

RAPHAEL PALMIERI NETO

CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA EM UM EDIFÍCIO

COMERCIAL PELO PROGRAMA BLAST

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção de título de
graduação em engenharia mecânica.

São Paulo
1998



Aos meus pais, que sempre me
incentivaram e que são a razão da
minha existência. Minha dívida de
gratidão para com eles é eterna.

AGRADECIMENTOS

Ao grande amigo e orientador Prof. Dr. Alberto Hernandez Neto pela permanente ajuda e incentivo para a conclusão deste trabalho.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram na execução deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	6
RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. FUNDAMENTAÇÃO.....	13
2.1. CONFORTO TÉRMICO	13
2.2. QUALIDADE DO AR.....	14
2.3. ESTIMATIVA DAS TROCAS TÉRMICAS	16
2.4. CONDIÇÕES DE PROJETO	18
2.5. TRANSMISSÃO TÉRMICA.....	19
2.6. CARGAS DE VENTILAÇÃO E DE INFILTRAÇÃO.....	20
2.7. CARGA RESULTANTE DA GERAÇÃO INTERNA DE CALOR	21
2.8. CARGA TÉRMICA DA INSOLAÇÃO ATRAVÉS DE SUPERFÍCIES TRANSPARENTES.....	24
2.9. CARGA DE INSOLAÇÃO EM SUPERFÍCIES OPACAS	25
3. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA BLAST.....	29
4. DADOS DE ENTRADA DO PROGRAMA.....	32
5. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES.....	38
5.1. SIMULAÇÃO DE UM ANDAR TÍPICO.....	38
5.2. SIMULAÇÃO DE UM RECINTO CÚBICO DE 3M.....	43
5.2.1. <i>Influência da espessura de parede no perfil de temperatura.....</i>	<i>43</i>
5.2.2 <i>Influência de janelas e sua localização no perfil de temperatura.....</i>	<i>45</i>
5.2.3 <i>Influência da absorvância para as superfícies laterais e teto no perfil de temperatura.....</i>	<i>46</i>
5.3. CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA E PERFIL DE TEMPERATURA EM UM EDIFÍCIO COM 15 ANDARES.....	48
5.3.1. <i>Cálculo da carga térmica variando-se a temperatura de projeto</i>	<i>48</i>
5.3.2. <i>Cálculo da carga térmica variando-se a área de janela</i>	<i>52</i>
5.4. CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA COM PORCENTAGEM DE AR DE RETORNO.....	54
6. CONCLUSÕES.....	64
ANEXO 1.....	67
ANEXO 2.....	74
BIBLIOGRAFIA.....	80

Lista de tabelas

Tabela 1 - Materiais de construção para um andar típico.....	33
Tabela 2 - Condições climáticas de um dia típico de verão da cidade de São Paulo.....	34
Tabela 3 - Dados de entrada para a primeira simulação no BLAST.....	35
Tabela 4 - Materiais de construção para o recinto cúbico.....	36
Tabela 5 - Dados de entrada para a segunda simulação no BLAST.....	37
Tabela 6 - Carga térmica máxima do 7º andar para diferentes temperaturas de projeto....	56
Tabela 7 - Condições ótimas para diferentes temperaturas de projeto.....	63

Lista de figuras

Figura 1 - Efeito da radiação solar em superfícies opacas[1].....	26
Figura 2 - Fluxo de calor através de paredes de mesmo U, mas de massas diferentes.....	27
Figura 3 - Gráfico da influência da infiltração sobre a temperatura.....	39
Figura 4 - Gráfico da influência da ventilação sobre a temperatura.....	40
Figura 5 - Gráfico da influência da temperatura de entrada do ar de ventilação sobre a temperatura interna do recinto.....	41
Figura 6 - Gráfico da influência da infiltração frente à ventilação.....	42
Figura 7 - Gráfico da influência da espessura da parede sobre o perfil de temperatura interna.....	44
Figura 8 - Gráfico da influência de janelas sobre o perfil de temperatura interna.....	45
Figura 9 - Gráfico da influência da absorvância sobre o recinto cúbico, fixada a absorvância da parede em 0,9.....	46
Figura 10 - Gráfico da influência da absorvância sobre o recinto cúbico, fixada a absorvância do teto em 0,9.....	47
Figura 11 - Gráfico da carga térmica total por zona para diferentes temperaturas de projeto.....	48
Figura 12 - Gráfico da carga térmica total para o 7º para diferentes temperaturas de projeto.....	50
Figura 13 - Gráfico da carga térmica de resfriamento para 3 andares fixada a temperatura de projeto.....	51

Figura 14 - Carga térmica de resfriamento para diferentes áreas de janela em função da % área do piso.....	52
Figura 15 - Perfil de temperatura ao longo do dia para diferentes áreas de janela em função da % área do piso.....	53
Figura 16 -Diagrama esquemático do sistema de ventilação de um andar do edifício com tubulação de retorno.....	55
Figura 17 - Carga térmica para duas temperaturas de projetos variando-se a umidade relativa para diferentes porcentagens da vazão de retorno de ar.....	57
Figura 18 - Carga térmica para duas temperaturas de projetos variando-se a umidade relativa para diferentes porcentagens da vazão de retorno de ar - condições críticas de projeto.....	58
Figura 19 - Carga térmica para a mesma umidade relativa variando-se a temperatura de projeto em função da vazão de retorno de ar.....	59
Figura 20 - Carga térmica para a temperatura de projeto variando-se a umidade relativa em função da vazão de retorno de ar.....	60
Figura 21 - Ponto ótimo para diferentes temperaturas de projeto variando-se a temperatura de insuflamento do ar no ambiente condicionado.....	62

RESUMO

Atualmente, os sistemas de condicionamento de ar mostram-se aptos a atenderem as necessidades surgidas nas últimas décadas, que, neste caso, referem-se ao conforto térmico das pessoas nos ambientes condicionados, aliado a um consumo cada vez menor de energia.

Objetivando o estudo de sistemas de condicionamento de ar e seu consumo de energia, utilizou-se o software BLAST a fim de se obter os quesitos relevantes do ambiente a ser condicionado, a fim de compará-los e verificar a veracidade dos mesmos.

Para a realização deste trabalho, existiram três objetos de estudo diferentes: um andar típico de um edifício comercial, um recinto cúbico de 3m e um edifício comercial com 16 andares. O primeiro deles versou sobre ítems que influenciam no recinto, tais como infiltração, ventilação (vazão e temperatura de entrada de ar) e comparação ventilação x infiltração.

Já o estudo do recinto cúbico serviu para a constatação da resposta do software à radiação incidente. Para tal, realizaram-se três testes, sendo eles: influência da espessura de parede no perfil de temperatura, influência de janela(s) no perfil de temperatura e absorvância das superfícies.

Por fim, a última simulação - a mais abrangente de todas - compreendeu a observação da influência da área de janela no edifício, o perfil de temperaturas e das cargas térmicas para diferentes andares, avaliação da carga térmica para diferentes temperatura de projeto que propiciaram a determinação do ponto ótimo de trabalho do sistema.

ABSTRACT

Nowadays, the air conditioning systems are able to fulfill the necessities raised in the last decades, that, in this case, are referred to thermal comfort of people in conditioned rooms, allied to a much less energy consumption.

In order to study air conditioning systems and its energy consumption, the software BLAST was used to obtain relevant aspects about the conditioned room so as to compare and verify the veracity of them.

In order to accomplish the work, three different subjects were made use: a typical floor of a commercial building, a 3m cubic room and a commercial building of 16 floors. The first of them dealt with items that have influence in the room, such as infiltration, ventilation (flow and entrance air temperature) and ventilation x infiltration comparison.

The cubic room served as a mean to verify the output of BLAST when it comes to radiation. In order to achieve it, three different tests were made: influence of the wall thickness in the temperature, influence of window(s) and absorptance of surfaces.

In the end, the last simulation dealt with the influence in the window area of the building, temperature and cooling load for different floors, cooling load for different design temperatures that lead to the determination of the optimal operation point.

1. Introdução

Frente às inovações tecnológicas ocorridas principalmente neste século, o homem pôde adequar ao seu dia-a-dia novos experimentos até então inexistentes. Sejam essas tecnologias para o seu ambiente de trabalho ou para simples diversão, elas foram se incorporando de tal forma que hoje em dia seria impossível o homem viver sem algumas, como por exemplo os automóveis.

A refrigeração e o condicionamento de ar também incluem-se nesse parâmetro. Enquanto que a refrigeração está mais ligada a processos tanto industriais (por exemplo frigoríficos) quanto residenciais (geladeiras, freezers), o condicionamento de ar está muitas vezes ligado ao conforto térmico de seus ocupantes, estejam eles numa indústria, residência, edifícios comerciais ou automóveis.

O condicionamento de ar em edifícios comerciais na cidade de São Paulo é um assunto de grande importância tendo em vista os custos ligados à instalação e manutenção e operação (gastos com energia) do equipamento. Por outro lado, esses ambientes se tornariam totalmente impossíveis de se trabalhar em dias de verão, tendo em vista a transferência e absorção de calor irradiado (como em uma estufa, o calor irradiado pelo sol é absorvido e liberado, porém fica confinado ao ambiente que deste modo eleva sua temperatura).

Tendo em vista o conforto dos seus ocupantes, os sistemas de ar condicionado são projetados de tal forma que seus ocupantes estejam trabalhando em um ambiente agradável e o consumo seja o menor (ou o mais otimizado para determinada situação) possível. Particularmente, o consumo de energia é de suma importância, uma vez que as fontes de geração de energia estão se tornando cada vez mais escassas e portanto o preço da mesma tem se elevado. Portanto, a definição da planta central do sistema de ar condicionado visa manter as características pré-determinadas no projeto com o mínimo de consumo de energia.

Devido à grande quantidade de energia gasta em condicionamento de ambientes, com o objetivo de torná-los termicamente confortável, foram desenvolvidos vários softwares com o intuito de simular as construções e seus equipamentos de aquecimento e refrigeração em condições climáticas pré-determinadas, de modo a prever as condições internas da edificação bem como o consumo de energia de seus equipamentos.

Os programas foram desenvolvidos em sua maioria nos Estados Unidos, e portanto numa cultura diferente da nossa. Características típicas de suas construções, condições climáticas próprias, informações detalhadas sobre os materiais de construção mais utilizados e dados meteorológicos completos de diversas cidades dos Estados Unidos são facilmente encontrados.

O programa BLAST (Building Load Analysis and System Thermodynamics) foi desenvolvido pela *U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory*

(USACERL) com o intuito de calcular as cargas térmicas de um ambiente sujeito a radiação solar e simular a instalação de um sistema de ventilação acoplado a uma planta central de refrigeração, de modo a calcular o consumo de energia do sistema e verificar a sua viabilidade ou não. Em particular nesse objeto de estudo, o BLAST servirá para calcular a carga térmica de um andar típico em um edifício comercial dadas as condições de entrada, e posteriormente, a simulação de um sistema de ventilação e de uma planta central de refrigeração para a avaliação do seu consumo de energia.

2. Fundamentação

Os edifícios são construídos de forma a proporcionar um ambiente interno seguro e confortável, independente das condições exteriores. Um projeto pode ser considerado satisfatório se propiciar a manutenção de condições internas favoráveis de um modo econômico.

A seguir, alguns parâmetros que influenciam estas condições internas serão apresentados.

2.1. Conforto Térmico

O calor que é gerado continuamente pelo corpo deve ser eliminado a fim de que a temperatura interna se mantenha constante.

Os parâmetros ambientais que afetam a liberação de calor são: a temperatura do ar, a temperatura das superfícies circundantes, a umidade e a velocidade do ar. A quantidade de ocupantes, o nível de vestimenta do ocupante do recinto e o seu nível de atividade interagem com os parâmetros acima. No projeto de um sistema de ar condicionado, entretanto, o objetivo é controlar estes quatro parâmetros ambientais visando o conforto térmico dos ocupantes do recinto condicionado.

2.2. Qualidade do ar

A qualidade do ar deve ser garantida em um ambiente interno que se pretenda seja são e confortável. As fontes de poluição podem ser tanto internas (cigarro, respiração humana, máquinas que liberam produtos tóxicos à saúde, etc.) quanto externas (poluição de processos industriais e dos automóveis nas grandes cidades). Em ambos os casos, a qualidade do ar pode ser garantida pela remoção do contaminante ou por sua diluição. Nesse sentido, a ventilação exerce um papel muito importante.

Ventilação é definida como o mecanismo pelo qual o ar é fornecido a um recinto, seja por meios naturais ou mecânicos. Em geral, o ar de ventilação é constituído de ar externo e de ar recirculado. O ar externo tem por objetivo a diluição do contaminante. Na maioria dos casos, a ventilação é realizada para eliminar odores ou irritações da parte superior do canal respiratório, em vez de eliminar contaminantes nocivos à saúde. No entanto, esses contaminantes não devem ser menosprezados.

A ventilação é responsável por uma parte significativa da carga nos equipamentos de refrigeração e aquecimento. Assim, a ocupação dos espaços e a sua ventilação devem ser cuidadosamente examinadas. Se, por exemplo, em uma parte do edifício são permitidos fumantes e em outras não, conclui-se que as taxas de ventilação não devem ser uniformes. A possibilidade de filtrar e limpar o ar, permitindo a sua recirculação, deve também ser examinada. A recirculação de ar pode ser vantajosa para conservar energia quando, por exemplo, o ar externo encontra-se a temperaturas muito baixas ou muito altas.

A norma ASHRAE recomenda o seguinte critério para determinação da taxa de recirculação[1]:

$$\dot{V} = \dot{V}_r + \dot{V}_m \quad (1)$$

onde: \dot{V} = taxa de suprimento de ar (l/s);

\dot{V}_r = taxa de recirculação de ar (l/s);

\dot{V}_m = mínima taxa de ar externo para uma dada aplicação.

Segundo a equação acima, percebe-se que o montante de ar que entra no ambiente é parte recirculado (isto é, o ar interno que passa pela planta central e é resfriado) e parte do ar externo. Logicamente, o ar recirculado é “contaminado” uma vez que o mesmo sai do ambiente condicionado e volta para o mesmo, enquanto que o ar externo é “puro”. Porém, o ar recirculado já está a uma temperatura mais baixa, isto é, mais próxima à temperatura de projeto do ambiente, o que não ocorre com o ar externo que tem uma diferença de temperatura maior.

Analisando-se as considerações feitas acima, a ventilação tem papel importante no consumo de energia do sistema de condicionamento de ar. Se deseja-se que a taxa de suprimento de ar seja alta, isto é, que o ambiente a ser condicionado seja mais “puro”, deve-se aumentar a taxa de ar externo que adentra o ambiente e portanto, como a diferença da temperatura é maior, a planta central consome mais energia para resfriá-lo. Do mesmo modo, se o ambiente não precisa de uma taxa “alta” de suprimento de ar, a

taxa de ar recirculado deve ser maior e portanto o consumo de energia é menor uma vez que o ar já está previamente resfriado.

2.3. Estimativa das Trocas Térmicas

A transferência de calor através das paredes de um edifício depende do material; de aspectos geométricos como tamanho, forma e orientação; da ocorrência de fontes internas de calor (pessoas circulando e equipamentos que dissipam calor) e de fatores climáticos (umidade do ar, temperatura externa, estação climática do ano, etc.). O projeto do sistema exige que cada um desses fatores seja estudado e que suas interações sejam cuidadosamente avaliadas, de modo que a temperatura do ambiente interno já pré-determinada no projeto do sistema se mantenha constante (ou dentro de uma faixa de temperatura) frente às fontes de geração de calor internas e externas.

