

1 INTRODUÇÃO

1.1 DESENVOLVIMENTO DA CLIMATIZAÇÃO

Os métodos para se conseguir o frio artificial e aplicá-lo aos processos produtivos, estocagem e conforto evoluíram, transformaram-se, foram abandonados ou retomados, conforme as exigências de cada época ou tipo de aplicação.

No início, havia só a busca por maior eficiência ao menor custo de instalação, com o tempo, o mundo passou a sofrer sucessivas crises no fornecimento de energia, fosse ela de origem orgânica, como o petróleo, ou físico-química, como a energia elétrica. Otimizar o consumo de energia passou, então, a ser o fator obrigatório para o bom projeto e o bom equipamento de ar condicionado e refrigeração.

A busca pelo sistema mais eficiente e menos pródigo fez ressurgir, em alguns casos, processos dos primórdios da refrigeração, como a absorção por água, ou mesmo técnicas de climatização conhecidas pelos árabes já na antiguidade, como o resfriamento evaporativo. Em outros casos, deu margem a novos conceitos de trabalho, como a termo-acumulação ou, no caso do frio para conforto, a distribuição de ar pelo piso, às vezes inovadoras, outras vezes nem tanto, mas sempre criativas, as formas não convencionais de se fazer frio fora do tradicional sistema eletromecânico vem tomando terreno, o fato é que formas alternativas de refrigeração e ar condicionado conquistam profissionais e usuários do setor, no entanto o tradicional sistema eletromecânico ainda é imbatível, porém nem sempre é necessário.

O uso da climatização e da refrigeração para conforto e processos industriais data do final do século, XIX quando em 1897 Joseph McCreary, criou e patenteou o que pode ser considerado o primeiro equipamento (Lavador de Ar).

Em 1902, o jovem engenheiro Willis Haviland Carrier, então com 25 anos, analisando os problemas específicos de uma indústria gráfica de Nova York em seus processos de impressão, inventou um processo mecânico para condicionamento de ar. A gráfica constantemente enfrentava problemas com a variação da qualidade de impressão nos dias quentes, em função da absorção de umidade pelo papel. Mais tarde, o invento se tornaria precursor de toda a indústria da climatização e controle do conforto ambiental.

Segundo dados do Ashrae Journal, de janeiro de 1993, o invento tornou-se público em 1904 na St. Louis Worldsfair. Na esteira do sucesso alcançado pelo engenheiro Carrier na solução do problema da gráfica, outras indústrias que também necessitavam controlar as condições ambientais apostaram na idéia, notadamente a indústria têxtil da época. Não tardou para que outros segmentos também passassem a adotar o condicionamento de ar, como indústrias de papel, laboratórios farmacêuticos e indústrias de fumo, por exemplo.

Só em 1914, o uso do controle do clima é usado para fins de conforto. Um equipamento de ar condicionado foi usado pela primeira vez numa residência, no estado norte americano de Minnesota, desenhado por Carrier, medindo 6 m de profundidade, 1,8m de largura e 2,1m de altura. No mesmo ano, foi instalado também o primeiro ar condicionado num hospital em Pittsburg. O sistema supria com umidade extra o berçário de bebês prematuros, contribuindo para reduzir a

mortalidade infantil por desidratação e problemas respiratórios.

Em 1922, o primeiro local público a ter um sistema de ar condicionado foi o Grauman's Metropolitan Theatre, em Los Angeles. Igualmente a indústria cinematográfica se beneficiou com o aumento da arrecadação das bilheterias: quanto mais conforto, mais público nas salas de cinemas. Aliás, muitas delas fechavam suas portas alguns dias do verão em função do calor excessivo.

Em 1930, a Câmara dos Deputados e o Senado dos Estados Unidos, a exemplo dos escritórios executivos da Casa Branca, instalam equipamentos de ar condicionado e na área dos transportes os vagões ferroviários da ferrovia B&O são os primeiros a oferecer o conforto do ar condicionado.

Todo esse impulso deu-se principalmente graças à máquina de refrigeração centrífuga com uso do refrigerante "Dielene", ambos criados pelo engenheiro Carrier, em substituição à amônia. O maior entrave, entretanto, ainda era o tamanho das máquinas, que ocupavam muito espaço.

Nessa mesma época, começa a tornar-se viável a introdução no mercado de equipamentos compactos destinados ao condicionamento de ar em comércios e residências, em função do uso de um novo gás refrigerante não inflamável, o freon, mais apropriado para uso em sistemas de menor capacidade, além de mais seguro e barato.

