

OK

CONSULTA
FD-3385
Ed.rev.

São Paulo
2003

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título
de Mestre em Engenharia

ESCOLHA DE SISTEMAS DE AR CONDICIONADO

HUGO LAGRECA FILHO

HUGO LAGRECA FILHO

ESCOLHA DE SISTEMAS DE AR CONDICIONADO

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título
de Mestre em Engenharia

Área de concentração:
Engenharia Mecânica

Orientador:
Arlindo Tribess

São Paulo
2003

Aos meus queridos esposa e filhos,
por lhes ter extraído algumas horas de
lazer para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTO

Ao Prof. Dr. Arlindo Tribess pela orientação segura e inteligente sem a qual, acredito, não
obteria os resultados esperados.

SUMÁRIO

Lista de tabelas
Lista de figuras
Resumo
Abstract

| | | |
|----|--|----|
| 1 | 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 | 1.1 ATUALIDADE BRASILEIRA | 2 |
| 3 | 1.2 ESCOPO DO TRABALHO | 3 |
| 5 | 2. ASPECTOS TÉCNICOS NÃO ESPECÍFICOS | 5 |
| 5 | 2.1 MEIO AMBIENTE | 5 |
| 5 | 2.2 QUALIDADE DA MÃO DE OBRA | 5 |
| 5 | 2.3 ACESSIBILIDADE | 5 |
| 6 | 2.4 MUDANÇAS E AMPLIAÇÕES | 6 |
| 6 | 2.5 CONFIABILIDADE | 6 |
| 6 | 2.6 RESULTADOS OBTIDOS | 6 |
| 6 | 2.7 HISTÓRICO | 6 |
| 7 | 2.8 INTERESSES PÚBLICOS | 7 |
| 7 | 2.9 CÓDIGOS E NORMAS | 7 |
| 7 | 2.10 ARQUITETURA | 7 |
| 8 | 3. ASPECTOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS | 8 |
| 8 | 3.1 CARGA TÉRMICA | 8 |
| 9 | 3.1.1 CONDICIONAMENTO PARA CONFORTO | 9 |
| 13 | 3.1.2 CONDICIONAMENTO PARA PROCESSOS E AMBIENTES ESPECIAIS | 13 |
| 14 | 3.1.3 PARCELAS QUE COMPÕEM A CARGA TÉRMICA | 14 |
| 15 | 3.1.4 DADOS NECESSÁRIOS AO CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA | 15 |
| 16 | 3.2 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS BÁSICOS | 16 |
| 17 | 3.2.1 SISTEMAS CENTRAIS | 17 |
| 18 | 3.2.1.1 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS CENTRAIS | 18 |
| 20 | 3.2.1.2 VANTAGENS DO SISTEMA TODO - AR | 20 |
| 21 | 3.2.1.3 DESVANTAGENS DO SISTEMA TODO-AR | 21 |
| 21 | 3.2.1.4 VANTAGENS DO SISTEMA TODO - ÁGUA | 21 |
| 22 | 3.2.1.5 DESVANTAGENS DO SISTEMA TODO - ÁGUA | 22 |
| 22 | 3.2.1.6 VANTAGENS DO SISTEMA AR - ÁGUA | 22 |
| 22 | 3.2.1.7 DESVANTAGENS DO SISTEMA AR - ÁGUA | 22 |

| | |
|-----------|--|
| 74 | 6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS |
| 73 | 6.3 COMENTÁRIOS E JUSTIFICATIVAS DA PONTUAÇÃO |
| 72 | 6.2.4 PONTUAÇÃO DOS SISTEMAS CONFORME SUAS POTENCIALIDADES |
| 71 | 6.2.3 PONTUAÇÃO POR IMPORTÂNCIA RELATIVA |
| 71 | 6.2.2.2 PARÂMETROS DESEJÁVEIS SUJEITOS A PONTUAÇÃO |
| 70 | 6.2.2.1 PARÂMETROS RESTRITIVOS |
| 70 | 6.2.2 PONTUAÇÃO POR IMPORTÂNCIA DE CADA PARÂMETRO COMPARATIVO |
| 70 | 6.2.1 ANÁLISE DOS ASPECTOS TÉCNICOS NÃO ESPECÍFICOS |
| 69 | 6.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE SELEÇÃO |
| 68 | 6.1 DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES DE AR CONDICIONADO EXECUTADAS |
| 68 | 6. TESTE DE APLICAÇÃO DO MÉTODO DE SELEÇÃO |
| 66 | 5.7 ANÁLISE DE RESULTADOS |
| 61 | 5.6 COMENTÁRIOS E JUSTIFICATIVAS |
| 60 | 5.5 QUARTA ETAPA DO PROCEDIMENTO DE SELECIONAMENTO |
| 59 | 5.4 TERCEIRA ETAPA DO PROCEDIMENTO DE SELECIONAMENTO |
| 57 | 5.3 SEGUNDA ETAPA DO PROCEDIMENTO DE SELECIONAMENTO |
| 57 | 5.2 PRIMEIRA ETAPA DO PROCEDIMENTO DE SELECIONAMENTO |
| 53 | 5.1 CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA |
| 53 | 5. APLICAÇÃO DO MÉTODO |
| 51 | 4.3 RESULTADOS |
| 45 | 4.2 DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO |
| 45 | 4.1 PROCEDIMENTOS INICIAIS PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO |
| 45 | 4. O MÉTODO DE SELECIONAMENTO |
| 42 | 3.4 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE COMPONENTES DOS SISTEMAS |
| 41 | 3.3 CUSTOS |
| 40 | 3.2.6 TIPOS E CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DOS SISTEMAS UNITÁRIOS |
| 39 | 3.2.5 TIPOS E CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DOS SISTEMAS AR - ÁGUA |
| 36 | 3.2.4 TIPOS E CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DOS SISTEMAS TODO - ÁGUA |
| 34 | 3.2.3.2 DOIS DUTOS DE INSUFILAMENTO |
| 33 | 3.2.3.1.7 VAZÃO VARIÁVEL, MULTIZONA TERMINAL COM VENTILADOR |
| 32 | 3.2.3.1.6 VAZÃO VARIÁVEL, MULTIZONA TERMINAL DE INDUÇÃO |
| 31 | 3.2.3.1.5 VAZÃO VARIÁVEL, MULTIZONA TERMINAL DE REAQUECIMENTO |
| 29 | 3.2.3.1.4 VAZÃO VARIÁVEL, MULTIZONA TERMINAL SIMPLES |
| 27 | 3.2.3.1.3 VAZÃO CONSTANTE, MULTIZONA DESVIO |
| 26 | 3.2.3.1.2 VAZÃO CONSTANTE, MULTIZONA REAQUECIMENTO TERMINAL |
| 24 | 3.2.3.1.1 VAZÃO CONSTANTE, ZONA SIMPLES |
| 24 | 3.2.3.1 DUTO ÚNICO |
| 24 | 3.2.3 TIPOS E CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DOS SISTEMAS TODO - AR |
| 23 | 3.2.2.2 DESVANTAGENS DOS SISTEMAS UNITÁRIOS |
| 23 | 3.2.2.1 VANTAGENS DOS SISTEMAS UNITÁRIOS |
| 23 | 3.2.2 SISTEMAS UNITÁRIOS |

75
76
78

7. CONCLUSÕES E CONTINUIDADE DO TRABALHO

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

9. BIBLIOGRAFIA

ANEXO A - EXEMPLO DE CÁLCULO DE ENERGIA CONSUMIDA EM SISTEMA TODO - AR.

ANEXO B - TABELAS DE EFICIÊNCIAS ENERGÉTICAS MÍNIMAS EXIGIDAS - ASHRAE 90.

| | |
|----|---|
| 32 | FIGURA 3.11: CICLO DE OPERAÇÃO DE CONTROLES |
| 31 | FIGURA 3.10: UNIDADE TERMINAL COM REAQUECIMENTO |
| 30 | FIGURA 3.9: ESQUEMA DO SISTEMA TODO AR DE VAZÃO VARIÁVEL, CAIXAS VAV. |
| 28 | FIGURA 3.8: SISTEMA TODO AR COM DESVIO DE AR INSUFLADO PARA O RETORNO |
| 27 | FIGURA 3.7: ESQUEMA DE CONTROLE DO SISTEMA TODO AR, REAQUECIM. POR ZONA |
| 26 | FIGURA 3.6: ESQUEMA DE CONTROLES DO SISTEMA TODO AR, ZONA SIMPLES |
| 25 | FIGURA 3.5: SISTEMA TODO AR VAZÃO CONSTANTE, ZONA SIMPLES |
| 20 | FIGURA 3.4: ESQUEMA DE UMA INSTALAÇÃO TODO ÁGUA |
| 19 | FIGURA 3.3: ESQUEMA DE UMA INSTALAÇÃO TODO AR COM VAZÃO VARIÁVEL |
| 13 | FIGURA 3.2: ZONAS DE CONFORTO, NORMA ASHRAE 55 A/95 |
| 9 | FIGURA 3.1: MODELO CILÍNDRICO DA INTERAÇÃO TÉRMICA CORPO - MEIO. |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|----|--|
| 72 | TABELA 6.4: PONTUAÇÕES POR POTENCIALIDADES DOS SISTEMAS |
| 72 | TABELA 6.3: MATRIZ DE PONDERAÇÕES POR IMPORTÂNCIA RELATIVA |
| 71 | TABELA 6.2: PONTUAÇÕES DE PARÂMETROS DESEJÁVEIS |
| 70 | TABELA 6.1: PARÂMETROS E RESTRIÇÕES |
| 61 | TABELA 5.7: PONTUAÇÕES DA QUARTA ETAPA E FINAIS DO PROCESSO DE ESCOLHA |
| 59 | TABELA 5.6: MATRIZ DE PONDERAÇÕES POR IMPORTÂNCIA RELATIVA |
| 58 | TABELA 5.5: PONTUAÇÕES DE PARÂMETROS DESEJÁVEIS |
| 57 | TABELA 5.4: PARÂMETROS IMPRESCINDÍVEIS E RESTRIÇÕES |
| 56 | TABELA 5.3: CARGAS TÉRMICAS DAS SALAS STA E REC. |
| 56 | TABELA 5.2: CARGAS TÉRMICAS DAS SALAS SD. |
| 55 | TABELA 5.1: PERFIS DE TEMPERATURAS DOS DIAS TÍPICOS. |
| 50 | TABELA 4.4: CRITÉRIOS DE PONTUAÇÃO SEGUNDO MODO. |
| 50 | TABELA 4.3: CRITÉRIOS DE PONTUAÇÃO PRIMEIRO MODO. |
| 49 | TABELA 4.2: PONTUAÇÃO POR IMPORTÂNCIA RELATIVA. |
| 48 | TABELA 4.1: PONTUAÇÃO POR IMPORTÂNCIA. |
| 12 | TABELA 3.2: DETERMINAÇÃO DO VOTO MÉDIO ESTIMADO. |
| 11 | TABELA 3.1: ESCALA DE SENSÇÃO TÉRMICA. |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|----|--|
| 32 | FIGURA 3.12: ESQUEMA DE CONTROLE DO TERMINAL DE INDUÇÃO |
| 33 | FIGURA 3.13: ESQUEMA DO CICLO DE OPERAÇÃO |
| 33 | FIGURA 3.14: ESQUEMA DE OPERAÇÃO E CONTROLE TERMINAL COM VENTILADOR |
| 34 | FIGURA 3.15: ESQUEMA DO CICLO DE OPERAÇÃO |
| 34 | FIGURA 3.16: ESQUEMA DO CICLO DE TRABALHO DO VENTILADOR |
| 35 | FIGURA 3.17: ESQUEMA DE OPERAÇÃO E CONTROLE DO SISTEMA DE DOIS DUTOS |
| 36 | FIGURA 3.18: ESQUEMA AMPLIADO DA CAIXA DE MISTURA |
| 37 | FIGURA 3.19: UNIDADE <i>FAN-COIL</i> COM CAPTAÇÃO DE AR EXTERNO |
| 37 | FIGURA 3.20: UNIDADE <i>FAN-COIL</i> APLICADA COM REDE DE DUTOS |
| 38 | FIGURA 3.21: DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA COM SISTEMA PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO |
| 39 | FIGURA 3.22: ESQUEMA DE UM SISTEMA AR ÁGUA COM CAIXA DE INDUÇÃO |
| 40 | FIGURA 3.23: ESQUEMA DE APLICAÇÃO DE SISTEMAS UNITÁRIOS |
| 47 | FIGURA 4.1: ETAPAS DO MÉTODO DE SELECIONAMENTO |
| 52 | FIGURA 5.1: PLANTA BAIXA DOS AMBIENTES A CONDICIONAR |
| 65 | FIGURA 5.2: COEFICIENTE DE DESEMPENHO(COP) EM FUNÇÃO DA CAPACIDADE |
| 66 | FIGURA 5.3: CRITÉRIO DE PONTUAÇÃO |
| 69 | FIGURA 6.1: ETAPAS DO MÉTODO DE SELEÇÃO |

RESUMO

Um dos desafios que o projetista de ar condicionado encontra, logo na primeira etapa da concepção de um projeto, é a seleção do sistema de condicionamento. A diversidade de sistemas, as condições locais de instalação, o custo operacional e muitos outros itens, não permitem escolher o sistema mais adequado com facilidade. Infelizmente esta escolha é geralmente feita somente com base em experiências anteriores e no custo inicial resultando, desta forma, muitas vezes, instalações ineficientes e que não alcançam plenamente seus objetivos.

Neste trabalho, com o método de seleção de sistemas apresentado, procura-se aliar às necessidades técnicas, os valores de importância relacionados diretamente ao cliente-proprietário e usuários das instalações de ar condicionado.

Para isso foram pontuados parâmetros que traduzem as exigências ambientais importantes de uma instalação de condicionamento do ar e características próprias dos sistemas de condicionamento. Essa pontuação envolve o cliente-proprietário, o engenheiro especialista em ar condicionado bem como qualquer outro profissional interagindo no processo de seleção.

Para dar valores a cada parâmetro foram desenvolvidos critérios típicos, muitas vezes tomando como base valores internacionalmente reconhecidos, como é o caso de consumo de energia de um equipamento completo de ar condicionado, e normas internacionais brasileiras.

A pontuação final leva a uma conclusão bastante aceitável e possibilita a análise de todos os parâmetros atendidos e não perfeitamente atendidos, permitindo prever a qualidade final das instalações.

As características principais de cada sistema de ar condicionado foram descritas neste trabalho servindo de referência aos engenheiros na análise dos sistemas e, para avaliar o método de seleção proposto, foi feita a sua aplicação em ambiente de condicionamento típico.

ABSTRACT

The assessment of appropriate air conditioning systems poses, to air conditioning project planners, a major handicap. This handicap is due to a wide range of variables involved in the decision-making process. These variables include parameters to be considered such as the physical condition of the premises where the system would be installed, the varied offer of systems available in the market as well as manufacturing and operational costs and so forth. The two commonly used parameters for analyses part of the decision-making process are limited to a) start-up cost, b) prior experience. There may lie the underlying incoherence in the decision-making process for the appropriate selection of air conditioning systems that gave birth to the work from which this paper has been originated. The incoherence is perceived as we assess the wide range of variables available for analyses in the decision-making process confronted with the commonly narrow effective use of them. The outcome of this poor use of variables results in ineffective as well as inefficient projects of air conditioning systems. This paper aims at aligning the customer-owner's related interests, whether of engineering, social, environmental or economic nature. By means of the proposed methodology for fair selection of air conditioning systems the user will be enabled to rank through a scorecard the parameters that reflect the will of all professionals involved aligned with systems currently in use. For enhanced dependability of the scoring method this work has considered the existing international and local norms as well as indexes endorsed by accredited international institutions. The final score does then stem from a multipurpose analyses giving project planners the benefit of predictability of the results of each and every systems taken to the discussion table. A selection of the most important features of a varied number of systems has been made available in this work so as to provide engineers with a reference guide that seeks to group into a single piece of work the fundamental data to be collected whenever the analyses is to be conducted. An applied case in typical air conditioning environment has been experimented so as to enhance the assessment of the effectiveness of the proposed paper.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Nem sempre as instalações de ar condicionado são bem compreendidas quanto às suas finalidades e objetivos. Um grande número de usuários ainda imagina que o condicionamento de ar serve simplesmente para manter uma temperatura mais baixa do ar nos ambientes durante a estação do verão.

As instalações de ar condicionado servem ao conforto humano ou atendem a exigências de processos e isso envolve, não só o restrição do ar, mas um controle global que pode incluir o aquecimento, a umidificação, a qualidade e a distribuição do ar, adequados a cada ambiente tratado. Nas aplicações visando controle ambiental para processo, o rigor na obtenção das condições costuma ser maior, tendo como consequência instalações mais complexas.

No Brasil, o condicionamento de ar praticamente começou entre 1950 e 1960, primeiramente de forma bastante precária e dependendo da importação de equipamentos e também de conhecimento. Nos últimos anos, o desenvolvimento do setor foi bastante grande, embora, ainda durante muito tempo, tenha-se ficado sem alternativas de equipamentos que permitissem a escolha adequada de um ou outro sistema de condicionamento. Hoje a disponibilidade de equipamentos é maior, o que flexibiliza a seleção de sistemas.

Com a escalada de custos, principalmente da energia e as exigências cada vez maiores na qualidade do ar interior, torna-se muito importante que se destine um tempo razoável na escolha de sistemas de ar condicionado.

A ideia desse trabalho partiu da necessidade de se criar diretrizes na escolha de sistemas, de forma objetiva, não só sobre o ponto de vista do projetista, mas de todos os profissionais relacionados com a instalação: o investidor, o arquiteto, o engenheiro civil, entre outros.

O que se observa é que a escolha tem sido feita sem um critério técnico mais aprofundado, na base de experiências anteriores e sem estudo de alternativas. É claro que o selecionamento de um sistema de ar condicionado requer conhecimento profundo dos princípios de funcionamento de cada sistema e suas características específicas, exigindo estudo prolongado e especializado. Também fica evidente o aumento de custo dos serviços de engenharia para a análise das alternativas, mas que certamente serão compensados e apresentarão retorno do investimento.

No Brasil as instalações de ar condicionado recaem em sistemas que se enquadram sob a visão de dimensões dos ambientes e custo inicial. De uma maneira geral são escolhidos para conforto térmico:

- Sistemas unitários com aparelhos tipo janela ou *split* para ambientes menores, até aproximadamente 100 m² de área de piso e tem geralmente custo inicial mais baixo.
- Sistemas unitários com aparelhos tipo *self contained* para ambientes até aproximadamente 600 m² e de custo inicial médio.
- Sistemas centrais para aplicação em áreas maiores e aplicações industriais e especiais, com custo inicial mais elevado.

1.1 A ATUALIDADE BRASILEIRA

Nas instalações de ar condicionado o que deve interessar não é simplesmente a obtenção de algum parâmetro como a temperatura. Também não é possível considerar a temperatura como determinante na escolha do sistema. Será preciso analisar outros parâmetros, muitas vezes não lembrados ou omitidos como: a facilidade de manutenção, a flexibilidade para alterações futuras, o custo operacional, etc.

Cada instalação deve ser analisada particularmente, ficando descartada a importação simples de soluções anteriores aplicadas mesmo a ambientes semelhantes. A seleção de um sistema de uma maneira criteriosa será possível quando as várias características dos sistemas alternativos puderem ser apresentadas em uma escala com unidades monetárias e por objetivos.

Alguns parâmetros de escolha são, no entanto, subjetivos e também por isso, a análise dependerá de uma cooperação entre profissionais envolvidos na implantação do sistema de ar condicionado e do investidor proprietário. Alguns itens, como segurança, meio ambiente e interesses públicos incluirão a opinião de especialistas.

Os aspectos subjetivos serão comentados, nesse trabalho, como ASPECTOS TÉCNICOS NÃO ESPECÍFICOS e podem ser determinantes na escolha de um ou outro sistema, mas não entrarão nas ponderações utilizadas no método de escolha aqui apresentado. Admitir-se, portanto, que esses aspectos estejam resolvidos e sejam conferidos no final da escolha. Na descrição dos ASPECTOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS estarão as características importantes dos sistemas e que permitirão realizar as ponderações dos critérios usados no método de seleção apresentado nesse trabalho.

Os equipamentos e aparelhos usados nos sistemas indicados são fabricados em grande parte no Brasil, com exceção de grandes máquinas como restridores de líquidos, que utilizam compressores do tipo centrífugo.

O método de seleção apresentado neste trabalho visa comparar sistemas centrais, embora possa ser aplicado a sistemas unitários, de uma forma simplificada, escolhendo-se critérios específicos. Nas instalações centrais o método inclui critérios abrangendo quaisquer tipos de instalações com controle de temperatura, umidade, nível de contaminantes nos ambientes tratados e distribuição do ar.

1.2 ESCOPO DO TRABALHO

Neste trabalho serão apresentados, discutidos e avaliados critérios para a escolha de sistemas de ar condicionado, conhecidas as particularidades de cada sistema, com o objetivo de selecionar o sistema mais adequado a uma aplicação específica.

A seguir são apresentados de forma resumida os principais aspectos relacionados com a seleção de sistemas, o método proposto para seleção e a aplicação do método.

a) ASPECTOS TÉCNICOS NÃO ESPECÍFICOS.

A escala de medida na avaliação comparativa dos sistemas aqui usada tem ponderação com base monetária (custos inicial e operacional) e ponderação por objetivos a serem alcançados pela instalação de ar condicionado. (qualidade do ar interior, tolerâncias de temperatura e umidade, entre outros).

Alguns parâmetros, no entanto, não aceitam, senão relativamente, a base monetária ou a ponderação por objetivos e devem ser analisados com antecedência e considerados resolvidos anteriormente à aplicação do método de seleção proposto, pois podem ser conclusivos na escolha do sistema de condicionamento.

Meio ambiente, acessibilidade e códigos locais, são exemplos destes aspectos técnicos não específicos que são comentados no capítulo 2.

b) ASPECTOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS.

Esses aspectos, descritos no capítulo 3, permitirão a análise de cada sistema e com isso, decidir e inserir ponderação nos parâmetros de comparação entre sistemas alternativos, conforme o método, apresentado no capítulo 4.

Carga térmica, características dos sistemas de condicionamento de ar, custos e avaliação de desempenho de componentes, são os aspectos técnicos específicos abordados.

c) O MÉTODO DE SELECIONAMENTO E A APLICAÇÃO DO MÉTODO.

No capítulo 4, são apresentados a descrição e o desenvolvimento, do método por avaliação ponderada de parâmetros importantes desejáveis à instalação estudada. Alguns parâmetros podem ser obrigatórios e, portanto, eliminatórios para sistemas que não atendam às exigências, como: custo inicial máximo, consumo máximo de energia, entre outros.

A aplicação do método requer, em grande parte, conhecimento aprofundado dos sistemas alternativos e por isso são apresentadas, neste trabalho, características de cada sistema de ar condicionado e que devem ser analisadas por profissional especializado. O conhecimento das características típicas de cada sistema, apresentadas no capítulo 3, permitirá a ponderação dos parâmetros incluídos na escolha dos sistemas de condicionamento de ar.

No capítulo 5 é feita a aplicação do método em um estudo de caso.

CAPÍTULO 2

ASPECTOS TÉCNICOS NÃO ESPECÍFICOS

Neste capítulo são apresentadas aspectos que devem ser avaliados previamente, pois podem ser conclusivos na escolha do sistema de ar condicionado e, após a aplicação do método de seleção, para a verificação do atendimento a estes aspectos técnicos não específicos.

2.1 MEIO AMBIENTE.

Uma instalação de ar condicionado pode afetar de várias formas o meio ambiente:

- O aquecimento resultante de extração de calor nos condensadores.
- A concentração de umidade em torno das torres de resfriamento.
- A poluição visual de aparelhos externos.
- A poluição sonora provocada à vizinhança .
- A poluição provocada por drenagem de líquidos com microorganismos.
- O vazamento de fluidos refrigerantes afetando a camada de ozônio.
- O espalhamento de contaminantes perigosos durante a limpeza de filtros.

2.2 QUALIDADE DA MÃO DE OBRA.

Aspecto bastante importante a lembrar, principalmente sob o ponto de vista de manutenção e operação dos sistemas de ar condicionado, considerando a qualidade da mão de obra técnica disponível nas várias regiões do Brasil. Os serviços nas instalações exigem, muitas vezes, pessoal especializado e treinado. É comum encontrar-se instalações com amplos recursos técnicos que não podem ser acompanhadas por pessoal encarregado pelo usuário ficando, portanto, na dependência de atendimento externo muitas vezes bastante falho, na experiência brasileira.