O objetivo principal do cálculo das trocas térmicas é a estimativa da capacidade dos diversos componentes do sistema, necessária para manter um determinado nível de conforto no ambiente. As condições externas padrão de projeto para a temperatura, a umidade e a insolação podem ser encontradas em manuais tais como o manual da ASHRAE[2].

Embora uma série de procedimentos tenham sido desenvolvidos para o cálculo da carga térmica, aqui será adotado aquele proposto pela ASHRAE[2]. Salvo pequenas diferenças, todos os métodos baseiam-se na determinação, de maneira sistemática, dos fatores que afetam as trocas térmicas, que são divididos em quatro categorias (cargas):

Transmissão: Transferência de calor devido à diferença de temperatura por meio do componente ou elemento do edifício. Essa carga é devida basicamente à convecção externa, uma vez que a temperatura do meio exterior é maior que a do interior, ocasionando a troca térmica. Esse calor recebido é então transmitido por condução ao meio interno e novamente, tem-se um processo convectivo de transferência de calor. Logicamente, quanto maior a diferença de temperatura entre os meios interior e exterior, maior a transferência de calor entre os ambientes e maior o consumo de energia para manter a temperatura interna constante.

Solar: Transferência de energia solar através de um componente do edifício que seja transparente, ou absorção dessa energia por um componente opaco. Essa troca de calor se dá devido a radiação solar incidente em uma parede do edifício (janelas e superfície exterior). No caso de paredes, a radiação incidente faz a temperatura de parede aumentar e portanto ocasiona a condução para o ambiente interno (nem todo o calor irradiado na parede é transmitido por condução para o interior do edifício. Parte é transferido ao meio externo por convecção). Já para janelas, a radiação solar incidente é parte refletida, parte absorvida (parcela pequena dependendo das características do vidro) e parte transmitida para o meio interior.

Infiltração: Perda ou ganho de calor pela infiltração de ar externo no recinto condicionado. Como já foi discutido anteriormente, o ar externo que entra no recinto deve

ser resfriado e portanto gasta-se energia para tal feito. Em contrapartida, há uma renovação do ar interno.

Geração Interna: Resultante da liberação de energia no interior do recinto. Para estimar a troca térmica resultante da geração interna, deve-se primeiramente identificar e então quantificar os componentes que influenciam na mesma. Como principais fatores temos: pessoas, equipamentos elétricos e luzes. No caso de pessoas, deve-se estimar um número médio de pessoas que circulam no recinto. No caso de equipamentos elétricos e luzes deve-se estimar a potência dissipada por efeito Joule, e qual porcentagem dessa potência é considerada no cálculo da carga térmica. Tanto para pessoas, como para equipamentos elétricos e luzes deve-se determinar o período o qual essa carga atuará, ou seja, o período de ocupação dos ambientes condicionados.

Como resultado das trocas térmicas a temperatura do recinto variará, a menos que o equipamento de refrigeração opere no sentido de manter a temperatura em um nível desejado.

2.4. Condições de Projeto

As condições de projeto geralmente especificadas no cálculo das cargas térmicas de aquecimento e resfriamento são as temperaturas de bulbo seco interna e a umidade

relativa. Para resfriamento, por exemplo, uma temperatura interna entre 24 e 26°C e uma umidade relativa entre 50 e 60% é uma condição comumente usada em projetos.

As condições limite para a carga de resfriamento estão relacionadas com os extremos da intensidade de radiação solar em vez da temperatura de bulbo seco externa. Assim, é necessário realizar alguns cálculos preliminares para diferentes horas do dia, ou dias do ano, para obter a carga térmica de resfriamento máxima. A carga térmica de resfriamento depende da localização geográfica e da orientação do recinto focado (norte, sul, leste, oeste, nordeste, ...).

Particularmente neste objeto de estudo, será utilizado os perfis de irradiação solar, temperatura e umidade externa de um dia típico de verão na cidade de São Paulo para avaliar a carga térmica em um edifício comercial.

2.5. Transmissão Térmica

Há várias maneiras de se calcular a transmissão térmica de um meio para outro. Dependendo da complexidade e do número de componentes envolvidos no cálculo, alguns métodos se mostram mais apropriados para determinadas situações ou modelos.

O método das funções de transferência é aquele utilizado pelo BLAST. Esse método aplica uma série de fatores (pesos), ou coeficientes de funções de transferência do recinto, para valores do ganho de calor e carga de resfriamento de horas prévias até horas atuais; esses fatores dão conta do efeito térmico em converter ganho de calor para cargas de resfriamento. Tais pesos especificamente relatam a geometria espacial do recinto,

configuração, massa, e outras características do espaço, a fim de refletir as variações numa base de tempo, ao invés de uma média.

Esses coeficientes relatam uma função de saída para o valor de uma ou mais funções que regem a troca de calor em um determinado tempo. A função de transferência descrita nesse item não difere dos fatores de resposta térmica usados para calcular trocas de calor por condução e pesos para obter componentes da carga de resfriamento.

2.6. Cargas de Ventilação e de Infiltração

A penetração de ar externo no recinto afeta tanto a temperatura do ar como sua umidade. É comum na prática fazer a distinção entre esse dois efeitos.

Dá-se o nome de *calor sensível* ao efeito que a temperatura tem sobre a troca de calor, isto é, devido à diferença de temperatura há transferência de calor.

Dá-se o nome de *calor latente* ao efeito que a diferença de massa tem sobre a troca de calor, isto é, se a pressão parcial do vapor do ar externo for diferente da do ar interno, haverá transferência de massa.

Assim, por exemplo, a transmissão de calor através da estrutura e a insolação são cargas sensíveis, enquanto que as cargas internas originárias da ocupação do recinto por pessoas apresentam tanto componentes sensíveis quanto latentes (as pessoas tem sua temperatura corporal mais alta que a do ambiente e perdem massa quando transpiram por exemplo).

A infiltração é definida como a penetração não controlada de ar externo no recinto, sendo resultante de “forças naturais” como o vento e o efeito de empuxo resultante da diferença de temperatura entre o ar exterior e o interior por exemplo. Particularmente, em termos do presente texto, ventilação referir-se-á à entrada intencional de ar externo no edifício, realizada por meios mecânicos. Evidentemente, o ar que entra deve sair, quer por meios naturais (como as fugas), quer por meios mecânicos (como os exaustores).

2.7. Carga Resultante da Geração Interna de Calor

As principais fontes de geração interna de calor são luzes, ocupantes e equipamentos de operação interna (computadores por exemplo). As cargas resultantes da geração interna de calor são significativas em edifícios comerciais. A quantidade de calor ganha pelo espaço proveniente das lâmpadas depende da potência delas e do tipo de conexão elétrica utilizado. No caso de uma lâmpada fluorescente a energia dissipada pelo reator deve ser considerada na carga térmica. Como a carga resultante da iluminação é significativa, a sua estimativa deve ser feita com cuidado. A parcela de calor liberado pelas lâmpadas na forma de radiação não representa uma carga instantânea do sistema de ar condicionado. A energia radiante proveniente das lâmpadas é inicialmente absorvida pelas paredes, piso e mobília do recinto, elevando a temperatura desses componentes a uma taxa que depende de sua massa. À medida que sua temperatura superficial aumenta, o calor trocado por convecção com o ar ambiente é também aumentado, passando a constituir

uma carga adicional ao sistema de ar condicionado. Assim, em virtude da massa dos componentes que absorvem a radiação proveniente das lâmpadas, ocorre um retardamento entre o instante de acionamento das luzes e a liberação de energia por elas dissipada para o sistema. Pela mesma razão, a carga térmica resultante das lâmpadas persiste mesmo quando elas são desligadas. Na estimativa da carga térmica produzida pelas lâmpadas, os aspectos acima relatados devem ser incluídos. Uma forma desta carga ser equacionada é apresentada abaixo[1]:

$$Q=(\text{potência nominal da lâmpada}) \cdot (f) \cdot (F_r) \cdot (\text{FCR}) \quad (2)$$

onde : f = fator de utilização ou fração das lâmpadas instaladas que são realmente operadas;

F_r = fator do reator para lâmpadas fluorescentes = 1,2 para a maioria destes sistemas;

FCR = fator de carga térmica de refrigeração (tabela Ref.[1])

Já para pessoas, a estimativa já é mais difícil devido ao número de ocupantes ser desconhecido. Segundo a ASHRAE, o uso do fator de carga de refrigeração para a obtenção de uma melhor estimativa de carga térmica é recomendado, segundo segue-se abaixo[1]:

$$Q=q.n.(FCR) \quad (3)$$

onde : Q = Carga sensível de resfriamento devido a ocupantes

q = Calor liberado por ocupantes

n = N° de pessoas

FCR = fator de carga térmica de refrigeração (tabela Ref.[1])

O BLAST leva em consideração a energia interna liberada por ocupantes e equipamentos elétricos. De modo a simplificar o problema a ser estudado, a taxa de geração interna de calor será tida como constante, isto é, o número de ocupantes do ambiente assim como a dissipação de calor por luzes e equipamentos elétricos não modificarão ao longo de um determinado período de tempo (dia típico de verão durante o período de ocupação do recinto). Sabe-se que nem toda a energia gerada é transformada em calor (como no caso das luzes por exemplo que parte de sua energia serve para iluminação do ambiente), e portanto são adicionadas ao software “fatores de correção”, tais como o nível de atividade das pessoas, porcentagem de energia que é convertida em calor e radiação térmica, entre outros.

A carga térmica resultante da geração interna de calor é significativa e, portanto, deve ser avaliada cuidadosamente, apesar das incertezas envolvidas no cálculo.

2.8. Carga Térmica da Insolação Através de Superfícies Transparentes

A transferência de calor resultante da insolação de uma superfície depende das características físicas dessa superfície. As propriedades óticas de uma superfície são relacionadas pela equação abaixo[1]:

$$\tau + \rho + \alpha = 1 \quad (4)$$

onde : τ = transmissividade;

ρ = refletividade;

α = absorvidade;

O valor de cada uma dessas propriedades afeta significativamente a transferência de calor por insolação.

Para superfícies transparentes, como uma janela, a energia solar que atravessa a superfície, q_{janela} , em Watts, é dada por [2]:

$$q_{janela} = A.(\tau.I_t + N.\alpha.I_t) = A.I_t.(\tau + N.\alpha) \quad (5)$$

onde: I_t = irradiação da superfície exterior, W/m^2 ,

N = fração da energia solar absorvida que é transmitida para o ambiente interno por condução e convecção,

h_e = coeficiente de transferência de calor na superfície externa, $W/m^2.\text{°C}$

Em condições de regime permanente é possível demonstrar que N é igual a U/h_e , onde : U = coeficiente global de troca de calor[2]. Escrevendo a equação abaixo, temos:

$$q_{sg} = A.I_t \left(\tau + \frac{U \cdot \alpha}{h_e} \right) \quad (6)$$

Logicamente, se houver sombreamento interno, deve ser utilizado um fator (CS-coeficiente de sombreamento) que corrige os resultados obtidos.

Como a energia solar que adentra o recinto não é uma carga térmica instantânea, um fator adicional deve ser considerado. A energia radiante é inicialmente absorvida pelas superfícies interiores, resultando uma elevação da temperatura dessas superfícies a uma taxa que depende da capacidade térmica das paredes. Assim, a transferência de energia solar para o ambiente é retardada com um intervalo de tempo que pode ser significativo, razão pela qual um fator de carga de resfriamento (FCR) é geralmente introduzido no cálculo da carga térmica de resfriamento resultante da insolação de janelas.

2.9. Carga de Insolação em Superfícies Opacas

O processo de transferência de energia solar para o recinto através de uma parede opaca é ilustrado na figura abaixo[1]. Uma parte da energia solar é refletida e a restante absorvida. Da energia absorvida, uma parte é transmitida por convecção e outro por

radiação para o meio exterior. A restante é transmitida para o interior ou absorvida temporariamente.

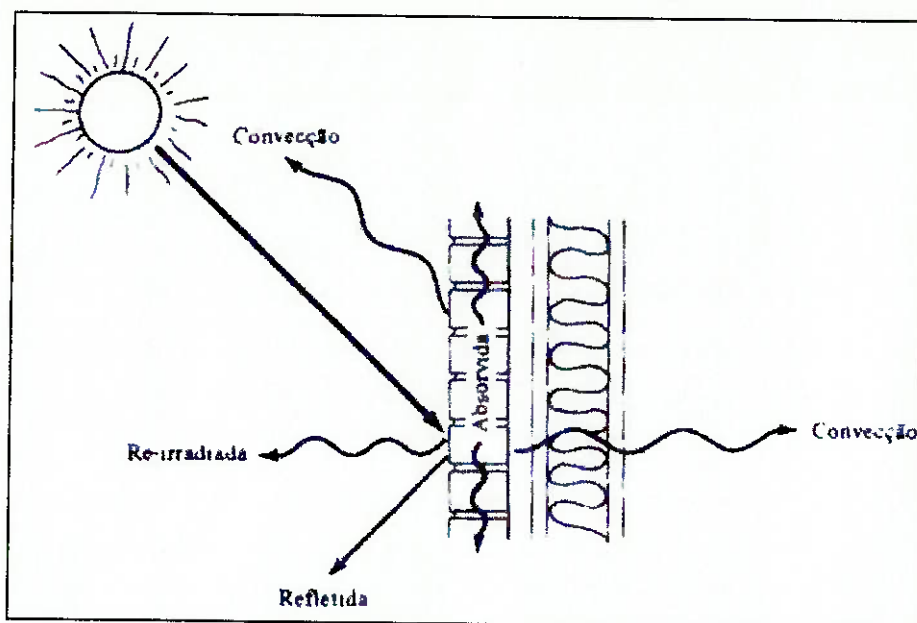


Figura 1 - Efeito da radiação solar em superfícies opacas[1].

Para paredes e telhados, em que a transmissividade, τ , será considerada nula para as análises aqui feitas, vale a seguinte relação[1]:

$$\rho + \alpha = 1 \quad (7)$$

Em paredes opacas, o efeito do armazenamento térmico pode ser significativo, resultando daí uma estimativa exagerada do calor trocado quando se utiliza simplesmente a diferença de temperatura $t_{eq} - t_i$. A fim de incluir o efeito de armazenamento térmico da

estrutura, uma diferença de temperatura equivalente foi introduzida, a denominada *diferença de temperatura para a carga de refrigeração (DTCR)*, que leva em consideração tanto o calor recebido por insolação quanto a capacidade térmica da parede.

A necessidade de incluir os efeitos transitórios é ilustrada pelos resultados apresentados na figura abaixo. Nela, o fluxo de calor através de duas paredes com o mesmo valor de U , mas com massas diferentes, é colocado em um gráfico em função do tempo. Pode-se observar que o fluxo de calor máximo para a parede de menor massa é maior, ocorrendo antes que o máximo da parede de maior massa.