Ainda assim o custo do equipamento doméstico não era muito acessível, ficando quase que limitado ao uso em pequenos estabelecimentos comerciais. A adoção do ar condicionado residencial só pôde ser disseminada, com mais ênfase, a partir de 1950 com a produção em série de unidades com formato de caixas de aço para instalações suspensas, os hoje considerados ultrapassados equipamentos do tipo "janela". A partir daí começam também a ser produzidas em série as centrais de ar condicionado para residências, que passam a ganhar cada vez mais espaço.

No Brasil, a primeira instalação de um sistema de condicionamento de ar de que se tem notícia foi em 1909 no City Theather, no Rio de Janeiro. Entretanto, apenas muitos anos mais tarde é que a técnica começaria a se desenvolver de fato no país. Por volta de 1965 foi lançado o primeiro aparelho de ar condicionado no Brasil, pela empresa Coldex. Tratava-se de um equipamento do tipo "self contained" de 5 TR, cuja fabricação foi impulsionada pelo processo de industrialização que o país experimentava naquele momento. A evolução do setor de ar condicionado no Brasil acompanha de perto a evolução da economia. O Brasil é um território propício para o uso de ar condicionado e hoje o produto deixou de ser supérfluo sendo considerado necessário e fundamental para o conforto e o aumento da produtividade.

1.2 CONCEITOS DE CONDICIONAMENTO DE AR

A ASHRAE estabelece o seguinte conceito:

"Condicionamento de ar é o processo de tratamento do ar de modo a controlar simultaneamente a temperatura, a umidade, movimentação e pureza do ar para atender as necessidades do recinto condicionado".

A ABNT através da norma, NBR-6401, estabelece o seguinte conceito:

"O condicionamento de ar, qualquer que seja, a finalidade a que se destine, implica preliminarmente, na limitação entre os seguintes valores pré-estabelecidos das grandezas discriminadas e representativas das condições que devem coexistir nos recintos, no período de tempo em que se considera a aplicação do processo:

- temperatura do ar no termômetro de bulbo seco;
- umidade relativa do ar;
- movimentação do ar;
- grau de pureza do ar;
- nível de ruído admissível;
- porcentagem ou volume de renovação do ar".

Pelas citações anteriores, podemos concluir que o objetivo do condicionamento de ar consiste do controle automático da atmosfera de um ambiente, tendo em vista o conforto do homem ou o adequado desempenho de algum processo industrial ou científico.

Desta forma, deverão ser principalmente controladas: a pureza, a movimentação, a temperatura e a umidade do ar dentro de limites impostos pelas normas ou especificações. Para certas aplicações deverá também ser controlada a pressão do ar no ambiente.

1.3 APLICAÇÕES DO CONDICIONAMENTO DE AR

A maioria das unidades de condicionamento de ar estão associadas a aplicações de conforto. Seres humanos nascem em ambientes hostis, que variam com a estação do ano ou com a localização geográfica. Isto pode sugerir que as razões para o uso do condicionamento de ar sejam baseadas exclusivamente em considerações climáticas, o que pode ser válido em áreas tropicais ou subtropicais, mas não para os climas temperados com estruturas sociais industrializadas e elevados padrões de vida.

O condicionamento de ar é necessário pelas seguintes razões:

- ganho de calor proveniente do calor solar;
- ganho de calor proveniente da luz elétrica em particular ou outras fontes de calor interno.

Os fatores acima podem causar desconforto em um ambiente por alta temperatura, a menos que as janelas sejam abertas, no entanto, abrindo-se as janelas, haverá moderada velocidade de ar que causam correntes indesejáveis de ar, principalmente nos andares superiores de um edifício alto, e nos andares inferiores ocorre o problema do ruído e da poeira, principalmente em áreas urbanas ou industriais.

A ventilação mecânica sem refrigeração é apenas uma solução parcial, muito embora promova uma uniformidade e o controle da distribuição do ar, em locais onde os resultados obtidos com a abertura de janelas não são satisfatórios, mas as temperaturas internas somente serão toleráveis durante os meses de inverno.

As especificações para um sistema de climatização para conforto tem como finalidade prover um ambiente confortável para o homem durante todo o ano, visando obter um ambiente confortável para a maioria dos ocupantes. Não há um

controle direto da umidade, pois ele é feito através do controle da temperatura.