2.3 ACESSIBILIDADE.

É necessário alertar para a localização dos equipamentos que compõem o sistema de ar condicionado olhando sob a visão da manutenção preventiva e corretiva. Os custos de remoção ou substituição de partes podem ser bastante elevados. O acesso fácil aos componentes é importante devido, também, a questões de segurança.

funcionamento tomada como base de cálculo e de selecionamento do sistema de ar ambientes condicionados. Na maioria das vezes esses ambientes fogem da ideia de De muita importância é o conhecimento do modo de operação ou do uso dos evitar a aquisição de sistemas complementares complexos e caros.

bastante importante principalmente em situações de ampliação das instalações, podendo-se manutenção, períodos de parada, tempo efetivo de uso de ambientes, etc. Isso se torna Alguns dados históricos podem ser medidos com razoável objetividade – custo de

2.7 HISTÓRICO.

condicionamento. solução, pode-se necessitar alterar a concepção de projeto e a escolha do sistema de flexíveis na aceitação de condições ideais e muitas vezes se aclimatizam. Dependendo da satisfação a ambos: pessoas e processo. Considere-se, no entanto, que as pessoas são mais um processo industrial. Nem sempre será possível encontrar condições do ar que as normas da ASHRAE (ASHRAE, 1995), e atender as exigências de tratamento do ar para conforto das pessoas que frequentam o ambiente, 80% da população no mínimo, segundo Muitas vezes o projeto se depara com o problema de ter de atender às exigências de

2.6 RESULTADOS OBTIDOS.

Assim sendo, não são confiáveis para algumas aplicações. equipamentos mais simples têm, conhecidamente, uma vida mais curta e imprevisível. portanto, de menor custo, dependendo da responsabilidade das instalações. Alguns acarretam prejuízos elevados. Nesses casos mantêm-se equipamentos de reserva prontos para funcionar. Esse sistema reserva pode, no entanto, ser de mais baixa qualidade e, Algumas instalações de ar condicionado não devem parar de atuar, caso contrário,

2.5 CONFIABILIDADE.

considerado. radicalmente mudar a escolha do sistema de ar condicionado e o investimento no período e tem, portanto, um longo período de amortização. Um planejamento de ampliações pode em novos ambientes ou ampliações. As instalações de ar condicionado no Brasil são caras analisadas subjetivamente, verificando possibilidades de aproveitamento das instalações A não ser que façam parte de um planejamento, as mudanças e ampliações serão

2.4 MUDANÇAS E AMPLIAÇÕES.

condicionado durante o projeto inicial. Ampliações, com aquisição de novos equipamentos devem considerar esses dados históricos.

2.8 INTERESSES PÚBLICOS.

A economia de energia pode ser preponderante na escolha de um sistema não só para o investidor e o usuário, mas também como interesse público. O meio ambiente faz parte do interesse público, bem como a segurança global das instalações.

2.9 CÓDIGOS E NORMAS.

Muitas limitações estão incluídas nos códigos locais e normas. Isso poderá limitar por princípio, o uso de um ou outro sistema de condicionamento. Um aspecto importante é o ruído emitido por componentes do sistema à vizinhança.

2.10 ARQUITETURA.

A compatibilidade entre o ar condicionado e a arquitetura é muito importante. Os componentes dos sistemas de ar condicionado ocupam um espaço significativo e requerem muitas vezes estrutura civil adequada considerando ainda, as eventuais vibrações transmitidas às estruturas. Ainda, muitas partes da instalação estão situadas em pontos visíveis e devem, portanto, ter aparência condizente com os ambientes.

CAPÍTULO 3

ASPECTOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS

São aqui discutidos os parâmetros que normalmente podem fazer parte na avaliação de sistemas, em uma escala monetária e por objetivos.

Para que seja possível ponderar esses parâmetros é necessário o conhecimento específico de matérias referentes a:

a) Carga térmica, que é o ponto de partida na seleção de qualquer sistema de condicionamento de ar;

b) Características potenciais dos sistemas, para que possam ser comparados;

c) Custo inicial e custo operacional, que são parâmetros importantes no selecionamento de sistemas;

d) Avaliação de desempenho dos componentes dos sistemas para a determinação de potências e rendimentos, usados na análise de consumo de energia.

3.1 CARGA TÉRMICA

Por definição, ar condicionado é o processo de tratamento do ar de modo a controlar simultaneamente a temperatura, umidade, qualidade e distribuição do ar para atender as necessidades do recinto condicionado.

Algumas vezes o controle das exigências inseridas na definição não precisará ser rigoroso, podendo-se admitir flutuações em uma faixa relativamente larga, como é o caso da umidade em condicionamento para conforto, onde um intervalo entre 40% e 60% de umidade relativa é admissível sem maiores prejuízos. Outras vezes, uma única exigência, não corretamente atendida, levará a resultados bastante insatisfatórios.

Das condições de temperatura e umidade a serem obtidas nos ambientes condicionados dependerá a carga térmica, fator importante no selecionamento do sistema mais adequado para atender as exigências ambientais. A flutuação permíssível dos parâmetros, temperatura e umidade também pode definir um sistema de condicionamento. Com a finalidade de se analisar as condições de temperatura, umidade, qualidade do ar e a distribuição de ar, exigidas em cada aplicação, é interessante se classificar o condicionamento de ar de uma maneira geral, segundo seus propósitos. Dessa maneira, serão considerados, o condicionamento para conforto e o condicionamento para processos ou ambientes especiais.

Neste ponto torna-se importante que se façam considerações específicas das aplicações do condicionamento de ar visando conforto ou processos.

3.1.1 Condicionamento para conforto

No condicionamento para conforto visa-se o conforto térmico das pessoas em um ambiente. Segundo a ASHRAE 55a-95 (ASHRAE, 1995), conforto térmico é definido como "um estado de espírito que reflete satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa".

Para se determinar condições que possibilitem o conforto térmico e com os dados especificados dar início ao cálculo de algumas parcelas que compõem a carga térmica, é preciso entender os mecanismos de troca de calor entre o homem e o seu meio (Figura 3.1).

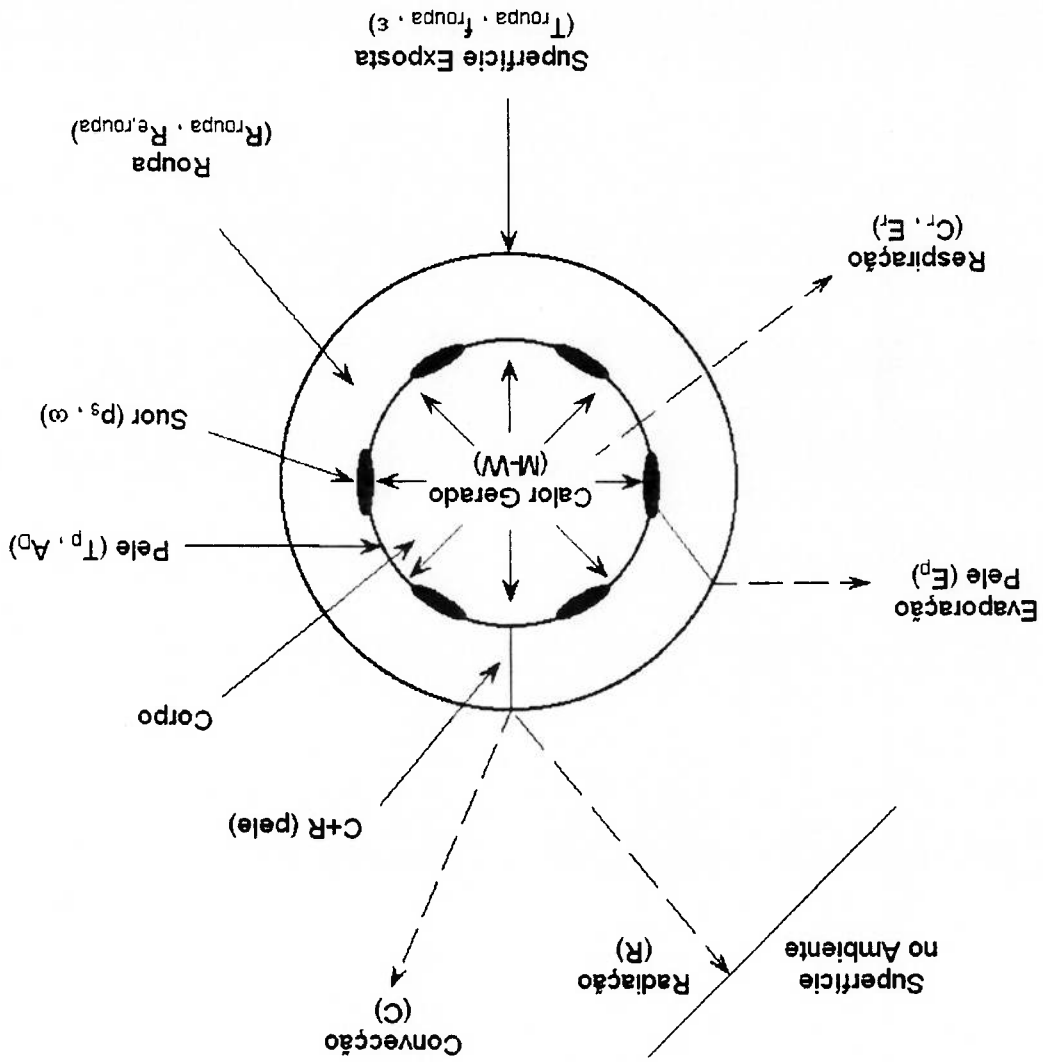


Figura 3.1 Modelo cilíndrico da interação térmica: corpo humano - meio envolvente (ASHRAE, 2001)

Do balanço térmico do corpo humano (1º Princípio da Termodinâmica), tem-se:

$$U = M - W - (C + R + E_p) - (E_r + C_r) \quad (3.1)$$

onde:

U = taxa de variação da energia interna (W/m^2);

M = metabolismo;

W = trabalho externo;

R = calor transferido por radiação;

C = calor transferido por convecção;

E_p = calor transferido por evaporação pela pele;

E = calor transferido por evaporação pela respiração

C_r = calor transferido por convecção pela respiração

Sob condições de conforto térmico é condição necessária que ocorra a neutralidade térmica ($U = 0$), isto é, que todo o calor gerado pela pessoa, M , seja dissipado. Esta dependem do nível de atividade (dado pelo metabolismo, M), são as outras duas condições necessárias para o estabelecimento de condições de conforto térmico. Estas duas funções, combinadas com o balanço de calor do corpo humano e utilizando a teoria geral de transferência de calor, constituem a base para a dedução da equação geral de conforto (ASHRAE, 2001; FANGER, 1972). Deste equacionamento resultam os parâmetros de conforto térmico:

✓ nível de atividade (metabolismo);

✓ resistência térmica da roupa;

✓ velocidade relativa do ar;

✓ umidade do ar;

✓ temperatura do ar;

✓ temperatura radiante média do meio.

A equação geral de conforto de Fanger (FANGER, 1972; ASHRAE, 2001) trata de combinações dos parâmetros acima que causam sensação de conforto térmico. Contudo, muitos dos ambientes (condicionados ou não) podem apresentar condições que não são de conforto. Assim, para determinar o grau de desconforto de um ambiente a ASHRAE estabeleceu uma escala de sensação térmica que varia do muito frio (-3) ao muito quente (+3).

| | |
|-------------|-----|
| V_a (m/s) | a |
| 0 – 0,2 | 0,5 |
| 0,2 – 0,6 | 0,6 |
| 0,6 – 1,0 | 0,7 |

onde a varia de acordo com a velocidade relativa do ar (V_a):

$$T_o = a \cdot T_a + (1 - a) \cdot \overline{T_r} \quad (3.2)$$

temperatura do ar, T_a , conforme a relação abaixo:
 função da temperatura operativa, T_o , que é dada pela temperatura média radiante, $\overline{T_r}$, e a
 Verifica-se na Tabela 3.2 e na Figura 3.2 que os resultados são apresentados em
 hachurada.

zona de conforto considerando atividades de escritório representada pela área
 Cartas de Conforto da ASHRAE. A Figura 3.2 mostra uma carta psicrométrica com a
 determinação das condições de conforto térmico em ambientes condicionados - as
 A ASHRAE 55a-95 (ASHRAE, 1995) também apresenta gráficos para a
 atividades, tipos de vestimenta e condições ambientais.

para utilização em microcomputador, que permitem determinar o PMV para diferentes
 a ISO 7730 (ISO, 1994) apresentam tabelas, como aquela da Tabela 3.2, e uma rotina
 Uma vez que o cálculo do voto médio estimado é trabalhoso, FANGER (1972) e
 de conforto térmico.

de neutralidade térmica, que corresponde à condição de conforto térmico (PMV igual a
 zero). O trabalho de Fanger (FANGER, 1972) é a base da norma ISO 7730 (ISO, 1994)
 Vê-se que no modelo de Fanger existem 5% de insatisfeitos mesmo na condição

| PPD | 100% | 75% | 25% | 5% | 25% | 75% | 100% |
|-----|------------|------|-----------------------|--------|------------------------|--------|--------------|
| PMV | multo frio | Frio | leve sensação de frio | neutro | leve sensação de calor | quente | multo quente |
| | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 |

Escala de sensação térmica

Tabela 3.1 – Escala de sensação térmica

apresentado na Tabela 3.1.
 da população (PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied), com resultados conforme
 do voto médio estimado (PMV - Predicted Mean Vote) e do respectivo nível de insatisfação
 Esta escala da ASHRAE foi utilizada por Fanger em seus ensaios na determinação

Os fatores preponderantes na escolha das condições ideais do ar nos ambientes de processos ou exigências especiais deverão ser extensamente examinados para cada caso específico.

A uniformidade e o equilíbrio de umidade e temperatura permitem controlar qualidades físicas do produto, permitem manipulação satisfatória e rápida, um ajuste das máquinas para trabalhar em alta velocidade com um mínimo de perdas de produto e um produto final livre de defeitos.

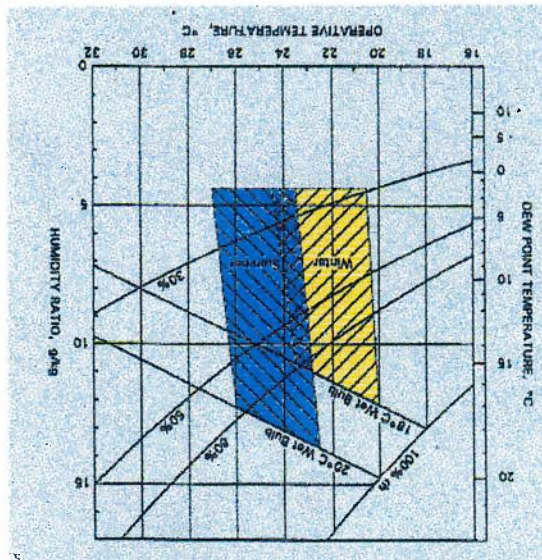
Em processos com materiais leves, como fibras de papel e têxteis, o controle da umidade no ambiente reduz o efeito da eletricidade estática, que pode ser bastante prejudicial ao processo e perigoso em atmosferas explosivas.

- Manter o equilíbrio de umidade de um material;
- Manter a uniformidade do produto e suas qualidades físicas;
- Evitar eletricidade estática;
- Controlar a velocidade de reações químicas, biológicas e de cristalização;
- Evitar corrosão e outros processos de superfícies polidas;
- Manter a aparência do produto conveniente, etc.

Nos ambientes industriais tem-se como finalidade do condicionamento: velocidade do ar são ditadas pelo próprio processo ou exigências específicas. manter características típicas), as condições de temperatura, umidade, qualidade e No condicionamento para processos ou ambientes especiais (aqueles que devem

3.1.2 Condicionamento para processos e ambientes especiais.

Figura 3.2 Zonas de conforto, Norma ASHRAE 55a/95, verão e inverno.



O controle de temperatura e umidade nos processos de fermentação regula a velocidade de reações biológicas.

O tamanho dos cristais formados de uma solução química depende da velocidade de resfriamento.

Na fabricação de instrumentos de precisão, ferramentas, lentes e equipamentos eletrônicos, a temperatura e a umidade devem ser controladas evitando contração e dilatação dos materiais fora das tolerâncias máximas exigidas. Em muitos desses casos, o controle da qualidade do ar se torna essencial (ASHRAE, 1999).

Escolhidas as condições ambientais de temperatura, umidade, qualidade e velocidade do ar, seja para atender o conforto térmico das pessoas, seja para atender as exigências de um processo industrial, parte-se para o cálculo da carga térmica cujo valor poderá ser decisivo na escolha de um ou outro sistema de condicionamento.

3.1.3 Parcelas que compõem a carga térmica

Carga térmica, por definição, é a quantidade de calor a ser retirada (regime de verão) ou fornecida (regime de inverno) ao ar para manter, em um recinto, as condições desejadas de temperatura e umidade. É a carga máxima, considerando o caráter dinâmico das trocas de calor (Hernandez et al. 1999) de todas as parcelas e cujo valor servirá para o dimensionamento dos componentes do sistema de ar condicionado. As cargas parciais, não máximas, servirão, principalmente, para a análise de controles automáticos de capacidade e para determinação dos consumos de energia nesses períodos de carga abaixo da máxima. Observe-se que a carga térmica, como acima definida, não corresponde somente às quantidades de calor trocadas no ambiente tratado, mas incluem todas as cargas necessárias ao dimensionamento dos equipamentos, inclusive aquelas que resultam da admissão de ar externo, do trabalho das bombas hidráulicas, das trocas de calor em tubulações, dutos, etc.

O calor trocado entre o ar e as várias fontes geradoras ou absorvedoras (pessoas, iluminação, motores, etc.) se apresenta sob os modos sensível e latente. Ao calor sensível correspondem mudanças de temperatura e ao latente a admissão ou rejeição de vapor de água do ar.

As parcelas que compõem a carga térmica são:

- Condução de calor por superfícies opacas e superfícies translúcidas, devido à radiação solar e devido à diferença de temperatura entre o ar exterior e o ar do ambiente condicionado (calor sensível). É possível se ter alguma parcela de vapor de água transmitida através das paredes, mas, geralmente, são quantidades desprezíveis (calor latente).

A carga térmica deve ser calculada para o período de uso do condicionamento. Em função do caráter dinâmico das trocas de calor resulta um perfil variado passando por uma carga máxima, base geralmente usada para o dimensionamento das partes, e atingindo valores menores, cargas parciais, no decorrer do período de uso do ar condicionado. O conhecimento das cargas parciais torna-se importante para a adaptação correta dos controles automáticos e para o cálculo dos consumos de energia nestes períodos, nos quais a carga térmica não é a máxima.

3.1.4 Dados necessários ao cálculo da carga térmica

O cálculo da carga térmica só aparenta ser simples. A quantidade de informações necessárias, se tomadas corretamente, é bastante grande e específica. Um engano ou omissão no levantamento de dados acarreta erro no cálculo da carga térmica com consequências desastrosas. Uma carga térmica calculada incorretamente, superior ao valor atual pode acarretar escolha inconveniente do sistema de condicionamento, superdimensionamento dos componentes, desconrole das instalações, vida curta dos equipamentos, consumo alto de energia. Um subdimensionamento dos componentes baseado em carga calculada inferior à atual, basta citar, impossibilita a obtenção das condições desejadas no ambiente.

Fica, portanto ressaltada a importância de se ter determinados corretamente os dados necessários ao cálculo da carga térmica. No mínimo deverão ser obtidos ou determinados:

- Objetivo específico do condicionamento do ar.
- Dimensões: teto, piso, paredes.
- Orientação solar das faces.
- Materiais de construção das coberturas, paredes, divisórias, forro e piso.
- Uso dos ambientes.
- Condições do ar externo e do ar nos ambientes adjacentes.
- Potência de iluminação, tipos e usos.

- Pessoas – calor sensível e calor latente.
- Iluminação – calor sensível.
- Motores – calor sensível.
- Diversos – calor sensível e ou calor latente.
- Ar externo – calor sensível e latente.

- Número de pessoas, atividades, distribuição de ocupação no espaço e no tempo.
- Permissão ou não de fumaça de cigarro.
- Características de placa dos equipamentos, localização, uso, potência.
- Vazão de ar necessária à renovação de ar do ambiente tratado.
- Pressão positiva ou negativa a ser mantida no ambiente.
- Ventiladores de exaustão eventuais e suas vazões.
- Portas e janelas, com seus tamanhos, tipos e frequência de abertura.
- Características de armazenagem térmica das paredes, piso e teto.
- Variações permissíveis de temperatura e umidade.
- Relação de funcionalidade do ambiente tratado com os demais, etc.

Como é possível concluir, a quantidade de dados e a veracidade desses dados são extremamente importantes para o cálculo da carga térmica.

Esse trabalho não tem a intenção de realizar o cálculo da carga térmica. Para isso pode-se consultar: Stoecker (1985), Hernandez Neto (1993), ASHRAE (2001), entre outros.

O valor da carga térmica pode, por si só, ser indicativo da eliminação de um ou outro sistema de condicionamento no processo de escolha de sistemas. Por exemplo, em cargas relativamente grandes se teria opção de usar muitos aparelhos tipo janela ou uma central de condicionamento. Sob o ponto de vista de consumo de energia, os aparelhos de janela estariam consumindo mais e pela quantidade desses aparelhos de pequena capacidade, o valor da energia gasta a mais se tornaria considerável. Dependendo do parâmetro de comparação, no caso, consumo de energia, imediatamente poderia se excluir o uso dos aparelhos de janela. Para cargas menores, o maior consumo poderia não ser significativo diante de outros parâmetros como custo inicial, manutenção, etc.

3.2 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS BÁSICOS.

De uma maneira geral, os sistemas básicos podem ser classificados conforme os meios pelos quais o resfriamento controlado é obtido na área condicionada. Esses sistemas básicos e seus subsistemas são, então, adaptados para conseguir propósitos específicos, por meio de arranjos de equipamentos.

Cada um dos sistemas pode ser dividido em dois subsistemas: subsistema *secundário* ou de distribuição, que leva resfriamento ou aquecimento ao espaço

condicionado e subsistema *primário* que converte energia da fonte em energia térmica. É possível arranjar de algumas maneiras os subsistemas primários e secundários. Nas Figs. 3.3 e 3.4, estão esquematizados dois sistemas com os respectivos subsistemas.

Na Fig.3.3 está um subsistema *primário* constituído de uma central de água gelada (*chiller*), que alimenta um resfriador de ar. O ar é então distribuído, no subsistema secundário, aos ambientes retirando a carga térmica gerada ali, de forma controlada, com a variação de vazão proporcionada pelas caixas de volume de ar (vazão) variável. O meio de resfriamento dos ambientes é o ar insuflado e o sistema é chamado **TODO - AR**.

Observe-se que o resfriamento do ar está sendo feito por um agente de resfriamento, a água (ou soluções) que por sua vez é resfriada pelo fluido refrigerante. Esse resfriamento do ar poderia ser realizado, por expansão direta de fluido refrigerante em um evaporador.

Na Fig.3.4, a água gelada produzida no subsistema *primário* é distribuída aos ambientes por meio de bomba secundária e, portanto, o meio de resfriamento é a própria água e o sistema é chamado **TODO - AGUA**.

É possível, ainda se ter ar e água dirigidos aos ambientes com a mesma finalidade, de retirar as cargas térmicas geradas. Nesse caso o sistema é chamado **AR - AGUA**.

Além disto, de uma maneira geral, os sistemas de ar condicionado se classificam como:

- Sistemas centrais
- Sistemas unitários

Os sistemas centrais estão constituídos de unidades centralizadas de tratamento do ar ou de tratamento de um agente intermediário (água ou soluções) e elementos como dutos, tubulações e unidades terminais (bocas de distribuição, caixas de mistura, equipamentos *fan and coil*, entre outros).

Os sistemas unitários são sistemas compactos com as unidades de tratamento do ar incorporadas em um gabinete e que são instaladas junto aos ambientes tratados ou, em parte, nos próprios ambientes. São sistemas **TODO - AR** geralmente de baixa capacidade.

3.2.1 Sistemas centrais.

São sistemas com componentes geralmente distribuídos em uma ou mais casas de máquinas e unidades terminais colocadas nos ambientes tratados ou junto a esses. Vários sistemas centrais permitem flexibilidade sob o aspecto de controle automático, controle da

qualidade do ar e oferecem oportunidade de aplicação de componentes para conservação de energia.

3.2.1.1 Classificação dos sistemas centrais.

Subdividem-se em três, classificados com base na maneira pela qual o resfriamento dos ambientes é obtido ou seja conforme os meios de resfriamento usado pelo sistema secundário:

- **TODO – AR**
- **TODO – ÁGUA**
- **AR – ÁGUA**

Nos sistemas centrais **TODO - AR**, a capacidade de resfriamento dos ambientes é proporcionada pelo ar tratado, insuflado nesses ambientes e que retorna transportando a carga térmica ao subsistema primário, onde se usa uma fonte de energia para produzir frio. O subsistema secundário que leva resfriamento aos espaços condicionados, corresponde ao conjunto de equipamentos que distribuem o ar insuflado (dutos e ventiladores) e unidades terminais (caixas de volume variável e grelhas), conforme mostrado na Fig.3.3.

Os ambientes tratados podem pertencer a zonas diferentes, ou seja, ter um perfil de carga térmica diferenciado. As caixas de vazão variável modulam a vazão em cada ambiente, seguindo as flutuações de carga térmica em cada zona, atendendo a comandos dos circuitos de controle automático.

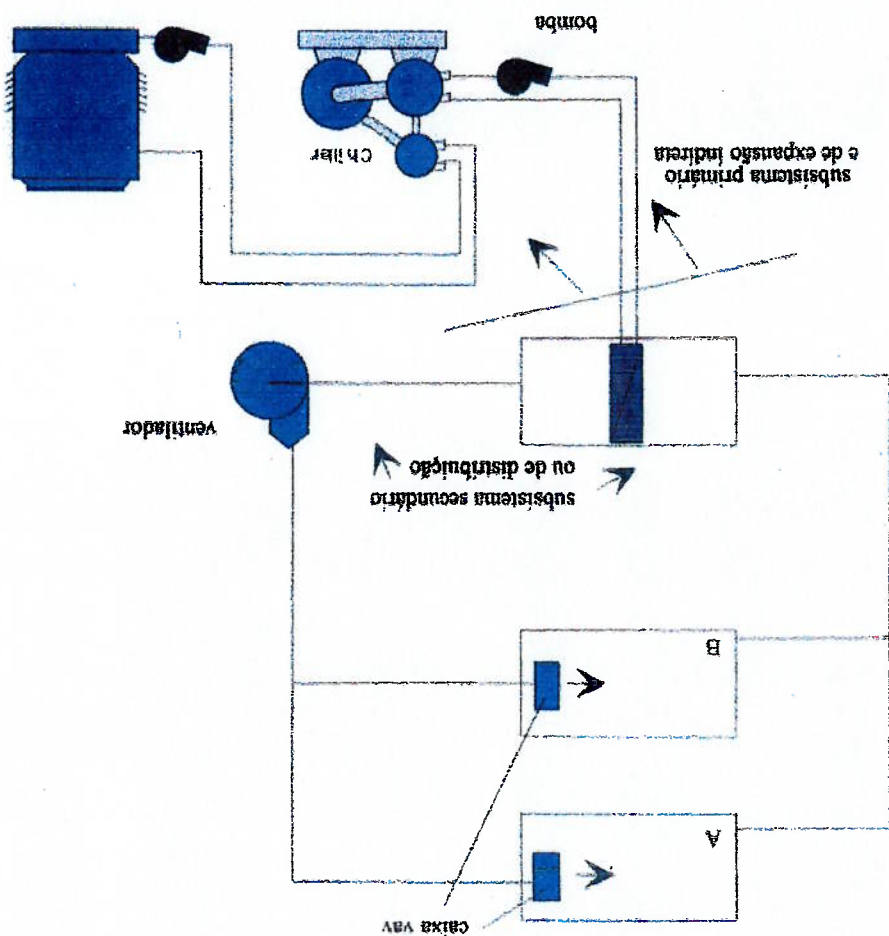
O subsistema primário está composto pelo resfriador de água (*chiller*), bombas hidráulicas, tubulações e torre de resfriamento da água de condensação do ciclo de resfriamento.

