

ASPECTOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA EM AMBIENTES CONDICIONADOS

1 - Arlindo Tribess, PhD. em Engenharia Mecânica
2 - Alberto Hernandez Neto, MSc em Engenharia Mecânica
Escola Politécnica da USP
Av. Prof. Mello Moraes, 2231 - CEP: 05508-900 - São Paulo/SP
Tel. (011) 8185561 Fax (011) 8131886 E-mail: atribess@usp.br; ahneto@usp.br

3 - Fúlvio Vittorino, MSc em Engenharia Mecânica
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A.
Av. Prof. Almeida Prado, 532 - CEP 05508-901 - São Paulo/SP
Tel. (011) 2682211 R-258/553 Fax (011) 869 6890 E-mail: fulviov@ipt.br

4 - Marcelo Peçanha, BSc em Engenharia Mecânica
Escola Politécnica da USP
Av. Prof. Mello Moraes, 2231 - CEP: 05508-900 - São Paulo/SP
Tel. (011) 8185561 Fax (011) 8131886 E-mail: ahneto@usp.br

RESUMO

A escassez de energia elétrica é um problema que estará cada vez mais presente na realidade brasileira. A preocupação com medidas mais efetivas para diminuir o consumo energético encontra-se em todos os setores, onde sistemas de condicionamento de ar para prédios comerciais e shopping centers representam uma grande parcela deste consumo. Este artigo se propõe a analisar, através de simulações numéricas, alguns aspectos que devem ser levados em consideração na definição e projeto de uma edificação, visando diminuições de consumo energético sem detrimento da condição de conforto térmico dos seus ocupantes.

ABSTRACT

The lack of electrical energy is a problem that will be more and more present in Brazilian reality. The concerns about more effective measures to decrease the energy consumption is found in every economical sector, where air conditioning systems for commercial buildings and shopping centers represent a large part of that consumption. This paper will analyze, through numerical simulation, some aspects of what should be taken into account on the definition and design of a building, aiming reductions on energy consumption without depleting the thermal comfort condition of the occupants.

INTRODUÇÃO

O país se defrontará, nos próximos anos, com o problema de escassez de energia elétrica em função da exaustão dos recursos hídricos que tenham potencial técnico/econômico para a sua geração. Estudos (EPUSP, 1989; NUTAU'96, 1996) mostram que, se medidas mais efetivas para conter a demanda de energia não forem tomadas, o Brasil enfrentará uma grave crise no setor elétrico. Entre os maiores consumidores não-industriais de energia elétrica encontram-se os sistemas de ar condicionado central, utilizados em prédios comerciais, shopping centers, etc., para produzir condições satisfatórias de conforto térmico aos seus ocupantes.

Dentre as diversas iniciativas a serem tomadas no sentido de atuar na solução destes problemas encontra-se a avaliação da carga térmica em ambientes condicionados. Para esta avaliação, alguns métodos simplificados já foram utilizados (ASHRAE, 1993), porém cada vez mais o uso de técnicas mais sofisticadas está sendo difundido. Neste sentido, diversos algoritmos computacionais vem sendo empregados, com modelos cada vez mais complexos, com intuito de permitir uma avaliação mais exata da carga térmica, em função do grande número de parâmetros envolvidos nesta avaliação.

Dentre os softwares que empregam estes algoritmos, destaca-se o ESP-r (Energy Simulation Program - research) desenvolvido na Universidade de Strathclyde (Clarke, 1993). Este programa permite modelar os fluxos de energia e massa tanto nos ambientes da edificação como na planta de ar-condicionado, considerando o caracter dinâmico destes fluxos. Para isto, discretiza as equações fundamentais utilizando o método das diferenças finitas, no tempo e no espaço.

Neste trabalho empregamos o software ESP-r para analisar o efeito das condições internas e do envidraçamento sobre a carga térmica em um edifício comercial com características construtivas adotada atualmente.