As aplicações de conforto são encontradas em escritórios, residências, shopping center, bancos, hotéis, cinemas, teatros, salas de aula, restaurantes, veículos, etc.

Há certos processos industriais ou científicos que somente podem ser realizados adequadamente se forem executados em um ambiente que possua meios de controlar os valores de temperatura, umidade, pureza e movimentação do ar, dentro de limites bem definidos. Um desvio no valor destas variáveis poderá comprometer todo o processo.

As aplicações industriais podem ser encontradas em laboratórios ambientais, imprensa, indústrias têxteis, processos de alta precisão, salas limpas, produtos fotográficos, salas de computadores, usinas geradoras de potência, museus, bibliotecas, secagem e armazenagem de produtos agrícolas, controles de ambientes para animais e plantas, embalagem de produtos, hospitais, indústrias farmacêuticas, microeletrônica, eletrônica, micro-mecânica, ótica, biotecnologia, indústrias alimentícias, etc.

1.4 CONFORTO TÉRMICO

Um entendimento das funções essenciais do organismo é básica para compreensão do condicionamento de ar para conforto.

Sabe-se que vários fatores influem sobre o conforto térmico do ser humano:

- temperatura efetiva, geração e controle do calor no corpo humano, calor e umidade perdidos pelo corpo humano, movimentação do ar, ação de superfícies quentes ou frias no espaço ocupado pela pessoa, estratificação do ar, tipo de atividade, idade, sexo, clima, época do ano, roupa, permanência (choque térmico).

Há outros fatores que também influem sobre o ser humano, como, ruídos, iluminação, espaço, etc., mas que não são objeto do condicionamento de ar.

O corpo humano se comporta como se fosse uma máquina térmica em que o combustível é o alimento. O calor gerado pelo metabolismo é eliminado por convecção, radiação e evaporação, ou também pode receber calor conforme a reação sobre ele, onde a equação do balanço térmico é dada por:

$$M = \pm A \pm C \pm R + E \quad (1)$$

onde

M calor produzido pelo metabolismo (queima de alimentos);

A variação de energia térmica do corpo (parcela que restabelece o equilíbrio entre o calor emitido e o calor absorvido, sempre que A não é nulo, não há sensação de conforto, embora dentro de certos limites, possa ser absorvido pelo organismo, sem maiores conseqüências);

C calor trocado (perdido ou recebido) por convecção entre o corpo e o ar;

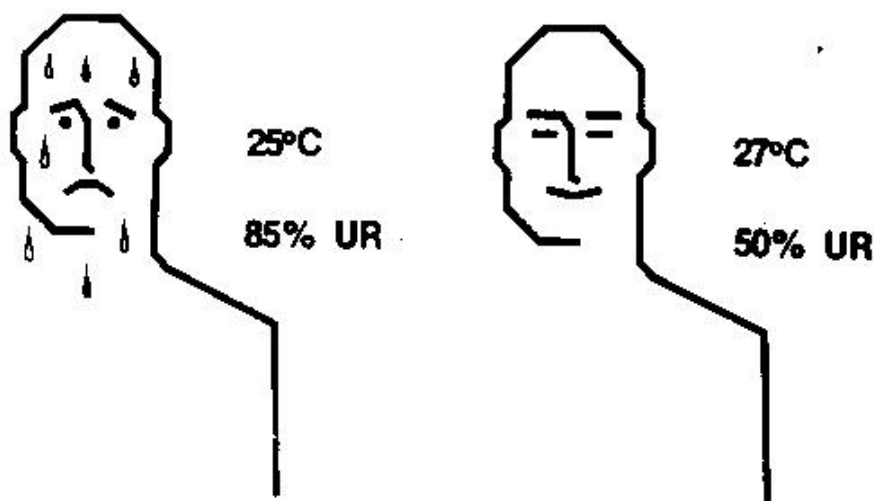
R calor trocado (perdido ou recebido) por irradiação

E perda de calor trocado por evaporação.

O simples conhecimento da temperatura do ar não é suficiente para determinar se o ambiente é confortável ou não, como ilustra a (fig. 1) uma pessoa está em um ambiente onde a temperatura encontra-se entre 23 a 27°C, que deveria proporcionar conforto, no entanto se a umidade relativa for muito alta, a

pessoa sente-se abafada pelo excesso de água que a envolve.