Neste subsistema seria possível resfriar o ar por meio da evaporação de um fluido refrigerante no trocador se calor (evaporador) ao invés de alimentar o resfriador com água gelada ou solução. Dessa maneira o sistema de resfriamento é chamado de sistema de resfriamento de expansão direta. No caso de alimentação do resfriador de ar com água ou solução, o sistema de resfriamento é chamado de sistema de resfriamento de expansão indireta.

Nos sistemas centrais **TODO - ÁGUA**, a capacidade de resfriamento dos ambientes é proporcionada por um agente (água ou soluções) resfriado no sistema primário e distribuído em unidades terminais (*fan and coil*) nos espaços condicionados ou junto deles. O transporte da carga térmica ao sistema primário é feito pela água conforme mostrado na Fig.3.3. Em substituição à água podem ser utilizadas soluções como de etileno glicol.

Para ambos os agentes de resfriamento, ainda é possível interpor no circuito, temperatura para utilização no abatimento da carga térmica de ambientes em horários planejados.

Figura 3.3 Esquema de uma instalação **TODO - AR**, com vazão variável.

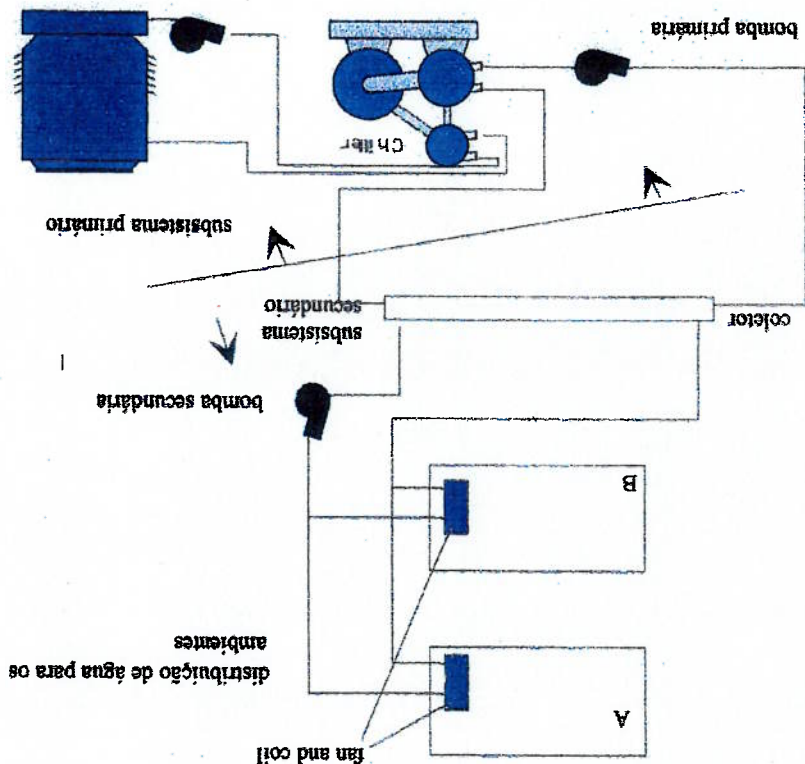


- Equipamentos mais importantes e que compõem o subsistema primário estão centralizados em casa de máquinas. Isso permite manutenção e operação em áreas não ocupadas pelos usuários e possibilidade de escolha de melhores equipamentos, duráveis e de alta qualidade, inclusive filtros. A captação de ar externo fica facilitada e melhoram as condições de controle na emissão de ruído.
- Possibilidade de ausência completa de tubulações de drenagem, equipamentos elétricos e filtros nos ambientes condicionados.
- Possibilidade de obtenção de resfriamento somente com fonte externa, sem utilização do sistema de refrigeração.
- Permite a flexibilidade de resfriamento e aquecimento simultâneos em várias zonas.
- Permite a adaptação de sistemas de recuperação de calor, com relativa

3.2.1.2 Vantagens do sistema TODO - AR.

Nos sistemas AR - ÁGUA, tanto o ar como a água, são distribuídos nas unidades terminais situadas nos ambientes tratados. Nesses sistemas parte da carga térmica é transportada pelo ar insuflado, parte pela água.

Figura 3.4 - Esquema de uma instalação TODO-ÁGUA.



- Pouco espaço ocupado pelas tubulações de água.
- Os equipamentos principais ficam concentrados em casa de máquinas onde pode se ter bom controle das condições de funcionamento.
- Controle individualizado por unidade terminal.
- Sob o aspecto energético é um sistema relativamente económico principalmente se aplicado com variação de rotação das bombas do subsistema secundário.
- Instalação relativamente simplificada para edifícios existentes.
- Prevendo-se alimentações de água gelada e quente nas unidades terminais, podem se obter, resfriamento ou aquecimento de ambientes, simultaneamente.
- Unidades terminais podem ser relocadas com certa facilidade sem problemas maiores de balanceamento posterior

3.2.1.4 Vantagens do sistema TODO - ÁGUA

- Espaço ocupado pelos dutos, principalmente nos sistemas de distribuição de ar em baixa velocidade.
- Contaminação de ar recirculado de um espaço a outro.
- Os sistemas com reaquecimento ou misturas de ar, com temperaturas diferentes, são energeticamente ineficientes.

3.2.1.3 Desvantagens do sistema TODO - AR.

As características específicas dos sistemas **TODO - AR** serão analisadas à frente, em detalhes, para que seja possível comparar.

- Permite liberdade na distribuição de ar.
- É aplicável a ambientes com exaustão forçada.
- Podem ser obtidas aproximações de 0,2 °C de temperatura e 1% de umidade relativa.
- Sob o aspecto energético podem ser eficientes pelo controle de rotação dos ventiladores.

- Apresenta complexidade de operação exigindo maior conhecimento do operador.
- O sistema de controle é complexo.
- Os filtros da unidade terminal são ineficientes.
- A temperatura da superfície do resfriador de ar deve estar bastante baixa para promover a desumidificação necessária no ar externo.
- O consumo de energia é geralmente maior.

3.2.1.7 Desvantagens do sistema AR – ÁGUA.

- É possível o controle individualizado de temperatura em cada ambiente.
- Prevendo-se fontes separadas de resfriamento e aquecimento é possível resfriar ou aquecer em cada unidade terminal.
- O espaço ocupado pela distribuição de ar primário é relativamente pequeno devido aos dutos projetados com ar em alta velocidade.
- Desumidificação, umidificação e filtragem maiores são obtidos na central de tratamento do ar e não no espaço condicionado.
- As unidades terminais, do tipo de indução, não tem motores e ventiladores e, portanto, tem manutenção simples.
- As unidades terminais operam com baixo nível de ruído e o desempenho acústico não se altera durante o funcionamento.

3.2.1.6 Vantagens do sistema AR – ÁGUA.

- Requer alguma manutenção nos espaços ocupados, nas unidades terminais.
 - Sistema de filtragem normalmente ineficiente.
 - Não permite controle rigoroso de umidade nas unidades terminais.
 - Captação de ar externo é difícil e pode exigir projeto específico de ventilação.
 - Exige drenagem de condensado em cada unidade terminal, com limpeza periódica.
 - Difícil adaptação às exigências atuais brasileiras de qualidade final do ar, em edificações.
- As características específicas dos sistemas **TODO - ÁGUA** serão analisadas à frente, em detalhes, para que seja possível comparar.

3.2.1.5 Desvantagens do sistema TODO – ÁGUA.

- O custo inicial é normalmente elevado.
- Existência de poucas instalações desse sistema no Brasil com poucos resultados disponíveis para avaliação.

3.2.2 Sistemas unitários.

São sistemas compactos com unidade de refrigeração e tratamento do ar incorporados em um gabinete, de baixas capacidades e custo relativamente baixo, se comparados com os sistemas centrais. São também pouco flexíveis sob o aspecto de controles e de conservação da energia.

Esses sistemas trabalham com os equipamentos conhecidos como condicionadores de janela, condicionadores *self contained*, condicionadores *split* e bombas de calor.

3.2.2.1 Vantagens dos sistemas unitários.

- Controle individualizado, simples.
- Montagem de componentes em fábrica. Os do tipo *split* requerem alguma montagem no local de uso.
- No caso de mau funcionamento, só a unidade específica é afetada.
- Disponibilidade de equipamentos praticamente imediata e instalação é rápida.
- Operação simples.
- Custo inicial relativamente baixo.
- Espaço ocupado pequeno.

3.2.2.2 Desvantagens dos sistemas unitários.

- Opções limitadas quanto à capacidade e características funcionais.
- Não permitem controle de unidade.
- Controle de temperatura de duas posições causando maior flutuação das condições de temperatura nos espaços.
- Vida dos equipamentos relativamente curta.
- Consumo de energia maior que os sistemas centrais, o que é particularmente importante quando é grande o número de unidades instaladas.
- Controle de distribuição de ar bastante limitado.
- Nível de ruído em algumas unidades pode ser elevado para a aplicação específica.
- Capacidade de ventilação limitada ou inexistente.

- Manutenção nos espaços condicionados e remoção do condensado pode ser difícil.
- Filtragem do ar bastante ineficiente.

3.2.3 Tipos e características específicas dos sistemas TODO-AR

Os sistemas **TODO - AR** se apresentam em vários arranjos, cada um com características próprias e que permitem detalhar a escolha do sistema mais adequado à aplicação.

Esquemáticamente, nas figuras seguintes, estarão representados os vários arranjos de sistemas com um e dois dutos de insuflamento.

3.2.3.1 Duto Único.

Os sistemas de duto único apresentam um duto de insuflamento principal partindo da casa de máquinas de tratamento do ar e ramificações distribuídas diretamente aos ambientes a serem tratados ou a unidades terminais, para controle de vazão ou alterações das condições do ar. O ar dos ambientes é direcionado aos dutos de retorno seguindo à central de tratamento.

3.2.3.1.1 Vazão constante – zona simples.

É o sistema mais simples servindo a uma única zona de controle. O termo zona corresponde a ambientes com perfil de carga térmica semelhantes e implica na necessidade de um controle separado de temperatura (ou umidade) por zona. Esse sistema responde, portanto, a um único conjunto de condições do ar. Na fig.3.5 é mostrado o esquema deste sistema.

Na central de tratamento do ar estão filtros, serpentinas de resfriamento e aquecimento, umidificador e ventilador de insuflamento conectado ao duto único de insuflamento que transporta o ar tratado ao espaço condicionado.

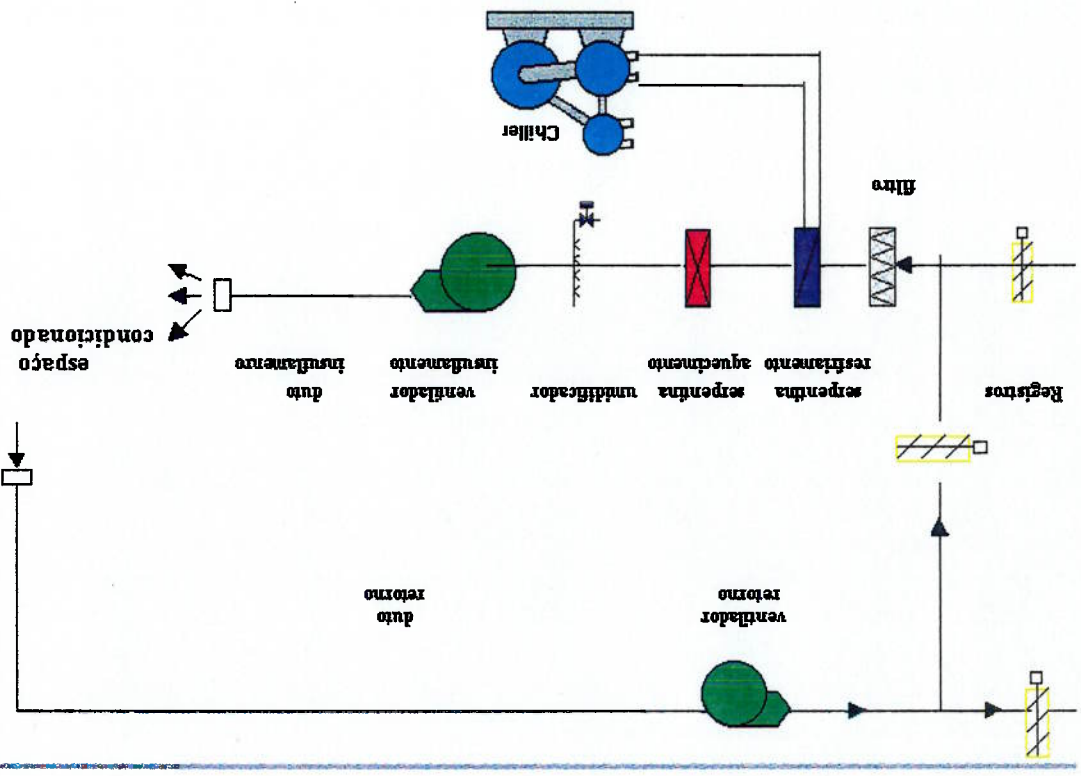
Em instalações maiores ou onde a perda de pressão do ar no retorno de ar é grande pode-se utilizar um ventilador de retorno.

Registros de ar são previstos para regulação e balanceamento das vazões na rede de dutos.

- É preciso se manter um mínimo de ar externo para ventilação e pressão positiva.
- Pode-se utilizar quantidades crescentes de ar externo se a entalpia do ar externo for menor que o ar de retorno.
- Na estação do verão e regime de verão (resfriamento do ambiente), atuam geralmente o resfriamento com desumidificação podendo trabalhar, no entanto o aquecimento, para controle da umidade relativa nos ambientes.
- Na estação do inverno e regime de inverno atua normalmente o aquecimento e eventualmente a umidificação.
- Na estação do inverno e regime de verão (quando se precisa retirar calor do ambiente embora a temperatura do ar externo esteja baixa) utiliza-se o resfriamento pela central de frio (*chiller*) ou o resfriamento entálpico, com aumento da vazão de ar externo.
- O ventilador de retorno é utilizado quando se tem uso do ciclo entálpico (grande quantidade de ar externo) ou grande perda de pressão nos dutos de retorno.

Características :

Figura 3.5 – Sistema TODO - AR, vazão constante, zona simples, resfriamento por *chiller*.



- É um sistema dimensionado para o pico (valor máximo de um período) de vazão de carga térmica.
- O controle automático é constituído de um controlador simples de temperatura que controla em sequência a serpentina de aquecimento, os registros de ar (externo, retorno e exaustão), e a serpentina de resfriamento. Um controlador de temperatura limite (ou por entalpia) do ar externo para desativar o ciclo entálpico e retornar a vazão para a quantidade mínima. Um controlador de umidade para propiciar umidificação ou desumidificação se sobrepondo ao controle de temperatura se a desumidificação for exigida. Na fig. 3.6 está um esquema dos controles.

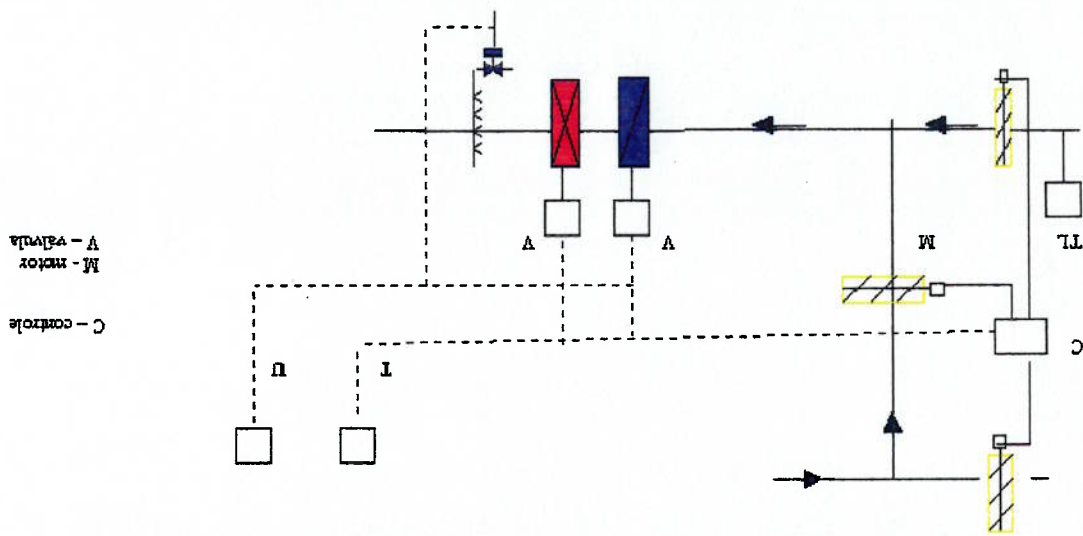


Figura 3.6–Esquema de controles do sistema TODO AR, vazão constante, zona simples

Sistema com sensores de retorno comum de vários ambientes, mas da mesma zona (mesmo perfil de carga térmica) não permitindo resfriamento e aquecimento simultâneo em ambientes diferentes. É possível trabalhar somente com ar externo economizando energia do ciclo de refrigeração.

3.2.3.1.2 Vazão constante – multizona – resaquecimento terminal.

Sistema com características semelhantes ao anterior, mas com acréscimo de elementos para resaquecimento por zona, nas unidades terminais (serpentina ou resistências elétricas). A fig. 3.7 mostra o esquema de controles deste sistema.

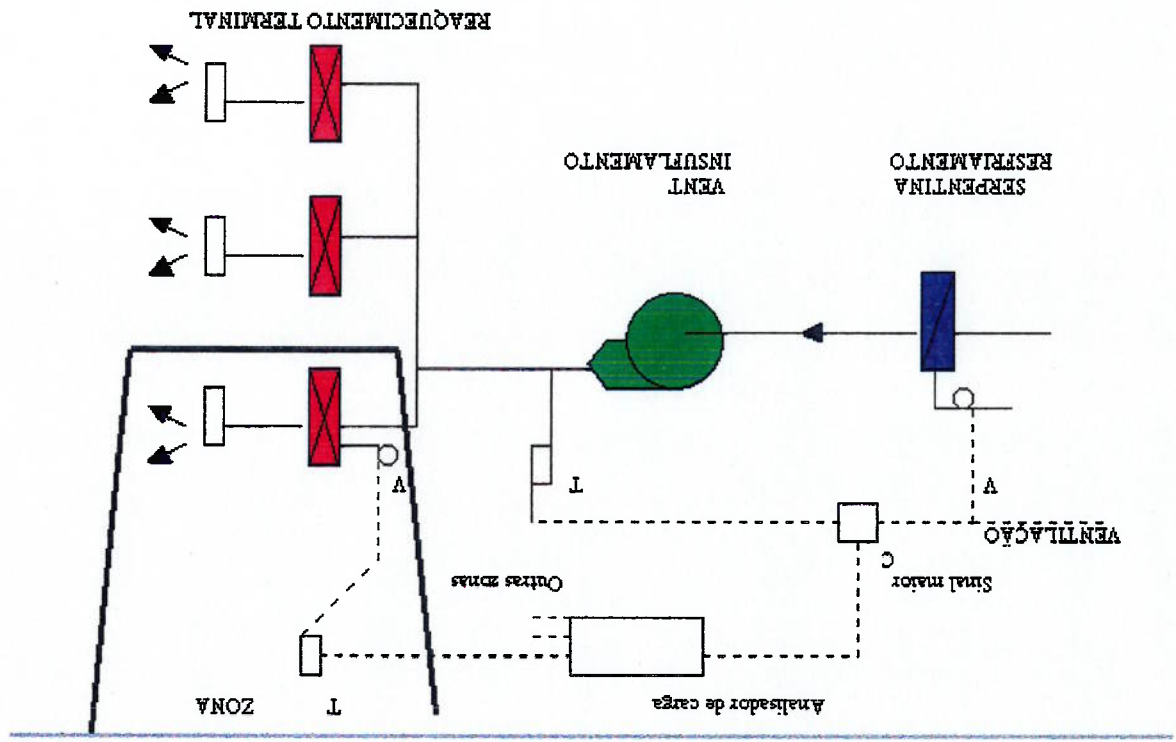


Figura 3.7 - Esquema de controles do sistema TODO - AR com reaquecimento por zona.

Características:

- Geralmente insufla à temperatura constante e em cada zona um termostato aciona o reaquecimento na unidade terminal, quando a carga térmica da zona diminui.
- É um sistema que consome mais energia, pois podem estar atuando o resfriamento e aquecimento, simultaneamente.
- É dimensionado para pico de vazão e de carga térmica.
- Permite um controle rigoroso das condições ambientais, temperatura e umidade.
- Pode ter um controle que analisa a carga térmica e eleva a temperatura de insuflamento em resposta à maior carga que, no entanto, é menor que a carga de projeto, economizando energia. Neste caso pode-se observar um eventual aumento indesejável da umidade nos ambientes.

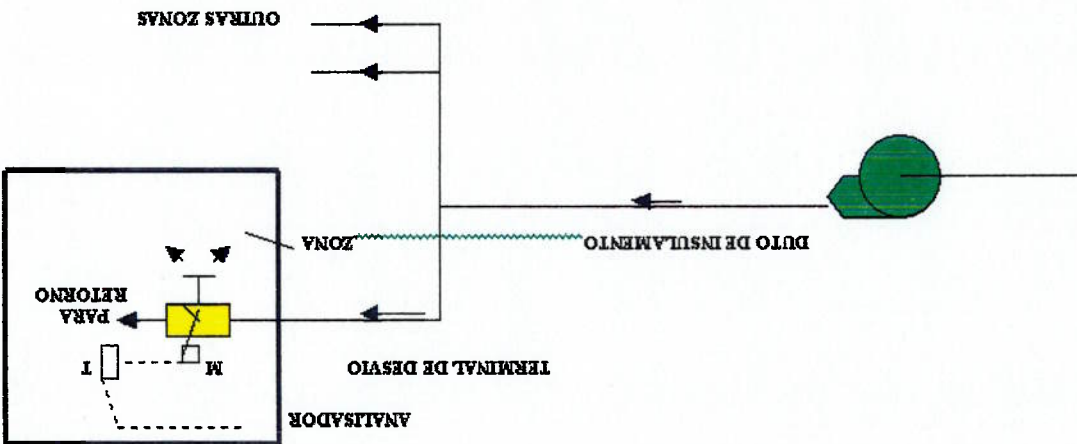
3.2.3.1.3 Vazão constante – multizona – desvio.

É um sistema semelhante ao anterior, utiliza uma unidade terminal que possibilita desvio de parte do ar insuflado diretamente para o retorno sem, portanto, passar pelo ambiente. Esse desvio substitui o reaquecimento durante cargas térmicas parciais. A fig. 3.8 apresenta o esquema deste sistema com controle de ambiente.

- Geralmente insula o ar à temperatura constante mantida por modulação de vazão de água fria na serpentina de resfriamento por meio de válvula moduladora, comandada por sensor de temperatura colocado na descarga de ar da serpentina. Nas zonas, um termostato comandando registro de ar, modula a vazão de ar para a zona ou diretamente para o retorno.
- É um sistema que consome menos energia que o sistema anterior por não fazer uso do reaquecimento.
- É dimensionado para pico de vazão, mas com carga térmica de bloco na central de tratamento do ar. Entenda-se como carga térmica de bloco à soma das cargas dos ambientes que não são todas máximas, em um instante.
- Deve-se manter um mínimo de vazão de ar nas zonas mantendo-se a circulação de ar e a diluição de poluentes adequadamente.
- É possível manter-se um controle que analisa a carga térmica e eleva a temperatura de insuflamento resultando economia de energia e menor quantidade de ar é desviada ao retorno garantindo a circulação e diluição de poluentes.
- É possível controle de umidificação na central, comandada por sensor de umidade localizado no retorno, por média. É possível ainda utilizar o ciclo entálpico. Não permite controle de umidade rigoroso nas zonas.