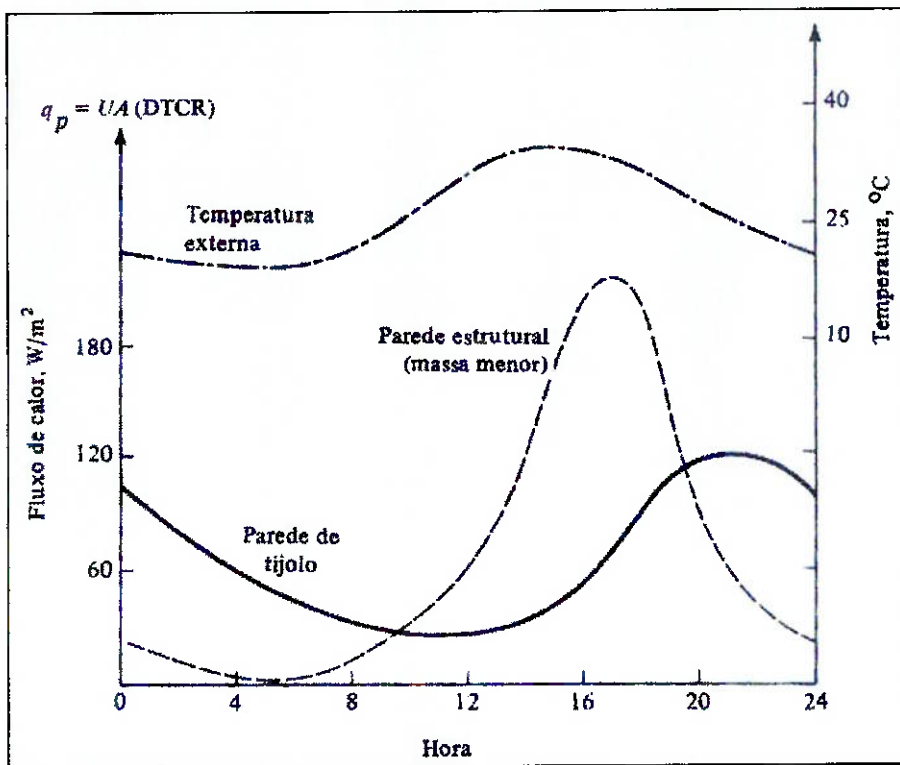


Figura 2 - Fluxo de calor através de paredes de mesmo U , mas de massas diferentes.

O fluxo de calor através da parede quando se considera o armazenamento térmico é dado por[1]:

$$q_p = U \cdot A \cdot (DTCR) \quad (8)$$

3. Descrição do Programa BLAST

Este é um programa de última geração que faz simulações do sistema de condicionamento térmico de edificações. O BLAST faz uma análise precisa das cargas térmicas em zonas, incluindo transferência de calor (nas superfícies mais externas da zona, no piso, no teto e nas divisórias internas) em regime transitório e de radiação dentro da zona.

O BLAST pode ser dividido em três partes basicamente: a primeira faz o cálculo da carga térmica ou da temperatura interna da zona; a segunda simula o sistema de ventilação e; a terceira simula a planta central.

Na primeira parte, para o cálculo da carga térmica ou da temperatura interna da zona, utiliza-se o método de balanço de calor baseado na primeira lei da termodinâmica (conservação de energia). A transferência de calor por radiação é linearizada para simplificar os cálculos. Tem-se uma equação de balanço de calor para cada superfície e mais uma para a temperatura do ar na zona. Resolvendo o conjunto de equações, obtém-se a temperatura das superfícies e a temperatura interna da zona (ou da carga que precisa ser retirada/adicionada à zona caso sua temperatura interna seja conhecida/controlada).

O BLAST possui uma biblioteca que contém as propriedades de todos os materiais, paredes, tetos e piso listados no *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) Handbook of Fundamentals*.

Quanto à simulação de uma zona térmica, o BLAST realiza um completo balanço de calor convectivo, de condução e de radiação para cada superfície e um balanço de calor no ar do recinto. Este balanço de calor inclui as cargas transmitidas, radiação solar, ganhos internos, infiltração, e a estratégia de controle de temperatura usada para manter a mesma constante. Muitas das características importantes da simulação dessas cargas estão resumidas abaixo:

- Fatores de resposta e funções de transferência condutiva de todas as superfícies das zonas são calculadas;
- As áreas sombreadas são calculadas para todas as superfícies externas;
- O fluxo de radiação solar transmitido através de janelas, com ou sem sombras interiores (cortinas por exemplo);
- Fatores de forma aproximados são usados para calcular a transferência de calor entre as superfícies das zonas e entre as superfícies externas (paredes, tetos, janelas) e a terra e o céu;
- O efeito da rugosidade superficial e variações de hora em hora da velocidade do vento na parede externa do edifício são levados em consideração para calcular o coeficiente de transferência de calor convectivo (coeficiente de película);
- O coeficiente de transferência de calor convectivo da superfície interna para tetos e pisos é ajustado baseado no fato das superfícies em contato estarem mais quentes ou mais frias que o ar;
- A transferência de calor entre zonas de temperaturas diferentes é avaliada;

- Frações de radiação, convecção e latente de calor transferido por pessoas, luzes e equipamentos são calculadas. Esses ganhos internos devem ser alocados diferentemente para cada hora do dia e cada dia da semana;
- As cargas calculadas de cada zona podem ser armazenadas em arquivo. Esses arquivos podem então ser utilizados para examinar sistemas de ventilação alternativos, eliminando a necessidade de recalcular as cargas das zonas.

Quanto à simulação dos sistemas de distribuição de ar (sistemas de ventilação), uma vez que as cargas das zonas já foram calculadas, as mesmas precisam ser traduzidas em vazões de água quente, água fria, e ou vapor; demanda elétrica ou de gás em uma planta central ou sistema. Isto é feito usando os princípios básicos de balanço de massa e calor na simulação do sistema pelo BLAST. Há vários tipos de sistemas de ventilação que o BLAST pode analisar e que serão detalhados posteriormente.

Uma vez que o sistema de ventilação já foi pré-definido, a planta central deve ser simulada de modo a determinar o consumo de energia do sistema de ar condicionado e verificar se esta planta é uma boa alternativa, tanto do ponto de vista técnico como econômico. A simulação da planta central do BLAST pode simular qualquer sistema que seja composto por componentes o BLAST reconheça, como por exemplo torres de resfriamento, geradores de turbina a gás, geradores de turbina a vapor, entre outros...

4. Dados de Entrada do Programa

Nesta primeira parte deste estudo, foram feitas simulações no BLAST de modo a verificar o perfil da temperatura de saída em função do tempo. A primeira delas foi a simulação de um andar típico na cidade de São Paulo, variando apenas dois parâmetros: ventilação e infiltração. A segunda simulação efetuada visou avaliar a resposta do BLAST (temperatura no interior de um recinto cúbico de 3m) frente a diferentes materiais. Para ambos os casos, as condições climáticas apresentadas foram as mesmas (temperaturas máxima e mínima, velocidade e direção do vento, entre outras). As explicações detalhadas de tais simulações encontram-se abaixo. A seguir simulou-se um edifício comercial com 15 andares mais um térreo, procedendo a alguns testes como: influência da área de janela sobre o perfil de temperatura, e influência da temperatura de projeto sobre a carga térmica total de resfriamento.

Para a primeira simulação, deve-se determinar a configuração geométrica de um andar típico de um edifício comercial. As dimensões desse andar são (40 x 48 x 3)m com uma área envidraçada de 15% da área do piso, segundo o disposto no Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo.

As características dos materiais utilizados para a composição da parede e das janelas estão dispostas na tabela abaixo:

Tabela 1 - Materiais de construção para um andar típico.

Material	Espessura(mm)	$c_p(\text{J/kg}\cdot^\circ\text{C})$	$k(\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C})$	$\rho(\text{kg/m}^3)$	Rugosidade
Granito	10	740	3,5	2700	Rugoso
Argamassa	20	780	0,8	1790	Rugoso
Concreto	140	750	1,5	2250	Rugoso
Gesso	10	1090	0,52	1300	Rugoso
Vidro	4	890	0,27	1250	Liso

A superfície das paredes exteriores, expostas à radiação solar e ao vento, constitui-se de granito, argamassa, concreto e gesso. A ordem das camadas aqui apresentado é iniciada pela camada mais externa indo para a mais interna. Vale salientar que essas camadas são típicas da construção civil para edifícios comerciais.

As janelas são constituídas por vidro, com transparência de 70% e espessura de 4mm, conforme visto na Tabela 1.

O piso e o teto são constituídos por uma camada de concreto, conforme a tabela acima (Tabela 1).

Uma vez determinadas as características físicas do andar típico, foram definidas as condições climáticas de um dia de verão típico de São Paulo[2]. Os dados utilizados para o ensaio no BLAST foram os seguintes:

Tabela 2 - Condições climáticas de um dia típico de verão da cidade de São Paulo.

Temperatura Máxima	29 °C
Temperatura Mínima	19 °C
Temperatura de Bulbo Úmido	23 °C
Dia	15 de Fevereiro
Pressão Atmosférica	92660 Pa
Velocidade do Vento	2,1 m/s
Direção	Nordeste
Claridade	100% (sem nuvens ou chuva)

Por último, foram definidas as cargas térmicas de geração interna (pessoas, luzes e equipamentos elétricos) e a infiltração de ar externo no recinto. Como já foi dito anteriormente, essas cargas foram admitidas constantes durante o período de ocupação do andar (8:00hs às 17:00hs) de modo a simplificar a resolução do problema. Dessa forma, o número de pessoas admitido foi 100 à um nível de atividade equivalente ao trabalho de escritório leve (0,13); a taxa de iluminação adotada foi de 40 W/m^2 , sendo que 20% dessa energia é destinada à iluminação do recinto. Além disso, fixou-se a energia liberada por todos os equipamentos desse andar em 10.000W, correspondente ao uso de 100 microcomputadores liberando 100W cada. Já com relação à infiltração, a mesma foi considerada constante e igual a $1\text{m}^3/\text{h}$ durante todo o período do dia, de modo a aproximar a simulação do modelo frente à realidade.

Todos os dados de entrada foram guardados em arquivo sobre o nome de “ed1.bin”, cuja listagem se encontra ao final do trabalho no Anexo 1.

Realizada a primeira simulação, foram feitos vários testes variando-se apenas a vazão de infiltração no recinto de $1\text{m}^3/\text{h}$ para $10\text{m}^3/\text{h}$ e $100\text{m}^3/\text{h}$. Ainda para o caso da simulação de um andar, fixou-se a infiltração em $1\text{m}^3/\text{h}$ e variou-se a ventilação (os valores utilizados para o cálculo foram de $1\text{m}^3/\text{h}$, $10\text{m}^3/\text{h}$ e $34\text{m}^3/\text{h}$) para a mesma temperatura $T=25^\circ\text{C}$. Numa terceira etapa, fixou-se a infiltração em $1\text{m}^3/\text{h}$ e a ventilação em $34\text{m}^3/\text{h}$ e, variou-se a temperatura de entrada do ar externo (10°C , 15°C e 25°C). A tabela abaixo ilustra os dados de entrada acima citados e os arquivos cujos dados estão armazenados. Vale salientar que o valor de $34\text{m}^3/\text{h}$ é um valor considerado como valor padrão para o projetista.

Tabela 3 - Dados de entrada para a primeira simulação no BLAST.

Arquivo do BLAST	Infiltração	Vazão (m^3/h)	Ventilação	Vazão (m^3/h)	Temperatura de entrada
Ed1.bin	Sim	1	Não	0	---
Ed2.bin	Sim	10	Não	0	---
Ed3.bin	Sim	100	Não	0	---
Ed4.bin	Sim	1	Sim	1	25°C
Ed5.bin	Sim	1	Sim	10	25°C
Ed6.bin	Sim	1	Sim	34	25°C
Ed7.bin	Sim	10	Sim	34	25°C
Ed8.bin	Sim	1	Sim	34	15°C
Ed9.bin	Sim	1	Sim	34	10°C

Os arquivos da Tabela 3 acima encontram-se no disquete avulso no final deste trabalho.

A segunda etapa deste projeto visou simular um recinto cúbico de 3m, utilizando os mesmos parâmetros climáticos da etapa anterior. Desta vez, primeiramente alterou-se a espessura da parede; e então, fixando-se uma espessura, adicionou-se uma janela na face oeste do recinto, e depois uma janela na face leste. As tabelas abaixo explicitam os dados de entrada e os arquivos cujos dados estão armazenados:

Tabela 4 - Materiais de construção para o recinto cúbico.

Material	Espessura(mm)	cp(J/kg.°C)	k(W/m ² .°C)	ρ(kg/m ³)	Rugosidade
Concreto	e	750	1,5	2250	Rugoso
Vidro	4	890	0,27	1250	Liso

Obs. : * À espessura (e) foram atribuídos 3 valores: 70, 140 e 280mm;

* A parede externa, o piso e o teto são constituídos de uma camada de concreto com espessura (e).

Tabela 5 - Dados de entrada para a segunda simulação no BLAST.

Arquivo do BLAST	Espessura (mm)	Janela	Face
cubo7.bin	70	Não	---
cubo14.bin	140	Não	---
cubo24.bin	280	Não	---
c14jo.bin	140	Sim	Oeste
c14jol.bin	140	Sim	Oeste e Leste

Obs. : * A área da janela é de 2,72 m² (equivalente a 15% da área do piso).

Os arquivos da Tabela 5 acima encontram-se no disquete avulso no final deste trabalho.

Todos os dados de entrada foram guardados em arquivo. A listagem que se encontra ao final do trabalho no Anexo 2 corresponde ao arquivo "c14jol.bin", o último indicado na tabela.

No terceiro estágio desse trabalho foi simulado um edifício comercial, cuja composição é de 16 andares (15 andares mais um térreo) e é semelhante ao andar típico. Como o andar térreo está em contato com o solo, definiu-se uma temperatura de solo de 21,5°C no verão, superfície a qual o andar está em contato e troca calor por convecção e condução. As outras condições são idênticas às do andar típico.

5. Resultados Obtidos e Discussões

Após a simulação dos parâmetros de entrada armazenados em arquivos, o BLAST cria um arquivo, de mesmo nome que aquele que o originou, porém com a terminação “.bot” (BLAST output). De posse desses dados de saída, utilizou-se a interface gráfica do Microsoft Excel para comparar os resultados obtidos e analisar os efeitos causados no recinto frente às variações realizadas nos diversos parâmetros mencionados anteriormente.

5.1. Simulação de um andar típico

Para a simulação de um andar típico de um edifício comercial na cidade de São Paulo, foram apresentados quatro gráficos comparativos de modo a explicitar os fatores relevantes ou irrelevantes do processo.

Em primeiro lugar, comparou-se a influência da infiltração em função da temperatura interna do recinto, conforme a figura abaixo:

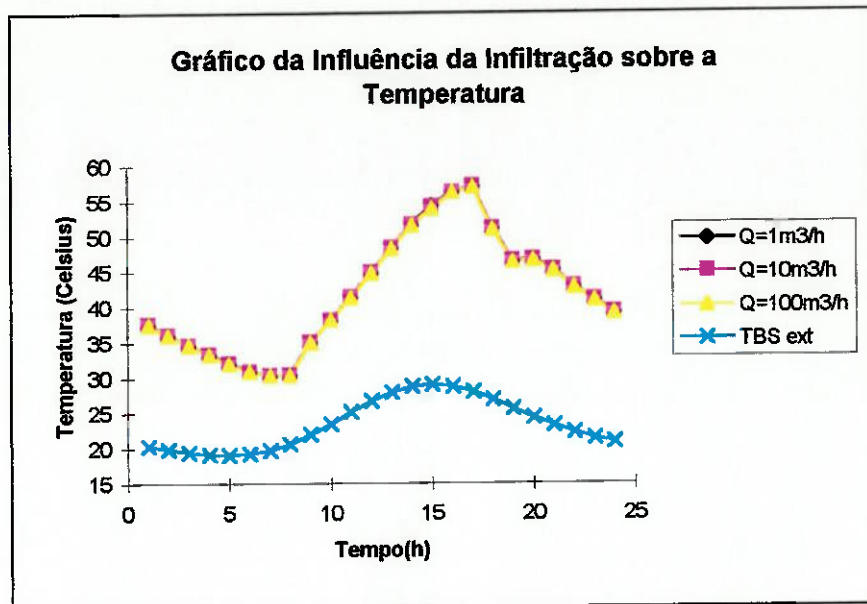


Figura 3 - Gráfico da influência da infiltração sobre a temperatura.

