



**III ENCONTRO NACIONAL
I ENCONTRO LATINO-AMERICANO**
Gramado, RS, 4 a 7 de julho de 1995

**AValiaÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE AMBIENTES DO EDIFÍCIO
ANEXO DA ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DE BELO HORIZONTE, MG**

Giovani de Moraes SERRAVITE e Isabel Cristina Fontes COURA, estudantes
Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo
Escola de Arquitetura da UFMG - Rua Paraíba 697, Funcionários, Belo Horizonte, MG
30130-140 - Fax: (031) 261-7286 - Fone: 261-6841

RESUMO

Avalia-se o desempenho térmico do Edifício Tiradentes, um exemplo de tipologia de uso institucional em Belo Horizonte. O estudo do clima da cidade, através do Diagrama Bioclimático de Givoni e das Tabelas de Mahoney e a análise microclimática do entorno, por ensaio de insolação e ventilação em maquete, levaram a identificar ambientes críticos, quanto ao conforto higrotérmico. A análise, numérica do desempenho térmico de um destes, usando métodos heurísticos - que se aplicam a nossos objetivos mais que a exatidão numérica - integrou a pesquisa do conforto térmico natural ao condicionamento artificial existente. Verificou-se a influência do partido arquitetônico e do tipo de envoltórias na resposta microclimática interna e no consumo de energia para o condicionamento artificial. Testou-se dispositivos de proteção solar para as janelas, que revelaram-se, neste edifício, o principal ponto de controle de trocas térmicas.

ABSTRACT

This paper evaluates the thermal performance of Tiradentes Building, an example of institutional typology in Belo Horizonte (Brazil). The city climate was studied using the Givoni Bioclimatic Diagram and the Mahoney Tables. The microclimate of the surroundings was analysed, based on solar gain and ventilation simulations on a scale model. Taken together, these factors led us to identify critical rooms with regard to their thermal comfort. The numerical analysis of the thermal performance of one of these rooms by a heuristic approach - which we felt to be more relevant to our objectives than a mathematical approach - integrated the research of natural thermal comfort to the existing air conditioning. The influence of the architectural scheme and of the type of envelope on the internal microclimatic response was verified, and also on the power consumption of the air conditioning. Solar protection devices for windows were assessed, which showed these to be the main points to the thermal exchange control in this building.

PALAVRAS-CHAVE

Conforto térmico; ar condicionado; conservação de energia; Edifício Tiradentes

INTRODUÇÃO

Desenvolvido na disciplina de Conforto Ambiental, sob orientação dos professores Eleonora Sad Assis e Victor Mourthé Valadares, este trabalho avalia o desempenho térmico do Edifício, Tiradentes, exemplar de tipologia de uso institucional em Belo Horizonte. Este edifício foi considerado uma amostra válida da tipologia em questão por guardar uma grande similaridade formal e funcional com os demais edifícios de uso institucional existentes na cidade, permitindo a generalização das recomendações da análise quanto ao partido arquitetônico, tipo de envoltórias e do uso de proteção solar no desempenho térmico dos edifícios e na racionalização de energia operante, no caso, o uso do ar refrigerado.

Partindo do global para o específico, inicialmente foi feito um estudo do clima de Belo Horizonte, e -a seguir uma análise microclimática do entorno da edificação. Com estes procedimentos, foi identificado um ambiente crítico quanto ao conforto higrotérmico, cujo desempenho foi analisado, numericamente, utilizando métodos heurísticos. Estes se aplicam ao objetivo da pesquisa, já que aqui não se busca a exatidão numérica, mas os valores encontrados devem ter precisão suficiente para balizar a rápida tomada de decisões no projeto, quanto às variáveis do conforto ambiental.