Características:

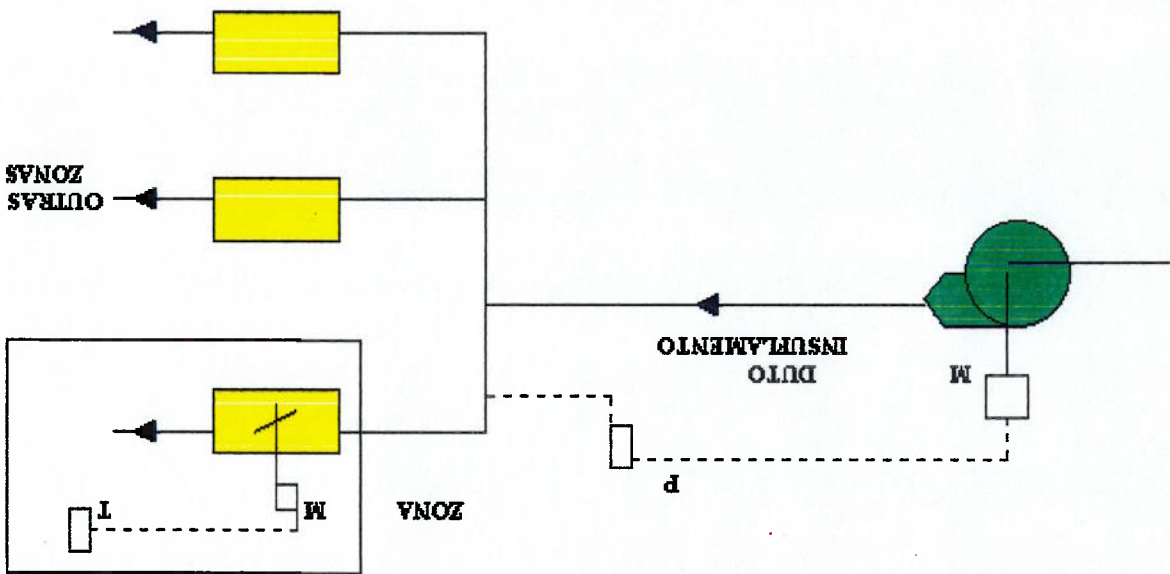
Figura 3.8 - Sistema TODO - AR com desvio de parte do ar insuflado para o retorno.



Insula o ar à temperatura praticamente constante mantida por modulação de vazão de água na serpentina restritora e varia a vazão a ser deslocada pelo ventilador conforme a necessidade momentânea de todo o sistema. Um controle pressostático (P na fig.3.9) localizado adequadamente nos dutos de insuflamento, mantém a pressão no ponto

Características:

Figura 3.9 - Esquema de sistema TODO - AR, de vazão variável, caixas VAV.



Na fig.3.9 está apresentado um esquema deste sistema.

duas formas de controle.

Uma alternativa de controle seria elevar a temperatura do agente de resfriamento em resposta à menor carga do ambiente mantendo-se, no entanto, a rotação do ventilador. Por um lado diminui-se o consumo de energia no sistema frigorífico, por outro, não há economia de energia no ventilador. Aqui caberia um estudo econômico comparativo das

por meio de mudança na rotação do motor de acionamento.

pressão do ar no duto de insuflamento, comanda a capacidade do ventilador, normalmente regulador de vazão de ar para cada ambiente. Um controle pressostático (P), sentido a meio de sensor de temperatura (T) comandando o motor (M) de acionamento de registro

Utilizam para isso unidades terminais típicas (caixas VAV).

Os sistemas de vazão de ar variável (VAV) controlam a temperatura em uma zona com a variação da quantidade de ar insuflada, conforme a carga térmica atual.

3.2.3.1.4 Vazão variável – multizona – terminal simples

- Com a finalidade de conservar energia pode ser usado com um analisador de carga para elevar a temperatura de insuflamento, em resposta à demanda da zona com a maior carga. Esse procedimento diminui o consumo de energia na central resfriadora, mas inibi a redução de vazão do ventilador e consequentemente a redução de consumo de energia por ele proporcionada. Será, portanto necessário um estudo econômico para estabelecer prioridades entre o ventilador e a central resfriadora.
- É um sistema dimensionado para carga térmica de bloco e vazão de bloco, ou seja, aproveita a diversidade de demanda do edifício tanto do lado do circuito de ar como do circuito de refrigeração. Isso faz com que todos os componentes do sistema de ar condicionado sejam menores baixando o custo inicial de investimento
- É um sistema bastante favorável à conservação de energia, pois além de trabalhar com equipamentos menores permite a redução de consumo pela modulação de rotação do ventilador acompanhando o perfil da carga térmica no período de uso do sistema de ar condicionado.
- Permite controle da ventilação por ciclo de controle entálpico comandando os registros de ar externo, retorno e exaustão por meio de sensores de controle na descarga da serpentina de resfriamento.
- Pode acomodar um número ilimitado de zonas e permite boa flexibilidade de alterações do zoneamento em decorrência de mudanças *no lay-out* dos ambientes.
- O controle em cada zona é individualizado dentro dos limites da central de resfriamento.
- Não permite um controle rigoroso da umidade nas zonas, mas umidificação pode ser obtida na central climatizadora comandada por sensor de umidade no retorno de ar.
- Os registros de controle de vazão nas unidades terminais devem ser ajustados para manter um mínimo de vazão nas zonas garantindo a ventilação e circulação do ar nos ambientes.

3.2.3.1.5 Vazão variável – multizona – terminal de aquecimento

É um sistema semelhante ao anterior crescendo-se na unidade terminal alguma forma de aquecimento. Isso torna-se importante quando a vazão de ar insuflada pelo terminal resulta menor que a vazão mínima para garantir uma boa circulação de ar no ambiente e a mínima quantidade de ar necessária à ventilação.

A fig.3.10 mostra um esquema da unidade terminal de aquecimento (aquecimento) com serpentina de água quente.

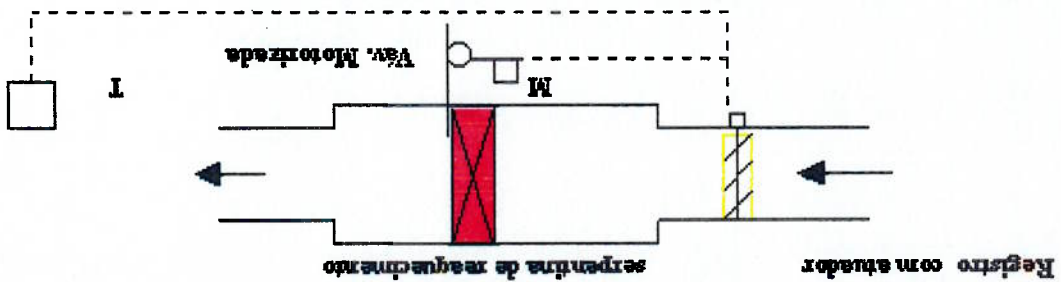


Figura 3.10 - Unidade terminal com aquecimento.

Unidade terminal VAV com aquecimento com controle permitindo a menor vazão de ar no primeiro estágio de controle seguido de aquecimento caso o termostato solicite uma nova redução de vazão.

Características

- Apresenta as características do sistema anterior mantida, no entanto, a vazão mínima para garantir boa circulação de ar.
- Em climas como na grande parte do Brasil a serpentina de aquecimento pode até servir como aquecimento para regime de inverno.
- Tem custo inicial e operacional maior que o sistema anterior.

O ciclo de operação é apresentado na Fig. 3.11, a seguir:

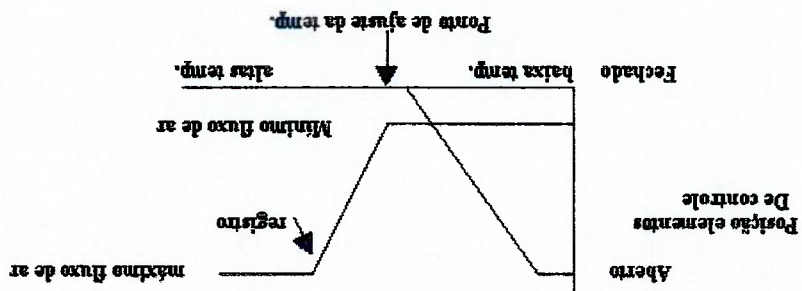


Figura 3.11 - Ciclo de operação de controles.

3.2.3.1.6 Vazão variável – multizona – terminal de indução

Esse sistema utiliza uma unidade terminal que permite a redução da vazão de ar primário e simultaneamente induz ar do ambiente ou de um forro de retorno evitando o uso de uma serpentina de reaquecimento como no sistema anterior conforme mostra a Fig. 3.12 a seguir.

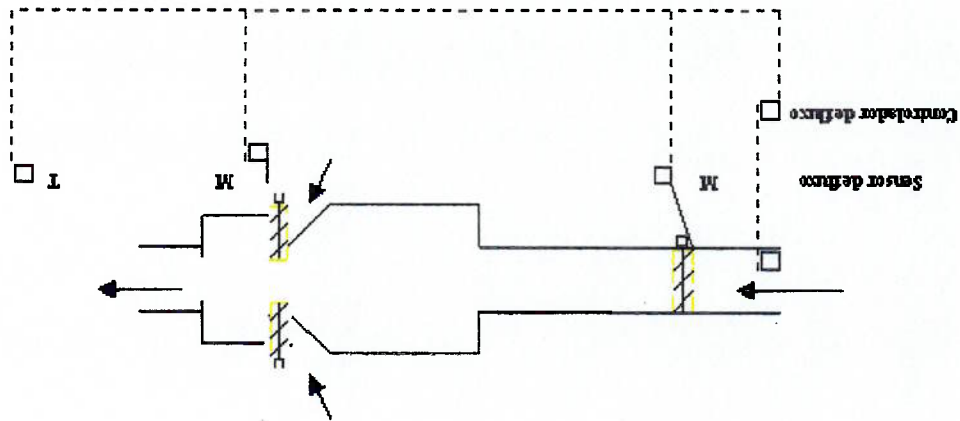


Figura 3.12 - Esquema de controles do terminal de indução.

Características:

- Tem características semelhantes ao sistema anterior, mas o reaquecimento é obtido por mistura com o ar de retorno no forro falso ou ar do ambiente.
- O controlador de fluxo controla a vazão de ar que atravessa o primeiro registro. O termostato de ambiente reajusta o ponto de operação desse controlador assim que a carga térmica muda no ambiente. O controlador envia um sinal de controle para ambos os registros de ar.
- A vazão de ar suprida ao ambiente é mantida relativamente constante evitando o efeito de baixa movimentação do ar no ambiente.

O ciclo de operação de controle está representado no gráfico abaixo, Fig.3.13. O ar primário vindo da central de tratamento induz o ar de um espaço de retorno como o forro do ambiente tratado.

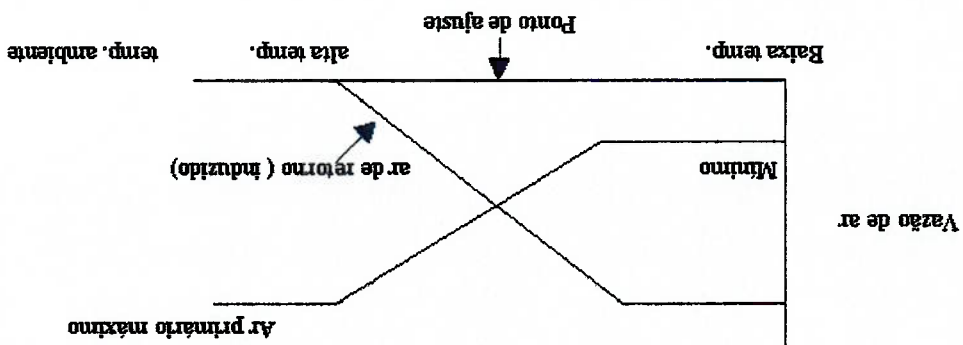


Figura 3.13 - Esquema do ciclo de operação.

3.2.3.1.7 Vazão variável – multizona – terminal com ventilador.

É um sistema que também mantém a circulação de ar elevada nos espaços condicionados enquanto assegura as vantagens dos sistemas de volume variável.

Esse sistema é bastante interessante para aplicações típicas e permite baixo consumo de energia se adequadamente controlado mantendo a circulação de ar na vazão total e não reduzida como nos sistemas simples VAV.

Na Fig. 3.14 está um esquema simplificado com caixa de mistura do ar insuflado e recirculado pelo pequeno ventilador.

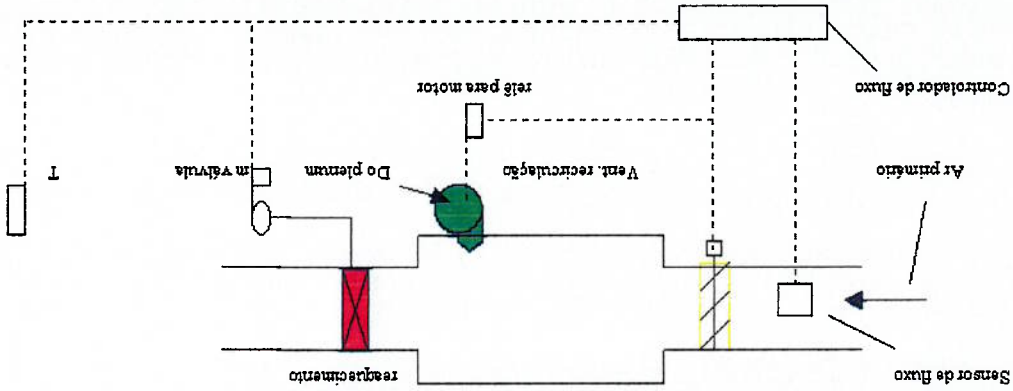


Figura 3.14 - Esquema de operação e controle, terminal com ventilador.

Características:

- Um pequeno ventilador tipo centrífugo recircula ar de retorno com vazão constante assim que o ar primário atinge a vazão mínima.
- O ventilador atua como primeiro estágio de reaquecimento. O reaquecimento pela serpentina (se instalada) atua como segundo estágio de reaquecimento.
- A vazão de ar no ambiente é mantida no valor mínimo ou mais alta, normalmente abaixo do valor máximo (ventilador pequeno).

O ciclo de operação está indicado na Fig. 3.15, a seguir com o esquema do ciclo de trabalho do ventilador apresentado na Fig. 3.16.

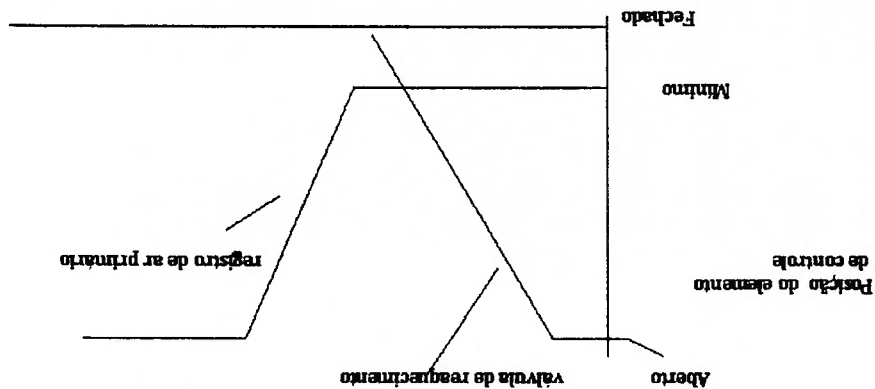


Figura 3.15 - Esquema do ciclo de operação.

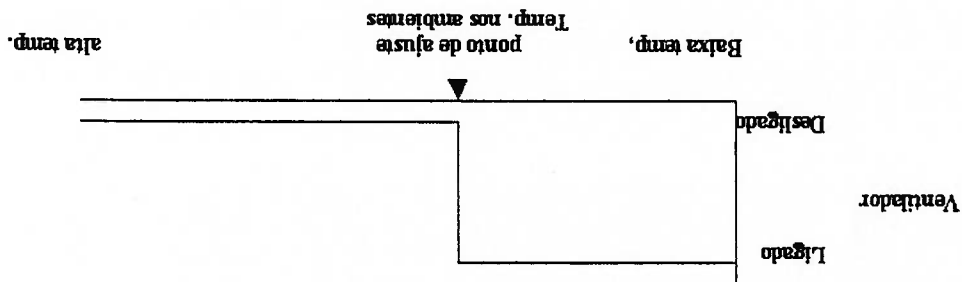


Figura 3.16 - Esquema do ciclo de trabalho do ventilador.

3.2.3.2 Dois dutos de insuflamento.

Nesses sistemas todo o ar é tratado em uma central de tratamento do ar como nos sistemas de duto único, mas é distribuído aos espaços condicionados através de dois dutos

paralelos, um transportando ar frio e outro ar aquecido. Junto a cada zona está uma unidade terminal - caixa de mistura - que dosa ar frio e ar aquecido para satisfazer a carga térmica momentânea da zona. Esses sistemas apresentam duas grandes vantagens que são: consomem mais energia que os sistemas VAV duto único, por misturar ar frio e ar aquecido, tem um custo inicial relativamente alto devido à rede dupla de dutos e exigem espaço maior para passagem dos dutos.

Esses sistemas podem ser projetados para volume constante ou volume variável. No primeiro, a capacidade da central é projetada para a carga térmica de bloco (maior soma de cargas simultâneas dos ambientes), mas para a vazão de pico (soma das vazões em cada ambiente).

No segundo, a central é projetada para a carga térmica de bloco e vazão de bloco, (maior soma das vazões simultâneas) pois considera a diversidade de atuação das unidades terminais VAV. Esses sistemas são capazes de promover o resfriamento (regime de verão) ou o aquecimento (regime de inverno) em todas as zonas desde que provenem ar frio e ar quente em todas as zonas e durante todos os períodos de tempo.

Na Figs. 3.17 e 3.18 está esquematizado o sistema de dois dutos, um com ar aquecido por resistências ou trocador de calor alimentado por água quente ou vapor, outro com ar resfriado por um circuito de água fria ou fluido frigorífico.

Os dois fluxos se misturam para obter a temperatura adequada de insuflamento proporcionalmente à carga térmica instantânea nos ambientes tratados.

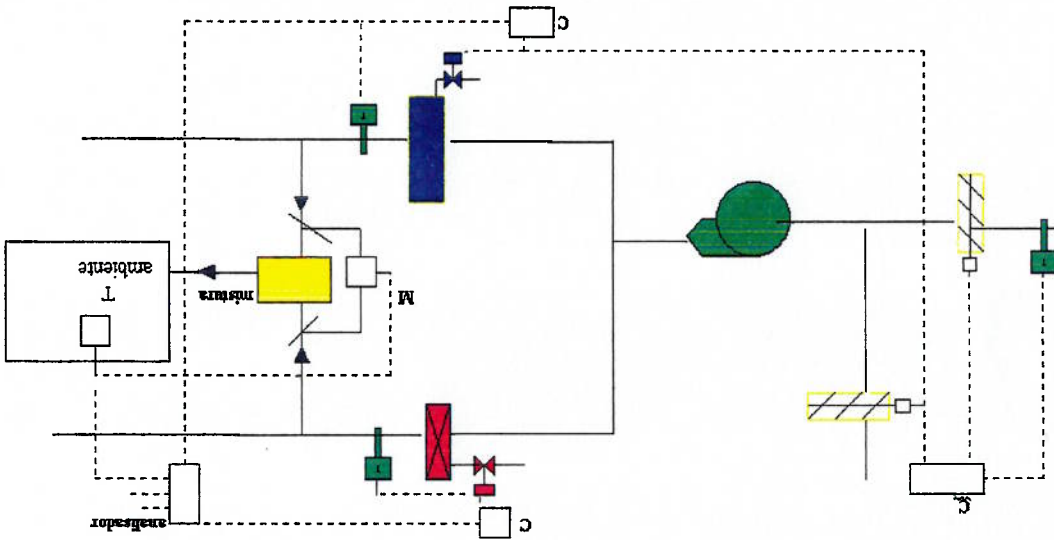


Figura 3.17 – Esquema de operação e controles do sistema de dois dutos.

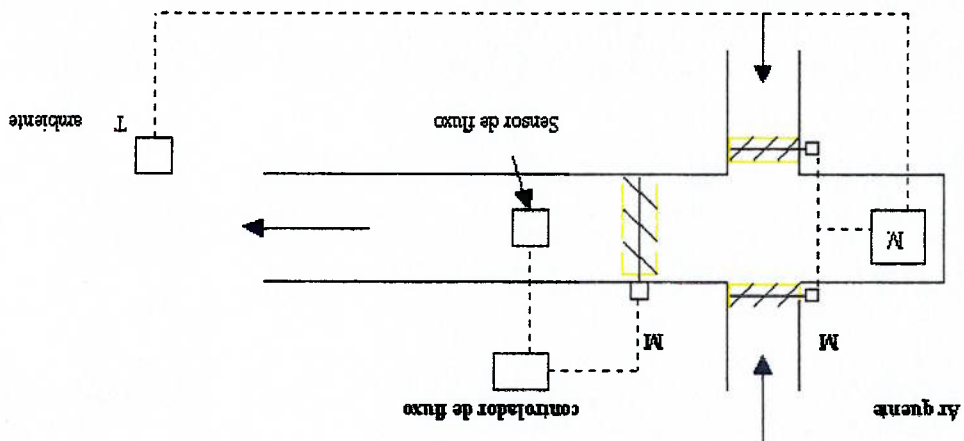
O circuito secundário existe devido a exigência de se manter a vazão constante nas unidades restritoras de água não sendo obrigatória, portanto quando se usa válvulas de controle na unidade terminal é feito por variação da vazão de água nessas unidades através de válvulas de duas ou três vias comandadas por termostato ambiente. No caso de válvulas de três vias a vazão de água é mantida constante nos circuitos primários e secundários. No caso de se utilizar válvulas de duas vias a vazão de água no circuito primário é mantida, mas se altera no secundário, atuando a bomba secundária com controle de capacidade conforme a demanda da carga térmica nos ambientes em cada instante.

Os sistemas **TODO – ÁGUA** são bastante simples e flexíveis e se constituem de uma central produtora de água fria (ou solúções) que é distribuída em unidades terminais compostas de: gabinete, ventilador e serpentina (*fan and coil*). As diferenças existentes entre esses sistemas recaem principalmente na distribuição de água e no modo de controle de cada unidade terminal.

3.2.4 Tipos e características específicas dos sistemas **TODO – ÁGUA**.

O sistema pode ser usado com vazão de ar variável. Para a atuação em vazão variável as diferenças são pequenas. Nesse caso o ventilador é controlado por sensores colocados em cada duto garantindo pressão mínima sob quaisquer condições de carga térmica, para todas as zonas. Embora os sistemas de dois dutos permitam um bom controle das condições do ambiente são pouco utilizados devido ao custo inicial elevado dos dutos e unidades terminais. No caso de vazão constante o custo de energia também é elevado devido a mistura de ar quente e frio. Esse sistema está praticamente abandonado devido ao custo inicial e operacional altos.

Figura 3.18 - Esquema ampliado da caixa de mistura.



três vias. Nos sistemas **TODO - AGUA**, para dimensionamento da unidade resfriadora considera-se a carga térmica de bloco e não de pico. Por sua vez a vazão de ar é normalmente mantida constante podendo ser controlada, nas unidades terminais maiores (semi centralizadas). As menores unidades terminais estão colocadas nos ambientes tratados ou junto deles e geralmente permitem um controle manual da vazão de ar em dois ou três estágios. As Figs. 3.19 e 3.20 mostram as unidades *fan-coil* sem duto e com duto.

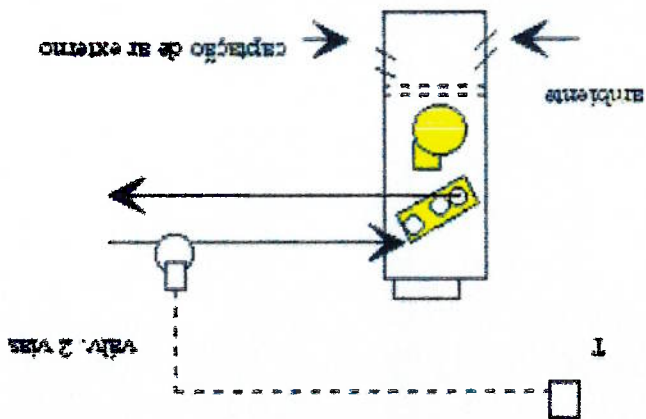


Figura 3.19 - Unidade *fan-coil* com captação de ar externo e válvula de duas vias.

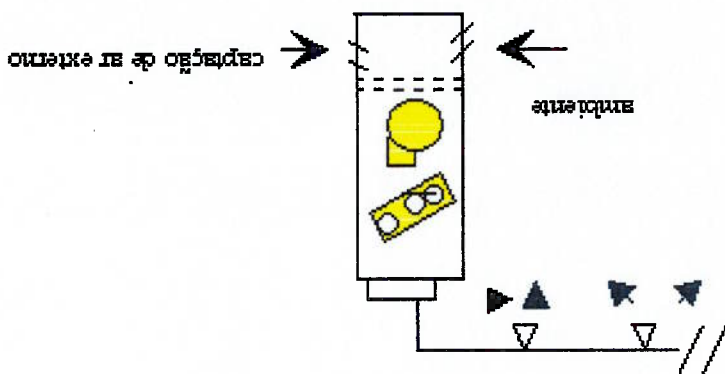


Figura 3.20 - Unidade *fan-coil* aplicada com rede de dutos.

A alimentação de água pode ser água fria ou aquecida para promover opcionalmente aquecimento dos ambientes. Encontram-se unidades com duas serpentinas independentes: uma para resfriamento, outra para aquecimento e alimentadas por quatro tubos de água. A distribuição de ar será feita diretamente nos ambientes tratados ou, nas unidades maiores, por meio de rede de dutos. A fig. 3.21 mostra a distribuição de água.

edifícios já existentes devido sua mais fácil adaptação e apresentam um desempenho Os sistemas **TODO - ÁGUA** se adaptam bem às instalações de ar condicionado em possível tratar-se convenientemente o ar quanto à pureza e renovação.