Segundo a figura acima, percebe-se claramente que a infiltração não exerce influência alguma sobre a temperatura interna do recinto, mesmo para a vazão de $100\text{m}^3/\text{h}$, que é impossível de ocorrer tendo em vista as dimensões do recinto e a própria definição de infiltração, isto é, o ar que entra ou escapa por frestas de portas e janelas de um recinto.

Em segundo lugar, comparou-se a influência da ventilação sobre a temperatura interna do recinto, conforme a figura abaixo:

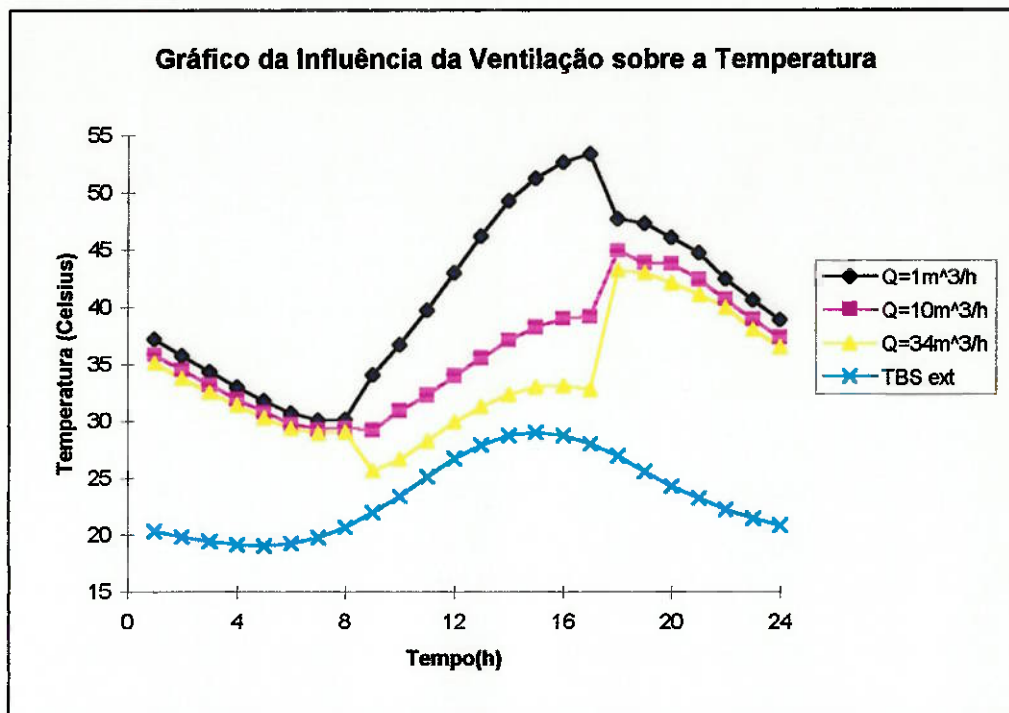


Figura 4 - Gráfico da influência da ventilação sobre a temperatura.

Diferente da infiltração, a ventilação altera bastante o perfil de temperatura, e percebe-se que quanto maior a ventilação, mais se aproxima a temperatura do recinto da temperatura ambiente. Outra importante característica a destacar nessa figura é o fato de que, às 8, há um decréscimo brusco da temperatura interna ($Q=34\text{m}^3/\text{h}$) e que, às 17 horas, há um salto na temperatura interna do recinto ($Q=10\text{m}^3/\text{h}$ e $Q=34\text{m}^3/\text{h}$). Isso se deve ao fato de que a ventilação desse recinto se dá no horário comercial. A vazão de $1\text{m}^3/\text{h}$ não permite que tal fato ocorra visto que a mesma é extremamente baixa frente ao volume total do recinto (5760m^3).

Em terceiro lugar, comparou-se a influência da temperatura de entrada do ar de ventilação sobre a temperatura interna do recinto, conforme a figura abaixo:

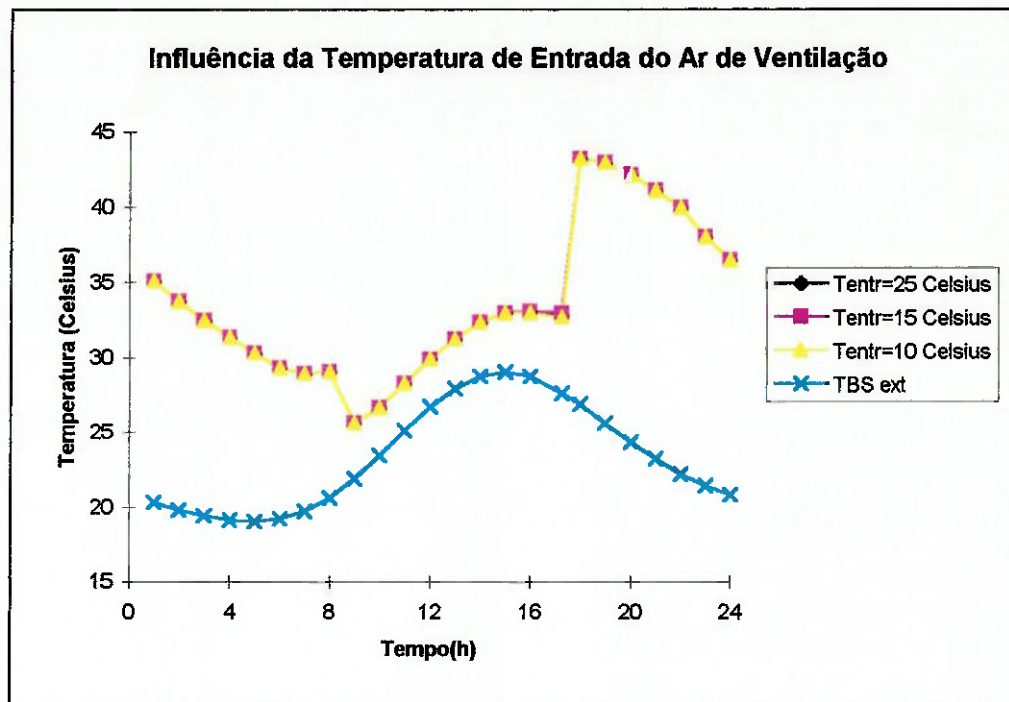


Figura 5 - Gráfico da influência da temperatura de entrada do ar de ventilação sobre a temperatura interna do recinto.

Analisando-se a figura acima, percebe-se que a temperatura de entrada do ar de ventilação não influencia sobre a temperatura do recinto (para este caso, foi fixada a vazão de $34\text{m}^3/\text{h}$). O resultado está dentro do esperado pois, o ar que entra no recinto advindo de ventilação externa deve estar à temperatura ambiente, e portanto, qualquer variação sobre a temperatura de entrada desse ar, seja ela acima ou abaixo da temperatura ambiente, deve manter o mesmo perfil de temperatura ao longo do tempo. Isto mostra que esta variável, no balanço de energia, não está sendo considerada adequadamente pelo BLAST.

E em último lugar, simulou-se a influência da infiltração frente à ventilação, conforme a figura abaixo. A ventilação foi fixada em 34 m³/h durante o período de ocupação do andar.

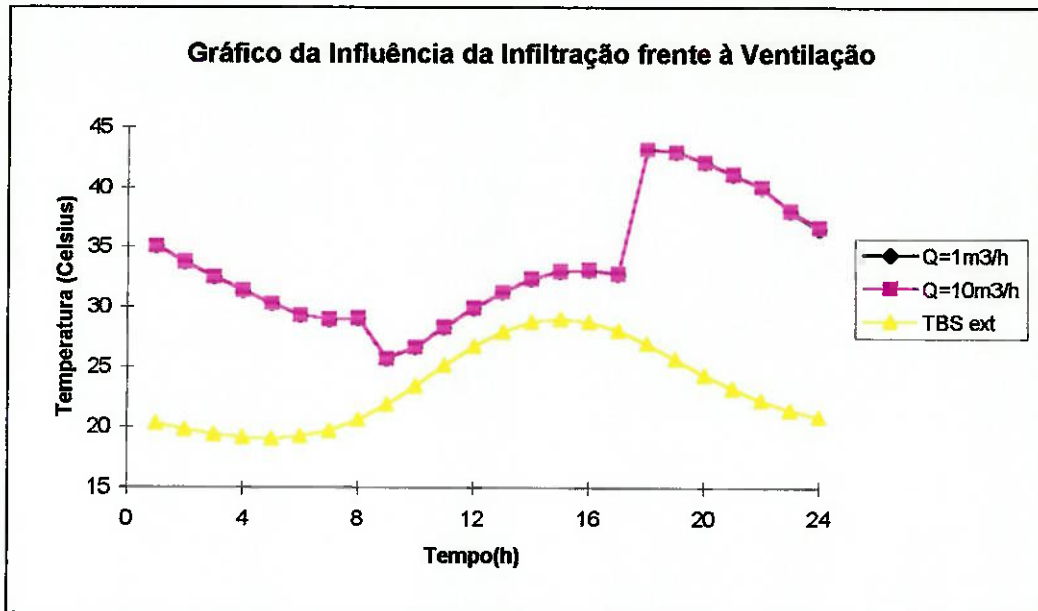


Figura 6 - Gráfico da influência da infiltração frente à ventilação.

Novamente, percebe-se claramente que a infiltração não desempenha papel importante se comparada à ventilação. Como no primeiro caso estudado, a infiltração não altera o perfil de temperatura ao longo do dia. Isto mostra que, para a modelagem feita pelo BLAST, não há participação significativa da infiltração no balanço de energia.

5.2. Simulação de um recinto cúbico de 3m

Para a simulação de um recinto cúbico de 3m, foram apresentados um total de quatro gráficos comparativos de modo a explicitar a influência dos vários fatores que alteram o perfil de temperatura interna do recinto.

Foram apresentados gráficos comparativos de forma a validar o BLAST com relação aos quesitos: espessura da parede, influência de janela e localização da mesma e, absorvância de uma superfície, de modo a verificar como o BLAST responde variando-se esses fatores, conforme segue abaixo.

5.2.1. Influência da espessura de parede no perfil de temperatura

Em primeiro lugar, comparou-se a influência da espessura de parede sobre o perfil de temperatura interna do recinto, e obteve-se a seguinte figura abaixo:

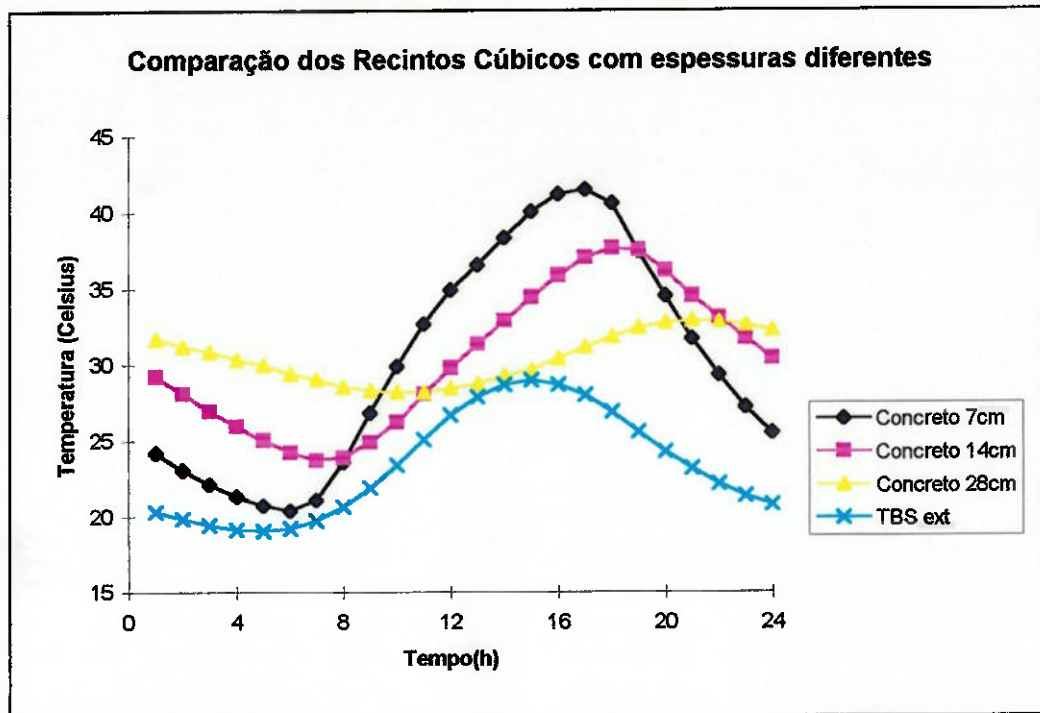


Figura 7 - Gráfico da influência da espessura da parede sobre o perfil de temperatura interna.

Nota-se da figura acima que: quanto maior a espessura de parede,

- Maior a defasagem entre os pontos de máxima temperatura ambiente e máxima temperatura do recinto;
- Menor é o pico de temperatura (isto é, a temperatura máxima);
- Menor é a variação de temperatura ao longo do dia;
- Maior é a média de temperatura do andar ao longo do dia (os valores calculados das médias pelo Excel foram 24,9°C; 29,8 °C; e 32,0 °C na ordem crescente de espessura de parede).

Tendo em vista todos os fatores explicitados acima, pode-se concluir que os resultados obtidos foram bastante satisfatórios. Isto pode ser justificado em função do fato que com o aumento da espessura da parede, a sua inércia também aumenta, provocando retardamento dos horários de ocorrência de picos de temperatura, bem como na sua intensidade.

