

149 - Ventilação Natural para Conforto Térmico em Edifícios de Escritórios – Avaliação com Modelos Adaptativos

Natural Ventilation For Thermal Control In Office Buildings - Evaluation With Adaptive Models.

FIGUEIREDO, Cíntia Mara (1); FROTA, Anésia Barros (2)

(1)Arquiteta, Mestra em Tecnologia da Arquitetura, FAUUSP

e-mail: cmfigueiredo@hotmail.com

(2) Arquiteta, Professora Doutora, FAUUSP

e-mail arfrota@uol.com.br

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo – Rua do Lago, 876, CEP 05508-900 - Cidade Universitária - São Paulo, SP Tel (11)30914571

Resumo

Recentemente, diversas pesquisas têm demonstrado que é possível conforto térmico com o uso de ventilação natural, em ambientes com atividades sedentárias, combinando-se temperaturas relativamente altas e movimento do ar.

Porém, normas e índices de conforto, bastante rigorosos, que não distinguem a percepção de conforto dos usuários de ambientes condicionados artificialmente dos usuários de ambientes naturalmente ventilados impediam a aplicação desta estratégia.

O desenvolvimento e a adoção de índices de conforto, que permitem maiores variações nas condições ambientais internas dos edifícios, considerando as possibilidades de adaptação dos usuários aos ambientes, abre grandes oportunidades de uso da ventilação natural para obtenção de conforto térmico em edifícios de escritórios.

A sustentabilidade dos edifícios é uma preocupação cada vez mais relevante. Desta forma, a adoção de um sistema passivo para conforto térmico, que reduz o consumo de energia por evitar o uso de ar condicionado e ajuda a manter a qualidade interna do ar, não pode ser subestimada.

Palavras-chave: Ventilação Natural: Sistemas Passivos

Abstract

Recently, a lot of studies had demonstrated the thermal comfort possibilities using natural ventilation, in environments with sedentary activities, and relatively high temperatures and air movement.

However, some standards and indexes, very rigorous, did not distinguish the thermal comfort perception from artificially conditioned environments users than naturally ventilated environment users, making the use of this strategy impossible.

The development and the adoption of thermal comfort indexes allowing some internal conditions variations, considering the users adaptation possibilities, open a great opportunity to natural ventilation use in office buildings.

The buildings sustainability is nowadays a concern. The adoption of a passive strategy to thermal comfort, which reduces energy consumption avoiding air conditioning and helps to keep the internal air quality, cannot be under evaluated.

Keywords: *Natural Ventilation; Passive Systems.*

Introdução

A ventilação natural pode representar importante fator de conforto e melhoria das condições ambientais no interior dos edifícios. O seu uso já era feito desde o início da história da arquitetura para amenização de altas temperaturas internas, em localidades de climas quentes, e até hoje é amplamente empregado em residências, edifícios de apartamentos entre outras tipologias arquitetônicas.

Porém, atualmente, na arquitetura dos edifícios de escritórios em muitos lugares do mundo o condicionamento artificial do ar é praticamente uma premissa. Em grande parte, isso se deve a maneira como tem sido feita a avaliação da percepção de conforto dos usuários destes ambientes.

Recentemente, importantes pesquisas têm sido realizadas no mundo todo, com destaque para os Estados Unidos, Europa e Japão, com o objetivo de investigar os efeitos do movimento do ar, no conforto térmico, em ambientes com atividades sedentárias. Interessantes resultados têm sido obtidos combinando-se temperaturas relativamente altas e condições de intensidade de turbulência do ar semelhantes às normalmente encontradas nos ambientes ventilados naturalmente, onde se conclui que é possível conforto térmico mesmo com temperaturas superiores a 26°C, o que até há pouco tempo representava um limite para temperatura interna aceitável (ROHLES et al., 1983, TANABE e KIMURA, 1987 e SCHEATZLE et al., 1989, HEISELBERG, et al., 2002).