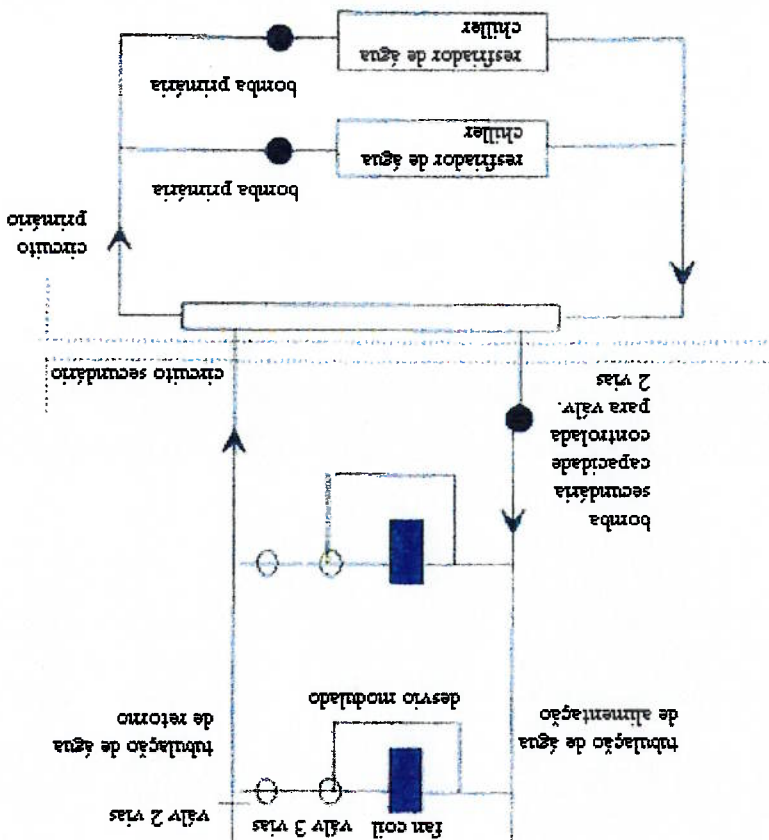
ficam bastante prejudicadas. Nas unidades maiores de localização em casa de máquinas, elementos de filtragem e a captação e distribuição de ar externo, necessário à ventilação, (*fan and coil*) de baixa capacidade, padronizadas, não permitem a escolha adequada de Nesse sistema **TODO - ÁGUA** a utilização das unidades de tratamento

ambiente permitindo acompanhar o perfil da carga térmica (cargas parciais ou máximas). As válvulas de duas ou três vias, modulantes, serão comandadas por sensores de simplificada, mas não se tem a economia de energia das bombas.

do próprio equipamento. Nesse caso os controles serão reduzidos e a instalação fluxo constante de água (ou soluções) nos restritores de líquidos (*chiller*) que é exigência O uso de válvulas de três vias, geralmente de custo mais elevado, permitirá um controles específicos.

importante. Esse controle de capacidade é normalmente feito por alteração da rotação com secundária o que, sob o aspecto de consumo de energia, pode ser um item muito O uso de válvulas de duas vias permite o controle de capacidade da bomba

Figura 3.21 - Distribuição de água com circuitos primário e secundário, válvulas de duas ou três vias.



bastante bom no que se refere ao consumo de energia, principalmente se forem consideradas a simultaneidade de carga térmica em zonas diversas (perfis de carga térmica, diferentes).

3.2.5 Tipos e características específicas dos sistemas AR – AGUA.

Os sistemas AR – AGUA incluem uma central de tratamento de ar, uma central de tratamento de água, dutos e tubulações de distribuição de ar e água e unidades terminais. Essas unidades terminais podem ser do tipo indução ou *fan and coil*. Basicamente os sistemas têm dois fluxos de ar: um chamado primário previamente tratado quanto à temperatura e umidade na central de tratamento de ar e outro, secundário, tratado nas unidades terminais. Abaixo, na fig.3.22 é apresentado um esquema usando unidades de indução nas quais o ar secundário é induzido pelo ar primário através de bocais colocados no fluxo de ar primário.

Esses sistemas apresentam duas grandes desvantagens para aplicações no Brasil: custo inicial e consumo de energia, elevados. Exigem também projeto bastante complexo, sistema de controle automático muito bem ajustado e conhecimento profundo do modo de operação por parte dos operadores. Por esses motivos não serão aqui apresentadas maiores detalhes. Das vantagens, já anteriormente apresentadas, talvez a mais significativa é que os processos de filtragem, desumidificação no regime de verão e umidificação no inverno são executados praticamente na central de tratamento de ar e não nos espaços condicionados.

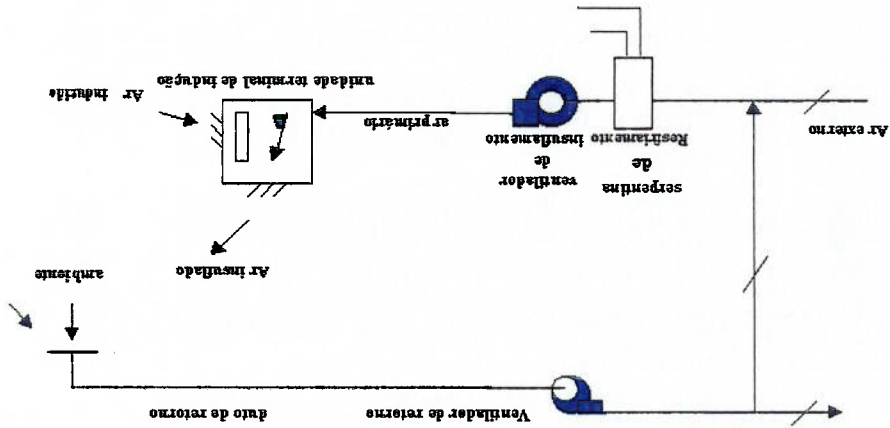


Figura 3.22 - Esquema de um sistema AR – AGUA com caixa de indução de ambiente.

- Custo de equipamentos, aparelhos e montagem.
 - Custo adicional de construção civil atribuído à instalação de ar condicionado.
 - Custo de projeto e administração da montagem e construção.
- incluir, no mínimo:

O custo inicial é o primeiro parâmetro mais significativo de avaliação, devendo encontrar-se os parâmetros de comparação: custo inicial e custo operacional.

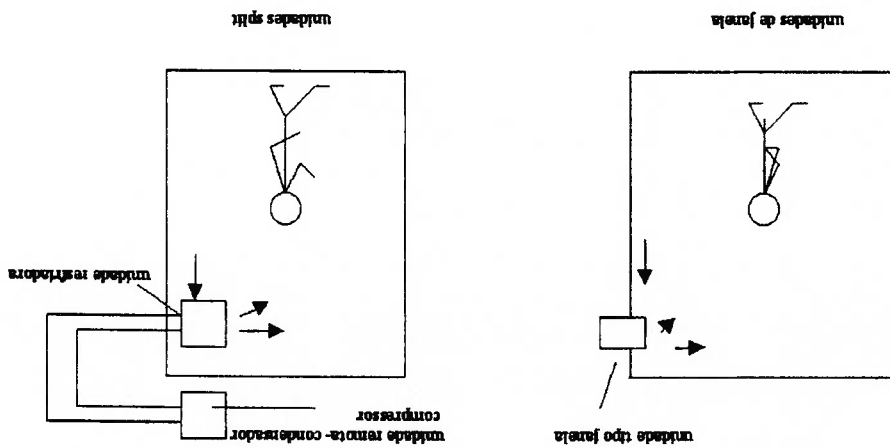
Dentro da avaliação por objetivos que é a base do método que será apresentado,

3.3 CUSTOS

Quando usados em multiplicidade, embora permitam controle individualizado, esses equipamentos, como maiores consumidores de energia, não devem ser colocados em comparação aos sistemas centrais cujos componentes apresentam um melhor desempenho ambientais.

equipamentos compactos não permitindo, no entanto, controle rígido das condições A maior vantagem talvez esteja no custo inicial e na instalação rápida desses tipos de As vantagens e desvantagens dos sistemas unitários foram descritas anteriormente.

Figura 3.2.3 Esquema de aplicação de sistemas unitários.



3.2.3 aparece esquematicamente a distribuição de unidades de janela e split. São unidades compactas, de expansão direta, conhecidas como condicionadores de "janela", condicionadores split e condicionadores tipo self – contained. Alguns tipos podem atuar como bomba de calor alternando entre os regimes de verão e inverno. Na fig.

3.2.6 Tipos e características específicas dos sistemas unitários.

- Custo financeiro de investimento.

O custo operacional é o segundo parâmetro mais significativo de avaliação. São as despesas pelo uso das instalações de ar condicionado e incluem:

- Custo de energia.
- Custo de manutenção.
- Custo de operação.

Devido ao valor relativo no tempo, do dinheiro gasto na implantação e na operação de um sistema de ar condicionado, durante a vida do sistema, ou simplesmente devido à existência de juros, a solução de problemas econômicos deve calcular valores referidos a uma base comum no tempo. Neste trabalho serão incluídos no método de seleção, os custos inicial e de consumo de energia.

A análise financeira aplicada é a do valor presente. Este método de análise consiste em trazer os valores gastos durante a vida dos equipamentos para a data de início dos pagamentos. No exemplo de aplicação, os valores de custo do consumo de energia durante a vida da instalação, serão transportados para a data inicial de operação.

A este custo será acrescido o custo de investimento inicial e esta soma servirá como um dos parâmetros de comparação no selecionamento dos sistemas de condicionamento.

Com a finalidade de determinar o valor de custo inicial, a base é a consulta direta aos fabricantes de equipamentos e instaladores ou indicadores apresentados por associações como ABRAVA ou SMACNA.

Para o cálculo do valor presente, VP:

$$VP = \sum_z^1 Cd / (1 + I)^z \quad (3.3)$$

Cd – pagamento realizado na data d.
Z – ordem da data de pagamento.
I – taxa de juros.

3.4 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE COMPONENTES DOS SISTEMAS.

Dentro da avaliação por objetivos que é a base do método apresentado, encontram-se os parâmetros de comparação custo inicial e custo operacional.

Para a avaliação dos custos indicados, novamente será necessário o conhecimento mais profundo das alternativas de sistemas. O custo de energia estimado (diário, mensal ou anual) requer um cálculo de consumo no período considerado. Será necessária uma integração hora a hora da energia consumida em função do perfil de carga térmica do ambiente tratado. É possível realizar-se uma aproximação de cálculo da energia consumida, por meio de simulação de desempenho dos equipamentos que compõem o sistema, bem como por meio da simulação de um sistema completo (Stoecker, 1998).

A carga térmica horária determina as trocas de calor sensível e latente em cada ambiente. A simulação traduz a necessidade de resfriamento ou aquecimento instantâneo dos ambientes permitindo o cálculo da quantidade de energia consumida pelo sistema de condicionamento a cada instante.

Os sistemas de ar condicionado incluem normalmente equipamentos típicos como compressores, ventiladores, bombas, trocadores de calor e motores. Os consumos aproximados de energia de cada um dos componentes e do sistema como um todo, podem ser determinados por meio de equações.

É suficiente, na avaliação da energia consumida pelos equipamentos, se encontrar equações de desempenho baseadas em dados de tabela de fabricantes que se assumem corretos ou em publicações específicas. A representação do desempenho dos componentes na forma polinomial geralmente atende às necessidades para equipamentos de ar condicionado, embora para alguns equipamentos uma maior aproximação possa ser obtida com outras representações matemáticas.

Uma forma de equação adequada para expressar o desempenho de muitos componentes típicos é a expressão de uma variável em função de duas outras, do tipo:

$$Z = C1 + C2(x) + C3(x^2) + C4(y) + C5(y^2) + C6(x)(y) + C7(x^2)(y) + C8(x)(y^2) + C9(x^2)(y^2) \quad (3.4)$$

onde os valores dos coeficientes C1 a C9 deverão ser encontrados através de nove equações simultâneas, cujos valores de Z, x e y são obtidos das tabelas dos fabricantes.

Para exemplificar, no caso dos compressores é possível se determinar a potência consumida (Z) em função das temperaturas de evaporação (x) e de condensação (y), com operação em plena capacidade ou com capacidade reduzida.

Outro exemplo é o desempenho de um ventilador em termos de vazão e potência consumida em função da pressão estática e rotação, seja em plena capacidade ou capacidade parcial. É o caso típico de aplicação em sistemas de vazão variável, onde se altera a rotação do ventilador de insuflamento do ar em função da carga térmica instantânea do ambiente.

Um exemplo simples é a simulação de desempenho de um condicionador de ar unitário de 3 a 5 TR³ de capacidade, para uma determinada temperatura no espaço condicionado.

A equação de desempenho, equação 3.6, em função da temperatura de entrada do ar no condensador, está desenvolvida a partir de dados adquiridos de um fabricante desse tipo de equipamento.

$$D = f(T_a)$$

D – desempenho em kcal/h/kw

T_a – temperatura do ar externo no condensador da central frigorífica.

A equação com uma variável independente e uma dependente é suficiente:

$$D = C_1 + C_2 (T_a) + C_3 (T_a^2)$$

(3.5)

e com os dados de tabela extraídos de informações de um fabricante:

| T _a (°C) | D (kcal/h/kw) |
|---------------------|---------------|
| 43 | 1500 |
| 35 | 1900 |
| 26 | 2800 |

Determinam-se os coeficientes C₁, C₂, C₃.

$$\begin{aligned} C_1 &= 8076,47 \\ C_2 &= -279,412 \\ C_3 &= 2,94118 \end{aligned}$$

Resultando a equação:

$$D = 8076,47 - 279,412 T_a + 2,94118 T_a^2$$

(3.6)

que é a expressão de desempenho do condicionador no intervalo selecionado.
No Anexo A está um exemplo de determinação de consumo de energia no
reaquecimento de um sistema **TODO - AR**, atuando no intervalo de 8h às 15h, podendo se
estender a outros horários, a dias e meses do ano.

CAPÍTULO 4

O MÉTODO DE SELECIONAMENTO

4.1 PROCEDIMENTOS INICIAIS PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO.

Para o que se propõe neste trabalho, além do cálculo da carga térmica, é necessário que:

- a) Estejam definidos os parâmetros a serem ponderados como: custo inicial, custo operacional, controles, entre outros.
- b) Sejam aplicados valores que quantifiquem cada um dos parâmetros, em uma escala numérica.
- c) Seja usado um modo ou critério de aplicação de escala numérica

4.2 DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO.

Forma-se uma equipe incluindo engenheiro especialista, investidor-proprietário e profissionais envolvidos com a instalação de ar condicionado. Ao engenheiro especialista caberá definir uma primeira lista de parâmetros a serem ponderados no método de seleção, conforme indicado no item a) acima. Na aplicação exemplo, no capítulo 5, estão anotados vários parâmetros de comparação. Alguns foram tomados como restritivos, outros como desejáveis. Os restritivos deverão ser rigorosamente aplicados à seleção, os desejáveis serão pontuados conforme suas importâncias relativas.

Será função do engenheiro especialista a orientação das pessoas envolvidas no processo de seleção e o fechamento do processo de escolha com as observações finais cabíveis.

Nas avaliações deverão constar, portanto, listas dos parâmetros importantes para o tipo de instalação e que serão incluídos conforme julgamento do engenheiro especialista e das pessoas envolvidas no estudo.

Um primeiro conjunto de parâmetros deverá abranger aqueles que são considerados como imprescindíveis. São as restrições impostas à escolha dos sistemas como: custo inicial máximo, tolerâncias de variação de temperatura, entre outros.

Nestes parâmetros não há qualquer pontuação, pois são imperativos, e eliminam da escolha, um ou outro sistema que não atenda a exigência.

Um segundo conjunto de parâmetros deverá abranger todos aqueles desejáveis que serão avaliados conforme o grau de importância, por pessoal não especializado e ponderados, pelo engenheiro especialista.

As avaliações com base monetária, como no parâmetro de custos inicial e operacional, contêm implicações financeiras de investimentos nas instalações, obtidas por meio de técnicas de econometria, que serão utilizadas na aplicação deste trabalho. No custo operacional, um cálculo importante é a avaliação do consumo de energia. Essa avaliação requer uma estimativa de consumo de cada componente dos sistemas e o conhecimento do modo de operação dos sistemas como um todo. No item 3.4 está apresentada uma maneira de determinação matemática aproximada do consumo de energia em componentes da instalação e no Anexo A, um exemplo de operação de uma instalação na qual se deseja determinar o consumo de energia de um dos componentes (aquecedor) operando parcialmente durante um período de trabalho.

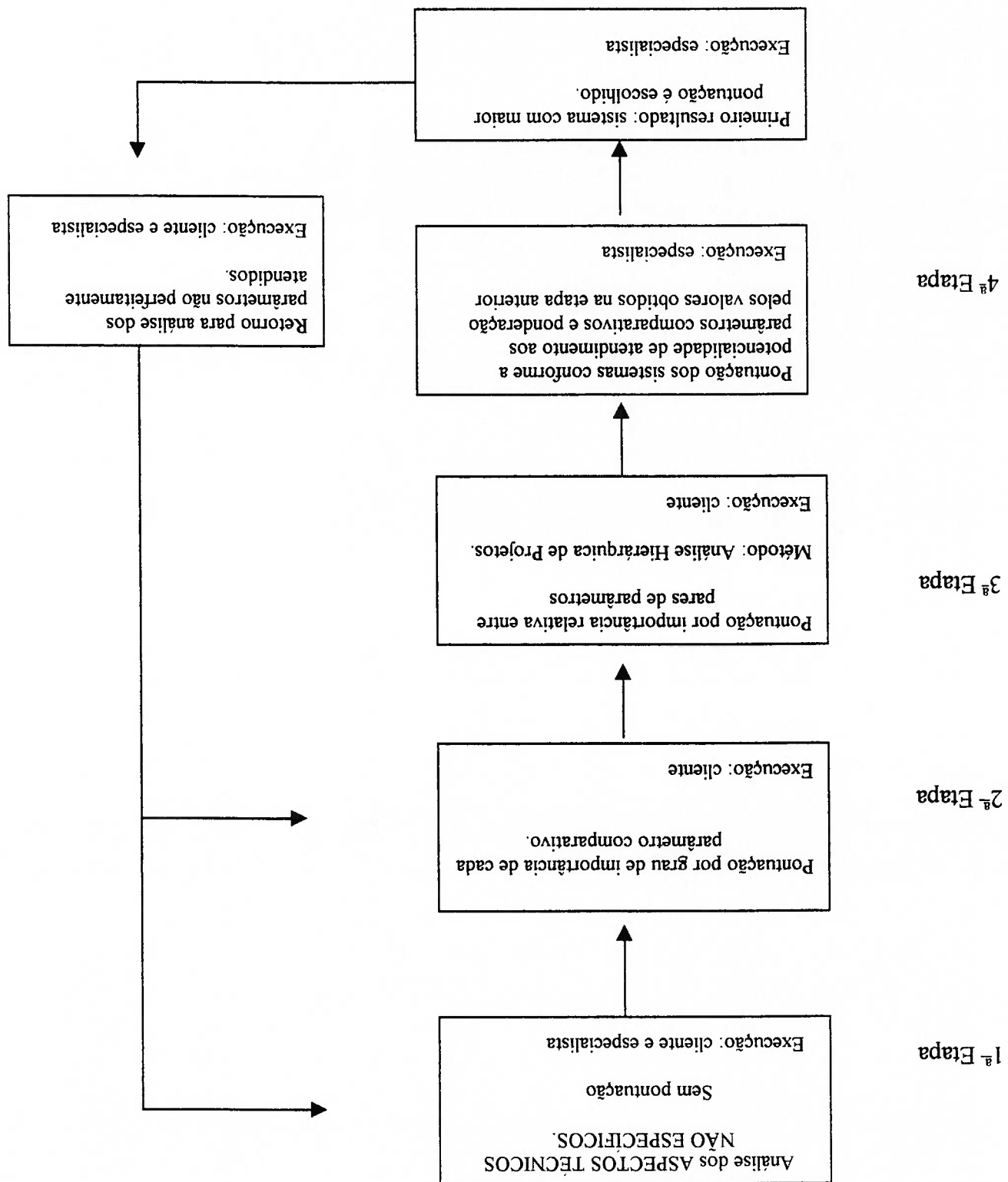
O método de seleção de sistemas aqui apresentado não é exato, pois depende, em parte, de avaliações subjetivas, mas pode apresentar um bom resultado, visto que considera as particularidades de cada ambiente e de cada sistema de ar condicionado. A aplicação do método pode também indicar o que se espera do sistema escolhido prevendo inclusive algumas falhas ou reclamações futuras pelos usuários, permitindo ainda uma certificação das características de funcionamento por parte de todas as pessoas envolvidas e indicando potencialidades para modificações futuras.

Os valores que quantificam os parâmetros têm uma escala numérica. Será adotada nesse trabalho a escala 1,3,5,7,9 aplicada em três, das quatro etapas de procedimento com critérios específicos para cada parâmetro em análise.

Convém aqui salientar que o uso de escalas numéricas para "medida" de opiniões é largamente difundida na avaliação de atitudes na psicometria, principalmente as escalas tipo Likert, cujas vantagens e características são identificadas por Coolican (1994), apresentando um alto grau de consistência e validade. No presente trabalho a consistência e validade são obtidas pela simplicidade dos parâmetros de seleção envolvendo e pelo nível de conhecimento das pessoas que irão pontuar estes parâmetros comparativos. As quatro etapas do método de seleção são apresentadas na Fig. 4.1.

Figura 4.1 – Etapas do método de selecionamento.

Cliente: proprietário, investidor, arquiteto, administrador, outros.
 Especialista: engenheiro especialista na área de ar condicionado.



a) Na primeira etapa devem ser analisados os itens que foram anteriormente indicados como ASPECTOS TÉCNICOS NÃO ESPECÍFICOS. Não haverá pontuação nessa etapa, mas devem ser anotados os itens relevantes. Qualquer um desses aspectos pode eventualmente ser incluído nas etapas segunda e terceira, se houver concordância da equipe. Nesta etapa deverão participar todas as pessoas envolvidas no processo de seleção.

b) Na segunda etapa será feita a pontuação, em ordem crescente de importância, para cada parâmetro, na escala de 1 a 9, de acordo com a importância de cada parâmetro incluído na seleção, segundo o critério de pontuação descrito na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Pontuação por importância.

| | |
|------------------|--------------------|
| Pontuação | Importância |
| 1 | Mínima |
| 3 | Fraca |
| 5 | Média |
| 7 | Forte |
| 9 | Máxima |

Para cada parâmetro são calculadas as médias de pontos dos avaliadores e essas médias serão ponderadas na etapa seguinte conforme a importância relativa de cada parâmetro. Nesta etapa deverão participar todas as pessoas envolvidas no processo de seleção.

c) Na terceira etapa introduz-se a ponderação das médias dos parâmetros, calculadas na etapa anterior, determinado a importância relativa de cada parâmetro.

Segundo Vitorino (2001) citando Juran (JURAN,1988) as escalas numéricas de desempenho simples devem ser ponderadas por um grau de importância relativa que o avaliador dá ao parâmetro avaliado. A ponderação aqui adotada será a obtida pelo método denominado Análise Hierárquica de Projetos (OHFUII et. all,1997) citada por Vitorino (2001), empregado principalmente na técnica de desdobramento da função da qualidade. Por este método avalia-se a importância relativa entre pares de parâmetros utilizando a escala apresentada na tabela 4.2.

| Pontuação | Importâncias Relativas |
|-----------|--|
| 1 | Ambos os parâmetros igualmente importantes |
| 3 | Parâmetro analisado discretamente mais importante que o posterior |
| 5 | Parâmetro analisado mais importante que o posterior |
| 7 | Parâmetro analisado bastante mais importante que o posterior |
| 9 | Parâmetro analisado fundamentalmente mais importante que o posterior |

Tabela 4.2 – Pontuação por importância relativa.

Na aplicação exemplo, do capítulo 5 deste trabalho, está montada uma matriz usada com a aplicação do método Análise Hierárquica de Projetos (AHP) envolvendo a média geométrica das importâncias relativas de cada parâmetro e a pontuação ponderada de importância relativa que é relação entre a média e a somatória das médias.

(d) Na quarta etapa é feita a ponderação das pontuações determinadas na etapa anterior, em cada um dos parâmetros. Essa etapa é exclusiva do engenheiro especialista, pois exige o conhecimento aprofundado de todos os sistemas, com suas características.

Convém notar que, geralmente, uma seleção prévia elimina alguns sistemas de condicionamento das opções de escolha por não atenderem exigências imprescindíveis e restritivas São exemplos de sistema eliminados: os que ultrapassam um custo inicial máximo previamente fixado, os que não atendem a uma exigência imprescindível específica como a ausência de partes elétricas nos ambientes com gases explosivos, entre outros.

Nessa etapa também é aplicada a escala de 1 a 9 com base agora, na potencialidade dos sistemas de ar condicionado em estudo atenderem, de alguma forma, os mesmos parâmetros da instalação analisados nas etapas anteriores.

Os critérios de pontuação são aplicados de dois modos. O primeiro modo está descrito na Tabela 4.3.

Define-se como instalação (ou equipamento) padrão aquela indicada em normas como a ASHRAE/90. No Brasil existem poucas referências que estabeleçam as exigências mínimas para sistemas de ar condicionado. No anexo B estão algumas exigências mínimas de consumo de energia da ASHRAE conforme apresentado em Vittorino(2001). Abaixo está um exemplo de desempenho de restritores com base no coeficiente de desempenho, COP, definido como a relação entre a energia extraída no evaporador e a energia consumida pelo compressor em um ciclo de compressão de vapor.

| Pontuação | Critério |
|-----------|-------------------------------------|
| 1 | % Maior inferior a um padrão mínimo |
| 3 | % Menor inferior a um padrão mínimo |
| 5 | Próximo ao padrão mínimo. |
| 7 | % Menor superior a um padrão mínimo |
| 9 | % Maior superior a um padrão mínimo |

Tabela 4.4 – Critérios de pontuação, segundo modo.

O segundo modo está descrito na Tabela 4.4.

| Pontuação | Critério |
|-----------|---|
| 1 | Probabilidade de ocorrência do parâmetro. |
| 5 | Ocorrência parcial do parâmetro. |
| 9 | Ocorrência do parâmetro. |

Tabela 4.3 – Critérios de pontuação, primeiro modo.