AMBIENTE

Para este artigo, foi analisado um andar típico de um prédio de escritórios, conforme ilustrado na Figura 1.

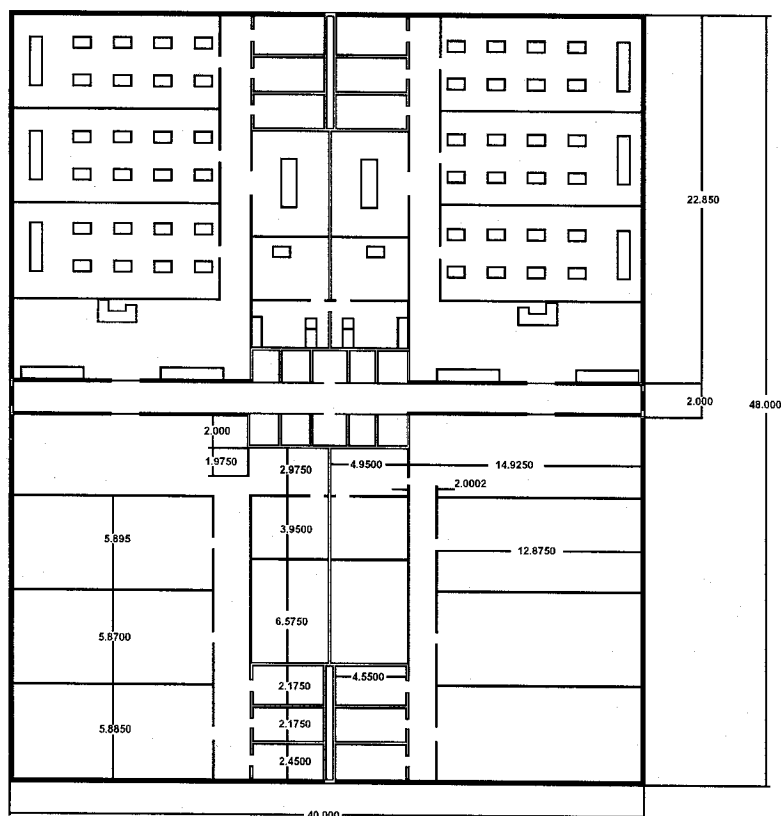


FIGURA 1. Planta do ambiente analisado.

As vedações externas são compostas por painéis de concreto, revestidas internamente com gesso e externamente com granito, conforme descrito na Tabela 1. A área envidraçada foi definida seguindo-se o disposto no Código de Obras e Edificações do Município de São Paulo (15% da área de piso), considerando-se quatro alternativas de vidros de 8 mm: incolor, verde, bronze e incolor com aplicação de filmes refletores.

TABELA 1. Descrição das camadas das paredes do ambiente analisado

Camada	Material	Espessura [mm]	Calor Específico [J/(kg.°C)]	Condutividade Térmica [W/(m ² .°C)]	Densidade [kg/m ³]
1(externa)	granito	10	740	3,5	2700
2	argamassa	20	780	0,8	1790
3	concreto maciço	140	750	1,5	2250
4(interna)	gesso	10	1090	0,52	1300

Foi prevista uma ocupação de 100 pessoas no período das 08:00 às 17:00 de segunda a sexta feira, onde 100 microcomputadores (100 W de potência liberada por equipamento).

Baseando-se na Norma NBR 6401, foi definida uma taxa de iluminação de 40 W/m². Quanto à ventilação, foi definido um valor de 34 m³/h (20 CFM/pessoa), segundo critério de dimensionamento proposto pela ASHRAE (1993).

As seguintes condições internas foram consideradas:

1. Temperatura de bulbo seco [°C]: 22, 24, 26 e 28;
2. Velocidade do ar no ambiente (dada pelo sistema de insuflamento) [m/s]: 0,01 (ar parado); 0,3 (ar com baixa velocidade) e 0,8 (velocidade limite para levantamento de papéis);
3. Umidade relativa [%]: 50;
4. Resistência térmica da vestimenta de [CLO]: 0,5 (roupa formal de trabalho em tecido leve) e 0,68 (roupa formal de trabalho formal em tecido pesado).