No âmbito internacional, até há pouco tempo, engenheiros e arquitetos estavam limitados quanto à possibilidade de usarem a ventilação natural devido a parâmetros de normas como a Ashrae 55 e a ISO 7730, que podiam ser considerados bastante rigorosos por não distinguirem o que é termicamente aceitável em ambientes climatizados e em ambientes ventilados naturalmente.

Recentemente a “ASHRAE 55: *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*” foi revista, baseada na teoria adaptativa de conforto térmico. Nesta última versão, de 2004, fica estabelecido que os usuários irão tolerar maiores flutuações nas condições ambientais se eles tiverem maior controle sobre elas, permitindo velocidades do ar mais altas que as previstas na versão anterior de 1992. Por exemplo, para uma dada temperatura do ar e temperatura radiante, uma velocidade do ar de 0,8 m/s pode oferecer uma sensação térmica 2,6°C menor para atividades sedentárias e ocupantes com 0,5 clo. Desta forma os projetistas têm maiores condições de estabelecer quando e onde um condicionamento artificial total é requerido num edifício e, quando e, sob que circunstâncias é possível incorporar estratégias passivas, sem sacrificar o conforto térmico.

Efeitos do Movimento do Ar no Conforto Térmico

Diversos autores relacionam o conforto térmico ao equilíbrio térmico do corpo humano. Isto porque o homem mantém a temperatura corporal interna relativamente constante sob as mais variadas condições termo-higrométricas.

As condições de conforto térmico são função de uma série de variáveis humanas e ambientais, tais como: taxa de metabolismo, isolamento térmico da vestimenta, temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade do ar. A combinação destas variáveis determinará a sensação de conforto ou desconforto térmico.

Diversas pesquisas têm demonstrado que as flutuações na temperatura, que ocorrem durante o dia em construções com ventilação natural, podem produzir sensações de conforto com temperaturas do ar significativamente mais altas que aquelas preferidas sob condições constantes em ambientes com ar condicionado. Isso se deve a redução da temperatura percebida pelas pessoas devido à evaporação do suor da pele e às trocas convectivas entre a corrente de ar e o corpo humano. Desta forma, a zona de conforto pode ser ampliada.

A velocidade máxima do ar considerada como aceitável para um ambiente de escritórios pode variar entre 0,5 e 2,5 m/s de acordo com diferentes autores. O limite máximo é baseado em problemas práticos, tais como vôo de papéis sobre a mesa e desarranjo de penteados, ao invés de exigências fisiológicas de conforto.

Segundo Bittencourt e Cândido, “a variabilidade e duração por curtos períodos de tempo, de condições desconfortáveis, parece não constituir um sério distúrbio para a maioria das pessoas, pois os seres humanos têm um sistema fisiológico flexível que preserva por um certo período de tempo uma resposta constante a despeito da mudança de ambiente” (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2005).

Pode-se concluir então, que são necessárias alterações nos índices de conforto mais freqüentemente utilizados, para avaliação de edifícios de escritórios, para considerar mais adequadamente, os efeitos da velocidade do ar no conforto térmico dos usuários.

Índices de Conforto térmico

Os índices de conforto térmico foram desenvolvidos para se estimar a sensação térmica das pessoas quando expostas a determinadas combinações de variáveis ambientais e pessoais.

A maioria dos índices expressa a sensação de conforto como uma temperatura de referência que combina o efeito da temperatura do ar, umidade, radiação e movimento do ar. Esta estimativa possibilita a avaliação da condição de conforto térmico de um ambiente.

A aplicação de índices e zonas de conforto desenvolvidos para climas frios e temperados, para determinar o conforto térmico em regiões tropicais, há bastante tempo é motivo de discussão. Porém, recentemente, também tem-se discutido a aplicação de métodos elaborados para ambientes climatizados artificialmente, em ambientes naturalmente ventilados (BRAGER e DE DEAR, 2001). Estes trabalhos resultaram na “Teoria adaptativa de conforto”, segundo a qual os usuários de edifícios ventilados naturalmente são mais tolerantes às variações de temperatura que as estabelecidas por índices amplamente empregados como, por exemplo, o PMV (Predicted Mean Vote) e o PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) de Fanger.