Avaliados os critérios por importância relativa e por potencialidade dos sistemas em jogo, aquele que obter maior número de pontos no conjunto de critérios, será o escolhido. Deve-se, no entanto, anotar os parâmetros atendidos com pontuação mais baixa pelo sistema escolhido e submetê-los à apreciação final da equipe. Caso não haja objeções ou as objeções puderem ser contornadas e aceitas, a escolha é definitiva.

O método de avaliação apresentado embora não seja exato serve bastante bem como guia no selecionamento de sistemas e cria ao menos um critério racional com base nas necessidades dos empreendedores sem deixar de acrescentar as características técnicas imprescindíveis ao bom funcionamento da instalação de ar condicionado.

4.3 RESULTADOS.

As pontuações definidas nesta etapa ponderam as da terceira etapa.

norma brasileira, ou qualidade de filtragem em ambientes especiais.

parâmetros de comparação de sistemas como nível de ruído nos ambientes indicado pela exigências mínimas ou recomendáveis por norma, fixar ponderações para outros De modo semelhante ao utilizado no resfriador de água, é possível, a partir das

O equipamento analisado deverá ser ponderado com pontuação igual a quatro.

1 - 20% abaixo de 3,8
 3 - 10% abaixo de 3,8
 5 - 3,8
 7 - 10% acima de 3,8
 9 - 20% acima de 3,8

Ponderações básicas:

| Capacidade | Eficiência base | Desempenho mínimo |
|------------|-----------------|-------------------|
| <150 TR | COP | 3,8 (ASHRAE 90) |
| >150TR | COP | 4,1 |

O equipamento analisado

O equipamento padrão:

Desempenho energético de resfriadores de água (*chiller*), com condensação a água.

Exemplo:

CAPÍTULO 5

APLICAÇÃO DO MÉTODO.

Para a realização de estudo de caso foi escolhida uma instalação de ar condicionado para escritórios com dimensões e características apresentadas na Fig. 5.1.

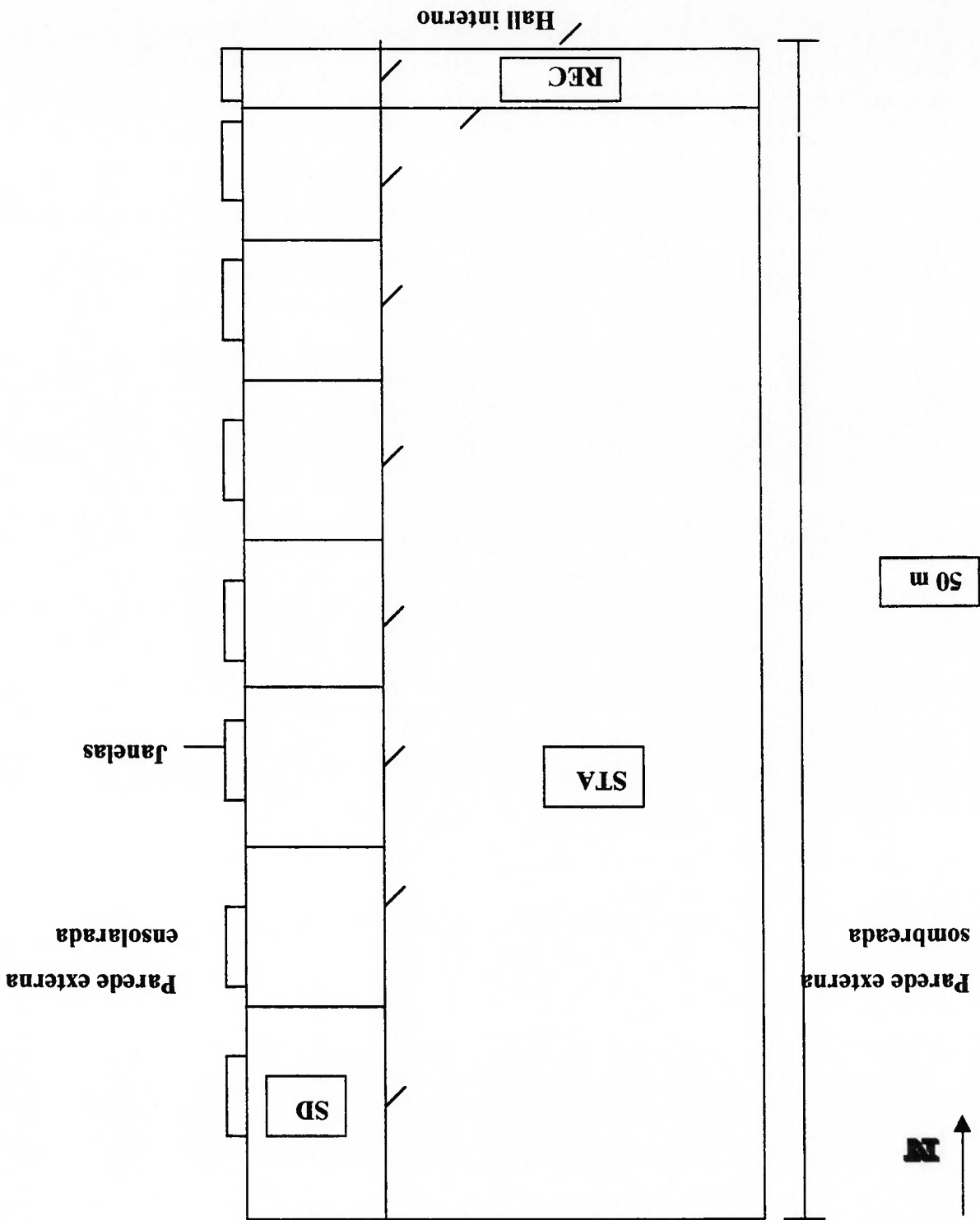


Figura 5.1 – Planta baixa dos ambientes a condicionar.

STA - SALA TÉCNICA ADMINISTRATIVA
SD - SALAS DIRETORES E GERENTES
REC - RECEPÇÃO

Características dos ambientes:
Janelas de vidro: 5,0m x 1,0m

Dimensões :

SD : 6,0m x 5,0m

STA : 44,0m x 15,0m

REC : 15,0m x 6,0m

Altura: 3,0m

Iluminação : 15 W/ m²

Ocupação : 4m² / pessoa

Divisórias: altas

Equipamentos : dois computadores em cada sala SD e dez computadores na sala STA.

Trata-se de uma instalação de ar condicionado para conforto, onde será mantida a temperatura de 25 ° C, sem controle específico de umidade. O edifício está situado em S. Paulo com a orientação N/S indicada no desenho As paredes externas são de blocos de concreto poroso de 200 mm de espessura. A cobertura é uma laje de 200 mm, sem telhado. As janelas, de vidro branco, estão protegidas por persianas fechadas Não será considerado controle de temperatura durante o regime de inverno (sem aquecimento). Restrições específicas ao sistema de ar condicionado estarão apresentadas durante o detalhamento da aplicação do método de dimensionamento.

5.1 Cálculo da carga térmica.

O cálculo foi feito para um dia típico. Para obter os perfis de temperatura dos dias típicos foi utilizado programa computacional BLAST (PEDERSEN, 1993), onde os perfis são gerados a partir das temperaturas máxima, *TMAX*, e mínima, *TMIN*, do dia em questão. Na determinação das temperaturas, *TMAX* e *TMIN*, de dia típico de cada mês do ano foi utilizado o seguinte procedimento (AKUTSU, 1998):

a) Dia típico de verão (outubro a abril)

Temperatura máxima, T_{MAX} : Dada pela média entre a maior das temperaturas máximas, $T_{MAX_{MED}}$, e a média das temperaturas máximas, $T_{MAX_{MED}}$, do mês:

$$T_{MAX} = \frac{T_{MAX_{MAX}} + T_{MAX_{MED}}}{2} \quad (5.1)$$

Temperatura mínima, T_{MIN} : Dada pela temperatura máxima, T_{MAX} , menos a amplitude de variação das temperaturas, que é dada pela diferença entre a média das temperaturas máximas, $T_{MAX_{MED}}$, e a média das temperaturas mínimas, $T_{MIN_{MED}}$, do mês:

$$T_{MIN} = T_{MAX} - (T_{MAX_{MED}} - T_{MIN_{MED}}) \quad (5.2)$$

b) Dia típico de inverno (maio a setembro)

Temperatura mínima, T_{MIN} : Dada pela média entre a maior das temperaturas mínimas, $T_{MIN_{MED}}$, e a média das temperaturas mínimas, $T_{MIN_{MED}}$, do mês:

$$T_{MIN} = \frac{T_{MIN_{MAX}} + T_{MIN_{MED}}}{2} \quad (5.3)$$

Temperatura máxima, T_{MAX} : Dada pela temperatura mínima, T_{MIN} , mais a amplitude de variação das temperaturas, que é dada pela diferença entre a média das temperaturas mínimas, $T_{MIN_{MED}}$, e a média das temperaturas mínimas, $T_{MIN_{MED}}$, do mês:

$$T_{MAX} = T_{MIN} + (T_{MAX_{MED}} - T_{MIN_{MED}}) \quad (5.4)$$

Nos cálculos de dias típicos de cada mês foram utilizados valores de temperaturas máximas e mínimas diárias do ano de 2001 (IAG, 2001), que resultaram nos perfis de temperatura de dias típicos apresentados na Tabela 5.1.

Resultados de carga térmica são apresentados nas Tabelas 5.2 e 5.3.

Tabela 5.1 Perfis de temperatura dos dias típicos.

| Horário | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|---------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| 1 | 22,36 | 22,7 | 21,3 | 20,3 | 12,2 | 9,6 | 9 | 12,4 | 11,1 | 19,3 | 21,6 | 21,3 |
| 2 | 21,8 | 22,2 | 20,7 | 19,8 | 11,8 | 9,1 | 8,4 | 11,8 | 10,6 | 18,7 | 21,1 | 20,8 |
| 3 | 21,35 | 21,9 | 20,3 | 19,3 | 11,4 | 8,7 | 7,9 | 11,3 | 10,2 | 18,2 | 20,7 | 20,4 |
| 4 | 21 | 21,6 | 20 | 19,1 | 11,1 | 8,4 | 7,6 | 10,9 | 9,9 | 17,9 | 20,4 | 20,2 |
| 5 | 20,9 | 21,5 | 19,9 | 18,9 | 11,1 | 8,3 | 7,5 | 10,8 | 9,8 | 17,8 | 20,3 | 20,1 |
| 6 | 21,1 | 21,7 | 20,1 | 19,1 | 11,2 | 8,5 | 7,7 | 11 | 10 | 18 | 20,5 | 20,2 |
| 7 | 21,6 | 22,1 | 20,6 | 19,6 | 11,7 | 9 | 8,3 | 11,6 | 10,5 | 18,6 | 21 | 20,7 |
| 8 | 22,6 | 22 | 21,6 | 20,6 | 12,5 | 10 | 9,4 | 12,8 | 11,4 | 19,6 | 21,9 | 21,6 |
| 9 | 24,1 | 24,3 | 23 | 22,1 | 13,7 | 11,3 | 11 | 14,4 | 12,7 | 21,2 | 23,2 | 22,8 |
| 10 | 25,8 | 25,8 | 24,7 | 23,8 | 15 | 12,9 | 12,8 | 16,3 | 14,2 | 22,9 | 24,8 | 24,3 |
| 11 | 27,7 | 27,5 | 26,6 | 25,7 | 16,5 | 14,7 | 14,8 | 18,5 | 15,9 | 25 | 26,5 | 25,9 |
| 12 | 29,5 | 29,1 | 28,3 | 27,5 | 18 | 16,4 | 16,82 | 20,5 | 17,5 | 26,8 | 28,2 | 27,4 |
| 13 | 30,8 | 30,3 | 29,6 | 28,8 | 19,1 | 17,7 | 18,2 | 22,1 | 18,7 | 28,3 | 29,4 | 28,6 |
| 14 | 31,7 | 31,1 | 30,5 | 29,7 | 19,8 | 18,5 | 19,2 | 23,1 | 19,6 | 29,2 | 30,2 | 29,4 |
| 15 | 32,1 | 31,4 | 30,9 | 30,1 | 20,1 | 18,9 | 19,6 | 23,5 | 19,9 | 29,6 | 30,6 | 29,7 |
| 16 | 31,7 | 31,1 | 30,5 | 29,7 | 19,8 | 18,5 | 19,2 | 23,1 | 19,6 | 29,2 | 30,2 | 29,4 |
| 17 | 30,9 | 30,4 | 29,8 | 29,9 | 19,2 | 17,8 | 18,3 | 22,2 | 18,8 | 28,4 | 29,5 | 28,7 |
| 18 | 29,7 | 29,3 | 28,5 | 27,7 | 18,2 | 16,6 | 17 | 20,8 | 17,7 | 27,1 | 28,4 | 27,6 |
| 19 | 28,2 | 28 | 27,1 | 26,2 | 17 | 15,3 | 15,4 | 19,1 | 16,4 | 25,5 | 27,1 | 26,4 |
| 20 | 26,8 | 26,7 | 25,7 | 24,8 | 15,8 | 13,9 | 13,9 | 17,5 | 15,1 | 24 | 25,7 | 25,1 |
| 21 | 25,6 | 25,6 | 24,5 | 23,6 | 14,8 | 12,7 | 12,5 | 16,1 | 14 | 22,7 | 24,6 | 24,1 |
| 22 | 24,4 | 24,6 | 23,4 | 22,4 | 13,9 | 11,6 | 11,3 | 14,8 | 13 | 21,5 | 23,6 | 23,1 |
| 23 | 23,5 | 23,8 | 22,5 | 21,5 | 13,2 | 10,8 | 10,4 | 13,8 | 12,2 | 20,6 | 22,7 | 22,4 |
| 24 | 22,9 | 23,2 | 21,8 | 20,9 | 12,7 | 10,2 | 9,6 | 13 | 11,6 | 19,9 | 22,1 | 21,8 |

TABELA 5.2 Cargas térmicas das salas SD.
Hora Solar

| | 9 h | 10 h | 11 h | 12 h | 13 h | 14 h | 15 h | 16 h | 17 h | 18 h |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Janeiro | 25042 | 26665 | 28663 | 31224 | 35002 | 39093 | 43583 | 47599 | 50372 | 51383 |
| Fevereiro | 26758 | 28246 | 30095 | 32499 | 36187 | 40262 | 44784 | 48888 | 51761 | 52870 |
| Março | 24272 | 25880 | 27871 | 30410 | 34202 | 38359 | 42921 | 47018 | 49841 | 50860 |
| Abril | 21056 | 22715 | 24719 | 27271 | 31041 | 35117 | 39589 | 43590 | 46353 | 47366 |
| Maiο | -2853 | -1496 | 215 | 2489 | 5960 | 9712 | 13915 | 17771 | 20526 | 21736 |
| Junho | -6666 | -5136 | -3224 | -771 | 2812 | 6604 | 10781 | 14542 | 17182 | 18264 |
| Julho | -6823 | -5123 | -3018 | -371 | 3385 | 7346 | 11641 | 15453 | 18060 | 19017 |
| Agosto | 351 | 2150 | 4354 | 7092 | 11024 | 15268 | 19850 | 23894 | 26620 | 27500 |
| Setembro | -480 | 1035 | 2924 | 5370 | 9130 | 13334 | 17982 | 22200 | 25127 | 26210 |
| Outubro | 22330 | 24032 | 26131 | 28771 | 32655 | 36913 | 41544 | 45675 | 48484 | 49431 |
| Novembro | 25487 | 27003 | 28909 | 31364 | 35081 | 39162 | 43675 | 47755 | 50597 | 51678 |
| Dezembro | 25123 | 26567 | 28380 | 30741 | 34367 | 38361 | 42805 | 46851 | 49700 | 50838 |

Tabela 5.3 Cargas térmicas das salas STA e REC.

Hora Solar

| | 9 h | 10 h | 11 h | 12 h | 13 h | 14 h | 15 h | 16 h | 17 h | 18 h |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Janeiro | 72956 | 76056 | 80817 | 86687 | 94278 | 99745 | 105472 | 109945 | 112331 | 113887 |
| Fevereiro | 77342 | 80091 | 84465 | 89930 | 97225 | 102507 | 108160 | 112707 | 115259 | 117073 |
| Março | 70990 | 74033 | 78758 | 84555 | 92090 | 97538 | 103247 | 107738 | 110143 | 111735 |
| Abril | 63237 | 66428 | 71208 | 77060 | 84650 | 90117 | 95844 | 100317 | 102703 | 104259 |
| Maiο | 1772 | 4263 | 8360 | 13566 | 20659 | 25812 | 31410 | 36012 | 38675 | 40673 |
| Junho | -7017 | -4084 | 530 | 6198 | 13640 | 19033 | 24724 | 29233 | 31693 | 33360 |
| Julho | -7839 | -4500 | 575 | 6703 | 14478 | 20092 | 25857 | 30292 | 32549 | 33921 |
| Agosto | 8019 | 11543 | 16802 | 23097 | 31001 | 36707 | 42508 | 46907 | 49091 | 50333 |
| Setembro | 6753 | 9539 | 13987 | 19525 | 26857 | 32177 | 37830 | 42377 | 44892 | 46669 |
| Outubro | 66779 | 70045 | 75027 | 81064 | 88765 | 94342 | 100088 | 104542 | 106836 | 08263 |
| Novembro | 75087 | 77473 | 81494 | 86617 | 93651 | 98755 | 104339 | 108955 | 111657 | 113720 |
| Dezembro | 73831 | 76487 | 80787 | 86160 | 93381 | 98627 | 104262 | 108827 | 111416 | 113285 |

Com o cálculo da carga térmica definido, é possível determinar quais tipos de sistemas serão compatíveis. No estudo de caso analisado, todos os sistemas descritos tem possibilidade de atuarem para a carga térmica calculada verificadas as disponibilidades de equipamentos ofertados no Brasil.

5.2 PRIMEIRA ETAPA DO PROCEDIMENTO DE SELECIONAMENTO.

Na primeira etapa de aplicação do método de selecionamento - análise dos ASPECTOS TÉCNICOS NÃO ESPECÍFICOS - foram anotados os pontos mais importantes e que deverão ser verificados e analisados após a escolha do sistema, realizada por meio das avaliações feitas nas etapas seguintes. Notaram-se como de importância:

- 1- O ruído provocado à vizinhança deve estar compatível com as normas.
- 2- Os equipamentos devem permitir confiabilidade no período de sua vida útil considerada por dez anos.
- 3- Não estão previstas mudanças ou alterações maiores nos ambientes condicionados.
- 4- Devem ser seguidos as normas brasileiras e código de obras de S. Paulo.
- 5- Podem ser adotados condutos de distribuição de ar nos ambientes, inclusive aparentes.

5.3 SEGUNDA ETAPA DO PROCEDIMENTO DE SELECIONAMENTO.

Faz-se a pontuação por grau de importância de cada parâmetro comparativo e retira-se a média das pontuações dos avaliadores. Nesta etapa já serão especificados os parâmetros imprescindíveis (restrições) à seleção do sistema e cada parâmetro desejável será pontuado na escala apresentada no capítulo 4.

Na Tabela 5.4 são apresentados os parâmetros de avaliação imprescindíveis e as restrições correspondentes.

Tabela 5.3 – Parâmetros imprescindíveis e restrições.

| | |
|------------------------------------|--|
| Parâmetros. | Restrições. |
| Custo inicial máximo. | R\$ 200000,00 |
| Segurança. | Conforme norma brasileira. |
| Aspectos técnicos não específicos. | Observados após escolha final. |
| Temperaturas e tolerâncias. | Condições de conforto verão segundo norma brasileira |
| Drenos, tubulações e manutenção. | Não permitidos nos ambientes tratados. |
| Comandos. | Fora dos ambientes tratados. |

Na tabela 5.5 são apresentados os parâmetros desejáveis ao sistema de ar condicionado e as primeiras pontuações da avaliação executada pelo cliente com a média aritmética dos valores.

Tabela 5.5 – Pontuações de parâmetros desejáveis

| Parâmetros | Pontuações | Média |
|--|--------------|---------------|
| | Proprietário | Administrador |
| Ausência de dutos de ar, sancas | 3 | 7 |
| Nível de ruído baixo | | |
| Ambiente | 9 | 9 |
| Casa de máquinas | 5 | 3 |
| Espaço ocupado | | |
| Dutos | 3 | 7 |
| Equipamentos | 3 | 5 |
| Padronização de equipamentos | 3 | 5 |
| Independência de atuação por ambiente | 9 | 9 |
| Interferência nos ambientes (utensílios) | 3 | 7 |
| Facilidade de remanejamento (<i>lay out</i>) | 7 | 9 |
| Conservação da energia(ciclo entálpico) | 3 | 1 |
| Recuperação da energia | 1 | 1 |
| Demanda máxima (80 kWh) | 9 | 9 |
| Probabilidade de futuras ampliações | 1 | 1 |
| Controle automático centralizado | | |
| Fumaça | 3 | 3 |
| Ciclos de manutenção | - | - |
| Operação global | - | - |
| Gerenciamento da energia | - | - |
| Baixo custo financeiro (inicial+energia) | 9 | 7 |
| | | 9 |
| | | 8,3 |

5.4 TERCEIRA ETAPA DO PROCEDIMENTO DE SELECIONAMENTO

Nesta etapa serão ponderados os valores das médias encontradas no procedimento anterior conforme o método de Análise Hierárquica de Projetos (AHP). Para tanto foi montada uma matriz de pares de parâmetros comparativos e a ponderação foi feita conforme o critério explicado no capítulo 4, (Tabela 4.2). Os resultados são apresentados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Matriz de ponderações por importância relativa.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | MP |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|
| A | 1 | 1/9 | 1/3 | 1/9 | 1 | 1/7 | 1/3 | 9 | 1/5 | 9 | 1/9 | 5 | 1/3 | 1/9 | 0,53 | 1,9 |
| B | 9 | 1 | 9 | 7 | 9 | 9 | 5 | 9 | 9 | 5 | 9 | 1/9 | 9 | 7 | 1/9 | 3,87 |
| C | 3 | 1/9 | 1 | 1/7 | 9 | 9 | 1/7 | 9 | 1/3 | 9 | 1/9 | 9 | 1 | 1/9 | 0,91 | 3,3 |
| D | 9 | 1/7 | 7 | 1 | 7 | 3 | 9 | 9 | 1 | 9 | 1/9 | 9 | 1/5 | 1/9 | 1,74 | 6,3 |
| E | 1 | 1/9 | 1/9 | 1/7 | 1 | 5 | 1/5 | 7 | 7 | 1 | 9 | 1/9 | 9 | 1/3 | 1/9 | 0,78 |
| F | 1 | 1/9 | 1/9 | 1/7 | 1/5 | 1 | 1/9 | 7 | 1/7 | 1/9 | 9 | 1/9 | 9 | 1/3 | 1/9 | 0,41 |
| G | 7 | 1/5 | 7 | 1/3 | 5 | 9 | 1 | 9 | 9 | 7 | 7 | 1/9 | 9 | 7 | 1/9 | 2,38 |
| H | 3 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/7 | 1/7 | 1/9 | 1 | 1/3 | 1/7 | 1/9 | 1/9 | 3 | 1/9 | 1/9 | 0,23 |
| I | 1/9 | 1/9 | 7 | 1/9 | 1/7 | 7 | 1/9 | 3 | 1 | 7 | 7 | 1/9 | 9 | 5 | 1/9 | 0,85 |
| J | 5 | 1/5 | 3 | 1 | 1 | 9 | 1/7 | 7 | 1/7 | 1 | 9 | 1/9 | 9 | 1/3 | 1/9 | 1,02 |
| K | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/7 | 9 | 1/7 | 1/9 | 1 | 1/9 | 9 | 1/6 | 1/9 | 0,25 |
| L | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 1 | 9 | 9 | 1 | 6,71 |
| M | 1/5 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 0,14 |
| N | 3 | 1/7 | 1 | 5 | 3 | 3 | 1/7 | 9 | 1/5 | 3 | 5 | 1/9 | 9 | 1 | 1/9 | 1,15 |
| O | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 1 | 6,71 |
| MP | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 24,3 |
| | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 201,7 |

- A – ausência de dutos, sancaas.
 B – nível de ruído baixo nos ambientes.
 C – nível de ruído baixo na casa de máquinas.
 D – espaço ocupado pelos dutos.
 E – espaço ocupado pelos equipamentos.
 F – padronização dos equipamentos.
 G – independência de controle por ambiente.
 H – interferências nos ambientes (utensílios)
 I – facilidade de remanejamento (*lay out*)
 J – conservação da energia.
- K – recuperação da energia.
 L – demanda máxima.
 M – probabilidade de futuras ampliações.
 N – Controle automático de fumaça.
 O – Baixo custo financeiro (inicial + energia).
 MG – média geométrica de valores relativos.
 PPIR – pontuação ponderada de importância relativa
 $PPIR = (MG / SOMA MG) \times 100$
 MP – média ponderada

Como se pode observar os itens de maior importância, segundo os avaliadores, são os parâmetros L e O, ou seja: a demanda máxima e o baixo custo financeiro. Esta notação é importante, pois no caso de avaliações com valores finais bastante próximos estes parâmetros devem ser analisados na tomada de decisão final.