FIGURA 1 - EFEITO DA UMIDADE RELATIVA ALTA



Sendo o conforto térmico humano, afetado por muitas variáveis já que ele é função do metabolismo, não é possível estabelecer-se para o mesmo regras fixas.

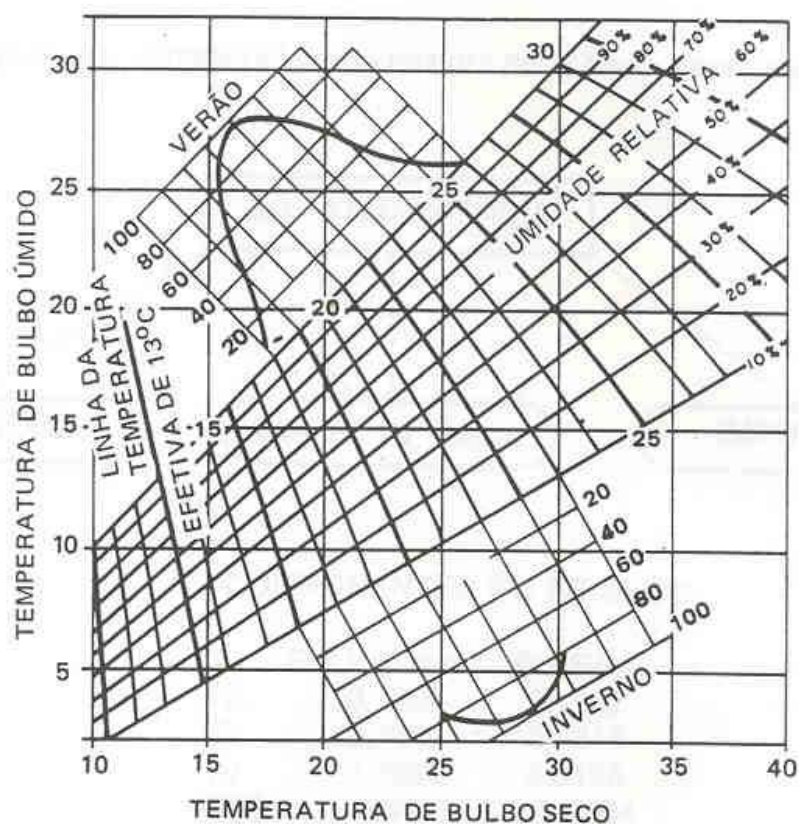
Os melhores resultados são obtidos com condições aproximadas para as quais a maioria dos ocupantes de um ambiente se sintam confortáveis.

Experiências foram realizadas com pessoas vestidas com roupa comum e submetidas a várias condições de temperatura, umidade relativa e movimento do ar, anotando-se as reações em face das diversas condições, donde surgiu um parâmetro de conforto denominado temperatura efetiva que representa um índice que se aplica ao corpo humano e diz respeito ao grau de calor ou de frio experimentado em certas combinações das grandezas citadas.

A (fig. 2), mostra o ábaco de conforto para verão e inverno da ASHRAE para ocupações contínuas durando mais que três horas e movimentação do ar de 0,08 a 0,13 m/s. A temperatura efetiva é sempre menor do que a lida no termômetro de bulbo seco, somente na umidade relativa de 100% é que são iguais. Durante o verão, a maioria das pessoas que tenham permanecido numa atmosfera condicionada durante mais de 3 horas, sentir-se-á tão fria a 24°C de bulbo seco e 60% de umidade como a 26°C de bulbo seco e 30% de umidade, porque ambas as condições caem na linha de 22°C de temperatura efetiva na (fig. 2). A curva na porção superior esquerda da (fig. 2) indica a percentagem de pessoas que se sentem confortáveis durante o tempo de verão para as condições entre 18°C e

26°C de temperatura efetiva. Os estudos conduzidos pela American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ASHRAE com umidades relativas entre 30 e 40% indicam que 98% das pessoas se sentem confortáveis quando as temperaturas de bulbo seco e úmido caem na linha de 22°C de temperatura efetiva. A (fig. 2) foi preparada para aproximadamente 40° de latitude Norte e altitudes inferiores a 300 m.

FIGURA 2 - ÁBACO DE CONFORTO DA ASHRAE



As temperaturas elevadas causam danos ao ser humano (exaustão térmica, câimbras, insolação) e, em resumo: - prejudicam a saúde da pessoa, diminuem a capacidade de trabalho e a resistência à infecção (pois o número de glóbulos brancos do sangue diminui).