ANÁLISE CLIMÁTICA DE BELO HORIZONTE E RECOMENDAÇÕES ARQUITETÔNICAS

Inicialmente é necessário caracterizar o clima da cidade onde se insere o edifício alvo. Belo Horizonte possui clima tropical de altitude, caracterizado por duas estações distintas: verão úmido (média mensal de 218,3 mm de precipitação) e inverno seco (média mensal de 26,6 mm de precipitação). As amplitudes térmicas diárias, mensais e anuais são pequenas, sendo a temperatura média no inverno de 19,3°C e no verão de 22, 1°C.

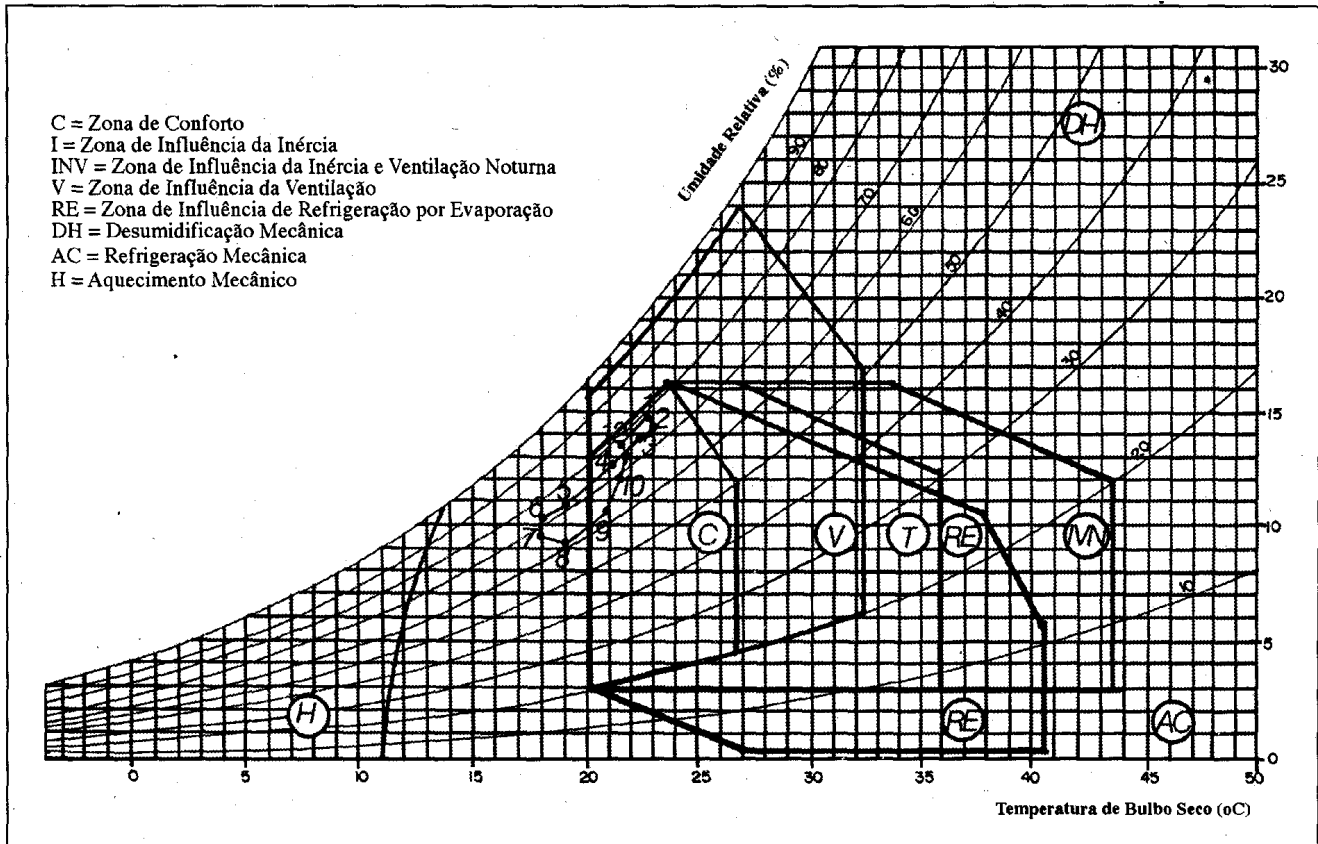


Figura 1. Diagrama bioclimático de Givone e Milne. Fonte: 2. (Obs.: Foram consideradas no diagrama apenas as variáveis Temperatura e U.R.)