Teoria Adaptativa de Conforto Térmico

Diversas pesquisas demonstraram que os tradicionais índices de conforto, como o PMV e o PPD (FANGER, 1970) adotado pelas normas internacionais ASHRAE 55 - 1992 e ISO 7730 - 1994, não são adequados aos ambientes ventilados naturalmente, principalmente por não considerarem que as pessoas, quando submetidas a condições de desconforto térmico, podem tomar medidas para melhor se adaptarem aos ambientes.

De acordo com estes estudos existe um grau de adaptação das pessoas ao ambiente que não é levado em conta nestes índices de conforto e assim deu-se início ao desenvolvimento dos chamados “Modelos Adaptativos”. Esta adaptação ocorre em três esferas: a fisiológica, a comportamental e a psicológica (BRAGER; DE DEAR, 2001).

A mais importante destas pesquisas foi publicada no relatório da Ashrae, RP-884: *“Developing an adaptive model of thermal comfort and preference”*, de março de 1997. Esta pesquisa envolveu a elaboração de um banco de dados controlado, contendo 21.000 tomadas de dados reunidos através de experimentos de campo de conforto térmico no interior de 160 diferentes edifícios de escritórios localizados em quatro continentes e cobrindo uma grande variedade de zonas climáticas. Com uma grande quantidade de amostragem reduziu-se o risco de incertezas que podem ocorrer em amostragens relativamente menores usadas em câmaras experimentais de climatização. O sexo e a distribuição de idade dos indivíduos eram típicos de populações de edifícios de escritórios e a pesquisa incluiu uma gama completa de dados subjetivos e físicos, abrangendo respostas de questionário, medições e observações meteorológicas externas. A análise de dados foi feita separadamente para edifícios com sistemas de ar condicionado central e para edifícios ventilados naturalmente. A análise apurou respostas de conforto térmico em termos de neutralidade e de preferência térmica como função de temperaturas internas e externas. As respostas observadas também foram comparadas com previsões de sensação térmica calculadas segundo modelo de equilíbrio térmico baseado no PMV.

Esta pesquisa verificou que os usuários de ambientes não condicionados são mais tolerantes em relação às variações diárias de temperatura enquanto os usuários de edifícios condicionados são mais exigentes e não toleram variações de temperatura preferindo ambientes estáticos termicamente.

Buscando-se descobrir como reagem as pessoas quando as condições se desviam do ponto ótimo, foi elaborado um modelo de regressão linear, para ponderar a sensação térmica média, e avaliar quão rapidamente as pessoas sentem calor demais ou frio demais como temperaturas desviadas do ponto ótimo. Esta análise revelou que ocupantes de edifícios com ar condicionado central eram duas vezes mais sensíveis a desvios de temperatura do que os ocupantes de edifícios ventilados naturalmente. Isto sugere que as pessoas, em edifícios com ar condicionado, têm expectativas mais altas e reagem criticamente mais depressa se as condições térmicas divergem destas expectativas. Ao contrário, os ocupantes de edifícios naturalmente ventilados parecem demonstrar preferência por uma gama mais vasta de condições térmicas, talvez em função da possibilidade em exercer controle sobre o seu ambiente ou porque suas expectativas são menos rigorosas. Acredita-se que esta maior tolerância se explique mais pela adaptação comportamental e psicológica do que pela fisiológica.

A pesquisa também tratou de como se define a temperatura de conforto. Em geral define-se a temperatura de conforto com a que provoca uma sensação térmica neutra. Entretanto quando se trata da “preferência” a

opção pela “não mudança” representa a condição ideal. No trabalho em referência, ambas análises foram feitas e como resultado não se verificou diferença entre temperaturas neutras e as preferidas para ocupantes de ambientes de edifícios ventilados naturalmente, enquanto nos edifícios com ar condicionado, a análise revelou que as pessoas preferem temperaturas um pouco superiores que as neutras em climas frios e temperaturas inferiores que as neutras em climas quentes, sendo a diferença acima de 1°C em qualquer um dos extremos.

