

Sys 1965768

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA POLITÉCNICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO  
TÉRMICO DE UM EDIFÍCIO DE  
ESCRITÓRIOS**

Elaborado por:  
**ROBERTO ESKENAZI**

Orientador  
**ARLINDO TRIBESS**



**SÃO PAULO**

**1999**

**ROBERTO ESKENAZI**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO  
TÉRMICO DE UM EDIFÍCIO DE  
ESCRITÓRIOS**

Trabalho de Formatura apresentado à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para a obtenção do título de  
Graduação em Engenharia

Orientador:  
Prof. Dr. Arlindo Tribess

Área de Concentração:  
Engenharia Mecânica

**São Paulo**  
**1999**

## **RESUMO**

A avaliação da carga térmica é o primeiro passo para o dimensionamento correto de uma instalação de condicionamento de ar. No presente trabalho são apresentadas as etapas para a determinação da carga térmica, bem como os resultados obtidos através do programa de simulação BLAST e o método das CLTDs/CLFs que utiliza valores tabelados fornecidos pela ASHRAE. Esses valores são então comparados com os valores fornecidos por projeto de uma empresa comercial do ramo, avaliando-se assim esse projeto que já está implantado. O objetivo é demonstrar como uma avaliação errada pode afetar os resultados finais.

## **ABSTRACT**

Cooling load evaluation is the first step for the correct dimensioning of an air conditioning installation. In the present work the steps for determining the cooling load are presented, as well as the results obtained from the BLAST simulating program and the CLTD/CLF method which uses values from tables given by the ASHRAE. These values are finally compared with values given by a project from a commercial firm, evaluating this project which is already implanted. The aim is to demonstrate how a misevaluating can affect the final results.

# SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b>	<b>6</b>
<b>2. Regulamentação quanto ao desempenho térmico de edificações no Brasil</b>	<b>7</b>
<b>3. Avaliação do comportamento térmico de edificações</b>	<b>8</b>
<b>3.1 Conforto Térmico</b>	<b>8</b>
<b>3.2 Caracterização das condições de exposição ao clima</b>	<b>10</b>
<b>4. Condição Climática</b>	<b>11</b>
<b>5. Caracterização da edificação e da sua ocupação</b>	<b>11</b>
<b>6. Introdução ao Blast</b>	<b>13</b>
<b>6.1 Histórico</b>	<b>13</b>
<b>6.2 Descrição do Programa BLAST</b>	<b>13</b>
<b>6.3 Avaliação da Carga Térmica por Zonas</b>	<b>15</b>
<b>6.4 Simulação do Sistema de Distribuição de Ar</b>	<b>16</b>
<b>6.5 Simulação da Planta de Condicionamento</b>	<b>17</b>
<b>6.6 Entradas para o programa BLAST</b>	<b>18</b>
6.6.1 O Arquivo de Bibliotecas do BLAST	18
6.6.2 Definições Temporárias	19
<b>6.7 Zoneamento da edificação</b>	<b>19</b>
<b>7. Utilização do Método CLTD/SCL/CLF para cálculo da carga térmica</b>	<b>20</b>
<b>7.1 CLTDs</b>	<b>20</b>
<b>7.2 SCL</b>	<b>21</b>
Ganho de calor por condução	22
<b>7.3 Cálculo da carga térmica proveniente do ganho de calor através de partições, tetos e pisos interiores</b>	<b>24</b>
<b>7.4 CLF</b>	<b>24</b>
7.4.1 Iluminação	25
7.4.2 Pessoas	25
7.4.3 Equipamentos	26
7.4.4 Calculando a Carga Térmica devido à Ventilação	26

<b>8. Descrição da instalação</b>	<b>28</b>
<b>8.1 Materiais</b>	<b>28</b>
<b>8.2 Condições de Cálculo</b>	<b>29</b>
<b>9. Resultados e Análise</b>	<b>31</b>
<b>10. Referências Bibliográficas</b>	<b>36</b>
<b>Apêndice</b>	<b>38</b>

## 1. Introdução

Estudos apontam que, nos próximos anos, o país se defrontará com o problema de escassez de energia elétrica (EPUSP, 1989; NUTAU'96, 1996), podendo causar até uma parada temporária no fornecimento (Black-out), como já ocorreu em algumas cidades do Brasil. A preocupação com medidas mais efetivas para a diminuição do consumo de energia é presente em diversos setores, onde sistemas de condicionamento de ar para edifícios comerciais representam uma grande parcela desse consumo, conforme mostrado na Figura 1. Nesse sentido, a avaliação correta do desempenho térmico e energético é condição fundamental na implantação de projetos de sistemas de condicionamento, levando a novos padrões que visam conter a demanda de energia, reduzir custos de instalação e operação, bem como propiciar melhores condições de conforto no trabalho, tomando-se em conta o aumento da parcela de tempo que as pessoas passaram a despender no interior de ambientes fechados.

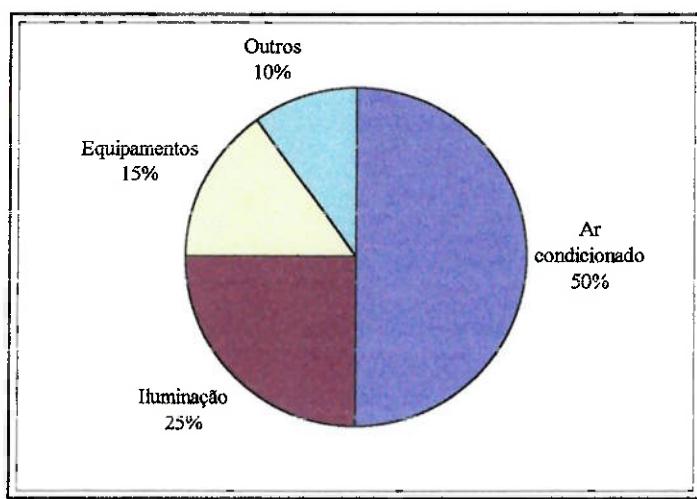


Figura 1 – Consumo de energia elétrica em um edifício padrão

Para alcançar os objetivos citados, inúmeras técnicas computacionais foram desenvolvidas e vêm sendo utilizadas por engenheiros, projetistas e técnicos, graças ao desenvolvimento tecnológico de computadores com melhor desempenho de processamento, bem como da elaboração de programas e modelos matemáticos capazes de realizar simulações próximas à realidade.

Esse desenvolvimento levou ao surgimento de diversos tipos de programas, cada qual com modelagens físicas e matemáticas distintas. Por esse motivo, é importante a realização de testes para verificar a veracidade das informações fornecidas, assim como analisar os casos aos quais cada método melhor se aplica.

No presente trabalho são apresentados resultados de cálculos de cargas térmicas de resfriamento em um escritório comercial utilizando-se como principal ferramenta o programa computacional BLAST (Building Load Analysis and System Thermodynamics), cedido à EPUSP pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Illinois – EUA. Os resultados obtidos com o programa BLAST são comparados com aqueles obtidos por projetista, que utilizou o método das CLTDs/CLFs (ASHRAE, 1995). É analisado ainda o grau de aproximação e o nível de confiabilidade do BLAST, verificando dessa forma se não há desperdício no consumo de energia e no custo inicial da instalação, pois uma avaliação inadequada da carga térmica irá comprometer todas as etapas posteriores no projeto do sistema de ar condicionado.

## **2. Regulamentação quanto ao desempenho térmico de edificações no Brasil**

Dadas as características climáticas do Brasil, em termos de extensão geográfica, o uso de sistemas de ar condicionado para o resfriamento dos ambientes é uma necessidade em aproximadamente 88% do território nacional, enquanto que a necessidade do uso de sistemas de aquecimento verifica-se em apenas 3% do território (AKUTSU, 1998). Conforme exposto anteriormente, isto justifica a dificuldade encontrada pelos especialistas no assunto em estabelecer normas técnicas voltadas à racionalização do consumo de energia em edificações, ou ao conforto térmico em condições naturais.

Por outro lado, não existem ainda, no Brasil, leis relacionadas com a questão da economia de energia consumida para o condicionamento térmico de ambientes. A única norma que se aproxima deste tema é a norma NBR 6401 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT,1978)), que é voltada a projetos de instalações centrais de sistemas de ar condicionado e não contempla os aspectos do desempenho térmico das edificações. Os códigos de obra, por sua vez, tratam muito superficialmente a questão do conforto térmico, sem fazer qualquer alusão à questão da racionalização do consumo de energia.

### **3. Avaliação do comportamento térmico de edificações**

Quando a edificação é condicionada artificialmente, a demanda de cargas térmicas para o condicionamento de ar dos ambientes é o indicador do desempenho térmico da edificação. Quanto menores estas cargas térmicas, melhor o desempenho térmico da edificação. Os níveis de exigência são definidos quando se estabelecem as exigências humanas de conforto térmico e as condições típicas de exposição ao clima.

Fazem parte desse processo de avaliação, as seguintes etapas:

- a) caracterização das exigências humanas de conforto térmico;
- b) caracterização das condições típicas de exposição ao clima;
- c) caracterização da edificação e da sua ocupação;
- d) determinação do comportamento térmico da edificação.