Cruzando os resultados das análises do Diagrama Bioclimático de Givoni (figura 1) e das Tabelas de Mahoney, verificamos que a cidade de Belo Horizonte possui apenas quatro meses em que as condições climáticas naturais não se enquadram nos valores necessários à obtenção de conforto higrotérmico nas edificações: maio, junho, julho e agosto. Para a obtenção de conforto, é necessária, apenas, a utilização de certos parâmetros no objeto arquitetônico - orientação das fachadas, materiais utilizados nas envoltórias, qualidade das aberturas que possibilitem a retenção de calor no interior da edificação, apenas durante os meses citados, principalmente à noite. No verão, um cuidado especial deve ser tomado com a ventilação dos ambientes, uma vez que as médias caem muito próximas à zona de ventilação mecânica.

Contudo, deve-se tomar cuidados especiais para obter flexibilidade de tais soluções, para que não seja necessário resfriar os ambientes mecanicamente no verão. Utilizar brises móveis nas fachadas Norte, Leste e Oeste e um beiral grande na fachada Sul, bem como possibilitar ventilação cruzada, são soluções que podem apresentar bons resultados neste sentido. Este tópico merece atenção especial, pois pode evitar o uso desnecessário de métodos artificiais de resfriamento quando a atenção a soluções projetuais simples possibilitariam as condições de conforto nos meses de verão.

ANÁLISE MICROCLIMÁTICA DO ENTORNO E DETERMINAÇÃO DOS AMBIENTES CRÍTICOS

O Edifício Tiradentes, anexo da Assembléia Legislativa de Minas Gerais surgiu de um concurso público realizado entre arquitetos mineiros em 1984, para abrigar os gabinetes dos Deputados Estaduais. Compõe-se de 24 pavimentos: o pilotis (salas comerciais), o primeiro e segundo pavimentos (de uso comum), 26 pavimentos tipo (salas dos Deputados) e a cobertura (restaurante). Foi concebido para dar a sensação de ser um "prédio de esquina", e com o propósito inicial de usar condicionamento artificial do ar. Estas duas premissas, respectivamente, nortearam o Arquiteto na orientação das aberturas das salas para Nor-Nordeste e Leste-Sudeste, as duas fachadas principais, e na solução compacta da planta. (Figura 2). Com a preocupação de diminuir os gastos recorrentes da instalação do ar condicionado, o arquiteto substituiu o "pano de vidro" comumente utilizado em edifícios desta natureza por uma área de janelas bem menor.