Uma “teoria adaptativa” sugere que as expectativas térmicas dos ocupantes de edifícios e suas expectativas de conforto interno serão dependentes da temperatura externa. Desta forma a temperatura interna pode alterar de acordo com as mudanças naturais de estação. De acordo com a pesquisa, o gradiente para os edifícios ventilados naturalmente foi duas vezes maior que o achado nos edifícios com ar-condicionado. Uma possível interpretação para isso é que ocupantes de edifícios climatizados se sentem mais finamente adaptados a condições internas estáticas, enquanto nos edifícios ventilados naturalmente uma gama maior de temperaturas internas foram permitidas, sugerindo que os ocupantes destes edifícios preferiram condições mais relacionadas ao clima externo.

Com esta pesquisa, demonstrou-se que usuários de ambientes ventilados naturalmente toleram uma gama maior de temperaturas internas desde que tenham controle sobre estes ambientes, ou seja, possam abrir e fechar as janelas e alterar a sua vestimenta de acordo com a sua preferência. Estes fatores são a base do modelo adaptativo de conforto térmico desenvolvido por De Dear e Brager. Como produto desta pesquisa, os autores desenvolveram um novo índice de conforto que leva em conta a média diária externa da temperatura efetiva do lugar para estabelecer se um ambiente está confortável ou não. Este índice é válido para ocupantes com atividades sedentárias com taxas metabólicas entre 1.0 e 1.3 met e onde seja possível a livre escolha da vestimenta (DE DEAR et al, 1997).

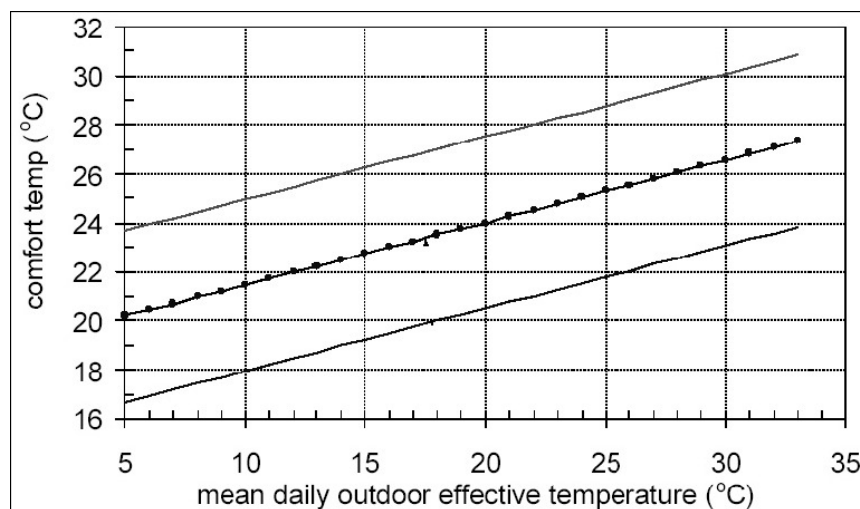


Figura 1 – Modelo adaptativo de conforto térmico proposto por Dear, Brager e Cooper. Fonte: ASHRAE RP 884, 1997

A norma Ashrae 55 - 2004 “*Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*” apresenta um índice baseado na teoria adaptativa de conforto térmico proposta por Brager e de Dear, com os benefícios de se

oferecer o controle de abertura das janelas aos usuários e aumentar os limites de velocidades internas do ar.