5.2.2 Influência de janelas e sua localização no perfil de temperatura

Em segundo lugar, comparou-se a influência da presença ou não de janelas sobre o perfil de temperatura interna do recinto, e obteve-se a seguinte figura abaixo:

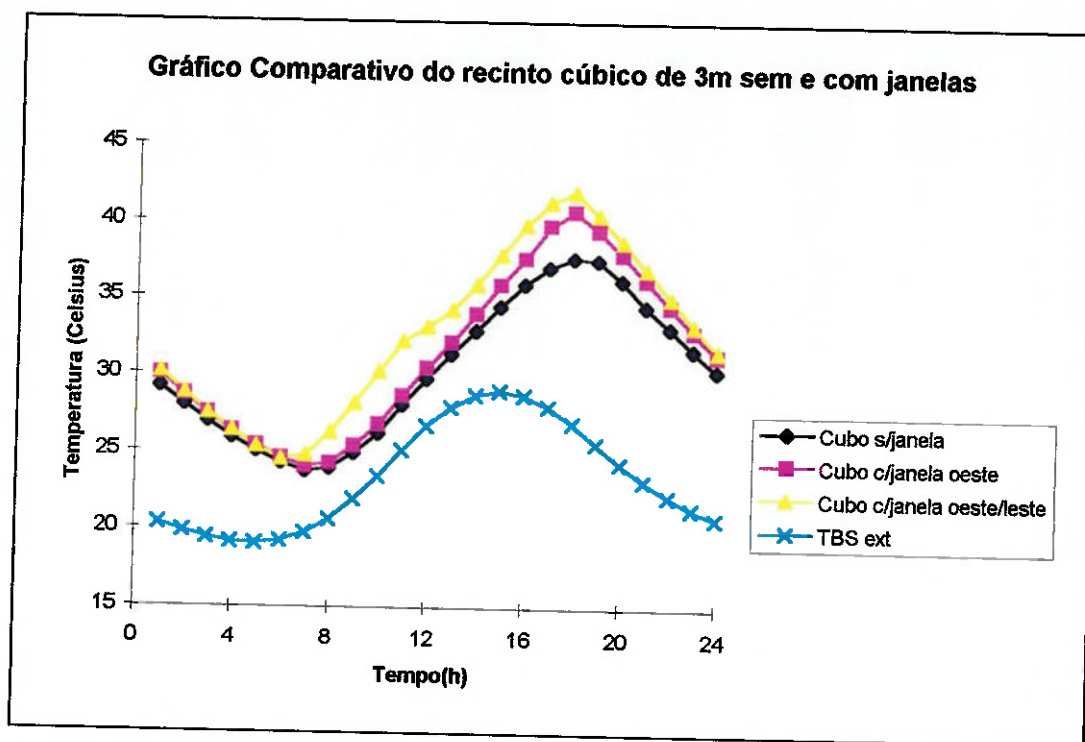


Figura 8 - Gráfico da influência de janelas sobre o perfil de temperatura interna.

Um fato marcante neste gráfico é que, em qualquer período, a presença de janelas só fez com que aumentasse a temperatura interna do recinto. Isto é bastante lógico e previsível visto que a radiação, que antes era submetida à resistência térmica da parede, já não é mais, pois o vidro, além de ter uma resistência térmica menor, permite a passagem de parte da radiação incidente.

5.2.3 Influência da absorvância para as superfícies laterais e teto no perfil de temperatura

Por último, o teste da absorvância. Primeiramente, fixou-se a absorvância da parede em 0,9 e variou-se o valor da absorvância do teto nos seguintes valores: 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 0,7 ; 0,9. Os resultados obtidos são apresentados na figura 9 abaixo.

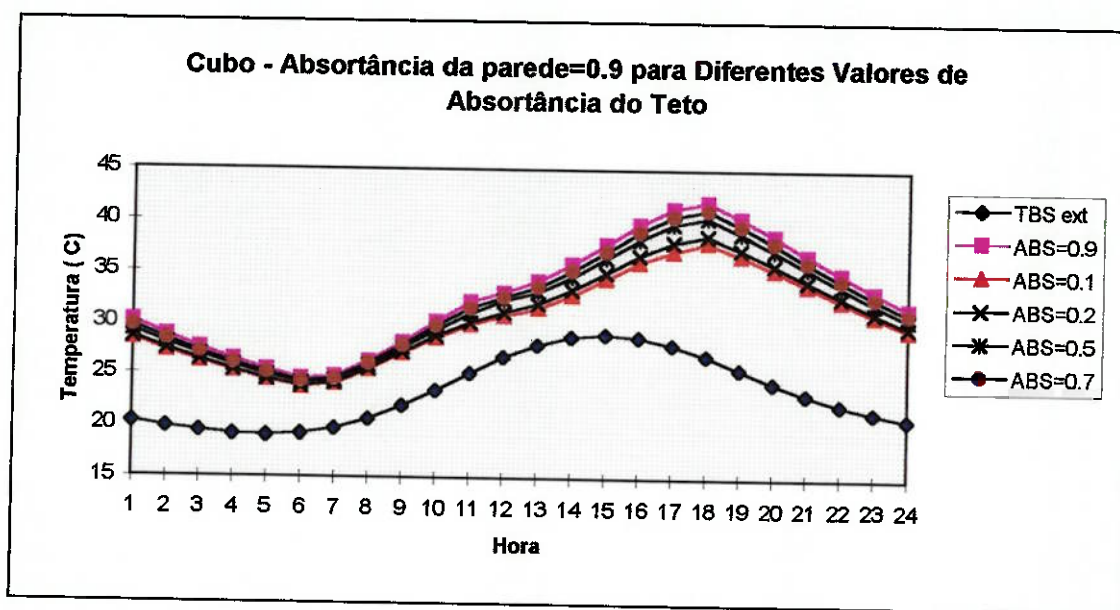


Figura 9 - Gráfico da influência da absorvância sobre o recinto cúbico, fixada a absorvância da parede em 0,9.

Depois, fixou-se a absorptância do teto em 0,9 e variou-se o valor da absorptância da parede nos seguintes valores: 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 0,7 ; 0,9. Os resultados obtidos são apresentados na figura 10 abaixo.

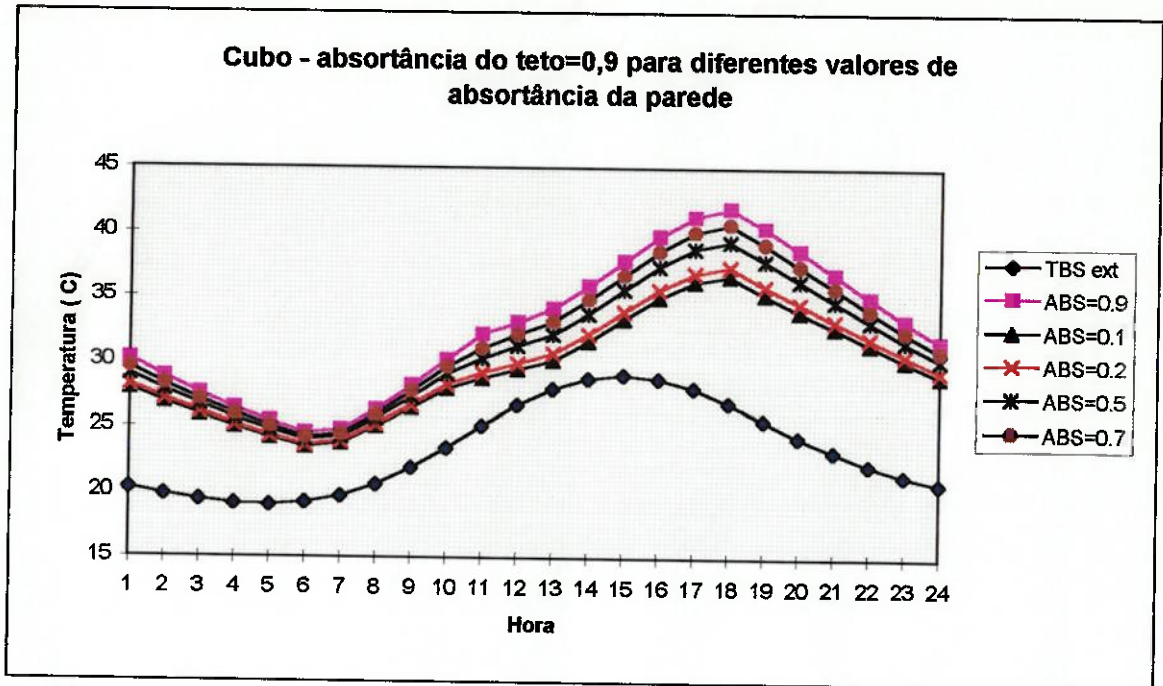


Figura 10 - Gráfico da influência da absorptância sobre o recinto cúbico, fixada a absorptância do teto em 0,9.

Pode-se concluir de ambos os gráficos acima (figuras 9 e 10) que o BLAST responde às variações de absorptância da parede e do teto, isto é, responde à radiação incidente em uma superfície. Logo, os resultados obtidos foram satisfatórios. Justifica-se esta afirmação pois à medida que a absorptância aumenta, ocorrem aumentos da inércia mas de proporções menores às ocorridas no aumento da espessura. Isto é explicado pois o aumento da absorptância da parede permite um acúmulo maior de energia pela parede.

5.3. Cálculo da carga térmica e perfil de temperatura em um edifício com 15 andares

5.3.1. Cálculo da carga térmica variando-se a temperatura de projeto

Verificou-se primeiramente a carga térmica total (isto é, a soma de todas as carga térmicas hora a hora de andar por andar) para uma dada temperatura de projeto, a qual foram atribuídas os seguintes valores: 22 °C, 24 °C, 26 °C e 28 °C.

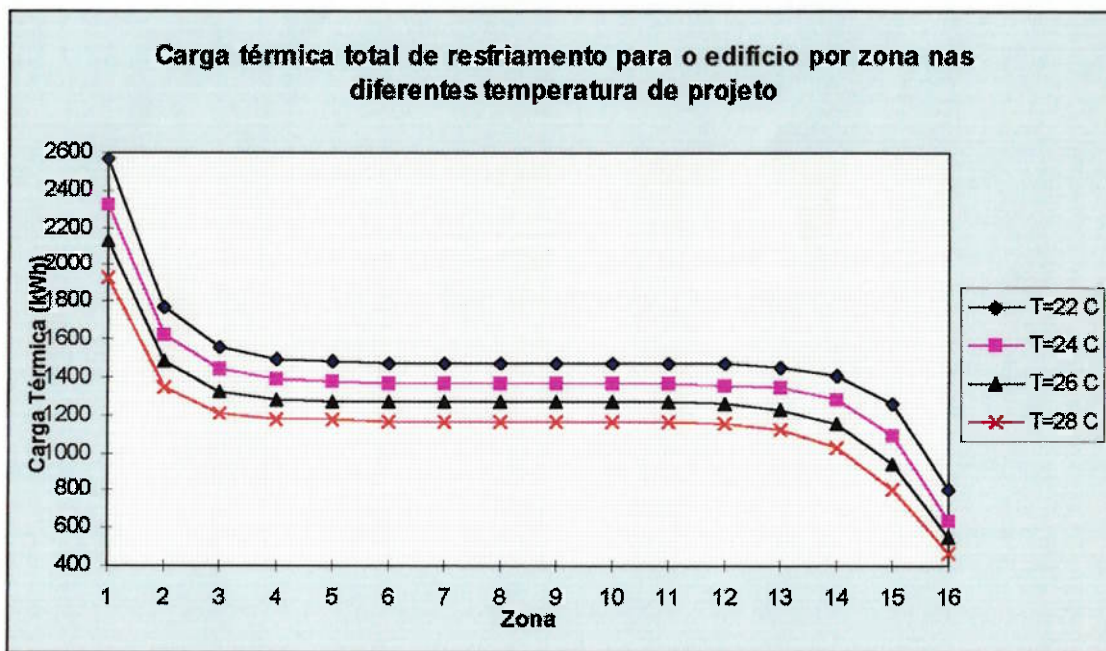


Figura 11 - Gráfico da carga térmica total por zona para diferentes temperaturas de projeto.

Os resultados obtidos não foram satisfatórios visto que, para a zona 1 (correspondente ao 15º andar) a carga térmica é maior devido à maior área de contato (parede+teto) exposta à radiação solar. Já no caso do andar térreo o que verificou-se foi exatamente o contrário: a carga térmica é a menor devido à grande área de contato (piso) com o solo, que está a uma temperatura inferior à temperatura de bulbo seco externa. Os dois pontos expostos acima estão absolutamente corretos, porém há de se salientar que esperava-se que a carga térmica entre as zonas 2 e 15 (correspondente ao 1º andar e 14º andar) permanecesse constante num determinado patamar (como verificou-se nos andares intermediários), visto que todos os andares intermediários estão sujeitos às mesmas condições de insolação, ventilação, infiltração, nível de ocupação, equipamentos elétricos e luzes.

Outro fato tão importante quanto o anterior é que, a medida que a temperatura de projeto aumenta, menor é a carga térmica que deve ser suprida pelo conjunto ar condicionado e sistema de ventilação, resultado que se mostra válido.

A seguir verificou-se a carga térmica do 7º andar, conforme segue abaixo:

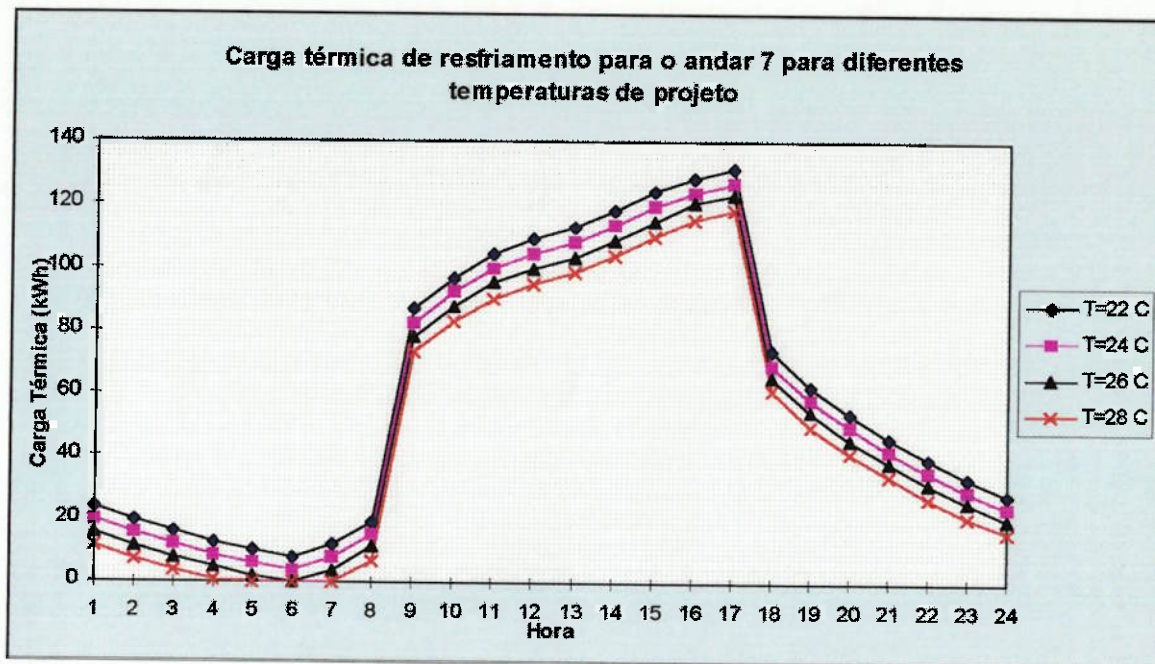


Figura 12 - Gráfico da carga térmica total para o 7º para diferentes temperaturas de projeto.

Novamente, observa-se que quanto maior a temperatura de projeto, menor a carga térmica a ser retirada do meu recinto.

Outro fato de extrema importância é verificar a subida brusca entre as 8:00 e 9:00hs da manhã e a descida brusca entre as 17:00hs e 18:00hs da tarde. Isso se deve principalmente ao fato do período de ocupação pré-determinado pelo projetista (horário comercial), e como consequência essas duas “descontinuidades” nesses dois períodos. Isso, de certa forma, é um ponto negativo do BLAST visto que, dada uma entrada, o software responde imediatamente à perturbação, o que não representa adequadamente a realidade. O resultado esperado seria um decréscimo gradativo da carga térmica após o término do período de ocupação.