Na avaliação de uma edificação condicionada, as etapas “a”, “b” e “c” correspondem à definição dos dados que compõem as informações necessárias à operacionalização da etapa “d”, a qual corresponde ao cálculo das cargas térmicas de condicionamento.

#### ***3.1 Conforto Térmico***

As exigências humanas de conforto térmico são caracterizadas por valores ou intervalos de valores inter-relacionados, das seguintes variáveis: temperatura, umidade relativa e velocidade do ar; temperatura radiante média do ambiente. Tais valores são fixados em função das características do ocupante, dadas pela sua taxa metabólica e pelo índice de resistência térmica da sua vestimenta e devem representar condições satisfatórias de conforto térmico.

A Norma brasileira NBR 6401 (ABNT, 1978) apresenta faixas de valores recomendados de temperatura e de umidade relativa do ar para ambientes condicionados. As Normas ANSI/ASHRAE 55-92 (ASHRAE, 1995) e ISO 7730 (ISO, 1984) apresentam os critérios para avaliação das condições de conforto térmico de ambientes com condições térmicas moderadas, levando em conta todos os parâmetros de conforto citados. Estas duas últimas normas estabelecem que as condições ambientais internas de um recinto devem ser tais que pelo menos 80% dos seus

ocupantes expressem satisfação em relação ao ambiente térmico. A título ilustrativo, são apresentados na Tabela 2 os intervalos de valores para a temperatura do ar interior, em função dos valores apresentados pelos demais parâmetros de conforto, para algumas situações típicas no verão, tendo em vista as condições climáticas do Brasil (Tabela 3).

Para as condições de verão, os valores limites de temperatura do ar interior correspondentes à zona de conforto variam significativamente em função da umidade relativa e da velocidade do ar. Como no Brasil a umidade relativa do ar pode variar bastante de uma região para outra, e o aumento da velocidade do ar é um recurso importante para a melhoria das condições de conforto no verão, seja por meio da ventilação natural dos ambientes, seja por ventilação forçada, os limites de conforto para a temperatura do ar são apresentados em uma tabela que contempla algumas situações típicas em escritórios, variando-se a umidade relativa de 20% a 80% (ver Tabela 2).

Os valores fixados para os demais parâmetros de conforto são:

- $RT_{roupa} = 0,35$  CLO: roupas leves de verão, típicas de habitações.
- $RT_{roupa} = 0,50$  CLO: roupas leves de verão, típicas de escritório.
- $V_{ar} = 0,05$  m/s: baixa circulação de ar.
- $Var = 0,25$  m/s: circulação de ar moderada em escritórios (velocidade máxima permitida pela Norma NBR 6401)
- $Var = 0,8$  m/s: circulação de ar moderada em habitações e máxima recomendada para escritórios (velocidade limite para a não ocorrência de levantamento de papéis – Norma ASHRAE 55-92). Quando há incidência de ventos da ordem de 3 m/s esta condição pode ser obtida naturalmente.
- $Var = 1,5$  m/s: boa circulação de ar, possível de ser garantida com ventiladores/circuladores de ar
- Taxa Metabólica = 70 W/m<sup>2</sup>: pessoa exercendo atividade moderada

Tabela 2: Limite máximo das temperaturas internas (em °C) para atendimento das exigências das Normas ISO 7730 e ANSI/ASHRAE 55-92, em condições de verão.(AKUTSU, 1998)

Condição	Habitação - $RT_{roupa} = 0,35 \text{ CLO}$			Escritório - $RT_{roupa} = 0,50 \text{ CLO}$		
	UR/ $V_{ar}$	0,05 m/s	0,8 m/s	1,5 m/s	0,05 m/s	0,25 m/s
20 %	28,7	30,4	30,8	28,2	29,0	29,8
40 %	28,2	30,0	30,4	27,6	28,5	29,3
60 %	27,7	29,6	30,0	27,0	28,0	28,8
80 %	27,3	29,2	29,7	26,5	27,5	28,4

Legenda:  $RT_{roupa}$  = Resistência Térmica da roupa dos ocupantes;

UR = Umidade Relativa do ar ambiente (%);

$V_{ar}$  = Velocidade do ar no interior do recinto (m/s)

### ***3.2 Caracterização das condições de exposição ao clima***

As condições de exposição da edificação ao clima são caracterizadas pelos valores horários da temperatura, da umidade relativa do ar e da radiação solar global, bem como pela velocidade média do vento predominante, nos dias típicos de projeto para o período de verão e para o período de inverno. Estes conjuntos de valores são expressos em função de suas freqüências de ocorrência que representam níveis de exigência na avaliação.

O método utilizado para a definição dos dias típicos de projeto, apresentado a seguir, corresponde a uma implementação do trabalho realizado por AKUTSU, PEDROSO e SATO(1987).

A caracterização das condições climáticas passa pelas seguintes etapas:

- 1. Escolha do posto meteorológico** – Idealmente, a caracterização climática deve ser feita tomando-se os dados meteorológicos do local considerado. Caso contrário, o posto escolhido deve apresentar semelhanças quanto a topografia, cobertura vegetal dos arredores e presença de “ilhas de calor”.
- 2. Definição dos períodos de análise** – Como regra geral, recomenda-se um período entre 10 e 15 anos de registro de dados. Caso contrário, períodos menores podem ser adotados desde que seja possível identificar se cada ano do período adotado é atípico ou não.

### **3. Determinação dos dias típicos de verão e de inverno –**

- Verão – determinar os valores da máxima Temperatura de Bulbo Seco ( $TBS_{máx}$ ) para os níveis de freqüência acumulada estabelecidos. Ou seja, se a freqüência  $n=10\%$ , então apenas 10% dos valores de temperatura no período podem ser iguais ou maiores que o valor  $TBS_{máx}$  adotado.
- Inverno – determinar os valores da mínima Temperatura de Bulbo Seco ( $TBS_{mix}$ ) para os níveis de freqüência acumulada estabelecidos. Ou seja, se a freqüência  $n=10\%$ , então apenas 10% dos valores de temperatura no período podem ser iguais ou menores que o valor  $TBS_{mix}$  adotado.

## **4. Condição Climática**

A localidade adotada nesse estudo corresponde à cidade de São Paulo, cujas condições climáticas no verão e no inverno foram caracterizadas por dados horários da temperatura de bulbo seco do ar, da umidade relativa do ar e da radiação solar global incidente em superfície horizontal correspondentes a um “dia típico de verão” e um dia “típico de inverno”. Esses dias típicos representam dias com freqüência de 10%, ou seja, para o verão, 10% dos dias do período de verão apresentam temperatura máxima diária maior que a do “dia típico de verão”, e para o inverno, 10% dos dias do período de inverno apresentam temperatura mínima diária menor que a do “dia típico de inverno”. Estes valores são apresentados na Tabela 2.

## **5. Caracterização da edificação e da sua ocupação**

Identificam-se os ambientes e efetua-se o levantamento de informações relativas à:

- Condições de ocupação: período de ocupação; número de ocupantes; taxas de liberação de energia térmica e de vapor de água de equipamentos e processos presentes no recinto;
- Materiais, componentes e elementos: capacidade térmica específica, massa específica e condutividade térmica dos materiais; transmitância, absorância e refletância à radiação solar, emissividade, resistência térmica dos espaços de ar, forma, dimensões e orientação dos elementos e componentes. Estes dados,

necessários para a determinação da resposta térmica de edificações, são em geral apresentados em manuais e publicações de instituições de pesquisa que fazem ensaios para a sua medição.

Tabela 2: Dados climáticos referentes ao dia típico de verão e de inverno para São Paulo.

HORA	VERÃO			INVERNO		
	TBS(°C)	UR(%)	RS(Wh/m <sup>2</sup> )	TBS(°C)	UR(%)	RS(Wh/m <sup>2</sup> )
1	21,7	80	0	11,4	82	0
2	21,2	83	0	11,0	85	0
3	20,6	86	0	10,5	87	0
4	20,4	87	0	10,3	88	0
5	19,5	92	0	9,6	92	0
6	19,0	95	21	9,2	95	0
7	19,9	90	181	9,9	91	30
8	22,0	79	365	11,6	81	245
9	24,3	68	529	13,4	72	461
10	26,3	60	656	15,0	65	630
11	28,2	54	736	16,5	59	738
12	29,5	50	764	17,5	56	775
13	30,0	49	736	17,9	54	738
14	31,2	46	656	18,8	51	630
15	31,4	45	529	19,0	51	461
16	30,9	47	365	18,6	52	245
17	30,4	48	181	18,2	53	30
18	29,5	50	21	17,5	56	0
19	25,7	62	0	14,5	67	0
20	24,5	67	0	13,5	72	0
21	23,5	72	0	12,7	75	0
22	22,3	77	0	11,8	80	0
23	22,7	75	0	12,1	78	0
24	22,1	78	0	11,7	81	0

Legenda: TBS - Temperatura de Bulbo Seco;

UR - Umidade Relativa;

RS - Radiação Solar Global incidente em plano horizontal.