A norma baseia-se na suposição de um ambiente termicamente uniforme e na possibilidade de se prover controle deste ambiente aos usuários, e estabelece que, desta forma, os usuários irão tolerar maiores flutuações nas condições ambientais. Assim, os projetistas têm maiores condições de estabelecer quando o condicionamento artificial é requerido num edifício e, quando é possível incorporar a ventilação natural, para se proporcionar o conforto térmico.

Os dados de entrada do índice proposto pela Ashrae 55, 2004 são:

- A média mensal das temperaturas externas (média aritmética da média mensal das máximas e da média mensal das mínimas);
- A temperatura operativa (média aritmética entre o a temperatura interna do ar e a temperatura radiante).

O gráfico da figura 2, presente no item 5.3 da norma, sintetiza o índice e apresenta as zonas de conforto, onde 90% ou 80% dos usuários estariam satisfeitos.

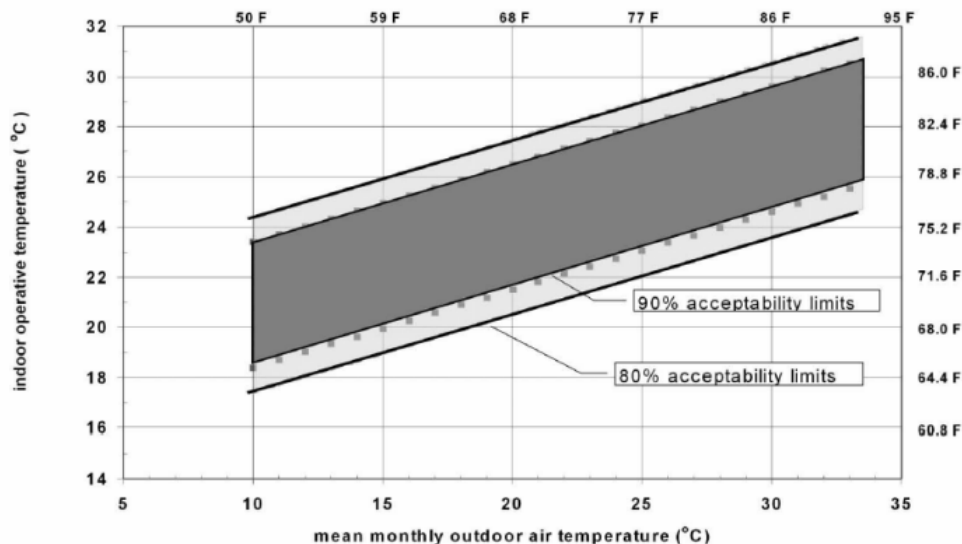


Figura 2 – Índice de conforto proposto pela Ashrae 55, 2004: Variação de temperatura operativa aceitável em ambientes ventilados naturalmente¹. Fonte: ASHRAE 55, 2004

Limites e Possibilidades

Uma pesquisa feita com simulações computacionais de um modelo de edifícios de escritórios ventilados naturalmente, localizado na cidade de São Paulo, usando como índice a figura 2 apresentada na norma Ashrae 55 – 2004, demonstrou grandes possibilidades de aplicação da ventilação natural para conforto térmico (FIGUEIREDO, 2007).

Esta pesquisa procurou demonstrar as possibilidades de uso da ventilação natural do ponto de vista do conforto térmico, fazendo a análise das temperaturas internas e também uma exploração de como estaria

¹ Tradução da autora para: "Acceptable operative temperature ranges for naturally conditioned spaces".

acontecendo a extratificação de temperatura e também o fluxo de ar em edifícios com os padrões atuais de ocupação e de arquitetura.

De acordo com esta pesquisa, existe um grande período do ano na condição de conforto se forem considerados 80% ou mesmo 90% de usuários satisfeitos.

Em síntese, foram encontradas temperaturas consideradas altas, mas que, ao serem analisadas sob o enfoque de um índice adaptativo, são apontadas como confortáveis.