Para completar o estudo da carga térmica do edifício, foi feita a comparação entre três andares: o térreo, o 7º andar e o 15º andar, para uma dada temperatura de projeto (24°C). O gráfico segue abaixo:

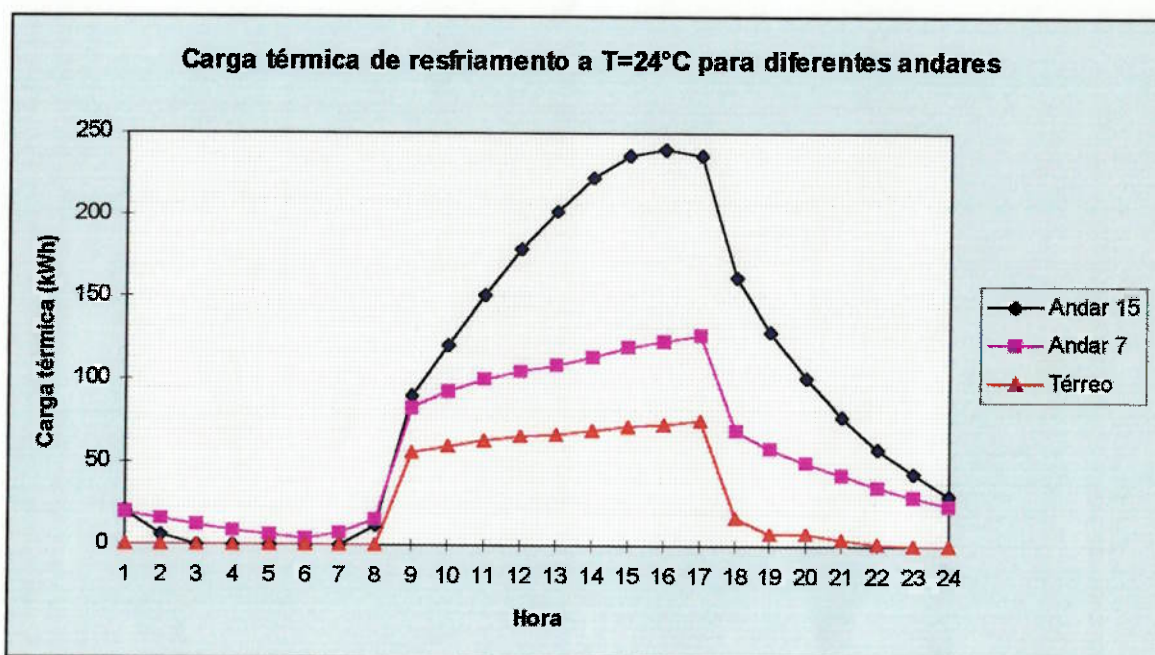


Figura 13 - Gráfico da carga térmica de resfriamento para 3 andares fixada a temperatura de projeto.

Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios visto que, como já foi anteriormente explicado, o 15º andar está sofrendo ação da radiação solar em uma área de contato muito maior que o 7º andar (e o térreo). Já o andar térreo tem uma área de contato muito grande com o solo, fazendo com que a troca de calor por condução seja um fator decisivo no perfil de carga térmica do andar.

5.3.2. Cálculo da carga térmica variando-se a área de janela

Nessa etapa do trabalho, verificou-se a influência da área de janela frente à carga térmica e ao perfil de temperatura. A área de janela variou segundo a área do piso, isto é, os intervalos tomados para a área de janela foram de 0, 10, 15, 20, 25% da área do piso.

Tomando-se o 7º andar como exemplo, segue-se abaixo o gráfico da carga térmica ao longo do tempo para diferentes áreas de janela, fixando-se a temperatura de projeto em 24° C.

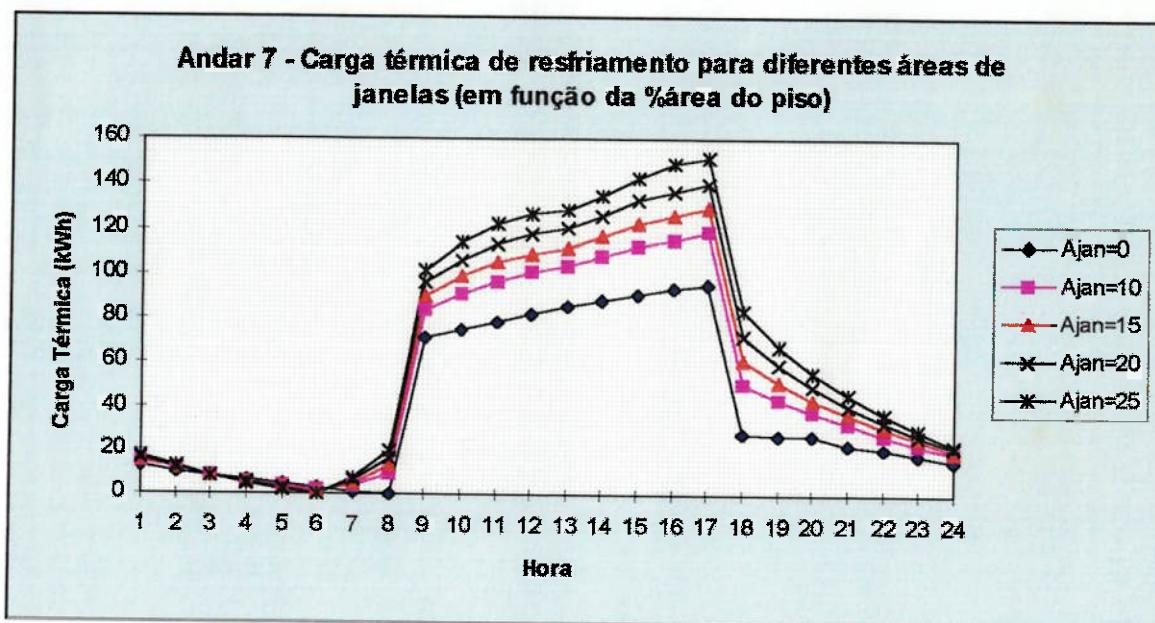


Figura 14 - Carga térmica de resfriamento para diferentes áreas de janela em função da % área do piso.

Novamente, verificou-se que o aumento da área de janela influenciou diretamente no aumento da carga térmica, validando o resultado obtido. Isso se deve à maior carga de

insolação que o ambiente recebe diretamente do sol, sem antes incidir na estrutura do edifício.

Para o mesmo andar, e eliminando-se a condição de resfriamento do ar na simulação, traçou-se o perfil de temperatura ao longo do dia para as mesmas condições descritas acima, e o gráfico obtido segue abaixo.

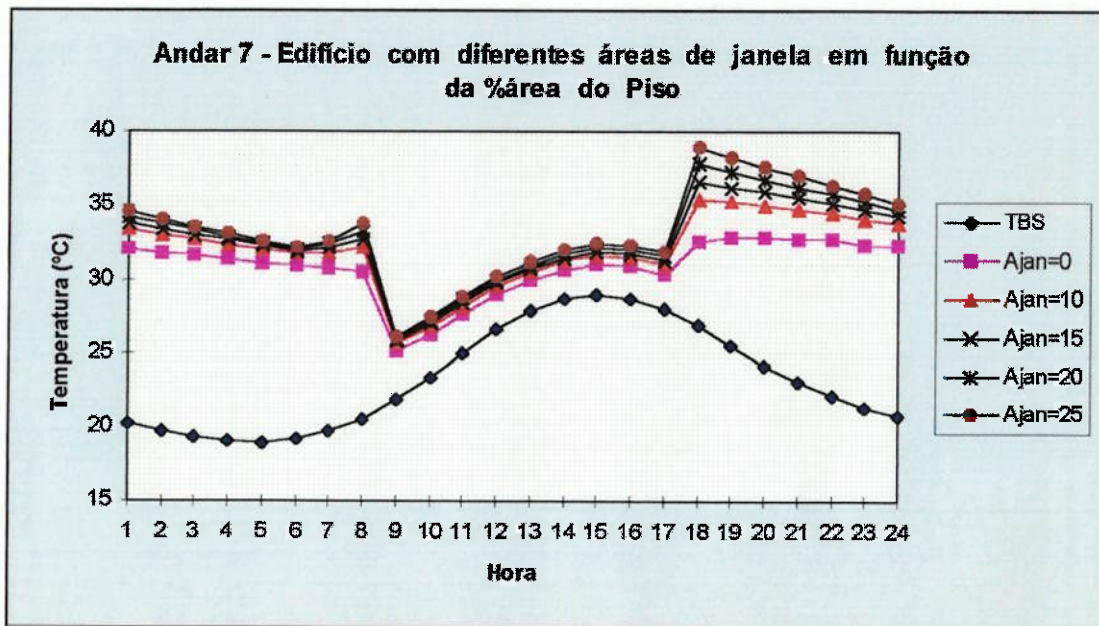


Figura 15 - Perfil de temperatura ao longo do dia para diferentes áreas de janela em função da % área do piso.

Pode-se concluir que, segundo o gráfico acima, quanto maior a área de janela, maior a influência da radiação no perfil de temperatura do recinto a ser condicionado ao longo do dia, validando o resultado obtido pelo BLAST.

5.4. Cálculo da carga térmica com porcentagem de ar de retorno

Nessa última etapa do projeto verificou-se como o retorno de ar do ambiente condicionado afeta o mesmo ambiente com relação à carga térmica total e à renovação de ar, podendo tornar o ambiente insalubre às pessoas do meio. As condições para o ensaio do edifício foram idênticas às do andar típico porém houve somente uma alteração: a carga de luzes passou de 40 W/m^2 para 4 W/m^2 , o que resultou em uma diminuição grande da carga térmica interna do ambiente.

Sabe-se que o ar que está sendo insuflado no recinto condicionado está a uma temperatura menor que a do meio, e desta forma, ocorre a troca de calor (nesse caso sensível). Sabe-se também que esse ar insuflado está com umidade relativa menor do que o ar do recinto condicionado, e também dessa forma ocorre a troca de calor (nesse caso latente). Se forem somadas as duas parcelas de troca de calor (sensível + latente), tem-se a troca de calor total no recinto.

O ar insuflado no ambiente vem do meio externo e, portanto deve ser resfriado. Para tal, utiliza-se um ventilador para insuflar o ar pelos dutos de ventilação e, para cada andar, há uma serpentina de resfriamento, por onde escoar um fluido refrigerante, que troca calor com o ar que está sendo insuflado. Esse tipo de sistema é conhecido como “fan-coil”.

Por último, sabe-se que, se uma parcela do ar que sai do ambiente condicionado passar novamente pela serpentina e retornar ao ambiente condicionado, verifica-se que a carga térmica na serpentina será menor devido ao ar de retorno apresentar uma temperatura menor que a do ar externo. Há porém um agravante pois deve-se respeitar o

exigido por normas internacionais de saúde para ambientes condicionados, as quais sugerem que, para que o ambiente não se torne insalubre aos seus ocupantes, a taxa de renovação de ar seja de 1 renovação de ar por hora (o que corresponde a $5760\text{m}^3/\text{h}$, ou $1,6\text{ m}^3/\text{s}$ para cada andar do edifício).

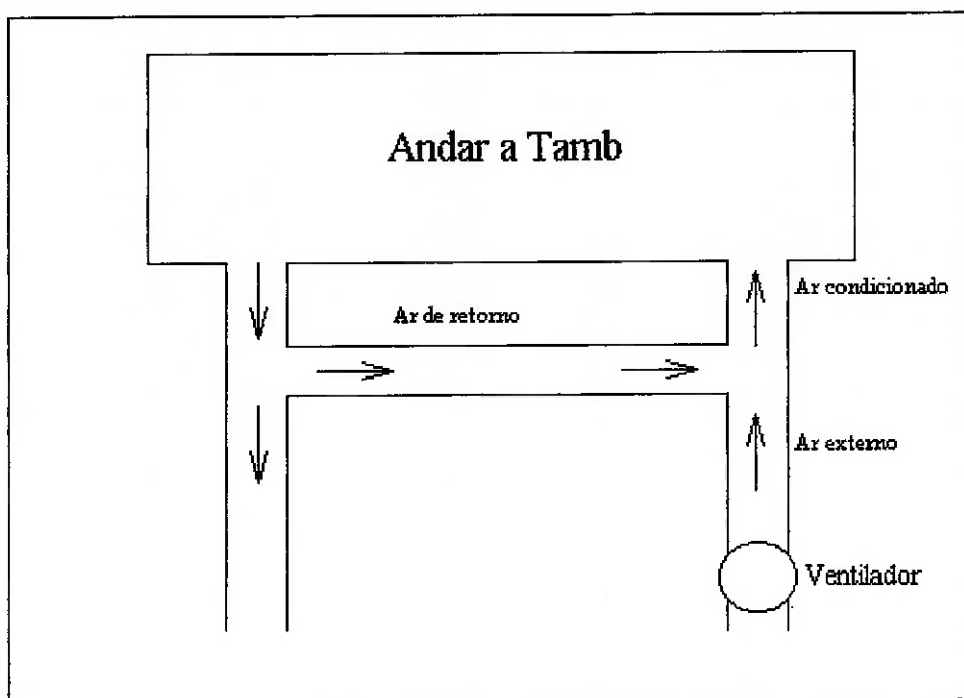


Figura 16 -Diagrama esquemático do sistema de ventilação de um andar do edifício com tubulação de retorno.

De posse de tais informações, elaborou-se um modelo matemático que, dada a carga térmica a ser retirada do ambiente condicionado, calcula-se a carga térmica total a ser fornecida pela serpentina. Utilizou-se para tal o software Microsoft Excel, que possibilitou alterar os dados de entrada e realizar várias simulações, que seguem neste trabalho.

Deve-se primeiramente salientar que as condições de teste foram tomadas para o 7º andar e correspondem à carga térmica máxima do dia típico de projeto adotado (dia 15 de fevereiro), para diferentes temperaturas de projeto ($T_{ambiente} = 22^{\circ}\text{C}$, 24°C , 26°C e 28°C), conforme a tabela abaixo.

Tabela 6 - Carga térmica máxima do 7º andar para diferentes temperaturas de projeto.

Carga / Temperatura	Carga Total (kW)	Carga Latente (kW)	Carga Sensível (kW)
T=22°C	86,02	4,98	81,04
T=24°C	79,22	5,92	73,30
T=26°C	72,34	6,94	65,40
T=28°C	66,21	8,05	58,16

Como primeiro teste, fixou-se a temperatura de insuflamento em 13°C e foram comparadas duas porcentagens de ar de retorno, sendo portanto: (1) retorna ao sistema 20% do ar insuflado no ambiente e, (2) retorna ao sistema 80% do ar insuflado no ambiente. No gráfico abaixo foram tomados três pontos de umidade relativa, para duas temperatura de projeto (24°C e 28°C).