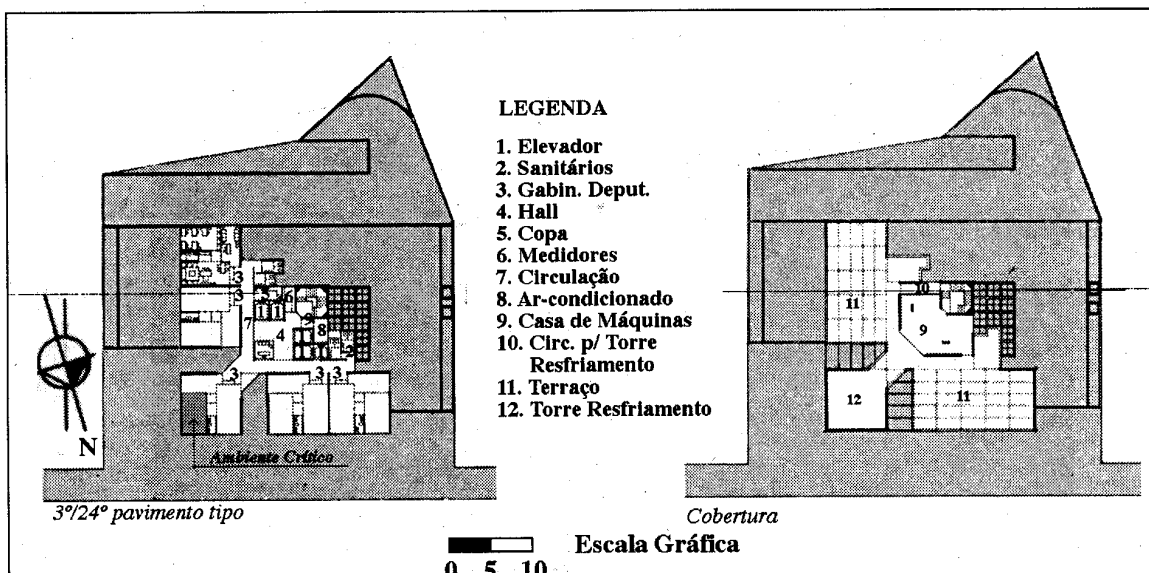


Figura 2. Planta Pavimento Tipo com ambiente crítico indicado, e planta de Cobertura. Fonte: 13

Observa-se que a fachada crítica quanto à recepção de radiação solar seria a Oeste-Noroeste, mas, propositalmente, ali estão localizadas poucas aberturas, e ambientes secundários e de permanência transitória. Portanto, as fachadas Leste-Sudeste e Nor-Nordeste ganham a designação de críticas, por terem a maior parte das salas de Deputados iluminadas através delas e por receberem sol em horários críticos. A fachada Leste-Sudeste recebe radiação solar crítica ($\geq 400\text{W/M}^2$) entre 6:50 h e 9:45 h nos equinócios e entre 6:15 h e 10:10 h no solstício de verão. A fachada Nor-Nordeste recebe insolação crítica de 8:10 h às 13:45 h, no solstício de inverno. (Figuras 3, 4 e 5). Observa-se que as sombras projetadas pelo entorno no edifício alvo, em horários críticos, só são significativas para algumas salas de pavimentos inferiores. Por isso, escolhemos estudar o ambiente de "esquina", que recebe radiação solar através das duas fachadas críticas. (Figura 2).

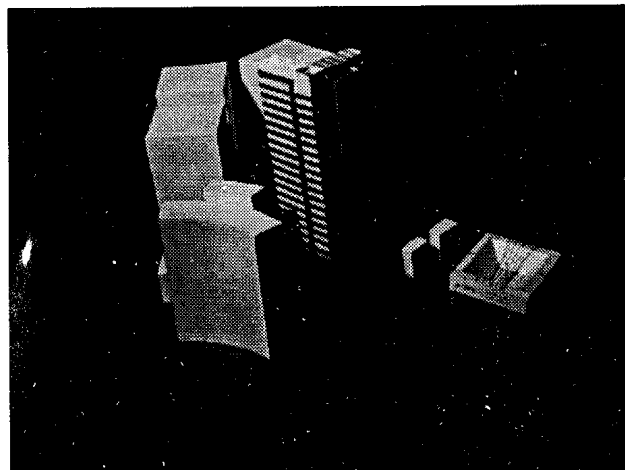


Figura 3. Ensaio de Insolação: Solstício de Verão.