## **6. Introdução ao Blast**

### ***6.1 Histórico***

O programa BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodinamics) foi desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Construção do Exército dos E.U.A (USACERL). Este programa foi cedido à EPUSP devido a um Convênio existente com a Universidade de Illinois, onde se encontra o Escritório de Suporte Técnico, organizado naquela faculdade em 1983 pela USACERL. Em dezembro de 1977 foi lançada a primeira versão do BLAST, chamada Versão 1.2. Em seguida, programa foi estendido e melhorado, sendo lançado o BLAST Versão 2.0 em junho de 1979. Sob a supervisão do Departamento de Aeronáutica, Divisão de Sistemas Aeronáuticos e do Departamento de Energia, Conservação e Energia Solar, o programa foi novamente aperfeiçoado, resultando no surgimento do BLAST Versão 3.0 em setembro de 1980.

### ***6.2 Descrição do Programa BLAST***

O programa BLAST é uma ferramenta muito útil para prever o consumo de energia e o desempenho de sistemas de condicionamento de ar utilizados em edificações. O programa pode ser usado para avaliar o desempenho térmico de edificações de praticamente qualquer tamanho, mostrando-se interessante quando do projeto de novas instalações.

Além de estabelecer o cálculo do pico de carga térmica, necessário para a seleção do equipamento de ar condicionado a ser utilizado, o programa BLAST também dá uma estimativa do desempenho térmico anual, o que é essencial para o projeto de sistemas solares e de cogeração e também para verificar se atende ao orçamento de consumo de energia do projeto. Pode-se diferenciar os projetos eficientes dos projetos ineficientes, de modo que o programa permite avaliar, modificar ou reavaliar as alternativas de projetos a fim de otimizar o consumo de energia anual e o custo. Assim, o dimensionamento de equipamentos adequados e de controles apropriados pode ser executado, aproximando os projetos de seu ponto ótimo.

O programa apresenta três características que o difere de outros utilizados anteriormente:

- O BLAST utiliza algoritmos detalhados para calcular carga térmica, simular sistemas de ventilação (fan systems), e simular plantas de resfriadores (chiller) e evaporadores (boiler).
- O programa possui uma linguagem própria de entrada de dados e é acompanhado por uma biblioteca que contém as propriedades de diversos materiais, paredes, tetos e pisos listados na ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, *Handbook of Fundamentals*)
- O tempo de execução do programa é curto o suficiente de modo a permitir o estudo de uma ampla gama de alternativas sem um gasto de tempo demasiado.

O BLAST consiste de uma seção de entrada, onde são definidos os parâmetros de simulação, e de três seções principais de simulação que estão descritas a seguir:

- A simulação da carga térmica por zonas (Zone Load Simulation), que computa as cargas térmicas horárias em uma edificação ou uma zona baseada nas entradas do usuário e nos dados climáticos.
- A simulação do sistema de distribuição de ar (Air Distribution System Simulation) que utiliza as cargas térmicas, os dados climáticos, e entrada de dados do usuário que caracterizam o sistema de condicionamento da edificação para calcular a demanda de água quente, vapor, gás, água gelada e eletricidade.
- A simulação da planta central (Central Plant Simulation) que utiliza dados climáticos, resultados da simulação do sistema de distribuição de ar, e entrada de dados que descrevem a planta central para simular evaporadores, chillers, equipamentos geradores de potência e obter o consumo diário, mensal e anual de energia e combustível

### **6.3 Avaliação da Carga Térmica por Zonas**

O balanço de calor do recinto é a essência de uma boa previsão da carga térmica. Por isso, para cada hora simulada o BLAST realiza o balanço de calor radiante, convectivo e condutivo completo para cada superfície e o balanço de calor para o ar do recinto. Esse balanço inclui a transmissão de carga (carga solar, ganho interno de calor, cargas de infiltração) e estratégias de controle de temperatura utilizadas para manter a temperatura desejada no recinto. As principais características para a simulação das cargas estão descritas abaixo:

Os fatores de resposta e funções de condução para todas as superfícies de diversas zonas são calculados. (Isto permite uma análise cuidadosa da condução de calor transiente através de paredes e do armazenamento de calor nas zonas).

As áreas sombreadas e ensolaradas são calculadas para todas as superfícies exteriores.

- O fluxo solar transmitido através das janelas.
- São utilizados fatores aproximados para calcular a transferência de calor radiante entre superfícies internas e a transferência de calor radiante de superfícies externas(paredes, tetos, janelas) com a terra e o céu.
- Os efeitos da rigidez das superfícies e das variações horárias na velocidade do vento nos coeficientes de transferência de calor convectiva (resistência do filme de ar) são levados em conta.
- Os coeficientes de transferência de calor convectiva (resistência do filme de ar) para superfícies internas como telhados, tetos e pisos são ajustados levando-se em conta se as superfícies são mais quentes ou mais frias que o ar do recinto.
- O fluxo de calor entre zonas com diferentes temperaturas é calculado.
- Estratégias de controle de temperatura do ar são permitidas. É possível o estabelecimento de diferentes estratégias de controle para horários diferentes durante o dia, dias diferentes durante a semana ou até o controle de temperatura baseado em um período sazonal
- A fração radiante, convectiva e latente do calor proveniente das pessoas, da iluminação e dos equipamentos é tomada em consideração. É possível que esses ganhos internos sejam programados para diferentes horas do dia e para

diferentes dias da semana (isto é, um ganho diferenciado para horário noturno e para domingos e feriados).

- A carga térmica obtida para cada zona pode ser armazenada de modo que, posteriormente, possam ser utilizadas para o exame de alternativas de sistemas de ventilação sem a necessidade de recalcular estas cargas.

#### ***6.4 Simulação do Sistema de Distribuição de Ar***

Uma vez calculadas as cargas térmicas de cada zona, estas podem ser traduzidas em demandas de água quente, água gelada, vapor, gás e energia elétrica em uma planta central. Isto é feito utilizando-se o balanço de massa e o balanço de energia do sistema. A simulação do sistema de ventilação é flexível e precisa na sua análise de desempenho. Essa simulação apresenta as seguintes características:

1. O usuário deve ajustar a eficiência em carga máxima e a pressão total da ventilação para os ventiladores de insuflamento, de retorno, e de exaustão.
2. A temperatura de insuflamento pode ser controlada mantendo-se em um ponto fixo determinado, tendo variação de acordo com a temperatura exterior ou baseada na demanda de aquecimento ou resfriamento da zona.(Ver melhor explicação sobre cold and hot decks)
3. A inserção de diferentes quantidades de ar externo pode ser programada para diferentes horários durante o dia ou de acordo com uma programação sazonal.
4. Diferentes configurações de serpentinas para pré-aquecimento podem ser simuladas.
5. Umidificadores podem ser especificados para a maioria dos sistemas.
6. Ventilação, aquecimento por serpentina, pré-aquecimento por serpentina, reaquecimento por serpentina, resfriamento por serpentina, estágio de resfriamento por evaporação, entre outros, podem ser programados com uma base diária ou sazonal.
7. Os resultados da simulação de sistemas de ventilação podem ser armazenados de modo a permitir a sua reutilização quando da simulação de configurações de plantas centrais.

## **6.5 Simulação da Planta de Condicionamento**

Desde que sejam conhecidas as demandas de água quente, água resfriada, vapor, gás e energia elétrica do sistema de ventilação, a planta central deve então ser simulada para obtenção da quantidade final de energia elétrica, gás, vapor e combustível da construção analisada. A simulação do BLAST da planta central pode ser aplicada para qualquer sistema termodinamicamente possível que consista de um ou mais componentes de planta central dados a seguir:

1. Evaporadores
2. Chillers recíprocos ou alternativos (resfriados a ar ou água)
3. Chillers de Absorção (um ou dois estágios)
4. Chillers com duplo resfriamento
5. Bombas de aquecimento água-água
6. Torres de resfriamento
7. Turbinas geradoras à diesel, à gás, ou à vapor
8. Aquecedores de água domésticos
9. Aquisição de aquecimento ou resfriamento
10. Modelos de acumulação térmica de gelo em serpentina ou em armazenador

O BLAST fornece valores padrões para cada modelo apresentado, no entanto permite ao usuário que altere um ou mais parâmetros dos coeficientes de desempenho do equipamento, permitindo a simulação de equipamentos de diversos fabricantes.

Algumas das principais características do programa de simulação de plantas são dadas abaixo:

1. Os efeitos da temperatura ambiente, temperatura da água aquecida ou resfriada, e outras variáveis de operação são levados em conta na eficiência da planta e na capacidade do equipamento.
2. É levada em consideração a mudança no COP ou eficiência do equipamento ocorrida devido à operação com carga parcial.
3. Definições padrões do equipamento podem ser substituídas, permitindo ao usuário que escolha a sua estratégia de operação.

4. O usuário pode alterar os parâmetros de desempenho do equipamento, possibilitando a modelagem de um equipamento determinado.