A análise das temperaturas operativas apontaram um período de conforto de maio a outubro, ou seja, por 6 meses do ano, se for descartado o período em desconforto devido ao frio, considerando que os usuários podem controlar as aberturas, ou alterar a vestimenta. Nestes meses o edifício poderia operar sem um sistema de ar condicionado em funcionamento. Se reduzida a exigência de conforto para 80%, o período de conforto se estende, consideravelmente, de março a dezembro ou 10 meses do ano.

A estratificação de temperaturas no pavimento mantém as temperaturas nas áreas com ocupação em uma faixa aceitável, para 90% de usuários satisfeitos, mesmo quando se avalia o mês mais quente do período apontado como confortável e, as velocidades do ar, apesar de não causarem desconforto para pessoas sentadas e distúrbio no plano de trabalho, necessitariam de dispositivos de controle para serem consideradas adequadas. Nas áreas com baixas velocidades poderiam ser incorporados sistemas de ventilação mecânica com controle individual para incrementar a ventilação caso o usuário desejasse. Para as áreas e alturas do pavimento com altas velocidades, a adoção de esquadrias com possibilidade de regulagem de vazão e velocidade resolveria o problema.

Os resultados obtidos demonstram as grandes possibilidades de uso da ventilação natural em edifícios de escritórios, quando se considera que, os usuários são capazes de se adaptarem aos ambientes se tiverm liberdade de atuação, podendo controlar as aberturas de entrada e saída de ar, e também alterar a sua vestimenta.

Considerações Finais

A adoção de índices de conforto que consideram a possibilidade de adaptação do usuário ao ambiente, seja pela regulagem da vazão e da velocidade do ar pelas aberturas, seja pela alteração da sua vestimenta, amplia consideravelmente a zona de conforto em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo que operam com ventilação natural para a obtenção de conforto térmico.

O uso da ventilação natural pode trazer alguns importantes benefícios aos usuários, por diminuir o consumo de energia evitando ou minimizar o uso de sistemas de condicionamento de ar, além de ajudar a manter a qualidade interna do ar pela sua renovação.

Em um momento onde a sustentabilidade dos edifícios é uma preocupação cada vez mais relevante, a adoção de um sistema passivo para conforto térmico não pode ser subestimada.

Referências Bibliográficas

- ASHRAE 55-2004. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta. 2004.
- BITTENCOURT, Leonardo; CÂNDIDO Christhina. **Introdução à Ventilação Natural**. Maceió, EdUFAL, 2005.
- BRAGER, G. S., DE DEAR, R. **Uma Norma para Ventilação Natural**. Revista Climatização (Março 2001) 44-54.
- DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S.; COOPER, D. J. **Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference** – Final Report on ASHRAE RP 884. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, USA, 1997.
- FIGUEIREDO, Cíntia Mara. **Ventilação Natural em Edifícios de Escritórios na Cidade de São Paulo: Limites e Possibilidades do Ponto de Vista do Conforto Térmico**. [Dissertação de Mestrado] São Paulo, FAUUSP 2007
- FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico**. 4ª. ed. São Paulo: Nobel. 2000.
- ISO 7730 – 1994. **Moderate Thermal Environments — Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort**. International Standardization Organization, Genebra. 1994.
- ROHLES, F.H.; KONZ, S.A.; JONES, B.W. **Ceiling Fans as Extenders of the Summer Comfort Envelope**. ASHRAE Transactions, v.89, part 1, 1983.
- TANABE, S.; KIMURA, K. **Thermal Comfort Requirements Under Hot and Humid Conditions**. In: Proceedings of the First ASHRAE for East Conference on Air Conditioning in Hot Climates, Singapore, 1987.
- SCHEATZLE, D.G.; WU, H.; YELLOTT, J. **Extending The Summer Comfort Envelope With Ceiling Fans In Hot, Arid Climates**. ASHRAE Transactions, v. 95, part 1, 1989.
- HEISELBERG, P. et al. **Impact of Open Windows on Room Air Flow and Thermal Confort**, International Journal of Ventilation, vol 1 – nº 2, 91-100, 2002.