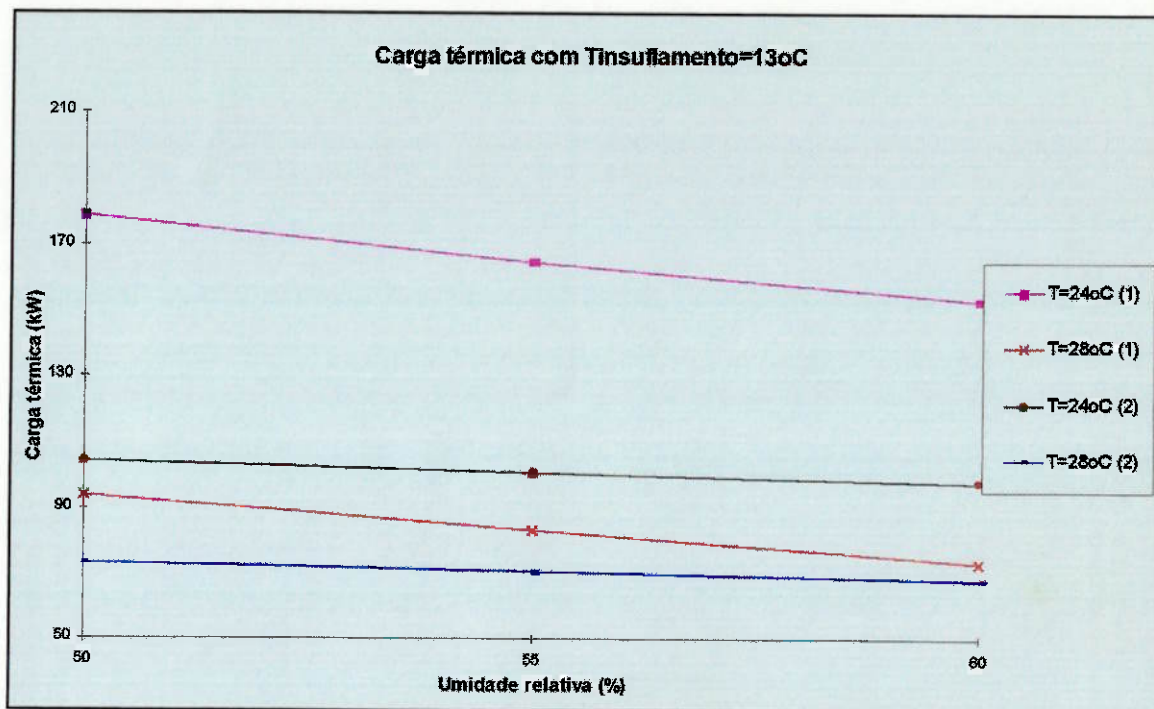


Figura 17 - Carga térmica para duas temperaturas de projetos variando-se a umidade relativa para diferentes porcentagens da vazão de retorno de ar.

Conforme observa-se na figura acima, a carga térmica para a mesma temperatura de projeto, para a mesma umidade relativa, porém para diferentes condições (nesse caso, condição 1 e condição 2), altera significativamente a carga térmica do ambiente condicionado, praticamente dobrando a carga térmica total na serpentina. Apesar da condição 2 mostrar-se bastante satisfatória em termos de consumo de energia, deve-se comparar a mesma com relação à condição para o mesmo número de renovações de ar por hora, visto que a porcentagem de ar condicionado que retorna para o ambiente é muito alta (80%). Tal fato também foi estudado e será apresentado um pouco mais adiante.

Em seguida, verificou-se a carga térmica para condições críticas de projeto. Tais condições são: (1) sem retorno de ar ao ambiente condicionado e temperatura de insuflamento de 12°C, e (2) retorno de 80% do ar do ambiente condicionado e temperatura de insuflamento de 15°C. O gráfico segue abaixo para duas temperaturas de projeto diferentes.

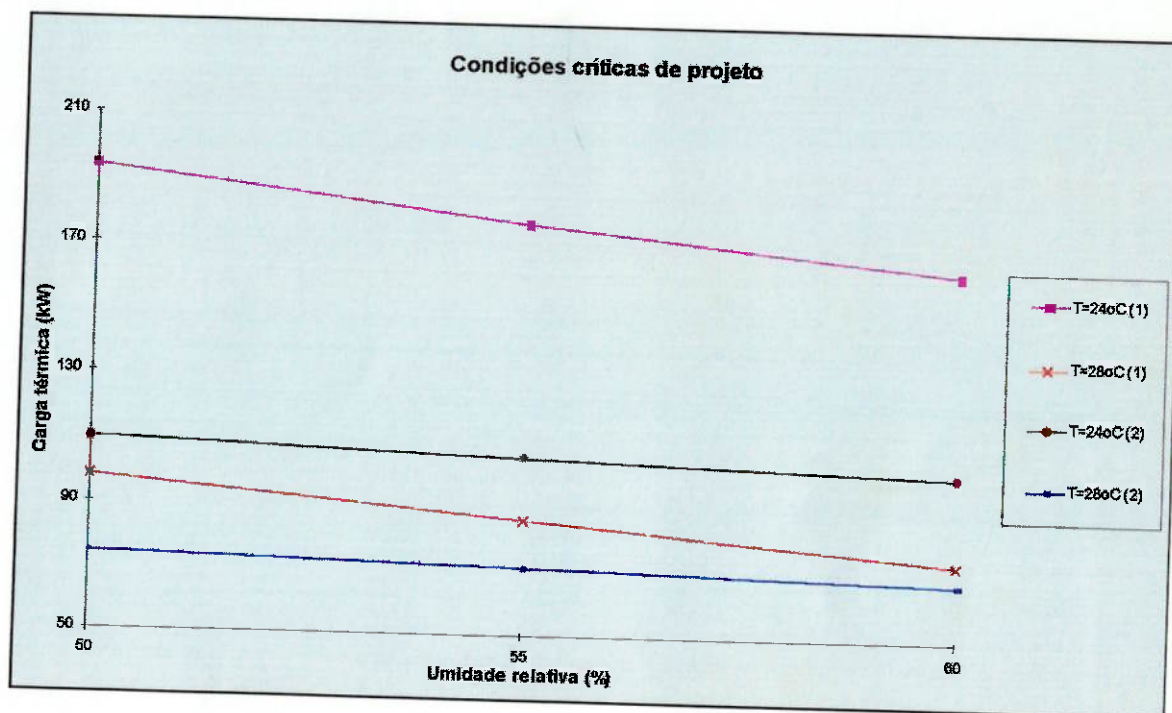


Figura 18 - Carga térmica para duas temperaturas de projetos variando-se a umidade relativa para diferentes porcentagens da vazão de retorno de ar - condições críticas de projeto.

Novamente percebe-se que a diferença para uma mesma temperatura de projeto, para uma mesma umidade relativa é muito grande (praticamente o dobro).

Por último, foram realizadas duas simulações:

Na primeira simulação fixou-se o valor da umidade relativa em 50% e foram tomadas duas temperaturas de projeto (condição 1 - 24° C, e condição 2 - 26° C), para as várias porcentagens de vazão de retorno. Os dados correspondem a duas temperaturas de insuflamento diferentes, só para efeito de comparação ($T_{ins}=13^{\circ}$ C e $T_{ins}=15^{\circ}$ C). O gráfico comparativo segue abaixo:

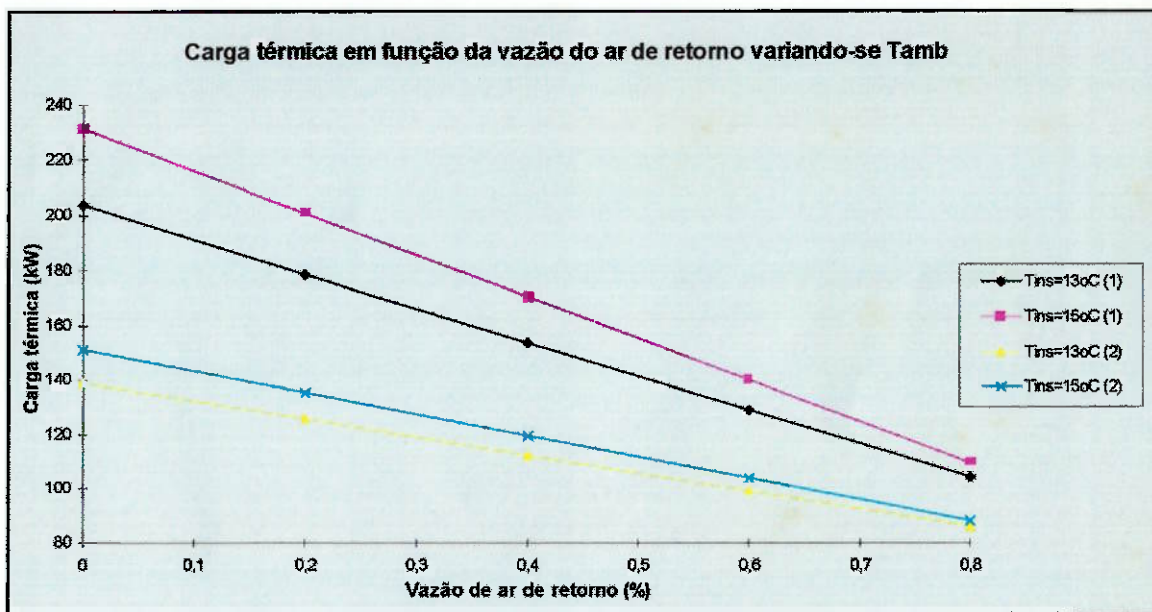


Figura 19 - Carga térmica para a mesma umidade relativa variando-se a temperatura de projeto em função da vazão de retorno de ar.

Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios visto que a medida que a vazão de retorno aumenta, a carga térmica diminui consideravelmente. Nota-se claramente também que, se a temperatura de insuflamento do ar que sai das grelhas e adentra o

ambiente aumenta, maior a carga térmica que a serpentina tem que fornecer ao ambiente para que o mesmo mantenha a temperatura de projeto fixa.

Em uma outra simulação, fixou-se o valor da temperatura de projeto em 24° C e foram tomadas duas umidades relativas diferentes (condição 1 - 50%, e condição 2 - 60%), para as várias porcentagens de vazão de retorno. Os dados correspondem a duas temperaturas de insuflamento diferentes, só para efeito de comparação ($T_{ins}=13^{\circ}\text{C}$ e $T_{ins}=15^{\circ}\text{C}$). O gráfico comparativo segue abaixo:

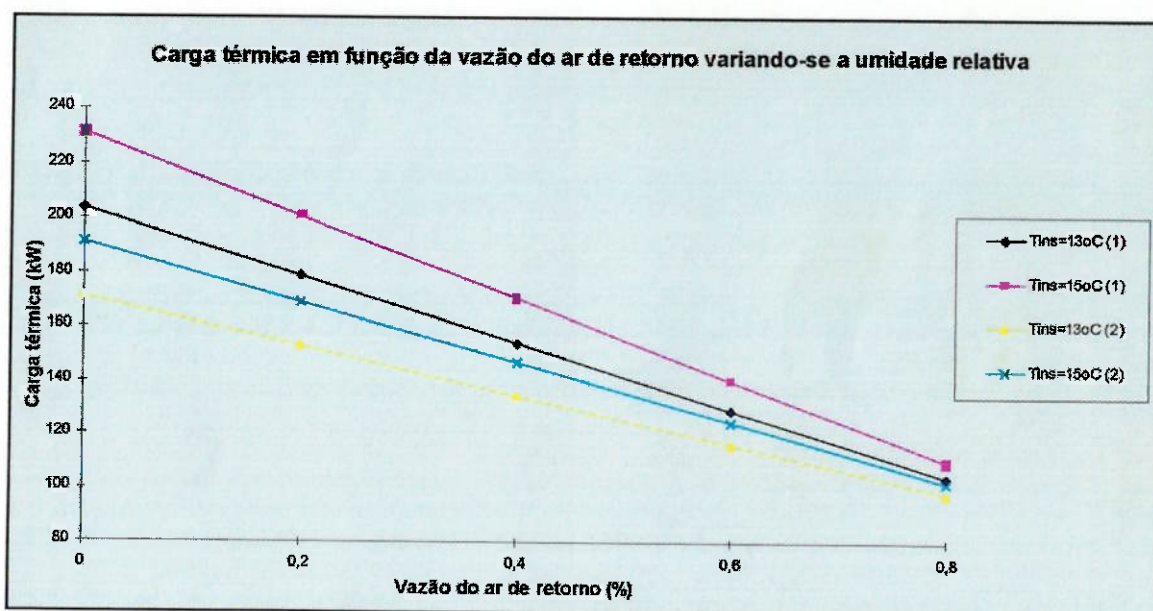


Figura 20 - Carga térmica para a temperatura de projeto variando-se a umidade relativa em função da vazão de retorno de ar.

Nota-se pelo gráfico acima que, a umidade relativa possui influência maior quando não há retorno de ar, sendo que para uma porcentagem de retorno de ar de 80%, verifica-se que praticamente não há diferença de carga térmica a ser retirada do ambiente.

Por fim, este trabalho visou a otimização do consumo de energia variando-se parâmetros relevantes ao condicionamento de ar. Logicamente, numa primeira verificação, logo percebe-se que quanto maior a porcentagem de retorno de ar, menor é a carga térmica a ser retirada do ambiente a ser condicionado. Porém, como já foi explicado anteriormente, deve-se atentar para o fato de que o número de renovações de ar por hora não pode ser menor que 1 (um).

Para tal, fixou-se a temperatura de projeto (e conseqüentemente o par carga térmica total e latente) e variou-se a temperatura de insuflamento no intervalo de 12°C a 15°C. Deve-se salientar que a umidade relativa do ambiente condicionado também variou, porém percebeu-se que, nos pontos 50%, 55% e 60%, a umidade de 60% sempre fornecia a menor carga térmica, e portanto foi a escolhida por apresentar menor consumo de energia. A seguir, verificou-se se o resultado obtido era satisfatório ou não pelo número de renovações de ar por hora, sendo que os resultados que obtivessem um número inferior a um seriam descartados, como percebe-se na figura 21.

Os resultados obtidos estão no arquivo "ct.xls", no disquete que se encontra na contracapa deste trabalho, e o gráfico comparativo encontra-se abaixo.

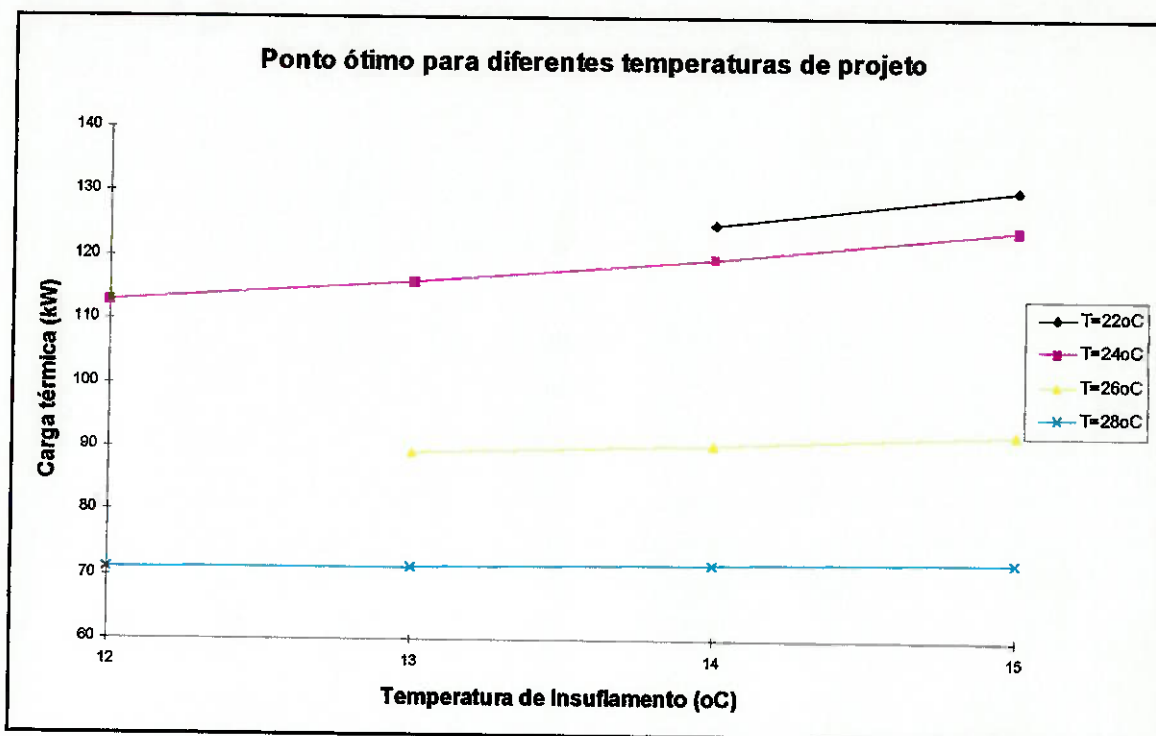


Figura 21 - Ponto ótimo para diferentes temperaturas de projeto variando-se a temperatura de insuflamento do ar no ambiente condicionado.