Estas condições foram escolhidas baseando-se nas práticas correntes de projeto de sistemas de ar-condicionado, e avaliadas pelo método de Fanger, conforme Norma ISO 7730. Na Tabela 2 são apresentadas as porcentagens de pessoas insatisfeitas em cada uma destas condições.

TABELA 2. Condições internas e comparação com porcentagem de ocupantes insatisfeitos.

Temperatura ambiente [°C]	Resistência da roupa [CLO]	Velocidade do ar [m/s]	Porcentagem de insatisfeitos [%]
		0.01	8.1
	0.68	0.3	19.6
22		0.8	39.4
		0.01	18.5
	0.5	0.3	43.7
		0.8	77
		0.01	5.5
	0.68	0.3	6.2
24		0.8	12.8
		0.01	5.7
	0.5	0.3	14.8
		0.8	35.8
		0.01	15.2
	0.68	0.3	7.8
26		0.8	5.1
		0.01	8.9
	0.5	0.3	5
		0.8	8.5
		0.01	37
	0.68	0.3	24.8
28		0.8	16.8
		0.01	28.1
	0.5	0.3	15.3
		0.8	8.2

As análises foram realizadas para a cidade de São Paulo, em um dia típico de verão com frequência de ocorrência de 10% (AKUTSU, 1987), conforme apresentado na Tabela 3.

Foram realizadas as simulações numéricas no ESP-r, no sentido a avaliar o perfil de carga térmica latente e sensível para cada condição interna descrita na Tabela 2, utilizando-se um incremento de tempo para a análise de 10 minutos.

TABELA 3. Condições externas

hora	Temperatura [°C]	Umidade relativa [%]	Insolação Solar [W/m ²]	hora	Temperatura [°C]	Umidade relativa [%]	Insolação Solar [W/m ²]
01	20,0	86	0	13	31,0	52	662
02	19,4	88	0	14	31,4	49	590
03	19,1	90	0	15	31,0	47	477
04	19,0	90	0	16	30,1	61	331
05	19,2	90	0	17	28,7	76	166
06	19,8	90	21	18	27,1	90	21
07	20,9	86	166	19	25,5	90	0
08	22,5	79	331	20	24,2	90	0
09	24,4	71	477	21	22,9	90	0
10	26,5	65	590	22	21,9	89	0
11	28,5	60	662	23	21,2	89	0
12	30,0	54	686	24	20,6	89	0

RESULTADOS

Na Figura 2 é apresentado o perfil horário da carga térmica sensível para as quatro alternativas de envidraçamento consideradas, para uma temperatura de 24°C. Na Figura 3, tem-se uma comparação das porcentagens de pessoas insatisfeitas e das cargas térmicas totais (sensível + latente) máximas diárias para as quatro temperaturas de bulbo seco, considerando-se a situação de vidro incolor.