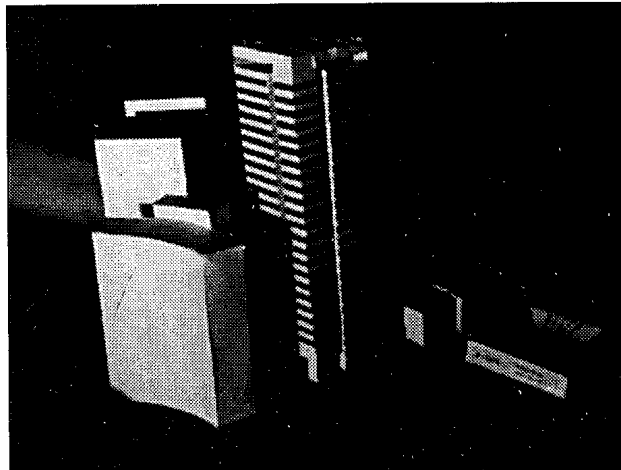


Figura 4. Ensaio de Insolação: Equinócio.

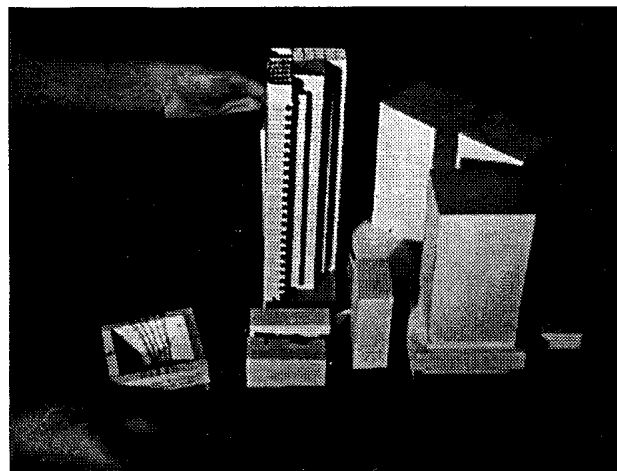


Figura 5. Ensaio de Insolação: Solstício de Inverno.

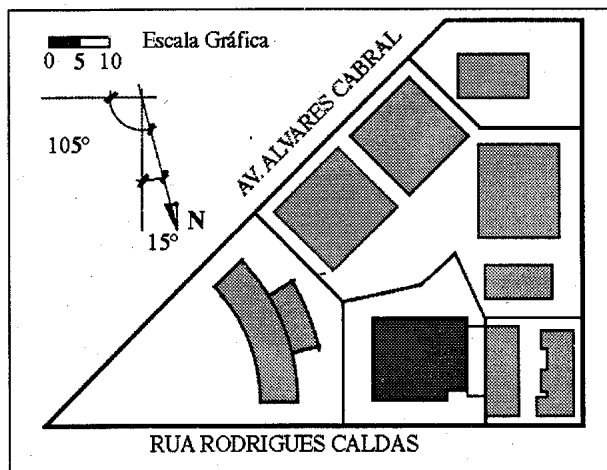


Figura 6. Planta de Situação

Através de ensaio fotográfico em maquete, considerando-se como direção dominante do vento, a Leste, e como direção secundária, a Sudeste, verificamos que o entorno funciona como provável barreira à ventilação natural do edifício, provocando vários efeitos: *Venturi, Barreira, Esteira, de Canto* (MASCARÓ, 1985). A densidade e altura dos edifícios contíguos dificultaria muito a ventilação natural (Figura 6).

ANÁLISE DO DESEMPENHO, TERMICO DO EDIFÍCIO ALVO

Hipótese de Cálculo. Para analisar o desempenho térmico do edifício, foi utilizado' o modelo de balanço térmico apresentado por FROTA e SCHIFFER (1988): No balanço térmico do ambiente, consideramos o uso do ar condicionado. Assim, a temperatura tende a ser sempre menor que a externa e $Q\Delta T$ passa a ser positivo (sempre ganho). A equação do balanço fica, deste modo:

$$QH + QIL + QAT + QE + QS = QV \quad (1)$$

Sendo:

- QH = calor obtido pela presença humana;
- QIL = calor ganho através dos equipamentos de iluminação;
- QAT = ganho de calor provocado pela diferença entre as temperaturas externa e interna;
- QE = calor cedido pelos equipamentos;
- QS = calor recebido pela radiação solar;
- QV = calor perdido através da ventilação.