5.5 QUARTA ETAPA DO PROCEDIMENTO DE SELECIONAMENTO

Nesta etapa realizada, por engenheiro especialista, serão pontuados os sistemas conforme suas potencialidades de atendimento aos parâmetros comparativos e ponderados pelos valores obtidos na terceira etapa. Nesta etapa já foram eliminados da escolha todos os sistemas que não atendem aos parâmetros de comparação imprescindíveis, ou seja, não atendam às restrições estabelecidas como, por exemplo, a ausência de manutenção de equipamentos de ar condicionado nos ambientes, que elimina os aparelhos unitários tipo *split* e tipo “janela”, bem como os aparelhos *fan and coil* de ambiente. Os sistemas atuais que estarão sob a avaliação final são dois:

1) sistema unitário constituído de três aparelhos *self – contained* condensação a ar, com distribuição do ar tratado por dutos e bocas de insuflamento e controle de temperatura com sensor localizado no retorno de ar das salas. Conforme o cálculo da carga térmica máxima para o período de uso do sistema, foram selecionados dois aparelhos padronizados de capacidade 26,3 kW cada um, para a sala STA e um outro idêntico, único, para as salas SD.

2) sistema de volume de ar variável com resfriamento do ar tratado por meio de um resfriador de água (*chiller*) e aparelhos tipo *fan and coil*. O *chiller* será de condensação a ar com controle de temperatura dos ambientes feito por sensores, localizados em cada ambiente, controlando a vazão insuflada, por meio de caixas de controle da vazão (caixas VAV) típicas para a aplicação.

Na Tabela 5.7 estão as pontuações para os dois sistemas, de cada parâmetro comparativo; os valores PPIR anteriormente determinados; o valor final da pontuação para cada parâmetro e o resultado final das pontuações.

Tabela 5.7 – Pontuações da quarta etapa e resultados finais do processo de escolha.

| Parâmetro | Pontuação | | MP | | Final | | Chiller | | MP | | Final | |
|-------------------|-----------|-------|----------|--------|----------|--------|----------|---------|----------|-------|----------|--------|
| | 4ª etapa | Final | 4ª etapa | Final | 4ª etapa | Final | 4ª etapa | Final | 4ª etapa | Final | 4ª etapa | Final |
| A | 1 | 8,2 | 1 | 8,2 | 1 | 8,2 | 1 | 8,2 | 1 | 8,2 | 1 | 8,2 |
| B | 5 | 126,0 | 5 | 126,0 | 5 | 630,0 | 5 | 126,0 | 5 | 126,0 | 5 | 630,0 |
| C | 5 | 16,5 | 5 | 16,5 | 5 | 82,5 | 5 | 16,5 | 5 | 16,5 | 5 | 82,5 |
| D | 5 | 27,1 | 5 | 27,1 | 5 | 135,5 | 5 | 27,1 | 5 | 27,1 | 5 | 135,5 |
| E | 5 | 12,0 | 5 | 12,0 | 5 | 60,0 | 5 | 12,0 | 5 | 12,0 | 5 | 60,0 |
| F | 9 | 8,6 | 9 | 8,6 | 9 | 77,4 | 9 | 8,6 | 9 | 8,6 | 9 | 77,4 |
| G | 1 | 71,4 | 1 | 71,4 | 1 | 71,4 | 1 | 71,4 | 1 | 71,4 | 1 | 642,6 |
| H | 9 | 3,4 | 9 | 3,4 | 9 | 30,6 | 9 | 3,4 | 9 | 3,4 | 9 | 30,6 |
| I | 1 | 23,9 | 1 | 23,9 | 1 | 23,9 | 1 | 23,9 | 1 | 23,9 | 1 | 215,1 |
| J | 1 | 6,3 | 1 | 6,3 | 1 | 6,3 | 1 | 6,3 | 1 | 6,3 | 1 | 31,5 |
| K | 1 | 0,9 | 1 | 0,9 | 1 | 0,9 | 1 | 0,9 | 1 | 0,9 | 1 | 0,9 |
| L | 9 | 218,7 | 9 | 218,7 | 9 | 1968,3 | 9 | 218,7 | 9 | 218,7 | 9 | 1968,3 |
| M | 1 | 0,5 | 1 | 0,5 | 1 | 0,5 | 1 | 0,5 | 1 | 0,5 | 1 | 0,5 |
| N | 9 | 15,5 | 9 | 15,5 | 9 | 139,5 | 9 | 15,5 | 9 | 15,5 | 9 | 139,5 |
| O | 9 | 201,7 | 9 | 201,7 | 9 | 1815,3 | 7 | 201,7 | 7 | 201,7 | 7 | 1411,9 |
| Soma | | | | 5050,3 | | | | | | | | 5434,5 |
| Sistema Escolhido | | | | | | | | chiller | | | | 5434,5 |

5.6 Comentários e justificativas da pontuação na quarta etapa.

A) Ausência de dutos, sanca.

Pontuação: 1

Em ambos os sistemas, “self” e “chiller” serão utilizados dutos de distribuição de ar

com espaço ocupado nos ambientes e colocação virtual de forro ou sanca.

B) e C) Nível de ruído baixo nos ambientes e casa de máquinas.

Pontuação: 5

Em ambos os sistemas será possível manter níveis de ruído, como os fixados pela norma brasileira, com o uso dos equipamentos indicados e dimensionamento de dutos pelos métodos convencionais.

- D) e E) Espaço ocupado por dutos e equipamentos.
Pontuação: 5
- Espaços ocupados dentro das disponibilidades propostas pelo cliente.
F) Padronização de equipamentos.
Pontuação: 9
- Para ambos os sistemas serão utilizados equipamentos padronizados.
G) Independência de controle por ambiente.
Sistema "self":
Pontuação: 1
- Embora os equipamentos (dois para a sala STA e um para as salas SD) estejam separados por zona (ambientes com perfil de carga térmica semelhantes) este sistema terá o controle de temperatura por média com sensores colocados no retorno de ar dos ambientes tratados.
Sistema "chiller":
Pontuação: 9
- Permite o controle de temperatura em cada ambiente por meio de caixas de controle de vazão do ar insuflado (caixas VAV).
H) Interferências nos ambientes.
Pontuação: 9
- Com a distribuição de utensílios planejada pela arquitetura não haverá qualquer interferência das partes da instalação de ar condicionado par ambos os sistemas analisados.
I) Facilidade de remanejamento.
Sistema "self":
Pontuação: 1
- Neste sistema haveria muita dificuldade e custo alto para atender uma nova distribuição de salas.
Sistema "chiller":
Pontuação: 9
- Com facilidade e custo relativamente baixo é possível distribuir ar para atender uma nova distribuição de salas localizando as caixas VAV convenientemente.
J) Conservação da energia (ciclo entálpico).
Sistema "self":
Pontuação: 1

Possibilidade bastante remota de aplicação devido, principalmente, à atuação dos ventiladores padrões dos equipamentos.

Sistema "chiller".

Pontuação: 5

Existe possibilidade planejada de aplicação do ciclo entálpico ainda que utilizando equipamentos "fan and coil" padronizados, devido flexibilidade de atuação e seleção dos ventiladores.

(K) Recuperação de energia (trocadores de calor).

Pontuação: 1

Em ambos sistemas seria eventualmente possível a recuperação de calor. O aumento substancial no custo inicial e o espaço ocupado, no entanto, inviabilizam a utilização desses equipamentos recuperadores de calor.

(L) Demanda máxima.

Pontuação: 9

Em ambos sistemas não se ultrapassou a demanda máxima mensal (15000kwh) indicada pelo cliente acima da qual teria-se um aumento considerável de custo da energia contratada com a concessionária fornecedora de energia elétrica.

(M) Probabilidade de ampliações.

Sistema "self".

Pontuação: 1

Neste sistema as possibilidades de ampliações seriam bastante complexas e de custo elevado com previsão de espaços adicionais para colocação de equipamentos complementares necessários a uma eventual ampliação das áreas condicionadas.

Sistema "chiller".

Pontuação: 5

Neste sistema há maior flexibilidade para atender ampliações dos espaços condicionados com o selecionamento adequado do "chiller" e dos "fan and coil" com a previsão de ampliação das áreas condicionadas.

(N) Controle automático de fumaça por computador.

Pontuação: 9

Para ambos os sistemas, são facilmente adaptáveis na casa de máquinas dos condicionadores, sensores de fumaça que devem ser conectados a um computador central, já previsto pelo cliente, programado para controle de todas as instalações do edifício.

(O) Baixo custo financeiro (inicial e operacional)

Neste trabalho estão considerados, para efeito de análise:

Custo inicial dos equipamentos e custo de energia durante a vida das instalações considerada de dez anos. Com o mesmo modo de procedimento de análise poderiam ser incluídos outros custos iniciais como custo de construção civil para adaptação do edifício às instalações de ar condicionado ou outros custos operacionais como custo de manutenção preventiva.

Para a avaliação do custo inicial foram solicitados orçamentos diretamente aos fornecedores.

Para a avaliação dos custos de energia foram considerados equipamentos padronizados de fabricantes que apresentaram desempenhos bastante semelhantes para as condições de trabalho da instalação e foi considerada a vida útil de dez anos.

Sistema "chiller".

Pontuação: 7

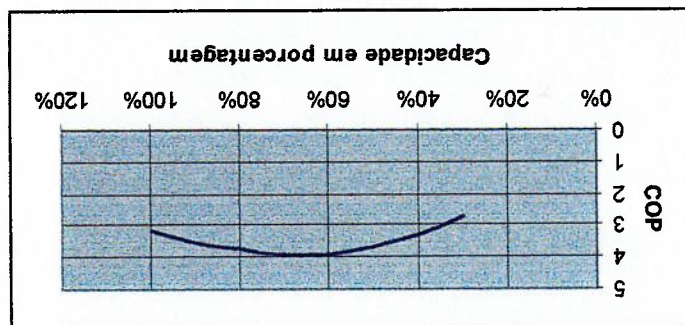
A análise foi feita com base em um "chiller" com compressor tipo parafuso e ventiladores dos "fan and coil", com controle de rotação por meio de alteração de frequência na alimentação dos motores elétricos de acionamento. Com a carga térmica calculada, considerando o tempo de uso das instalações de ar condicionado de 9 horas às 18 horas, durante 22 dias no mês e 10 anos de vida, determinou-se o consumo e o custo da energia.

O método financeiro empregado para cálculo do custo de energia é o do valor presente em que todos os valores de custo serão trazidos para a data de referência tomada como primeiro de janeiro de 2003. O custo da energia corresponde ao pagamento da conta de consumo é feito ao final de cada mês. A taxa de juros aplicada é de 1% ao mês.

Os dados de consumo de energia no "chiller" foram obtidos por meio do coeficiente de desempenho (COP). Entenda-se por desempenho a relação entre a energia extraída no evaporador da central de refrigeração e o consumo de energia no ciclo de refrigeração.

Na Fig. 5.2 está o gráfico de COP em função da capacidade percentual com teste conforme norma ARI STANDARD 550/590 - 1998.

Figura 5.2 - Coeficiente de desempenho (COP) em função da capacidade.



A esta curva foi associada uma função matemática que pode ser obtida como explicado no parágrafo 3.4 ou por meio de programas específicos. Nesta aplicação resultou um COP, para a carga térmica média no intervalo de uma hora:

$$(5.5) \quad COP = 4,072x^4 - 7,178x^3 - 5,09x^2 + 11,468x - 0,1279$$

Onde:

$x = \% \text{ de capacidade.}$

Para os ventiladores dos equipamentos *fan and coil*, tomou-se, com boa aproximação, a energia consumida como diretamente proporcional ao cubo da vazão e a vazão diretamente proporcional à rotação conforme as conhecidas leis de desempenho dos ventiladores.

Para o mês de janeiro resultaram os valores abaixo:

Consumo 7639,75 kWh.

Custo com valor presente: R\$ 1891,00 para R\$ 0,25/kWh.

Para os demais meses foram feitos cálculos semelhantes resultando um custo anual

de:

Custo anual: R\$ 16.020,61

Para os dez anos de uso sem considerar escalada de custo da energia e valor

residual dos equipamentos:

Custo de energia para 10 anos: R\$ 99.210,97.

Somando-se este valor ao custo inicial de R\$ 190.000,00 resulta um custo total,

com valor presente, de:

Custo total: R\$ 289.210,97.

Sistema *self*.
Pontuação: 9

A análise foi feita tomando como base três equipamentos tipo *self-contained*, com compressores do tipo alternativo e controle de capacidade 100%, 50%, 0%, com capacidade nominal de 53 kW cada e condensação a ar. Para a atuação em carga parcial para valores de carga intermediários entre 100% e 50% e 50% e 0% foram calculados os tempos aproximados de atuação em 100%, 50% e 0%. Como exemplo:

Carga térmica: 48 kW.

Capacidade a 100%: 53kW.

Capacidade a 50%: 26,5 kW

Tempo de trabalho a 50% de capacidade: $(53 - 48) / (53 - 26,5) = 0,188$ ou 18,8% do tempo.

Com o mesmo procedimento financeiro usado no sistema *chiller*, resulta um valor de custo total: R\$ 280.467,48.

Como se pode observar existe uma diferença de aproximadamente 3% a menor para o sistema *self*. Verifica-se na matriz de importância relativa colocada no item 5.4, que este parâmetro tem uma ponderação de 24,3%, sendo um dos dois mais importantes ao cliente, indicando a necessidade de maior rigor na pontuação, aqui usada conforme apresentado na Tabela 5.6

Tabela 5.6 Critério de pontuação.

| | |
|-------------|---|
| Menor custo | 9 |
| 5% maior | 7 |
| 10% maior | 5 |
| 15% maior | 3 |
| 20% maior | 1 |

5.7 – Análise dos resultados

É interessante observar que, para um período de vida de 15 anos, ao invés de 10 anos o custo total para o equipamento “*chiller*” seria menor. O tempo de vida útil utilizado neste cálculo (10 anos) foi especificado pelo cliente, todavia, os equipamentos usados têm normalmente um período de vida maior.

A escolha do sistema de maior pontuação, *chiller*, também permite demonstrar que o custo inicial dos equipamentos não é o fator primordial. Normalmente, à primeira vista, sem uma análise mais profunda, o sistema *self* seria o escolhido.

Feita a escolha do sistema *chiller* pelo método apresentado, convém, no entanto, reexaminar principalmente os parâmetros G e I cujas diferenças de pontuação foram relevantes e, se tiverem suas importâncias relativas, avaliadas pelo cliente, alteradas, podem mudar o resultado da seleção.

Deve ser ainda analisado como o resultado da escolha pode afetar os parâmetros incluídos nos ASPECTOS TÉCNICOS NÃO ESPECÍFICOS salientados e descritos na fase inicial da seleção.

CAPÍTULO 6

TESTE DE APLICAÇÃO DO MÉTODO DE SELEÇÃO

OBRA – ESCOLA DE NÍVEL SUPERIOR

ENDEREÇO – CAMPINAS / SP.

COORDENAÇÃO DE OBRA – ARQUITETO RENOMADO.

SITUAÇÃO DA OBRA – EXECUTADA.

6.1 DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES DE AR CONDICIONADO EXECUTADAS.

Para o conjunto de 15 salas de aproximadamente 80m² cada uma foi instalado um sistema de ar condicionado com as seguintes características:

- Regime de trabalho – verão (resfriamento e desumidificação) sem controle específico de umidade.
- Sistema utilizado – TODO AR com volume de ar variável em cada sala, obtido por unidades terminais típicas (unidades VAV) motorizadas comandadas por sensores colocados em cada um dos ambientes.

O resfriamento com desumidificação foi obtido por aparelhos tipo *fan – coil*,

padronizados, com controle de rotação dos ventiladores por comando de sensores de pressão do ar nos dutos de insuflamento. Esses equipamentos estão localizados em mezanino no próprio andar. A alimentação de água fria aos *fan – coil* é feita por dois resfriadores de água (*chiller*) com condensação a ar, situados em laje dois andares acima do ambiente tratado. A carga térmica calculada máxima resultou em 90,19 TR (317 Kw) correspondente ao mês de janeiro.

6.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE SELEÇÃO

Na Fig. 6.1 são apresentadas as quatro etapas do método de seleção.

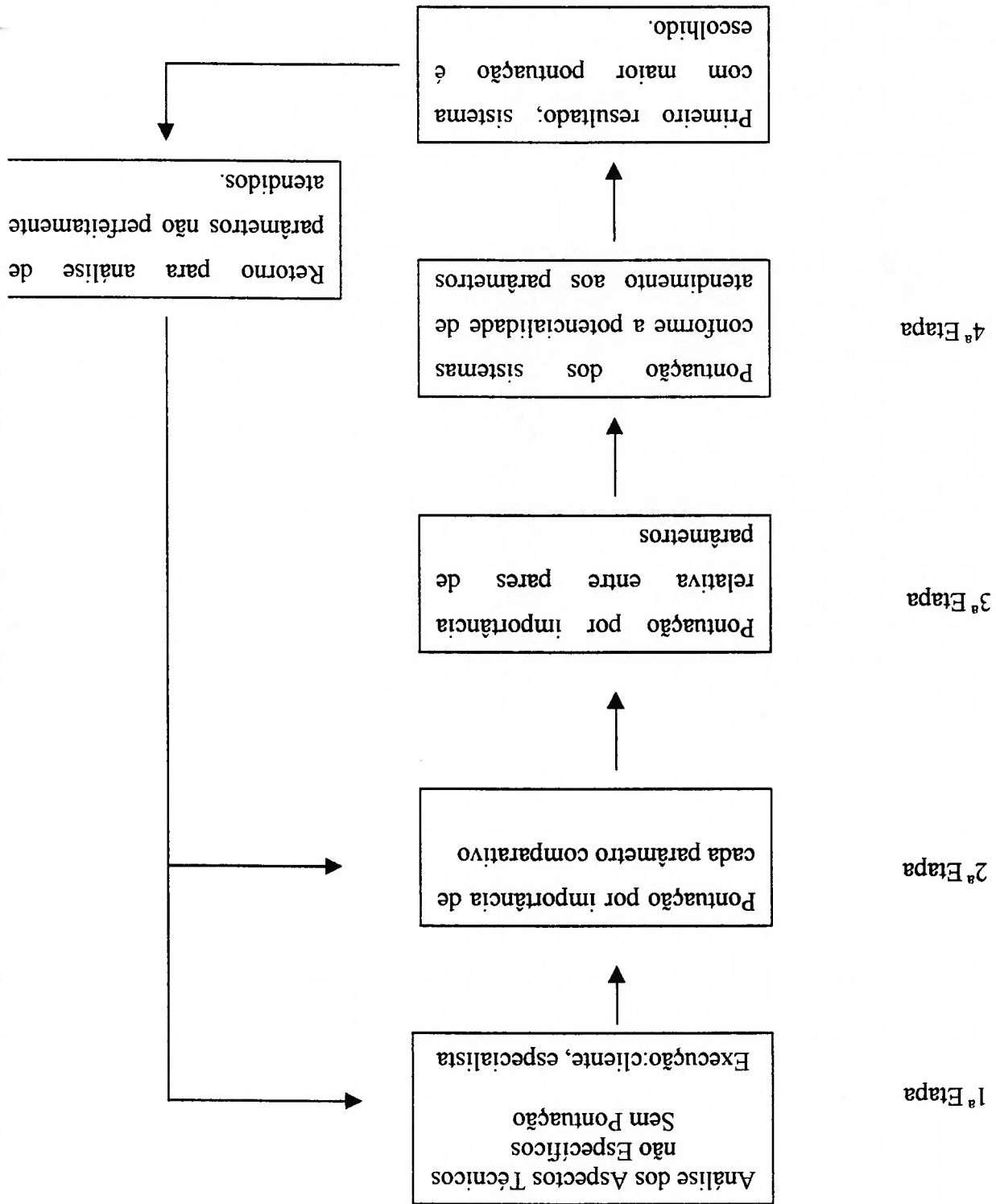


FIGURA 6.1: ETAPAS DO MÉTODO DE SELEÇÃO

6.2.1 Primeira etapa – Análise dos Aspectos Técnicos Não Específicos.

Nessa etapa não foram feitas pontuações sobre os itens levantados mas foram observados os pontos relevantes e confirmados os seguintes itens:

- Os equipamentos devem permitir confiabilidade no período de sua vida útil.
- O ruído provocado à vizinhança deve estar compatível com as normas brasileiras.
- Não estão previstas ampliações dos espaços condicionados.

6.2.2 Segunda etapa – Pontuação por importância de cada parâmetro comparativo.
 6.2.2.1 Parâmetros restritivos.

TABELA 6.1 – Parâmetros e restrições.

| | |
|---------------------------------|---|
| Custo inicial máximo | R\$ 500000,00 |
| Segurança | Conforme norma brasileira. |
| Temperaturas e tolerâncias | Condições de conforto, verão sem controle de umidade. |
| Drenos, tubulações e manutenção | Não permitidos nos ambientes tratados. |
| Dutos de distribuição de ar | Não permitidos nos ambientes tratados. |

Na análise destas restrições já foi possível excluir a aplicação de vários sistemas por não atenderem as exigências:

- Aparelhos unitários tipo *split* devido à manutenção localizada no ambiente, presença de tubulações de drenagem com rede de coleta de condensado, aspectos estéticos, nível de ruído não garantido.
- Unidades terminais tipo *fan-coil* por sala, pelos mesmos motivos assinalados acima.
- Sistemas com aquecimento ou resfriamento terminais, por não ser necessário o condicionamento do inverno e não haver necessidade de controle específico de umidade nos ambientes.

Restaram para a análise pelo método de seleção, dois sistemas:

- Sistema com utilização de condicionadores unitários tipo *self-contained* padronizados, distribuídos em algumas salas de máquinas mais próximas dos ambientes condicionados, principalmente devido à disponibilidade de pressões nos ventiladores deste tipo de equipamento e dutos de distribuição de ar nos corredores e áreas comuns.
- Sistema com utilização de *fan-coil* centralizado com distribuição de ar nos corredores e áreas comuns, alimentados por resfriador de água (*chiller*).

Nesta etapa foram ponderadas as pontuações da etapa anterior conforme o método de Análise Hierárquica de Projetos (AHP). Para tanto foi montada uma matriz de pares de parâmetros comparativos apresentada na Tabela 6.3.

6.2.3 Terceira etapa – Pontuação por importância relativa, de cada parâmetro comparativo.

Observações do cliente:
 J - Para obter-se, no ar condicionado características de um prédio inteligente.
 K - O baixo custo inicial comprometerá o alto custo operacional em edifícios para uso próprio (não é obrigatoriamente o nosso caso).

| Parâmetros | Arquiteto pontuação | Observações |
|---|---------------------|-----------------------------|
| A Ausência de dutos e sancas | 7 | Permitidos nos corredores |
| B Nível de ruído nos ambientes, baixo. | 9 | Norma brasileira |
| C Nível de ruído casas de máquinas, baixo. | 7 | Observadas vizinhanças |
| D Padronização de equipamentos | 7 | |
| E Independência de atuação por ambiente. | 9 | |
| F Interferências nos ambientes (utensílios) | 1 | |
| G Facilidade de remanejamento | 3 | Alterações de divisórias |
| H Conservação e recuperação de energia | 5 | |
| I Demanda máxima | 5 | 150 kWh |
| J Controle automático centralizado | 7 | Aplicação futura |
| K Baixo custo inicial | 3 | Observado custo operacional |

TABELA 6.2- Pontuações de parâmetros desejáveis.

6.2.2.2 Parâmetros desejáveis sujeitos à pontuação por importância.
 Foram incluídos na tabela 6.2 aqueles parâmetros passíveis de comparação, de interesse da obra, em concordância com arquiteto e engenheiro especialista.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | MG | PPR | MP |
|------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|--------|-------|
| A | 1 | 1/7 | 1 | 1/7 | 1/9 | 1/3 | 1/3 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 0,2118 | 1,20 | 8,3 |
| B | 7 | 1 | 7 | 7 | 1 | 7 | 9 | 9 | 7 | 9 | 9 | 5,3843 | 30,43 | 273,8 |
| C | 1 | 1/7 | 1 | 5 | 1/7 | 5 | 1/3 | 1/3 | 5 | 1 | 1 | 1,0322 | 5,83 | 40,8 |
| D | 7 | 1/7 | 1/5 | 1 | 1/7 | 3 | 1/3 | 1/5 | 1/3 | 1 | 1 | 0,5659 | 3,20 | 22,3 |
| E | 9 | 1 | 7 | 7 | 1 | 9 | 9 | 7 | 5 | 7 | 5 | 4,9504 | 27,97 | 251,7 |
| F | 3 | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1/9 | 1 | 1/7 | 1/7 | 9 | 1/7 | 1/7 | 0,3567 | 2,02 | 2,0 |
| G | 3 | 1/9 | 1/5 | 1 | 1/9 | 7 | 1 | 1 | 1/7 | 3 | 5 | 0,8189 | 4,63 | 13,8 |
| H | 9 | 1/9 | 3 | 3 | 1/7 | 7 | 1 | 1 | 1/5 | 5 | 1 | 1,2211 | 6,90 | 34,5 |
| I | 9 | 1/7 | 3 | 5 | 1/5 | 1/9 | 7 | 5 | 1 | 7 | 5 | 1,7672 | 9,99 | 49,9 |
| J | 9 | 1/9 | 1/5 | 3 | 1/7 | 7 | 1/3 | 1/5 | 1/7 | 1 | 3 | 0,6910 | 3,90 | 27,3 |
| K | 9 | 1/9 | 1 | 1 | 1/5 | 7 | 1/5 | 1 | 1/5 | 1/3 | 1 | 0,6963 | 3,94 | 11,8 |
| SOMA | | | | | | | | | | | | 17,6959 | 100,00 | |

TABELA 6.3 – Matriz de ponderações por importância relativa

6.2.4 Quarta etapa – Pontuação dos sistemas conforme suas potencialidades. Nesta etapa serão pontuados os sistemas conforme suas potencialidades de atendimento aos parâmetros comparativos. A tabela apresenta os parâmetros comparativos, a média ponderada da etapa anterior e a pontuação final.