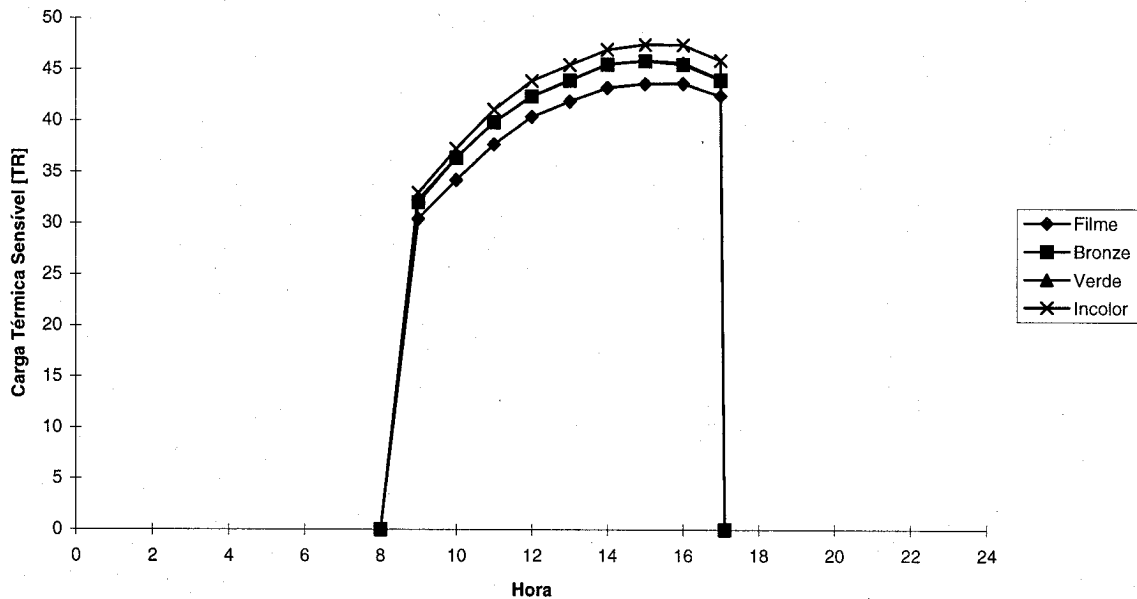


Figura 2. Comparação entre as cargas térmicas sensíveis para os quatro tipos de vidro (temperatura de 24°C e umidade relativa de 50%).

Podemos verificar pela Figura 2 que o uso de diferentes vidros como o bronze ou verde em relação ao transparente reduz significativamente a carga térmica (em 3,3% no valor máximo e 3,1% no total diário) e, conseqüentemente, o consumo de energia da instalação de ar condicionado. Esta redução pode ser ainda maior com o uso de filmes refletores (em 8,0% no valor máximo e 7,9% no total diário). Fica a ressalva que o uso desses filmes pode resultar em uma diminuição da iluminação natural, aumentando assim a necessidade de uso de iluminação artificial. Isto implicará também em um aumento da carga térmica que deverá ser levado em conta na avaliação técnico/econômica da edificação.

Na Figura 3, constata-se que o aumento da temperatura interna do ambiente condicionado diminui a carga térmica. Tomando-se como base o caso com temperatura de 22°C, obtêm-se reduções no valor máximo e no total diários da carga térmica, conforme apresentado na Tabela 4.