## ***6.6 Entradas para o programa BLAST***

### **O Arquivo de Bibliotecas do BLAST**

O programa BLAST dispõe de diversas bibliotecas as quais contém informações utilizadas corriqueiramente. Essas informações são armazenadas sob nomes convenientes e podem ser especificadas pelo usuário na linguagem de entrada. O arquivo de bibliotecas está dividido em seções menores, descritas a seguir:

1. Biblioteca de Programação ou Agendamento: contém programações baseadas em 24 horas. Ou seja, pode-se descrever hora a hora as taxas de ocupação, iluminação, utilização de equipamentos, infiltração, etc.
2. Bibliotecas de Localidades: contém a latitude, longitude e fuso horário para regiões determinadas (obs: não contém informações sobre cidades brasileiras)
3. Biblioteca de Dias Típicos: contém informações climáticas para dias típicos.
4. Biblioteca de Controles: contém estratégias para controle de temperatura.
5. Biblioteca de Materiais: contém propriedades termodinâmicas de materiais típicos de construção
6. Biblioteca de Paredes: contêm descrição típica de paredes compostas pela Biblioteca de Materiais
7. Biblioteca de Tetos, Biblioteca de Pisos, Biblioteca de Portas e Biblioteca de Janelas: da mesma forma que a Biblioteca de paredes, estas são formadas com os materiais da Biblioteca de Materiais.

Os materiais, bem como as paredes, tetos e pisos encontrados nas bibliotecas do BLAST são provenientes do ASHRAE *Handbook of Fundamentals*.

### **6.6.2 Definições Temporárias**

Outra alternativa que o usuário possui para a descrição dos parâmetros citados acima é a utilização de parâmetros temporários. Essa tática consiste na inserção de diversos parâmetros pelo usuário (como dados sobre materiais ou paredes) e da atribuição de nomes aos mesmos de modo que estes serão armazenados temporariamente para a execução do projeto em uso. Ou seja, as definições fornecidas pelo usuário só podem ser utilizadas com o arquivo onde foram definidas, não podendo ser relacionadas a arquivos de outros projetos. Para isso, seria necessário que esses parâmetros temporários fossem adicionados às suas bibliotecas correspondentes, passando a ser portanto parte integral das mesmas.

## **6.7 Zoneamento da edificação**

Uma "zona" segundo interpretação dada pelo BLAST, é um conceito térmico e não geométrico. É definida como um volume de ar à temperatura uniforme mais toda a transferência e armazenagem de calor das superfícies limítrofes ou interiores àquele volume de ar. O BLAST calcula a energia requerida para manter cada zona à uma temperatura específica ao longo do dia. Visto que o BLAST realiza o balanço energético da zona, o primeiro passo ao descrever uma edificação é a sua divisão em zonas. Deve-se tentar definir o menor número possível de zonas desde que não se comprometa os resultados da simulação. O zoneamento propicia resultados mais apurados, sendo importante sua execução principalmente quando os ambientes são mantidos à temperaturas diferentes.

## **7. Utilização do Método CLTD/SCL/CLF para cálculo da carga térmica**

Neste caso, a carga térmica é determinada através de equações mais simplificadas que as do método detalhado (BLAST) que, contudo, utilizam fatores que tentam reproduzir o efeito do armazenamento térmico das componentes radiantes dos ganhos de calor e da natureza transitória da condução de calor nos elementos de vedação. Nesse método o procedimento de cálculo é manual e é feito utilizando-se tabelas da ASHRAE (ASHRAE, 1995). O cálculo fornece a carga térmica a cada hora se assim desejado.

O método CLTD/SCL/CLF (Cooling Load Temperature Difference / Solar Cooling Load / Cooling Load Factor) utiliza:

- diferenças de temperatura equivalentes entre o ambiente interno e externo (CLTDs), na qual está embutido o efeito transitório de condução de calor através dos elementos opacos da envoltória e sua conversão em carga térmica;
- fatores para considerar a energia solar (SCL) através dos elementos transparentes da envoltória
- fatores de ponderação (CLFs) para conversão das componentes radiantes dos ganho de calor em carga térmica, específico para cada fonte de energia radiante.

Esses parâmetros variam com o tempo e são função das características ambientais e da edificação e foram obtidos através de implementações computacionais que utilizam funções de transferência. Muito cuidado deve ser tomado devido à grande variedade de condições, o que pode induzir a se cometer erros de avaliação.

### **7.1 CLTDs**

As CLTDs são utilizadas para calcular o fluxo de calor através de elementos opacos (paredes, teto, piso, etc) de uma edificação. O ganho de calor é convertido em carga térmica através da utilização das funções de transferência que foram determinadas considerando-se elementos opacos com características térmicas diferentes: leves, médios e pesados.

A parcela da carga térmica num determinado instante t é dada por:

$$q_t = U \cdot A \cdot (CLTD)_t \quad (1)$$

sendo:

$q_t$  = carga térmica no instante t (W)

$U$  = coeficiente global de transferência de calor ( W/(m<sup>2</sup>\*oC) )

$A$  = área (m)

CLTD = diferença de temperatura que gera a carga térmica no instante t

Os resultados são generalizados de certa forma ao dividir-se a carga térmica pelo coeficiente U de cada teto e parede. O resultado dessa divisão está na unidade equivalente CLTD. É assumido que o fluxo de calor através de uma parede ou teto similares (tanto em massa como no fator U) pode ser obtido pela multiplicação de CLTD's adquiridas das tabelas (ASHRAE, 1995) pelo fator U de outra parede ou teto respectivamente. Os erros introduzidos por essa aproximação dependem das diferenças construtivas das superfícies em questão em relação àquelas obtidas por tabelas.

Os valores de CLTD's que geram as tabelas dependem da temperatura do ar externo, do ar interno, assim como da intensidade da radiação solar. Conseqüentemente, uma mudança nesses fatores gera a necessidade da aplicação de fatores de correção que os aproximem dos valores reais.

## 7.2 SCL

Os fatores SCL (Solar Cooling Loads) permitem calcular a parcela de carga térmica devido à energia solar através dos elementos transparentes (janelas, por exemplo).

A taxa instantânea de ganho de calor pode ser obtida pelo balanço de energia entre uma unidade de área da janela e o meio ambiente, conforme a equação dada abaixo:

$$\begin{array}{lcl} \text{Fluxo total de} & \text{Fluxo de calor} & \text{Radiação} \\ \text{calor através} & \text{devido à diferença} & \text{transmitida} \\ \text{do vidro} & = & \text{de temperatura} + \text{através do} \\ & & \text{externa e interna} & + \text{vidro} \\ & & & \text{radiação solar} \\ & & & \text{absorvida} \end{array}$$

Na equação acima, os dois últimos termos da direita estão presentes somente quando há radiação, enquanto que o primeiro termo está presente independentemente da existência de radiação, visto que representa o fluxo de calor pela janela através de condução. Portanto, a equação pode ser simplificada como:

$$\text{Fluxo total de calor através do vidro} = \text{Ganho de calor por condução} + \text{Ganho de calor solar}$$

### Ganho de calor por condução

Existindo ou não a presença do sol, o calor é transmitido pela janela por condução térmica, como mostrado a seguir:

$$\text{Fluxo de calor por condução} = \frac{\text{coeficiente de transferência de calor global}}{\text{Temp. externa - Temp. interna}}$$

Em relação ao ganho de calor por condução, o coeficiente global de transferência de calor reflete os processos de: (1) convecção e troca de radiação de ondas longas no interior e exterior do ambiente condicionado e (2) condução pelo material da janela. Conseqüentemente, ao calcular os fatores de carga térmica para esse componente, o ganho de calor por condução foi tratado de maneira similar àquela utilizada para paredes e tetos. A carga térmica resultante da condução e ganho de calor por convecção é calculada de forma similar por:

$$q_t = U * A * (CLTD)_t \quad (1)$$

Da mesma forma, fatores de correção devem ser utilizados para temperaturas internas e externas diferentes das utilizadas nas tabelas existentes de CLTD's.

## Ganho de calor solar

O ganho de calor pela energia solar transmitida e absorvida, sob os termos SHG (Solar Heat Gain) "ganho de calor solar", está presente quando existe radiação solar através da janela. O SHG é uma função direta da radiação de ondas curtas, provenientes do sol.

Para compreender aos diferentes tipos de janelas e dispositivos de sombra (ex.: persianas) o coeficiente de sombreamento SC (Shading Coefficient), que relaciona o ganho de calor solar de uma janela com o ganho de calor solar de uma janela de referência sob as mesmas condições é definido como:

$$SC = \text{ganho de calor solar da janela} / \text{ganho de calor solar da janela de referência}$$

Para efeito de cálculo, a carga térmica proveniente da radiação solar deve ser analisada de duas formas:

1. presença de sombreamento no interior do ambiente
2. ausência de sombreamento

Ao converter o ganho de calor em carga térmica, o espaço de tempo para isso, causado pela energia solar radiante que penetra no ambiente, é variável. Quando essa energia é absorvida por venezianas, por exemplo, ele difere de quando essa energia é absorvida pelo piso. Dispositivos de sombreamento interior levam a carga térmica a seguir com maior proximidade de tempo o perfil do ganho de calor.