Obtivemos, através de informações no local, a temperatura média interna (23°C) e a umidade relativa do ar (45% - média interna), oferecidas pelo equipamento de ar refrigerado. Utilizando o Quadro das Normas Climatológicas de Belo Horizonte, pudemos obter a temperatura externa crítica. Com isso, determinamos T, que, para edifícios que não possuem condicionamento artificial do ar, permaneceria como incógnita, no modelo utilizado. Estes dados foram utilizados para o cálculo do ganho de carga térmica obtido pela diferença de temperatura interna e externa ($Q\Delta T$). O ambiente pesquisado tem $Q\Delta T = 635\text{ W}$.

Verifiquem-se as características das envoltórias do edifício alvo, fato relevante nesta análise, nas figuras 7 e 8.

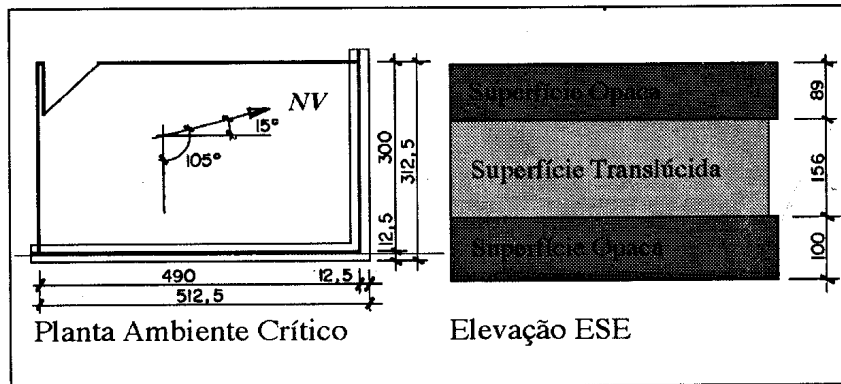


Figura 7. Planta Ambiente Crítico

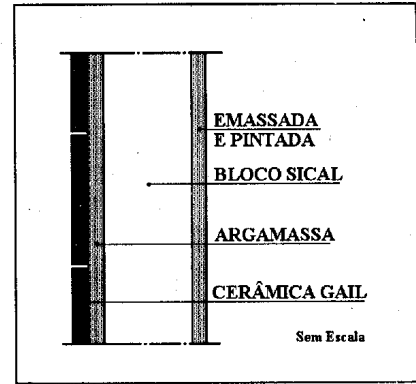


Figura 8. Corte materiais da parede

Como não obtivemos informações sobre a potência do ar refrigerado existente, consideramos a perda de carga térmica pela ventilação (QV) de acordo com o gráfico apresentado por FROTA e SCHIFFER (1988) citado em ASSIS (1992). O ar refrigerado hipotético provocaria uma perda de 1.167 W de calor.

Para os cálculos de ganho de carga térmica por radiação solar, não consideramos os ganhos de calor através da cobertura, o que se justifica por duas razões básicas: num edifício de muitos pavimentos, torna-se oneroso o dimensionamento de um mecanismo de manutenção das condições de conforto térmico em todos os pavimentos, considerando-se os ganhos através da cobertura. No nosso caso, seriam 23 pavimentos com mecanismos superdimensionados. Além disso, um pergolado que se estende sobre a cobertura (Figura 2) funciona como uma máscara contra a insolação e reduz consideravelmente o ganho de carga térmica através dela.



Figura 9. Proteção solar atual

Resultados. Considerando-se todos os ganhos térmicos ocorridos no ambiente em estudo verificamos que os ganhos mais significativos provêm da incidência de radiação solar. Enquanto a presença humana fornece 575 W, a iluminação 300 W, os equipamentos 350 W, e a diferença das temperaturas interna e externa 635 W, perfazendo um total de 1.860 W no horário crítico (das 7:00 h) o ganho de carga térmica pela incidência de radiação solar, sem proteção das janelas, chega a 4.627 W no horário crítico (das 8:00 h)¹.