TABELA 6.4 – Pontuações por potencialidades dos sistemas

| Parâmetro | Pontuação | | Chiller | MP | Final | Pontuação | 4ª etapa | Final | MP | Final | SOMA |
|-----------|-----------|-------|---------|--------|-------|-----------|----------|--------|-------|--------|--------|
| | 4ª etapa | Final | | | | | | | | | |
| A | 1 | 8,3 | 1 | 8,3 | 8,3 | 1 | 8,3 | 8,3 | 8,3 | 8,3 | 8,3 |
| B | 9 | 273,8 | 9 | 2464,2 | 204,0 | 9 | 273,8 | 2464,2 | 40,8 | 273,8 | 2464,2 |
| C | 5 | 40,8 | 5 | 204,0 | 200,7 | 5 | 40,8 | 204,0 | 40,8 | 204,0 | 204,0 |
| D | 9 | 22,3 | 9 | 200,7 | 251,7 | 9 | 22,3 | 200,7 | 22,3 | 200,7 | 200,7 |
| E | 1 | 251,7 | 1 | 251,7 | 18,0 | 1 | 251,7 | 251,7 | 251,7 | 2265,3 | 2265,3 |
| F | 9 | 2,0 | 9 | 18,0 | 13,8 | 9 | 2,0 | 18,0 | 2,0 | 18,0 | 18,0 |
| G | 1 | 13,8 | 1 | 13,8 | 34,5 | 1 | 13,8 | 13,8 | 34,5 | 124,3 | 124,3 |
| H | - | - | - | - | 49,9 | - | - | 49,9 | 49,9 | - | - |
| I | 9 | 49,9 | 9 | 449,1 | 27,3 | 9 | 49,9 | 449,1 | 27,3 | 449,1 | 449,1 |
| J | 5 | 27,3 | 5 | 136,5 | 11,8 | 5 | 27,3 | 136,5 | 11,8 | 245,7 | 245,7 |
| K | 9 | 11,8 | 9 | 106,2 | 3852 | 9 | 11,8 | 106,2 | 3852 | 5991 | 5991 |
| SOMA | | | | | | | | | | | |

6.3 Comentários e justificativas da pontuação na quarta etapa

- Pontuação: 1
- a) Ausência de dutos e sancaas
- Em ambos os sistemas serão utilizados dutos de distribuição nos corredores.
- Pontuação: 9
- a) Nível de ruído nos ambientes, baixo.
- Para ambos os sistemas pode-se garantir o nível de ruído indicado pela norma brasileira.
- b) Nível de ruído nas casas de máquinas, baixo.
- Pontuação: 5
- Para ambos os sistemas constituídos de conjunto de máquinas *self* ou *fan coil* não existe possibilidade de previsão do nível de ruído resultante. O problema eventual será resolvido com atenuação de ruído nas casas de máquinas.
- c) Padronização de equipamentos.
- Pontuação: 9
- Para ambos os sistemas serão utilizados equipamentos padronizados de fabricação nacional.
- d) Independência de atuação por ambiente.
- Pontuação: self - 1, chiller -9.
- Aqui se observa grande diferença entre os dois sistemas. Para quatro unidades tipo *self* o controle das condições ambientais será feito com sensores de retorno que medem a mistura de ar de retorno das salas. Para os *fan coil* o controle será feito por ambiente através de caixas de volume variável (caixas VAV) acompanhando a carga térmica.
- e) Interferências nos ambientes.
- Pontuação: 9
- Para ambos os sistemas não haverá interferência nos ambiente que não possa eventualmente ser resolvido pela arquitetura.
- f) Facilidade de remanejamento
- Pontuação: *self* -1 ; chiller - 9
- Aqui novamente diferença bastante grande entre os dois sistemas. O sistema do *chiller*
- Com caixas VAV permitem com relativa facilidade remanejar a distribuição de ar.

g) Conservação e recuperação de energia

Não houve pontuação neste parâmetro devido a complicações advindas da instalação de componentes que permitam a conservação e recuperação de energia e elevação de custos.

h) Demanda máxima

Pontuação: 9

Atendida por ambos os sistemas.

i) Controle automático centralizado

Pontuação: *self* - 5 ; *chiller* 9

A centralização de casa de máquinas para os *fan coil* e o uso de sensores ambientais permitem com maior facilidade o uso de controles automáticos centralizados.

j) Baixo custo inicial

Pontuação: *self* - 9 ; *chiller* - 1

O custo de equipamentos e instalações orçados, \$335 000,00 e 405 000,00 respectivamente para o *self* e o *chiller* permitiu pontuar usando o seguinte critério:

| | |
|---|-------------|
| 9 | Menor custo |
| 7 | 5% maior |
| 5 | 10% maior |
| 3 | 15% maior |
| 1 | 20% maior |

6.4 Considerações finais

O parâmetro de independência de atuação por ambiente indicou a preferência do sistema *chiller* e obteve a pontuação 9. O baixo custo inicial, geralmente de muita importância ao cliente, obteve pontuação 3 do cliente o que não permitiu que o sistema *self*, embora 20% mais barato, tivesse sua pontuação aproximada do *chiller*.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E CONTINUIDADE DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho foi o de indicar uma maneira de selecionar sistemas de ar condicionado, visando auxiliar profissionais da área e alertar os proprietários e todas as pessoas envolvidas para os pontos importantes que caracterizam os vários sistemas. Assim será possível atender aos interesses diversos sem deixar de atender aos aspectos técnicos. Ainda, servirá para antever eventuais problemas de aceitação dos usuários dos ambientes tratados, principalmente nos critérios pontuados com valores mais baixos no sistema final escolhido.

A aplicação do método, no entanto, requer conhecimento específico e profundo de cada um dos sistemas com todas as suas características qualitativas e quantitativas além de conhecimento de assuntos básicos como a psicrometria, a transmissão de calor, etc.

A praticidade do método existe, mas será importante que seja aplicado por profissional qualificado e preparado, sem o que, podem ocorrer erros maiores de interpretação e na escolha final do sistema.

O método não é exato por apresentar certa subjetividade na pontuação dos parâmetros principalmente na segunda etapa do processo de aplicação, mas integra interesses de resultados e técnica adequada na tomada de decisão.

Alguma dificuldade pode ser encontrada na entrevista realizada com as pessoas leigas envolvidas e, por isso, deverão ser sempre orientadas pelo especialista.

Atualmente tem-se observado que a escolha de um sistema de ar condicionado é feita exclusivamente pelo projetista sem a participação mais profunda das pessoas interessadas como o proprietário investidor e muitas vezes o projetista só considera como critério sua experiência anterior sem se dar ao trabalho de análise de sistemas alternativos e sem considerar as características específicas do ambiente a ser tratado com consequências desastrosas. Em um caso recente, por este autor analisado, de uma instalação com capacidade de 770 kW, o proprietário teve um custo adicional de R\$ 150.000,00 devido a ruído ocasionado à vizinhança pelo sistema de ar condicionado, ficando notório que durante o projeto se omitiu ou foi mal avaliado um fato muito importante, que é o ruído provocado pelo sistema de ar condicionado à vizinhança. O método apresentado não só permite relembra parâmetros importantes no selecionamento como também avaliar de forma relativa a importância de cada característica de selecionamento, no momento de tomada de decisão envolvendo todas as pessoas interessadas no processo de escolha. Na extensão deste trabalho seria possível introduzir uma análise estatística dos resultados.

CAPÍTULO 8

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Akutsu, M. (1998) – *Método para Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações no Brasil*, EPUSP, São Paulo, (Tese de Doutorado).
- ASHRAE (1995) – *Handbook of fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering, New York.
- ASHRAE Standard, (1992) – *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ANSI/ASHRAE 55-95), New York, 1955.
- ASHRAE, (1999), – *Handbook of Application*. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering, New York.
- ASHRAE, (2001) – *Handbook of Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering, New York.
- Fanger, P.O. (1972) – *Thermal Comfort Analysis and Application in Environmental Engineering*. New York, McGraw-Hill, 1972
- Hernandez Neto et al. (1999) – *The Effects of Indoor Conditions on the Reduction of Energy Consumption in Commercial Buildings in Rio de Janeiro*, In: SIXTH INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, 1999, Kyoto. *Proceedings of Building Simulation 99*. Kyoto: International Building Performance Simulation Association. 1999. V.2, p723-728
- Hernandez, A. N. (1993). *Análise de métodos de cálculo da carga térmica através de paredes e tetos*, Dissertação de Mestrado, EPUSP, São Paulo.
- HONEYWELL – *Automatic Control. Engineering Manual of Automatic Control* – Minneapolis – USA, 1995.

- IAG (2001) – *Observações de Superfície efetuadas na Estação Meteorológica, 2001, v. 4*. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP
- ISO (1994) - International Organization for Standardization, 1994. *Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions of thermal comfort*. (ISO 7730 - 1994).
- Juran, J.M (1988) – *Juran's Quality Control Handbook*, McGraw-Hill, New York.
- Ohfujii, T. et al – Método de Desdobramento da Qualidade. Tradução de Zelinda Tomie, Escola de Engenharia da UFMG, 1997.
- Pedersen, C.º et alii, (1993). *BLAST 1.0 - Building Load analysis and System Thermodynamics*, University of Illinois, Champaign - Urbana, EUA.
- SMACNA (1988) – HVAC – *Systems Applications*. Sheet Metal and Air Conditioning Contractor National Association, Inc.
- Stoecker, W.F. (1985) – *Refrigeração e Ar condicionado*. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil.
- Stoecker, W.F. (1998) – *Design of Thermal Systems*. McGraw-Hill, New York 1998.
- Vitorino, F. (2001) – *Sistemática para Avaliação de Instalações de Ar Condicionado em Edifícios de Escritórios e Similares sob a Óptica do Usuário*.- EPUSP, São Paulo (tese de doutorado).
- Vitorino, F. (1994) – *Estudo Técnico Experimental de Método de Cálculo para Determinação de Cargas Térmicas, da Temperatura e da Umidade do Ar de Ambientes Condicionados* – EPUSP, São Paulo (dissertação de mestrado)

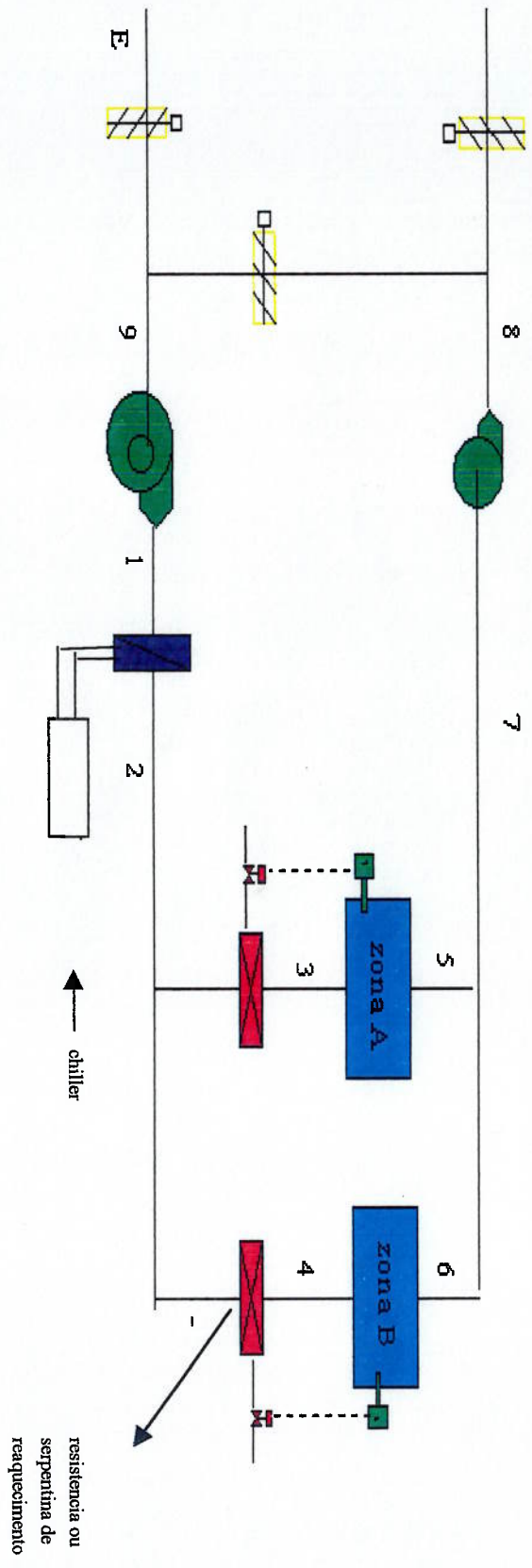
CAPÍTULO 9 BIBLIOGRAFIA

- ABNT (1980) – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto – Parâmetros Básicos de Projeto. NBR 6401. Rio de Janeiro.
- ASHRAE (1997) – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering. Handbook of Fundamentals, New York.
- BOB KING (1989). Better Designs In Half the Time, published by GOAL/QPC.
- INDUSTRIAL VENTILATION (1999) – A Manual of Recommended Practice. American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
- JABARDO – J.M.S. (1984) - Conforto Térmico – Comunicação Técnica 348, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo.
- RICHARD- C.DORF (1995)– Modern Control Systems, Addison- Wesley, University of California.
- RUST, J., and GOLOMBEK, S.(1989), - Modern Psychometrics. Routledge, London.
- SCHMIDT F. W. (1996) – Introdução às Ciências Térmicas. Edgard Blucher. São Paulo.
- TAKASHIMA - N.T (1996) – Indicadores da Qualidade e do Desempenho, Rio de Janeiro.

ANEXO A

Exemplo de cálculo de energia consumida pelas resistências de reaquecimento do ar insuflado, em sistema TODO - AR.

EXEMPLO DE DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA NO REAQUECIMENTO - SISTEMA TODO-AR COM REAQUECIMENTO TERMINAL.



Características necessárias (dados)

- m3 = 31780
- me = 10340
- gsa = $11 \cdot 10^{-3}$
- tsa = 25
- PVE = 4,3
- m4 = 19925
- gsb = $11 \cdot 10^{-3}$
- tsb = 27
- PVE = 3,8

condições do ar externo e carga térmica interna hora a hora

- fluxos de massa para cada zona calculado através da psicrometria em kg/h
- fluxos de massa de ar externo constante em kg/h
- umidade absoluta nas zonas da psicrometria em kg/kg
- temperaturas nas zonas = temperatura de ajuste do sensor de temperatura C
- potências dos ventiladores de insuflamento e exaustão em kw

HORA SOLAR

| | | | | | | | | |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| temp. ar ext. | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| unid. ar ex | 22 | 23 | 24 | 26 | 27 | 28 | 30 | 31 |
| qs (A) TR | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 |
| qs (A) TR | 14 | 15 | 16 | 17 | 19 | 20 | 25 | 28 |
| ql (A) TR | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| ql (A) TR | 23 | 24 | 25 | 26 | 28 | 29 | 34 | 37 |
| total | | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| qs (B) TR | 18 | 17 | 16 | 14 | 14 | 17 | 18 | 20 |
| qi (B) TR | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| total | 24 | 23 | 22 | 20 | 20 | 23 | 24 | 26 |

Procedimento de simulação e cálculo

T = temperatura °C G = unidade absoluta kg/kg h = entalpia kcal/kg
 cp = calor específico kcal/kg°C

| | | | | | | | | |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| INSUFILAM | | | | | | | | |
| PTO 2 | | | | | | | | |
| T2(psicrom.) | 13,8 | 13,8 | 13,8 | 13,8 | 13,8 | 13,8 | 13,8 | 13,8 |
| G2(psicrom) | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 |
| H2(psicrom) | 8,6 | 8,6 | 8,6 | 8,6 | 8,6 | 8,6 | 8,6 | 8,6 |
| ZONA A | | | | | | | | |
| PTO 3 | | | | | | | | |
| T3 | 19,49 | 19,10 | 18,71 | 18,31 | 17,53 | 17,13 | 15,17 | 13,99 |
| G3 | 9,2E-03 | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 |
| ZONA B | | | | | | | | |
| PTO 4 | | | | | | | | |
| T4 | 15,71 | 16,34 | 16,96 | 18,22 | 18,22 | 16,34 | 15,71 | 14,45 |
| G4 | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 | 9,2*10^-3 |

Nas zonas A e B, as diferenças entre as temperaturas na saída e entrada do aquecimento permitem o cálculo da energia consumida a cada hora entre 8h e 15h. EXEMPLO : 8h resistência A

$$Q = 31780 * 0,24 * (19,49 - 13,8) = 43398,768 \text{ K CAL/H}$$

É POSSÍVEL AINDA A DETERMINAÇÃO DAS ENTALPIAS ENTRE OS PONTOS 1 E 2 E SE TEM A CADA HORA A QUANTIDADE DE CALOR A SER RETIRADA PELO RESFRIADOR DE LÍQUIDO (CHILLER). COM AS EQUAÇÕES DE DESEMPENHO DO CHILLER DETERMINA-SE O CONSUMO DE ENERGIA DESSE EQUIPAMENTO.

ANEXO B

**Tabelas de eficiências energéticas mínimas exigidas pela NORMA ASHRAE
90 obtidas da tese apresentada por Fulvio Vitorino (2001) à ESCOLA
POLITÉCNICA DA USP.**

Condições padronizadas de ponderação e Desempenho Mínimo de "Water chilling packages" – Restrição a Ar e Água – Acionado eletricamente

| Categoria | Ponderação de Eficiência | | Desempenho Mínimo | 01.01.1992 |
|-----------------------------------|--------------------------|------|-------------------|------------|
| | Retrigeração a água | | | |
| ≥ 300 Ton | COP | 4,6 | 5,2 | |
| | IPLV | 4,7 | 5,3 | |
| ≥150 Ton < 300 Ton | COP | 3,7 | 4,2 | |
| | IPLV | 3,8 | 4,5 | |
| < 150 Ton | COP | 3,7 | 3,8 | |
| | IPLV | 3,8 | 3,9 | |
| Retrigeração a ar com condensador | | | | |
| ≥ 150 Ton | COP | 2,4 | 2,5 | |
| | IPLV | 2,4 | 2,5 | |
| < 150 Ton | COP | 2,6 | 2,7 | |
| | IPLV | 2,6 | 2,8 | |
| Retrigeração a ar sem Condensador | | | | |
| Todas as Capacidades | | COP | 3,0 | 3,1 |
| | | IPLV | 3,0 | 3,2 |

Condições padronizadas de ponderação e Desempenho Mínimo de Boilers: Combustão de Gas e Oleo.

| Categoria | Condições da Ponderação | | Desempenho Mínimo | 01.01.1992 |
|--|-----------------------------|-----|-------------------|------------|
| | Ponderação Sazonal | | | |
| Combustão a Gas < 300.000 Btu/h | AFUE | 68% | AFUE | 80% |
| | Ponderação Sazonal | | | |
| Combustão a Oleo < 300.000 Btu/h | AFUE | 78% | AFUE | 80% |
| | Ponderação Sazonal | | | |
| Combustão de Gas ≥ 300.000 Btu/h | Capacidade Máxima Ponderada | E | E | 80% |
| | Capacidade Mínima Ponderada | 72% | E | 80% |
| Combustão de Oleo ≥ 300.000 Btu/h | Capacidade Máxima Ponderada | E | E | 83% |
| | Capacidade Mínima Ponderada | 78% | E | 83% |
| Combustão de Oleo (Residual) ≥ 300.000 Btu/h | Capacidade Máxima Ponderada | E | E | 83% |
| | Capacidade Mínima Ponderada | 75% | E | 83% |
| E: Eficiência Térmica = 100%-perda térmica devido aos gases queimados. | | | | |

Condições padronizadas de ponderação e Desempenho Mínimo de Ar-Condicionado Restriado a Água e Bombas de Calor – Modo de Resfriamento. Capacidade de Resfriamento <135.000 Btu/h – Acionado eletricamente

| Categoria | Condições da Ponderação Temperatura Interna Temperatura Externa | Desemp Mínimo | 01.01.1992 |
|---|---|------------------|------------|
| Capac. de resfriamento <65.000 Btu/h | Ponderação Padrão 26,7°C db / 19,4°C wb | 9,0 EER | 9,3 EER |
| | Ponderação a Baixa Temperatura 26,7°C db / 19,4°C wb 23,9°C | 9,7 EER | 10,2 EER |
| Capac. de resfriamento >65.000 <135.000Btu/h | Ponderação Padrão 26,7°C db / 19,4°C wb | 9,5 EER | 10,5 EER |
| | Ponderação Padrão 21,1°C | 10,0 EER | 11,0 EER |
| Capac. de resfriamento <135.000 Btu/h | Ponderação a Baixa Temperatura 10,0°C | 10,5 EER | 11,5 EER |
| | Ponderação Padrão 26,7°C db / 19,4°C wb 29,4°C | 9,0 EER | 9,3 EER |
| Capac. de resfriamento <65.000 Btu/h | Rendimento integrado em carga parcial 23,9°C | 8,0 IPLV | 8,3 IPLV |
| Capac. de resfriamento ≥65.000 <135.000 Btu/h | Ponderação Padrão 26,7°C db / 19,4°C wb 29,4°C | 9,5 EER | 10,5 EER |

Condições padronizadas de ponderação e Desempenho Mínimo de Ar-Condicionado de Janela e Água e Bombas de Calor – Refrigerado a Ar - Acionado eletricamente

| Categoria | Sub-categoria & Condições da Ponderação (Temp. Externa) | Desempenho Mínimo | 01.01.1992 |
|----------------------------|--|--|--|
| Modo de resfriamento | Ponderação Padrão (35,0 °C db) | 10,0 – (0,19 x Cap. (Btu/h)/1000) EER | 10,0 – (0,16 x Cap. (Btu/h)/1000) EER |
| | Ponderação a Baixa Temperatura (27,8°C db) | 12,0 – (0,23 x Cap. (Btu/h)/1000)EER | 12,2 – (0,20 x Cap. (Btu/h)/1000)EER |
| Modo de aquecimento COP | Ponderação Padrão (8,3°C db/ 6,1°C wb) | 1,3 – 0,16 (EER acima) | |

Condições padronizadas de ponderação e Desempenho Mínimo de Ar-Condicionado Individual e Bombas de Calor

| Categoria | Sem Ciclo de Reversão e Com Laterais Rebaixadas | Desempenho Mínimo | Início em 01.01.1992 |
|---|--|--|----------------------|
| Sem Ciclo de Reversão e Sem Laterais Rebaixadas | < 6.000 Btu/h ≥ 6.000, < 14.000 Btu/h ≥ 14.000, < 20.000 Btu/h > 20.000 Btu/h | 8,0 EER 8,5 EER 9,0 EER 8,8 EER | |
| | < 6.000 Btu/h ≥ 6.000, < 20.000 Btu/h ≥ 20.000 Btu/h | 8,0 EER 8,5 EER 8,2 EER | |
| Com Ciclo de Reversão e Com Laterais Rebaixadas | | 8,5 EER | |
| Com Ciclo de Reversão e Sem Laterais Rebaixadas | | 8,0 EER | |

Condições padronizadas de ponderação e Desempenho Mínimo de Fornos para aquecimento de ar e Combinações de Fornos de Ar Quentes/Unidades de Ar-Condicionado

| Categoria | Condições da Ponderação | Desempenho Mínimo | 01.01.1992 |
|-------------------|-----------------------------|-------------------|------------|
| Combustão de Gás | Ponderação Sazonal | AFUE 68% | AFUE 78% |
| Combustão de Óleo | Ponderação Sazonal | AFUE 76% | AFUE 78% |
| Combustão de Gás | Capacidade Máxima Ponderada | E | E |
| | Regime Permanente | 75% | 80% |
| Combustão de Óleo | Capacidade Máxima Ponderada | E | E |
| | Regime Permanente | 72% | 78% |
| Combustão de Óleo | Capacidade Máxima Ponderada | E | E |
| | Regime Permanente | 78% | 81% |
| Combustão de Óleo | Capacidade Máxima Ponderada | - | E |
| | Regime Permanente | 75% | 81% |

E: Eficiência Térmica= 100%-perda térmica devido aos gases queimados.

Fornos para aquecimento de ar com saída dutada e Aquecedores Unitários

| Categoria | Condições da Ponderação | Desempenho Mínimo | 01.01.1992 |
|-----------------------|--------------------------------|-------------------|------------|
| Fornos de Duto | 1. Capacidade Máxima Ponderada | E | E |
| | Regime Permanente | 75% | 78% |
| Combustão de Gás | 2. Capacidade Mínima Ponderada | E | E |
| | Regime Permanente | 72% | 75% |
| Aquecedores Unitários | 1. Capacidade Máxima Ponderada | E | E |
| | Regime Permanente | 75% | 78% |
| Combustão de Gás | 2. Capacidade Mínima Ponderada | E | E |
| | Regime Permanente | 72% | 74% |
| Aquecedores Unitários | 1. Capacidade Máxima Ponderada | E | E |
| | Regime Permanente | 78% | 81% |
| Combustão a Óleo | 2. Capacidade Mínima Ponderada | E | E |
| | Regime Permanente | 75% | 81% |

E: Eficiência Térmica= 100%-perda térmica devido aos gases queimados.

Legendas gerais:

Db: "dry bulb" - temperatura de bulbo seco

Wb: "wet bulb" - temperatura de bulbo úmido

COP -coefficient of Performance - Relação entre calor retirado do ambiente e energia elétrica consumida em condições específicas de operação (W/W)

AFUE: annual fuel utilization efficiency - Eficiência anual de utilização de combustíveis, dado pela energia térmica gerada/pela energia térmica consumida (W/W)

EER - energy efficiency ratio - Relação entre calor retirado do ambiente e energia elétrica consumida, em condições específicas de operação (BTU/h/W)

SEER - seasonal energy efficiency ratio - Relação entre calor retirado do ambiente durante a estação de

restreamento e a energia elétrica total consumida no mesmo período (BTU/h/W)

IPLV - Integrated Part Load Value - Rendimento integrado em carga parcial, (BTU/h/W), ponderação dos COPs ou EERs, em várias condições de operação. Normalmente obtido em ensaios laboratoriais

específicos