A carga térmica causada por radiação solar por janela é calculada como:

$$q = \text{Área} * \text{Coeficiente de Sombreamento} * \text{Ganho de calor solar máximo} * \text{Fator de carga térmica}$$

A área corresponde à área envidraçada da janela. O ganho de calor solar máximo é obtido de tabelas, considerando-se a latitude, mês e orientação apropriados. O coeficiente de sombreamento, assim como o fator de carga térmica (CLF), também é tabelado.

O calor total pela janela é, portanto, a soma das parcelas de ganho de calor por condução e ganho de calor solar.

### **7.3 Cálculo da carga térmica proveniente do ganho de calor através de partições, tetos e pisos interiores**

Sempre que um espaço é adjacente a outro de temperatura diferente, a transferência de calor pela superfície divisória deve ser considerada. A taxa de transferência de calor  $q$  (W) é dada por:

$$q = U \cdot A \cdot (t_b - t_i) \quad (2)$$

sendo

$U$  = coeficiente global de transferência de calor entre os ambientes adjacentes ( $W/(m^2 \cdot {}^\circ C)$ )

$A$  = área da superfície divisória considerada ( $m^2$ )

$t_b$  = temperatura média do ar no ambiente adjacente ( ${}^\circ C$ )

$t_i$  = temperatura do ar no ambiente analisado ( ${}^\circ C$ )

Valores de  $U$  são tabelados. É recomendável que a temperatura real de ambientes adjacentes seja medida quando possível. Caso nada se saiba além de que o espaço adjacente não possui fontes de calor,  $t_b - t_i$  deve ser considerado a diferença entre o ar exterior e o ar do ambiente analisado menos  $2,8 \text{ } {}^\circ C$ .

Para pisos diretamente em contato com o solo, ou sob uma base que não é nem ventilada nem aquecida, pode-se desconsiderar a transferência de calor para estimativa da carga térmica.

### **7.4 CLF**

As CLFs (Cooling Load Factors), são utilizadas para avaliar a carga térmica gerada por fontes internas de calor, como equipamentos, luzes, pessoas, etc.

#### **7.4.1 Iluminação**

Uma estimativa correta da carga térmica devido à iluminação, geralmente uma das maiores fontes de calor interno, é essencial no dimensionamento de sistemas de ar condicionado. Esse cálculo no entanto não é tão óbvio; a taxa de ganho de calor para o ar causada pelas lâmpadas pode ser diferente da energia consumida pelas mesmas.

Uma parte da energia emitida pelas lâmpadas está na forma de radiação, que só afetará o ar após ter sido absorvida pelas paredes, piso, móveis, e ter aquecido-os a temperaturas maiores que a temperatura do ar. Essa energia absorvida, armazenada pela estrutura, somente é convertida em carga térmica após um certo, permanece presente após as luzes serem apagadas. Esse efeito de atraso deve ser considerado no cálculo da carga térmica, pois a carga instantânea é menor que o ganho de calor instantâneo e o pico de carga térmica pode ser afetado significativamente.

Normalmente a taxa de ganho de calor instantâneo de iluminação elétrica pode ser calculada como:

$$q = \text{potência total das lâmpadas(W)} * \text{fator de utilização} * \text{fator especial}$$

Alguns parâmetros como o insuflamento de ar e ar de retorno, tipo de iluminação e características térmicas, entre outros, influenciam o modo pelo qual a iluminação afeta a carga térmica. Por isso, Mitalas (ASHARE, 1995) formulou parâmetros que possibilitassem uma avaliação correta do fator de carga térmica (CLF). A qualquer momento, a carga térmica das lâmpadas é dada pelo ganho de calor  $q$ , multiplicado pelo fator CLF, obtido através das tabelas.

#### **7.4.2 Pessoas**

Diferentes taxas de rejeição para o meio ambiente de calor proveniente de seres humanos são dadas devido às diferentes atividades executadas, bem como pelos tipos de vestimenta e condições do ambiente. Valores tabelados podem ser encontrados para uma série de variações dos parâmetros acima citados.

O calor latente proveniente de seres humanos pode ser considerado como uma carga instantânea de refrigeração, mas o ganho total de calor sensível não é imediatamente convertido em carga térmica. A parcela radiante do calor sensível é

primeiramente absorvida pelos objetos do recinto e, posteriormente, transmitida ao ambiente através de convecção. Essa parcela corresponde em torno de 70%, variando apenas alguns pontos percentuais. O calor instantâneo sensível é o produto da rejeição de calor pela CLF. Nesse caso, a CLF é função do tempo que as pessoas passam no interior do ambiente condicionado e o tempo passado desde a primeira entrada no recinto.

Se a temperatura não é mantida constante ao longo do dia (por exemplo, se o sistema de refrigeração é desligado à noite), o valor de 1.0 deve ser utilizado para a CLF. Isso ocorre porque o calor sensível presente na estrutura não foi removido, reaparecendo como carga térmica no dia seguinte quando o sistema é reiniciado.

#### **7.4.3 Equipamentos**

Quando equipamentos de qualquer espécie forem operados dentro do ambiente condicionado por motores elétricos, o calor equivalente dessa operação deve ser considerado como carga térmica. A equação geral para cálculo dessa carga, em watts, é:

$$q = \frac{PotênciaCV}{\%Eficiênciadomotor} * FatordeCarga * 746 \quad (3)$$

#### **7.4.4 Calculando a Carga Térmica devido à Ventilação**

Uma parcela de ar externo deve ser insuflada para ventilar ambientes condicionados. A carga térmica gerada pela introdução desse ar externo pode ser determinada uma vez que as condições internas e externas ao ambiente estão determinadas.

A quantidade de ar externo necessário depende do número de ocupantes (ANSI/ASHRAE Standard 62-1989). A carga térmica pode ser reduzida recirculando o ar e combinando-o ao ar externo.

É necessário diferenciar calor sensível e latente para que o equipamento de refrigeração seja corretamente dimensionado. O calor sensível (em W), resultante da diferença de temperatura entre o ar que entra no recinto e aquele do recinto, é dado por:

$$q_s = L/s (3.600) (0,001204)(0,279 + 0,523w) \Delta t \quad (4)$$

onde:

3.600 = segundos por hora

0,001204 = kg de ar seco por litro

0,279 = calor específico do ar seco (kJ/kg . °C)

w = umidade (kg de água/ kg de ar . °C)

O valor de  $q_s$  varia com a umidade, w. Como o valor de w = 0,01 aproxima condições encontradas em diversos sistemas de ar condicionado, o ganho de calor sensível é dado aproximadamente por:

$$q_s = 1.232 (L/s) \Delta t \quad (5)$$

O ganho de calor latente (em W), como resultado da diferença de umidade( $\Delta w$ ) entre o ar que entra no recinto e aquele do recinto, é dado segundo os padrões da ASHRAE por:

$$q_l = L/s (3.600) (0,001204)(695) \Delta w \quad (6)$$

Na equação acima, o valor de 695 corresponde à energia aproximada em vapor com 50% de umidade relativa e 24°C, menos a energia da água a 10°C, que é a temperatura usual de condensação encontrada em serpentinhas de resfriamento e desumidificação. O ganho de calor é então dado por:

$$q_l = 3.012 \Delta w \quad (7)$$

O ganho total de calor (em W), como resultado da diferença de entalpia ( $\Delta h$ ) do ar é dado pela equação a seguir, segundo as condições padrão determinadas pela ASHRAE:

$$q = L/s (3.600) (0,001204) \Delta h \text{ ou } q = 4,334 (L/s) \Delta h \quad (8)$$

## 8. Descrição da instalação

Neste trabalho foi analisado um escritório comercial, cuja planta baixa com os diversos ambientes é apresentada na Figura 2.

### 8.1 Materiais

Na Tabela 2 são apresentadas as características e propriedades dos materiais.