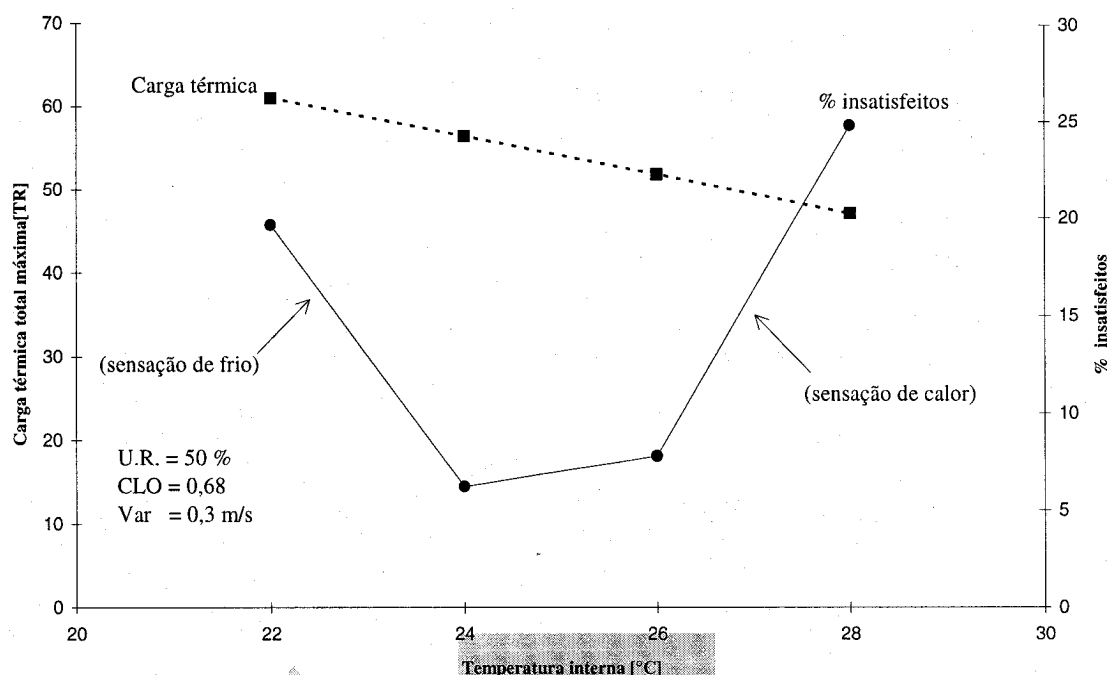


FIGURA 3. Comparação das porcentagens de pessoas insatisfeitas e das cargas térmicas totais máximas diárias para as quatro temperaturas de bulbo seco - vidro incolor.

TABELA 4: Redução [%] nos valores total e máximo diário da carga térmica total do ambiente.

Temperatura [°C]	Redução no valor total	Redução no valor máximo
24	8,3	9,6
26	16,9	19,5
28	25,5	29,4

Apesar de ocorrer uma diminuição contínua na carga térmica com o aumento da temperatura interna, verifica-se que a partir de um certo ponto (entre 24°C e 26°C) ocorre um aumento da porcentagem de pessoas insatisfeitas. Esta tendência implica que aumentos indiscriminados da temperatura interna de projeto devem ser avaliadas cuidadosamente para não incorrer em efeitos danosos aos ocupantes do ambiente. Neste sentido pode-se utilizar a Norma ISO 7730, que considera como aceitável ambientes nos quais haja no máximo 20% de pessoas insatisfeitas. No nosso exemplo, esta exigência é atendida para temperaturas entre 23°C e 27°C, não havendo motivo para a adoção dos valores mais baixos desta faixa uma vez que estes resultarão em cargas térmicas elevadas.

CONCLUSÕES

Neste artigo foi verificado a influência de diversos tipos de vidro no cálculo de carga térmica e, conseqüentemente, no consumo de energia. Conclui-se que o uso de vidros mais opacos e/ou com filme refletor reduzem a carga térmica, sendo uma alternativa de projeto importante em edifícios de escritório. Ressalte-se que o uso desses filmes acarreta uma redução sensível da iluminação natural, que pode levar a um aumento da carga térmica devido ao acréscimo de iluminação artificial.

Verificou-se também que o aumento da temperatura interna de projeto tem um efeito muito mais significativo na redução da carga térmica em relação às conseguidas com vidros. Isto mostra a importância do trabalho conjunto de projetistas de ar-condicionado com os projetistas da edificação, a fim de buscarem soluções que resultem em edifícios de alta eficiência energética sem detrimento do conforto térmico dos ocupantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EPUSP, Conservação de energia nas edificações. Anais do Simpósio Nacional de Conservação de Energia nas Edificações. Junho, São Paulo, 1989.
- NUTAU'96. Conservação de energia nas edificações. Anais do Simpósio Internacional de Conservação de Energia nas Edificações. Novembro, São Paulo, 1996.
- ASHRAE, Handbook of Fundamentals, 1993.
- ESP-r - A program for building energy simulation, Manual. 1993
- AKUTSU, Maria; SATO, Neide, M. N.; PEDROSO, Nelson G.; Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares – Manual de procedimento para avaliação; São Paulo, 1987. (Publicação IPT 1732)