O controle da qualidade do ar interior, importa na manutenção dos odores abaixo da concentração limite de percepção e em manter a taxa compatível de oxigênio. Estes objetivos são conseguidos conjuntamente com a renovação do ar por ventilação. Os odores devem-se à matéria orgânica contida nos recintos, ao fumo dos cigarros, a processos químicos, perfumes, etc., geralmente, o controle do odor, satisfaz a taxa de oxigênio, pois a quantidade de ar a renovar para diluir o ar

ambiente, levando a taxa de concentração abaixo do limite de percepção, é bem maior que o necessário à manutenção da taxa compatível de oxigênio. Os principais meios usados para a recuperação do ar, separando-o dos odores são: - filtragem comum, lavagem em água, filtragem eletrostática, tratamento com carvão reativado, uso de substâncias absorvedoras, etc.

Contaminantes externos também podem ser responsáveis por problemas na qualidade do ar interior, como: CO, CO₂, NO₂, chumbo, fumaça em geral, particulados, etc. e no sistema de ar condicionado dependendo da manutenção pode haver a proliferação de algas, fungos, poeiras e microorganismos. As soluções recomendadas são: - eliminação das fontes internas ou exaustão localizada, ventilação em níveis adequados, correção no posicionamento da captação de ar externo, filtragem adequada, adequação do projeto e estabelecimento de rotina de manutenção, prevenindo-se contra o acúmulo de poeira e umidade no sistema de climatização.

As condições recomendáveis de conforto dadas pela NBR-6401 são:

- tabela 1, condições internas para verão;
- tabela 2, condições internas para inverno;
- tabela 3, recomendações para aplicações de filtros de ar;
- tabela 4, ar exterior para renovação;
- tabela 5, níveis de ruído permissíveis da instalação.
- que as diferenças de temperatura de bulbo seco simultâneas entre dois pontos quaisquer de um recinto e tomadas à altura de 1,5 m do piso (nível de respiração) não devem ser superiores a 2°C.
- as velocidades do ar nesse mesmo nível 1,5 m do piso devem estar compreendidas entre 0,025 a 0,25 m/s.
- manter pressão positiva no ambiente, através de uma admissão de ar externo maior que os efeitos de infiltração, visando a higienização do ar.

1.5 AMBIENTES INDUSTRIAIS

As condições internas para alguns ambientes industriais são indicadas pela (tab. 1). Nesse caso, as condições são escolhidas sob o ponto de vista do fim, para que é destinado o recinto, como por exemplo: - um processo de manufatura, um processo de embalagem, conservação de produtos e equipamentos, etc.

Se houvesse condições em conciliar, atendendo ao fim do recinto às condições de conforto pessoal, seria o ideal, porém sempre prevalece o ponto de vista industrial.

As exigências para o condicionamento de ar industrial são mais severas do que para o conforto. As condições de temperatura e umidade tem que ser mantidas dentro de tolerâncias pequenas.

Em suma, o condicionador de ar visa o controle de quatro variáveis: - temperatura, umidade, movimentação e qualidade do ar.

TABELA 1 - CONDIÇÕES INTERNAS PARA ALGUNS AMBIENTES INDUSTRIAIS

Tipo de recinto	Temperatura °C	Umidade %
Padaria		
Sala de mistura da massa	24 - 27	40 - 50
Sala de fermentação	24 - 27	70 - 75
Doces (chocolate)		
Sala de revestimento dos núcleos	27	50
Sala de armazenagem	18 - 21	40 - 50
Balas		
Fabricação	24 - 27	30 - 40
Embalagem	18 - 21	45 - 50
Produtos elétricos		
Fabricação e laboratório de instrumentos	21	50 - 55
Peles		
Secagem	43	-
Armazenagem	4,0 - 18	55 - 65
Biblioteca e museus		
Museus	21 - 27	40 - 50
Armazenagem de livros	21 - 27	40 - 50
Indústria farmacêutica		
Armazenagem de pó fabricado	21 - 27	15 - 35
Sala de moagem	27	35
Imprensa		
Litografia colorida	24 - 27	46 - 86
Têxtil		
Tecelagem de algodão	27	80
Fiação de linho	24 - 27	60
Fiação de rayon	27 - 32	50 - 60