Tabela 2: Composição das paredes

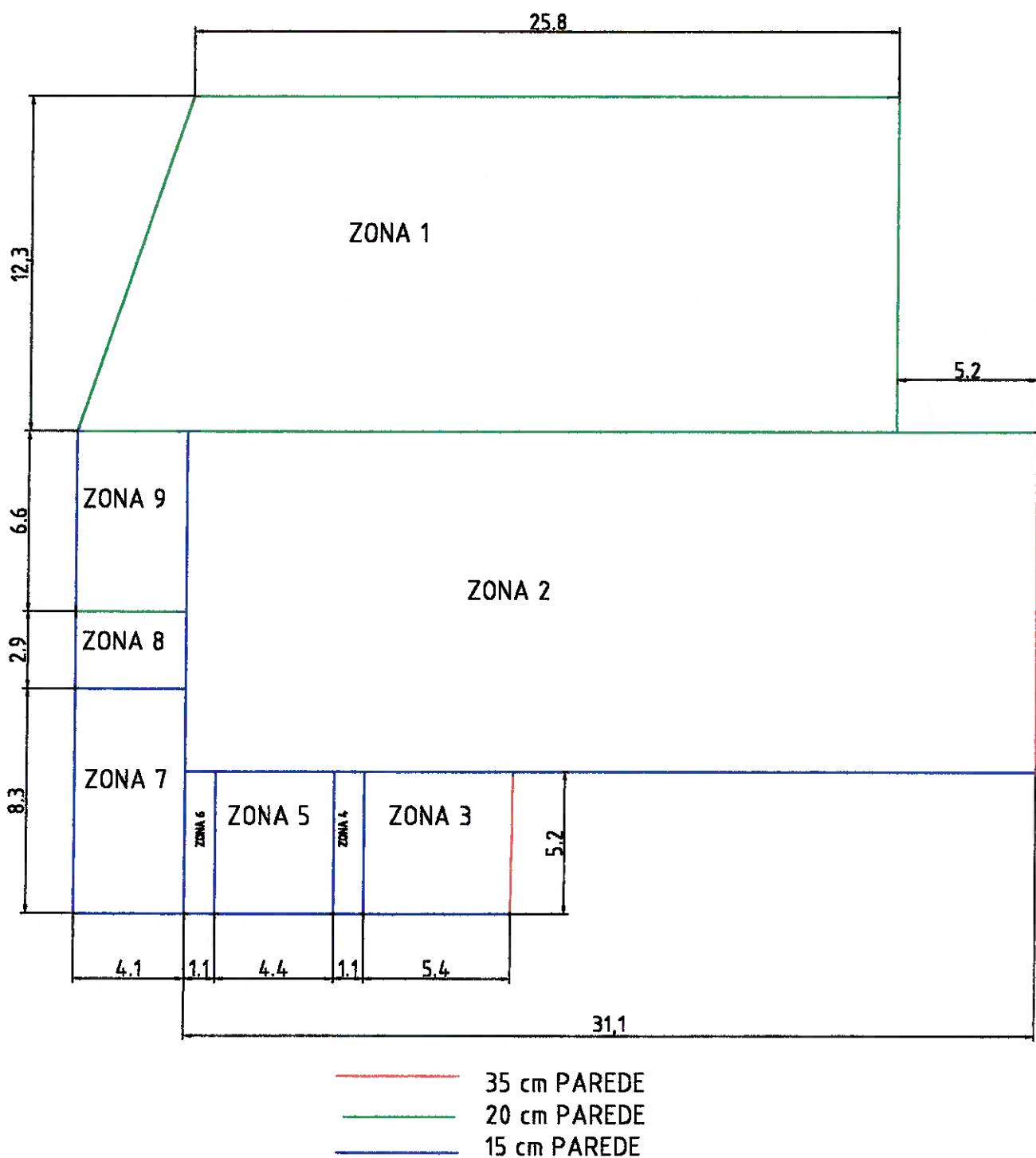
Parede de 15cm

Camada	Material	Espessura [mm]	Calor Específico [J/(kg.°C)]	Condutividade Térmica [W/(m.°C)]	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]
1(externa)	concreto	130	750	1,5	2250
2(interna)	argamassa	20	780	0,8	1790

Parede de 25cm

Camada	Material	Espessura [mm]	Calor Específico [J/(kg.°C)]	Condutividade Térmica [W/(m.°C)]	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]
1(externa)	concreto	230	750	1,5	2250
2(interna)	argamassa	20	780	0,8	1790

Figura 2: Planta do Andar Superior



Parede de 35 cm

Camada	Material	Espessura [mm]	Calor Específico [J/(kg.°C)]	Condutividade Térmica [W/(m.°C)]	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]
1(externa)	concreto	330	750	1,5	2250
2(interna)	argamassa	20	780	0,8	1790

Teto:

Camada	Material	Espessura [mm]	Calor Específico [J/(kg.°C)]	Condutividade Térmica [W/(m.°C)]	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]
1(externa)	concreto	130	750	1,5	2250
2	ar	650			
3(interna)	lã de vidro	25,4	1090	0,052	1300

Janelas

Camada	Material	Espessura [mm]	Calor Específico [J/(kg.°C)]	Condutividade Térmica [W/(m.°C)]	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]
única	Vidro liso incolor	5	850	0,81	850

## 8.2 Condições de Cálculo

a) Condições Termo-Higrométricas Externas:

- Dia típico de verão dado na Tabela 1.

b) Condições Termo-Higrométricas Internas

- Temperatura de Bulbo Seco : 20 / 24°C
- Umidade Relativa do Ar : 50 %

c) Fontes Internas de Calor :

- Pessoas : 130 W / pessoa
- Iluminação : 30 W / m<sup>2</sup>

c) Condições de Renovação do Ar

- 20 m<sup>3</sup>/h por pessoa (valor baixo utilizado por projetistas brasileiros antes da Portaria do Ministério da Saúde instituindo um valor mínimo de 27 m<sup>3</sup>/h). Internacionalmente valores definidos pela Norma ANSI/ASHRAE Standard 62-1989)

d) Circulação de Ar

- As vazões de ar foram calculadas para satisfazer os critérios psicométricos, taxas de renovação e número mínimo de recirculações do ambiente.

e) Localização

- Latitude: 23,5° Sul
- Longitude: 55° Oeste

f) Horário de Ocupação

- Das 07:00 às 18:00hs

Na Tabela 3 a seguir estão demonstrados os valores de áreas e vazões de ar para os quais foram calculadas as cargas térmicas.

Tabela 3: Dados de Projeto

Ambiente	Descrição	Área (m <sup>2</sup> )	Vazão de Ar (m <sup>3</sup> /h)
Zona1	Fotolito	343,17	18334
Zona2	Escritório	391,86	13600
Zona3	Sala 1	28,08	1020
Zona4	Banheiro 1	5,72	
Zona5	Sala 2	22,88	680
Zona6	Banheiro 2	5,72	
Zona7	Sala 3	34,03	2040

Finalmente, na Tabela 4, são apresentadas a ocupação, as somas das fontes internas de dissipação de calor em cada ambiente, bem como a vazão de ar que atende cada ambiente. Esses dados foram utilizados pelo Projetista e na simulação com o Programa BLAST e no cálculo utilizando CLTDs/CLFs.

Tabela 4: Fontes Internas de Calor

Ambiente	Descrição	Ocupação (Nº de pessoas)	Carga das Pessoas (KW)	Equipamentos (KW)	Iluminação (KW)
Zona1	Fotolito	10	1,30	20,00	10,30
Zona2	Escritório	40	5,20	0,4	11,76
Zona3	Sala 1	2	0,26	0,2	0,84
Zona4	Banheiro 1	0			0,17
Zona5	Sala 2	2	0,26	0,2	0,69
Zona6	Banheiro 2	0			0,17
Zona7	Sala 3	2	0,26	0,2	1,02
Zona8	Sala/Escrit	1	0,13	0,2	0,36
Zona9	Copa/Banh.	0			0,81

## 9. Resultados e Análise

Utilizando-se os dados apresentados no item anterior, realizou-se a simulação para obtenção da carga através do BLAST e através de cálculo baseado em tabelas da ASHRAE (ASHRAE, 1995) que constitui o método das CLTDs/CLFs.

A Tabela 5 contém valores de carga térmica obtidos pelo BLAST e dados apresentados pelo projetista em uma proposta comercial.

Foi calculada a carga térmica na serpentina, que é maior que a carga térmica do ambiente por dois motivos. Primeiro porque na serpentina ocorre a condensação do vapor d'água presente no ar de renovação, consumindo energia (método de cálculo descrito no apêndice) e aumentando a carga de resfriamento. Pode-se avaliar que, quanto menor for a umidade relativa do ambiente, menor será a condensação e consequentemente a carga térmica por calor latente. Ainda é possível afirmar que, quanto maior a vazão de ar de retorno, maior é a carga térmica, pois mais vapor d'água será condensado. O segundo motivo é o acréscimo de calor sensível devido ao ar de renovação, que entra a uma temperatura em torno de 31°C e se mistura com ar em torno de 20/24°C.

Tabela 5: Cargas Térmicas

Ambiente	Descrição	Carga Térmica (TR)	Carga na Serpentina (TR)	
		BLAST	BLAST	Projetista
Zona1	Fotolito	11,8	13,1	25,0
Zona2	Escritório	8,3	11,9	20,0
Zona3	Sala 1	1,0	1,2	1,5
Zona4	Banheiro 1			
Zona5	Sala 2	0,8	1,1	1,0
Zona6	Banheiro 2			
Zona7	Sala 3	1,7	1,9	3,0
Zona8	Sala/Escrit			
Zona9	Copa/Banh.			
<b>Total</b>		<b>19,3</b>	<b>24,5</b>	<b>50,5</b>

$$1 \text{ TR} = 3,5165 \text{ kW}$$

Os resultados de carga térmica e, consequentemente, de demanda na serpentina obtidos via BLAST foram menores que os obtidos pelo projetista através do método das CLTDs/CLFs. Isto pode ter ocorrido em função das CLTDs e CLFs utilizadas no cálculo manual, já que nos dois métodos o caráter dinâmico das trocas de calor é levado em consideração, embora no Programa BLAST isto seja feito de uma forma mais detalhada.

