ventilados no clima de Natal/RN*. 2006. 138 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Programas: Analysis SOLAR, Arquitrop, E2-AC, Sunpath. Disponível em <<http://www.labee.ufsc.br/software/software>>. />. Acesso em: 05 agosto de 2007.

U. S. DEPARTAMENT OF ENERGY. EnergyPlus Energy Simulation Software. Disponível em <[http:// www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/](http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/)>. Acesso em: 10 março de 2008.

Von KRÜGER, P. *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.

WALLAUER, Maurício D.; BEYER, Paulo O. Utilização do programa *EnergyPlus* para a simulação do conforto térmico em edificações populares em quatro capitais brasileiras. In: ENCAC-COTEDI 2003, 11, 2003, Maceió. *Anais...* Curitiba: ENCAC-COTEDI 2003, 2003. p. 1170 -1177.