Inicialmente consideramos este ganho (pela radiação solar) como uma incógnita, para observar se o aparelho de ar refrigerado foi bem dimensionado. Obtivemos que o ar refrigerado poderia suprir apenas uma carga térmica, devido à radiação solar, de 693 W, estando muito aquém das necessidades. Assim sendo, decidimos propor uma proteção solar para as janelas mais eficiente que a atual (figura9), porém que não interferisse externamente na fachada do edifício. A proteção escolhida² funciona como um sistema de *microbrises* verticais e horizontais composto.

Confrontando os dois resultados - carga térmica por radiação solar incidente obtida com e sem proteção - pudemos ver a importância da utilização da proteção solar no prédio. A carga crítica com a proteção desceu para 318 W às 7:00 h, valor quase 15 vezes mais baixo que a situação real simulada. Se a proteção fosse utilizada, teríamos uma diminuição no ganho de carga térmica total no horário

mais crítico de 4627 W para 2.178 W, ou seja, o aparelho de ar refrigerado estaria ainda subdimensionado, mas suprindo em torno de 54% das necessidades, contra 18% sem a proteção proposta.

CONCLUSÃO

¹ Quando do cálculo de ganho de calor do ambiente através das paredes, encontramos horário crítico de 7:00 h na hipótese com proteção e de 8:00 h sem a mesma. Isto se deve a modificações nos ângulos solares ocasionadas pela forma constituinte do brise proposto.

² A solução Koolshade@ (9120) consiste de telas de micro-persianas de bronze montadas em perfis de alumínio extrudado ALCOA, que são instalados na parte externa das janelas, bloqueando a entrada de raios solares dentro do edifício. O sistema permite sombra total dentro do ambiente quando a altura do sol é superior a 31°; para alturas inferiores, a sombra varia de 50% a 100%. Com Koolshade@ somente 17% do calor solar atingindo o vidro é absorvido pelo ambiente, comparado com 81% das janelas sem proteção. Sendo assim, a capacidade instalada de sistemas de ar condicionado pode ser reduzida sensivelmente; em termos gerais pode ser reduzido 1 TR de capacidade de refrigeração a cada 7 M² de Koolshade@ instalado. Em edificações existentes aproximadamente 22% dos gastos com energia elétrica pode ser economizado com sua instalação. (dados do fabricante)

Verificamos que é quase economicamente inviável instalar um sistema de ar condicionado ou refrigerado central num edifício que não foi pensado para tal, pois tais equipamentos requerem uma infra-estrutura previamente instalada, uma opção de partido arquitetônico e a previsão de espaços apropriados ao caminhamento de dutos e às máquinas. Os principais itens, do geral ao particular, a serem observados, são:

Partido Arquitetônico. Um partido arquitetônico que induza a uma *planta compacta*, que ofereça a menor superfície de contato com o ambiente externo, favorece a utilização de aparelhos de refrigeração de ar em dois aspectos: diminuirá o incremento de carga térmica por radiação solar e reduzirá o comprimento da tubulação do sistema. A *opção prévia* pelo uso do sistema de refrigeração orientará a concepção funcional dos pavimentos. Ambos fatores implicarão na redução de custos, item que interessa à totalidade dos empreendedores comerciais.

Proteção das Envoltórias. Nosso estudo revela que, neste tipo de uso e sob o clima de Belo Horizonte, a *proteção das envoltórias contra a carga devida à insolação* se faz necessária, já que esta é responsável pela maior parcela de calor "indesejável" no sentido de se alcançar o conforto no ambiente construído. É uma recomendação que se aplica de forma genérica.