Tabela 6: Cargas Térmicas calculadas e Fator de Segurança utilizado por projetista

Ambiente	Descrição	Carga na Serpentina (TR)	Carga na Serpentina (TR)	Fator de segurança
		CLTDs/CLFs	Projetista	
Zona1	Fotolito	20,6	25,0	1,21
Zona2	Escritório	17,6	20,0	1,14
Zona3	Sala 1	1,70	1,5	0,88
Zona4	Banheiro 1			
Zona5	Sala 2	1,6	1,0	0,62
Zona6	Banheiro 2			
Zona7	Sala 3	3,3	3,0	0,91
Zona8	Sala/Escrit			
Zona9	Copa/Banh.			
<b>Total</b>		<b>44,8</b>	<b>50,5</b>	<b>1,13</b>

Na Tabela 6 são apresentados os valores obtidos neste trabalho através de cálculo por CLTDs/CLFs e aqueles obtidos pelo projetista que também utilizou o método das CLTDs/CLFs. Nesta Tabela são apresentados ainda os valores do que se poderia chamar de um fator de segurança utilizado.

Verifica-se da análise da Tabela 6 que o coeficiente de segurança total é de 1,13. Isso indicaria que o projetista dimensionou o sistema para suportar uma carga 13% maior que a carga prevista teoricamente. No entanto, percebe-se que na Zona3, Zona5 e Zona7 o valor utilizado é inferior ao valor teórico. Isso pode justificar o porquê que nesses locais não foram atingidas as temperaturas internas de projeto (medidas na obra instalada), indicando que pode ter havido uma falha no projeto comercial apresentado.

Na Figura 3 é apresentado um quadro comparativo das cargas térmicas na serpentina calculadas para cada zona através do BLAST, CLTDs/CLFs e dados fornecidos por projetista que também utilizou o método das CLTDs/CLFs.

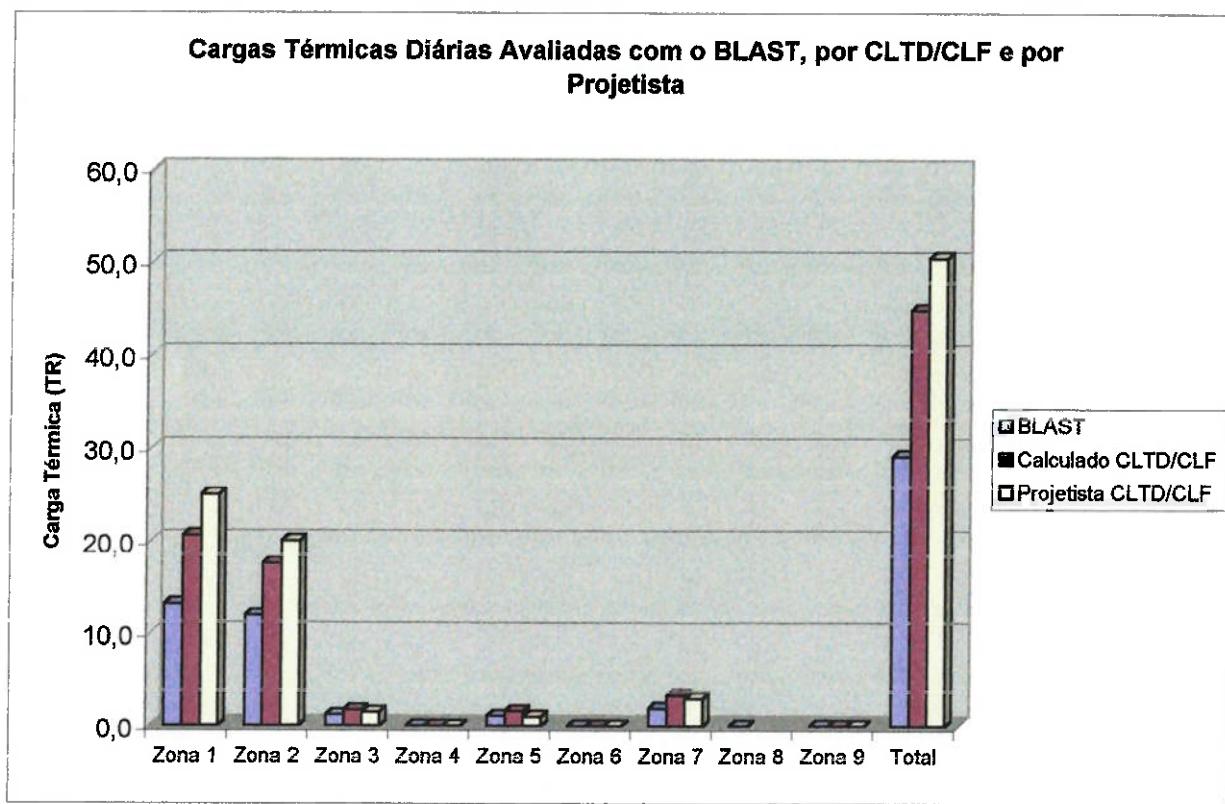


Figura 3 – Comparação dos resultados dos cálculos de carga térmica

Percebe-se na Figura 3 que as Zonas 1 e 2 estão superdimensionadas do ponto de vista do projetista em relação aos outros cálculos. Em contrapartida, as zonas 3, 5 e 7 estão subdimensionadas do ponto de vista do projetista em relação ao cálculo através de CLTDs/CLFs, e superdimensionadas em relação ao BLAST. Cabe ressaltar que após medições no local, verificou-se que justamente as Zonas 3, 5 e 7 não atendiam às especificações de projeto, atingindo temperaturas superiores à 20°C. Não é possível no entanto afirmar se houve erro no projeto em função da carga térmica, pois para o condicionamento de um ambiente o cálculo da carga térmica é um dos passos mais importantes mas, além disso, outros fatores podem afetar o resultado final do sistema de ar condicionado. Distribuição de ar no ambiente, distribuição de água gelada nos “fan-coils”, perdas de carga nas tubulações de ar e água, dimensionamento de equipamentos, além de outros como a execução do projeto são alguns dos fatores que contribuem para alterar o resultado final do projeto e as condições de um recinto condicionado.

Na Figura 4 são apresentadas as cargas térmicas totais ao longo do dia.

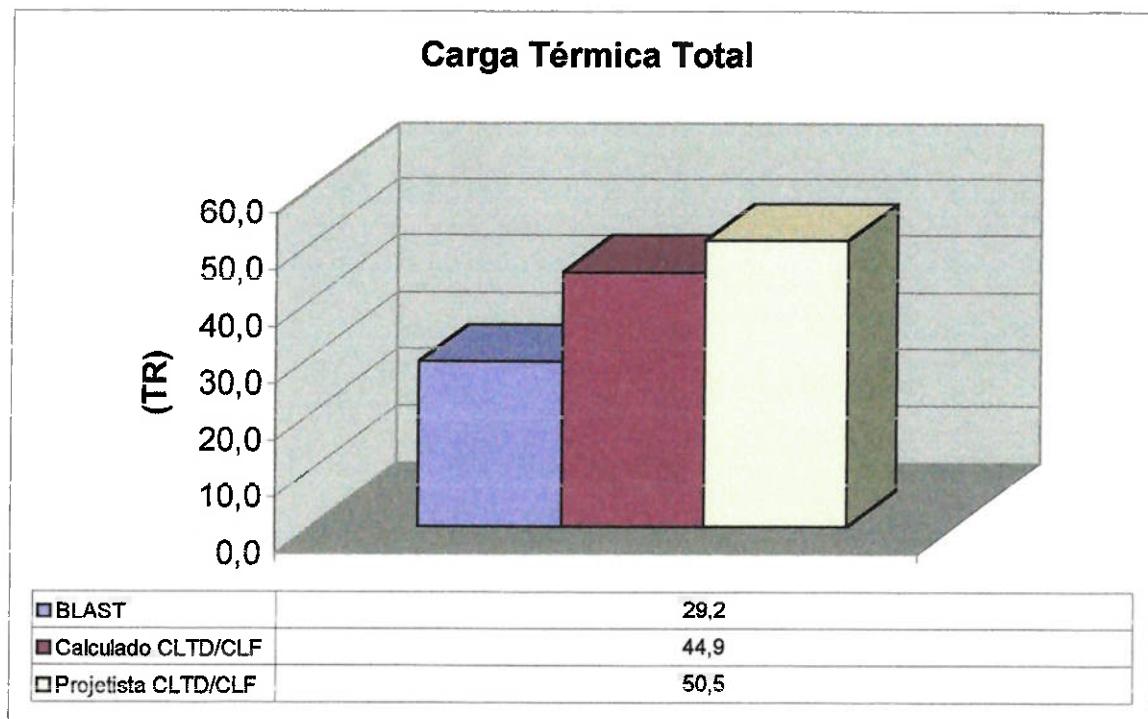


Figura 4 - Carga térmica total ao longo de um dia

A maioria dos programas e métodos de cálculo de carga térmica foram desenvolvidos nos EUA ou na Europa e, consequentemente, foram estruturados para atender climas característicos do hemisfério Norte. Portanto, o projetista brasileiro deve

estar atento às peculiaridades de cada método e saber como melhor adaptá-los para obter resultados mais satisfatórios. O presente trabalho demonstrou como pode variar o cálculo de carga térmica para uma edificação de escritórios, provando a importância de ferramentas adequadas e experiência que um projetista deve possuir para ser bem sucedido na implantação de um sistema de condicionamento.