Primeiramente, para as temperaturas de projeto de 22°C e 26°C, nota-se que o gráfico não é contínuo. Isso se deve ao fato de que, nestas temperaturas de insuflamento, o número de renovações de ar por hora era inferior a 1 (um), logo esse valores foram descartados.

Deve-se também observar que, a medida que a temperatura de projeto foi aumentando, a carga térmica a ser retirada do andar foi abaixando, e também a inclinação da curva foi ficando próxima à do eixo x. Mais especificamente para a temperatura de

projeto de 28°C, quase não se verifica um aumento significativo da carga térmica, diferentemente das outras temperaturas.

Na tabela abaixo estão os valores relativos ao ponto ótimo de cada temperatura de projeto.

Tabela 7 - Condições ótimas para diferentes temperaturas de projeto.

Temperatura ambiente (° C)	Umidade relativa (%)	mpto_ret (%ar entrada)	Temperatura de insuflamento (°C)	Carga Térmica mínima (kW)
22	60	0,8	14	124,9
24	60	0,6	12	112,9
26	60	0,6	13	89,1
28	60	0,4	12	71,0

Como observação geral no cálculo da carga térmica por balanço de energia, utilizando-se do software Microsoft Excel, vale salientar que nem todos os resultados calculados são válidos pois há valores que não atingem a condição de uma renovação de ar por hora, tornando o ambiente insalubre para os ocupantes.

6. Conclusões

Para a simulação de um andar típico de um edifício em São Paulo, os resultados obtidos foram bastantes satisfatórios e algumas considerações podem ser feitas: para todos os estudos realizados no andar, verificou-se a necessidade da implantação de um sistema de condicionamento de ar visando o conforto térmico de seus ocupantes, visto que a temperatura interna do recinto sempre ficou acima de 24°C, temperatura considerada usual para o projeto de um sistema de condicionamento de ar.

Verificou-se também que a infiltração não exerce, a priori, papel importante na carga térmica do ambiente, mesmo aliada à ventilação. Isso se deve ao fato do BLAST, por ser planejado por engenheiros americanos, considerar que o edifício / andar ter uma estanqueidade muito grande, isto é, a infiltração é praticamente desconsiderada.

Já a ventilação por sua vez, como pôde-se perceber pelas comparações e estudos realizados, exerceu papel importante na carga térmica do ambiente, de modo que, deve-se aliar a capacidade de resfriamento do ambiente por ventilação ao sistema de ar condicionado visando o mínimo gasto com energia.

Para a segunda simulação realizada, que consistiu na análise de um recinto cúbico, o BLAST forneceu dados de saída satisfatórios que refletem a realidade. Nos três quesitos avaliados (espessura da parede do recinto, presença de janelas e absorvância de superfície), o perfil de temperatura corresponde ao esperado, e portanto valida os resultados obtidos.

Já considerando-se o edifício como um todo, alguns resultados foram bastante satisfatórios enquanto outros deixaram margem a dúvidas. O BLAST revelou-se um programa que não responde bem às perturbações impostas visto que, dada uma carga

térmica, seja ela qualquer (luzes, pessoas, equipamentos elétricos), o programa imediatamente responde, tornando-o descontínuo em dois pontos: o primeiro corresponde ao início da ocupação do edifício (início da perturbação - subida brusca da carga térmica e temperatura interna do recinto) e o segundo ao término da ocupação do edifício (fim da perturbação - descida brusca da carga térmica e perfil de temperatura interna do recinto). Logo, nesse quesito, o BLAST não reflete a realidade.

Há também de se considerar a diferença de carga térmica encontrada entre os andares da extremidade do edifício (térreo e 15º andar), o que pode-se admitir verdadeiro. Já os andares intermediários deveriam apresentar a mesma carga térmica interna, por estarem expostos às mesmas condições internas. Isto já não ocorre como já apresentado na figura 11. Apesar deste fato, foi escolhido o 7º andar como padrão, para permitir o andamento do estudo com relação às simulações de ponto ótimo de trabalho e carga térmica a ser retirada do ambiente a ser condicionado.

De um modo geral, o BLAST mostrou-se um programa relativamente restrito com relação a certos aspectos. Só a título de ilustração, em algumas simulações posteriores, foi feita a inclusão de um sistema ventilação + planta e, após a execução do arquivo gerado pelo BTEXT, os resultados obtidos foram absurdos. Isso se deve ao programa aceitar como verdadeiro as estações do ano correspondentes ao hemisfério norte. Era então necessário “enganar” o programa e alterar certas linhas de comando do arquivo gerado pelo BTEXT (terminação “.bin”), uma vez que é impossível alterá-las dentro do BTEXT. Outros fatores, tais como temperatura de insuflamento do ar no ambiente a ser condicionado, vazão do fluido refrigerante na serpentina, entre outros, já eram pré-

definidos pelo programa, e portanto não permite alterações, amarrando o projetista a estas constantes (neste caso, a temperatura de insuflamento é fixada em $12,8^{\circ}\text{C}$).

ANEXO 1

BEGIN INPUT;

RUN CONTROL:

NEW ZONES,

NEW AIR SYSTEMS,

PLANT,

REPORTS(ZONE LOADS,WALLS,ZONE,DESIGN DAYS),

UNITS(IN=METRIC, OUT=METRIC);

TEMPORARY LOCATION:

SAO PAULO

= (LAT=-23.33, LONG=46.38, TZ=3);

END;

TEMPORARY DESIGN DAYS:

VERAO

= (HIGH=29.00, LOW=19.00, WB=23.00, DATE=15FEB, PRES=92660.00,

WS=2.10, DIR=45.00, CLEARNESS=1.00, WEEKDAY);

END;

TEMPORARY MATERIALS:

GRANITO

= (L=0.0100, K=3.5000, D=2700.0, CP=0.740, ABS=0.90,

TABS=0.900, ROUGH);

ARGAMASSA

= (L=0.0200,K=0.8000,D=1790.0,CP=0.780,ABS=0.90,
TABS=0.900,ROUGH);

CONCRETO

= (L=0.1400,K=1.5000,D=2250.0,CP=0.750,ABS=0.90,
TABS=0.900,ROUGH);

GESSO

= (L=0.0100,K=0.5200,D=1300.0,CP=1.090,ABS=0.90,
TABS=0.900,ROUGH);

VIDRO

= (L=0.0040,K=0.2700,D=1250.0,CP=0.890,ABS=0.89,
TABS=0.890,TRANS=0.70,FILMTRANS=0.00,
IR=1.52,SMOOTH,GLASS);

END;

TEMPORARY WALLS:

PAREDE

= (GRANITO ,
ARGAMASSA ,
CONCRETO ,
GESSO);

END;

TEMPORARY ROOFS:

TETO

= (CONCRETO);

END;

TEMPORARY FLOORS:

PISO

= (CONCRETO);

END;

TEMPORARY WINDOWS:

JANELA

= (VIDRO);

END;

TEMPORARY SCHEDULE (HORARIO):

MONDAY THRU FRIDAY=(0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,1.00,1.00,

1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00),

SATURDAY=(0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,

0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00),

SUNDAY=(0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,

0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00),

HOLIDAY=(0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,

0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00),

SPECIAL1=(0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,

0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00),

```
SPECIAL2=(0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,
0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00),
SPECIAL3=(0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,
0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00),
SPECIAL4=(0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,
0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00);

END;

PROJECT="Calculo da carga termica de resfriamento de
    um andar tipico de um edificio comercial";

LOCATION=SAO PAULO ;

DESIGN DAYS=VERAO ;

GROUND TEMPERATURES=(13, 13, 13, 13, 13, 13, 13, 13, 13, 13, 13, 13);

CATEGORY CODE=10000;

BEGIN BUILDING DESCRIPTION;

BUILDING="Edificio Comercial ";

NORTH AXIS=0.00;

SOLAR DISTRIBUTION=-1;

ZONE 1 "Andar Tipico ":

    ORIGIN:(0.00, 0.00, 0.00);

    NORTH AXIS=0.00;

    EXTERIOR WALLS :

        STARTING AT(0.00, 0.00, 0.00)
```

FACING(180.00)

TILTED(90.00)

PAREDE (40.00 BY 3.00)

WITH WINDOWS OF TYPE

JANELA (29.04 BY 2.25)

REVEAL(0.00)

AT (0.01, 0.01),

STARTING AT(40.00, 0.00, 0.00)

FACING(90.00)

TILTED(90.00)

PAREDE (48.00 BY 3.00)

WITH WINDOWS OF TYPE

JANELA (34.88 BY 2.25)

REVEAL(0.00)

AT (0.01, 0.01),

STARTING AT(40.00, 48.00, 0.00)

FACING(0.00)

TILTED(90.00)

PAREDE (40.00 BY 3.00)

WITH WINDOWS OF TYPE

JANELA (29.04 BY 2.25)

REVEAL(0.00)

AT (0.01, 0.01),

STARTING AT(0.00, 48.00, 0.00)

FACING(270.00)

TILTED(90.00)

PAREDE (48.00 BY 3.00)

WITH WINDOWS OF TYPE

JANELA (34.88 BY 2.25)

REVEAL(0.00)

AT (0.01, 0.01);

FLOORS :

STARTING AT(0.00, 48.00, 0.00)

FACING(180.00)

TILTED(180.00)

PISO (40.00 BY 48.00);

ROOFS :

STARTING AT(0.00, 0.00, 3.00)

FACING(180.00)

TILTED(0.00)

TETO (40.00 BY 48.00);

LIGHTS=76.80,HORARIO ,

0.00 PERCENT RETURN AIR, 20.00 PERCENT RADIANT,

20.00 PERCENT VISIBLE, 0.00 PERCENT REPLACEABLE,

FROM 15FEB THRU 15FEB;
PEOPLE=100,HORARIO ,
AT ACTIVITY LEVEL 0.13, 70.00 PERCENT RADIANT,
FROM 15FEB THRU 15FEB;
ELECTRIC EQUIPMENT=10.00,HORARIO ,
30.00 PERCENT RADIANT, 0.00 PERCENT LATENT, 0.00 PERCENT LOST,
FROM 15FEB THRU 15FEB;
INFILTRATION=0.00,CONSTANT ,
WITH COEFFICIENTS (1.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000),
FROM 15FEB THRU 15FEB;
END ZONE;
END BUILDING DESCRIPTION;
END INPUT;

ANEXO 2

BEGIN INPUT;

RUN CONTROL:

NEW ZONES,

NEW AIR SYSTEMS,

PLANT,

REPORTS(ZONE LOADS,WALLS,ZONE,DESIGN DAYS),

UNITS(IN=METRIC, OUT=METRIC);

TEMPORARY LOCATION:

SAO PAULO

= (LAT=-23.33, LONG=46.38, TZ=3);

END;

TEMPORARY DESIGN DAYS:

VERAO

= (HIGH=29.00, LOW=19.00, WB=23.00, DATE=15FEB, PRES=92660.00,

WS=2.10, DIR=45.00, CLEARNESS=1.00, WEEKDAY);

END;

TEMPORARY MATERIALS:

CONCRETO14

= (L=0.1400, K=1.5000, D=2250.0, CP=0.750, ABS=0.90,

TABS=0.900,ROUGH);

VIDRO

= (L=0.0040,K=0.2700,D=1250.0,CP=0.890,ABS=0.89,

TABS=0.890,TRANS=0.70,FILMTRANS=0.00,

IR=1.52,SMOOTH,GLASS);

END;

TEMPORARY WALLS:

PAREDE

= (CONCRETO14);

END;

TEMPORARY ROOFS:

TETO

= (CONCRETO14);

END;

TEMPORARY FLOORS:

PISO

= (CONCRETO14);

END;

TEMPORARY WINDOWS:

JANELA

= (VIDRO);

END;

TEMPORARY SCHEDULE (HORARIO):

MONDAY THRU FRIDAY=(0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,1.00,1.00,

1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00),

SATURDAY=(0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,

0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00),

SUNDAY=(0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,

0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00),

HOLIDAY=(0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,

0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00),

SPECIAL1=(0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,

0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00),

SPECIAL2=(0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,

0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00),

SPECIAL3=(0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,

0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00),

SPECIAL4=(0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,

0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00);

END;

PROJECT="Calculo da carga termica de um cubo com

espessura de parede de 14cm de concreto

com uma janela na face oeste e outra janela

na face leste. ";

LOCATION=SAO PAULO ;

DESIGN DAYS=VERAO ;

GROUND TEMPERATURES=(13, 13, 13, 13, 13, 13, 13, 13, 13, 13, 13);

CATEGORY CODE=10000;

BEGIN BUILDING DESCRIPTION;

BUILDING="Cubo 14cm de parede ";

NORTH AXIS=0.00;

SOLAR DISTRIBUTION=-1;

ZONE 1 "1 ":

ORIGIN:(0.00, 0.00, 0.00);

NORTH AXIS=0.00;

EXTERIOR WALLS :

STARTING AT(0.00, 0.00, 0.00)

FACING(180.00)

TILTED(90.00)

PAREDE (3.00 BY 3.00),

STARTING AT(3.00, 0.00, 0.00)

FACING(90.00)

TILTED(90.00)

PAREDE (3.00 BY 3.00)

WITH WINDOWS OF TYPE

JANELA (2.72 BY 1.00)

REVEAL(0.00)

AT (0.01, 0.01),

STARTING AT(3.00, 3.00, 0.00)

FACING(0.00)

TILTED(90.00)

PAREDE (3.00 BY 3.00),

STARTING AT(0.00, 3.00, 0.00)

FACING(270.00)

TILTED(90.00)

PAREDE (3.00 BY 3.00)

WITH WINDOWS OF TYPE

JANELA (2.72 BY 1.00)

REVEAL(0.00)

AT (0.01, 0.01);

FLOORS :

STARTING AT(0.00, 3.00, 0.00)

FACING(180.00)

TILTED(180.00)

PISO (3.00 BY 3.00);

ROOFS :

STARTING AT(0.00, 0.00, 3.00)

FACING(180.00)

TILTED(0.00)

TETO (3.00 BY 3.00);

END ZONE;

END BUILDING DESCRIPTION;

END INPUT;

Bibliografia

1. Stoecker, Wilbert F. - *Refrigeração e Ar Condicionado*, Ed. McGraw-Hill - 1985;
2. *1989 ASHRAE Handbook - Fundamentals SI Edition*;
3. *BLAST Quick Reference*;
4. *BLAST User Reference*;