Aspectos Funcionais. Um edifício concebido para ter sistema de condicionamento de ar deve prever, em sua concepção, um espaço em que possam ser colocadas as torres de arrefecimento, levando-se em conta, as implicações estéticas, acústicas e de manutenção, além, é claro, das características quanto, à ventilação adequada das mesmas com vistas às trocas de calor com o ambiente externo. Deve prever, ainda, um pé-direito que permita o caminhamento dos dutos sem que o pé-direito mínimo legal seja invadido, além dos *shafts* para a distribuição dos dutos de água gelada para os respectivos *fan-coils* em cada pavimento do edifício.

Constatamos a importância de haver maior consciência dos arquitetos com relação à relevância da adequação do partido arquitetônico, desde as pesquisas iniciais, às questões concernentes ao conforto térmico. Isto evitaria gastos, transtornos e falta de conforto ambiental no interior da maior parte das edificações de nossa cidade.

A importância de um método isento de rigor matemático, como o utilizado nesta pesquisa, reside em sua flexibilidade de aplicação. Como se trata de um método heurístico, pode ser utilizado em estudo de ambientes com ventilação natural ou artificial, com ganho ou perda de calor do interior com relação ao exterior, bastando representar estas situações na hipótese matemática. Além disto, pode ser aplicado em qualquer tipologia, não havendo especificidade rígida em sua utilização.

AGRADECIMENTOS

Ao Arquiteto *Flávio Almada*, agradecemos a autorização para o uso de seu projeto para nosso estudo de caso, e à colaboração através da cessão de plantas e escolha do edifício estudado. À Professora *Eleonora Assis*, agradecemos a orientação no desenvolvimento do trabalho, dentro da cadeira de Conforto Ambiental, e o esforço em nos orientar na elaboração deste artigo, mesmo à distância. Ao *Laboratório de Fotodocumentação da EAUFMG*, agradecemos o apoio na produção do material fotográfico que compõe o trabalho.

01. ASHRAE. *guide and data book 1971; Fundamentals and equipment*. New York: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, 1971.
02. ASSIS, Eleonora S. de. *Apostila de tabelas e dados básicos [Módulo Conforto Térmico]*. Belo Horizonte: EAUFMG, 1992.
03. BELO HORIZONTE, Prefeitura Municipal. *Código de obras*. Belo Horizonte: PMBH, 1930-62, 172 p.
04. BELO HORIZONTE, Secretaria de Desenvolvimento Urbano. *Uso e ocupação do solo urbano de Belo Horizonte*. Belo Horizonte: SMDU, 1985. 252 p.
05. CREDER, Hélio. *Instalações de Ar Condicionado*. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988. 361 p.
06. FROTA, Anésia Barros. e SCHIFFER, Sueli Ramos. *Manual de conforto térmico*. São Paulo: Nobel, 1988. 288 p.
07. KOOLSHADE. *Sistema de Controle solar*. Darion Comércio e Representações Ltda. São Paulo. s/ d. [texto xerocopiado]
08. MASCARÓ, Lúcia Raffo. *Energia na edificação, estratégia para minimizar seu consumo*. São Paulo: Projeto, 1985. 136 p.
09. _____ *Luz, clima e arquitetura*. São Paulo: Nobel, 1983. 189 p.
10. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. *Normais Climatológicas (1931-60)*. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Meteorologia, 1984. 3 ed.
11. RIVERO, Roberto. *Arquitetura e clima; acondicionamento térmico natural*. Porto Alegre: D. C. Luzzatto, 1986. 239 p.
12. SERRAVITE, Giovani de Moraes. COURA, Isabel Cristina Fontes. SILVA, Míriam. FREITAS, Renata Guzella de. CONCEIÇÃO, Roberta Oliveira. *Análise do comportamento do recinto urbano e do desempenho térmico de uma edificação*. Belo Horizonte: EAUFMG, out. 1993. 47 p. [Trabalho apresentado à disciplina de Conforto Ambiental].
13. WOLF, José. A tradução do lugar. IN: *Arquitetura e Urbanismo*. São Paulo: Pini, 1990. n. 32. p. 26-31