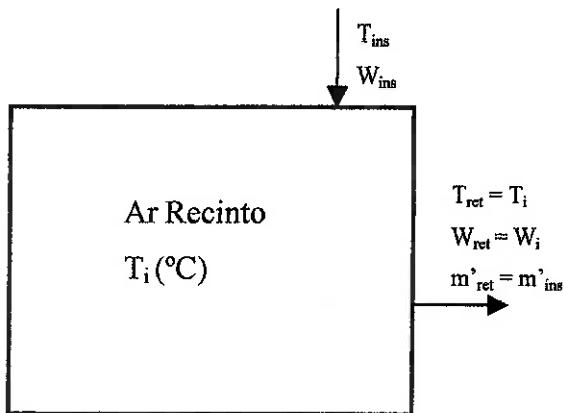
## **10. Referências Bibliográficas**

- AKUTSU, M., Método de Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações no Brasil, Tese de Doutorado, FAU/USP, São Paulo, 1998.
- AKUTSU, M. e VITTORINO, F., Critério para a definição de níveis de desempenho térmico de edificações, Anais do II Encontro Nacional de conforto no Ambiente Construído, Florianópolis, 1993
- AKUTSU, M., Aplicação do Método dos Fatores de Resposta para a Determinação da Resposta Térmica de Edificações, Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo, 1983.
- ASHRAE Standard, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, (ANSI/ASHRAE 55-92), New York, 1992.
- ASHRAE. Ventilation for acceptable indoor air quality. ANSI/ASHRAE Standard 62-1989, 26 pages, 1989.
- ASHRAE, Handbook of Fundamentals, Atlanta, 1995
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto: Parâmetros Básicos de Projeto – Procedimento, 18p. , (ABNT/NBR – 6401), Rio de Janeiro, ABNT, 1798.
- EPUSP – Conservação de energia nas edificações, Anais do Simpósio Nacional de Conservação de Energia nas Edificações, EPUSP, São Paulo, 1989.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas - Geração de Vapor, Sistemas de Potência e refrigeração e Recuperação de Calor, IPT, São Paulo, 1996
- ISO – International Organization for Standardization, Moderate Thermal Environments – Determination of the PMV and PPD indices and specifications of the conditions of thermal comfort, (ISO 7730 – 1994), 1994.
- McQUINSTON, FAYE C.; PARKER, JERALD D.; - Heating, Ventilating and Air Conditioning: Analysis and Design , Ed John Wiley & Sons, 4<sup>a</sup> Edição, New York, 1994.
- NUTAU'96 – Conservação de energia nas edificações, Anais do Simpósio Internacional de Conservação de Energia nas Edificações, São Paulo, 1996.
- PEDERSEN, C. O. et al., BLAST 1.0 – Building Load Analysis and System Thermo dinamics, University of Illinois, Champaign – Urbana, EUA, 1993.

VAN WYLEN, G.; SONNTAG, R e BORGNAKKE, C - Fundamentos da Termodinâmica Clássica Trad. de Euryale Zerbini e Ricardo Simões. 4<sup>a</sup> Edição, Ed. Edgard Blucher Ltda., São Paulo, 1995.

## Apêndice

**Volume de Controle: Recinto**  
**Fluido: Ar**



1ª Lei da Termodinâmica para Regime Permanente:  
 $Q'_{ret} = m'_{ins} \times c_{par} \times (T_i - T_{ins})$

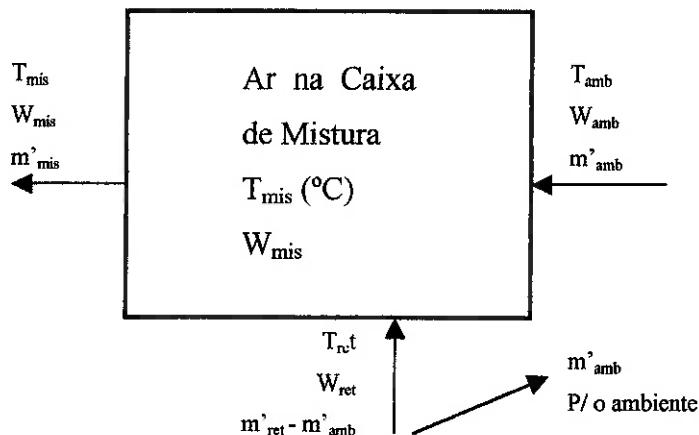
Dados:  $T_i = 24$  °C

$T_{ins} = 12,8$  °C

$c_{par} = 1,2$  cal/g.°C

$m'_{ins} = \dots$

**Volume de Controle: Caixa de Mistura**  
**Fluido: Ar**



1ª Lei da Termodinâmica para Regime Permanente:  
 $m'_{amb} \times c_{par} \times (T_{amb} - T_{mis}) + (m'_{ret} - m'_{amb}) \times c_{par} \times (T_{ret} - T_{mis}) + m'_{mis} \times c_{par} \times (T_{mis} - T_{mis}) = 0$

$$m'_{amb} \times T_{amb} + (m'_{ret} - m'_{amb}) \times T_{ret} = (m'_{amb} + m'_{ret}) \times T_{mis} \Rightarrow \text{com } (m'_{amb} + m'_{ret}) = m'_{mis}$$

$$\frac{T_{mis}}{m'_{mis}} = \frac{m'_{amb} \times T_{amb} + (m'_{ret} - m'_{amb}) \times T_{ret}}{m'_{mis}}$$

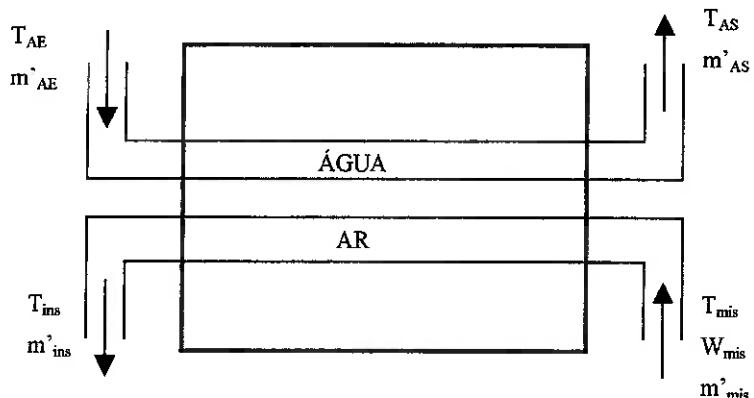
Dados:  $m'_{amb} = 20 \text{ m}^3/\text{h}$  por pessoa ou 1 renovação por hora  
 $T_{ins} = 12,8^\circ\text{C}$   
 $c_{par} = 1,2 \text{ cal/g.}^\circ\text{C}$

### Do balanço de massa:

$$(m'_{ret} - m'_{amb}) \times W_{ret} + (m'_{amb} \times W_{amb}) = (m'_{mis} \times W_{mis})$$

$$W_{mis} = \dots$$

**Volume de Controle:** Trocador de calor - Chiller  
**Fluido:** Ar e Água



Devido à ocorrência de condensação no interior do trocador, deve-se aplicar os cálculos relativos ao Calor Sensível e ao Calor Latente do ar.

$$Q_L = m'_{mis} \times h_{lv} \times (W_{ins} - W_{mis})$$

$$Q_S = m'_{mis} \times c_{par} \times (T_{ins} - T_{mis})$$

$$Q_L + Q_S = Q_{chiler} \text{ (Calor que deve ser retirado pela água do chiller)}$$

### 1ª Lei da Termodinâmica para Regime Permanente p/ Água:

$$Q_{chiler} = m'_{água} (h_{AS} - h_{AE})$$

A eficiência do refrigerador é dada por ( $\beta$  ou COP):

$$\beta = \frac{Q_{chiller}}{W} \quad (\text{Calor retirado})$$

(Energia elétrica gasta)

Dados:  $T_i$  : Temperatura do ar no interior do recinto

$T_{ins}$  : Temperatura do ar de insuflamento

$c_{par}$  : calor específico do ar

$m'_{ins}$  : Vazão em massa (kg/h) do ar de insuflamento

$m'_{amb}$  : Vazão em massa (kg/h) do ar de renovação

$m'_{ret}$  : Vazão em massa (kg/h) do ar de retorno

$m'_{mis}$  : Vazão em massa (kg/h) do ar após a mistura de  $m'_{amb}$  com  $m'_{ret}$

$T_{ret}$  : Temperatura do ar de retorno (igual a  $T_i$ )

$T_{mis}$  : Temperatura do ar após a mistura de  $m'_{amb}$  com  $m'_{ret}$  que trocará calor com a água do chiller

$h_{lv}$  : entalpia de vaporização da água

$W_{ins}$  : Umidade absoluta do ar de insuflamento

$W_{mis}$  : Umidade absoluta do ar após a mistura de  $m'_{amb}$  com  $m'_{ret}$

$Q_L$  : Calor Latente (Troca de calor devido à variação de entalpia  $h_{lv}$  ou mudança de fase)

$Q_s$  : Calor Sensível (Troca de calor devido à variação de temperatura)

$Q_{chiller}$  : Calor que deve ser retirado pela água do chiller