



INFLUÊNCIA DA ENVOLTÓRIA NO CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIO COMERCIAL COM OCUPAÇÃO MISTA

A. Hernandez Neto; A. Tribess; F. A. S. Fiorelli

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia Mecânica

Grupo de Pesquisa em Refrigeração, Ar Condicionado e Conforto Térmico

Av. Prof. Mello Moraes, 2231

05508-900 - São Paulo (SP) - Brasil

Fax: (+55 11) 813-1886

e-mail: ahneto@usp.br, atribess@usp.br, fiorelli@usp.br

RESUMO A integração do sistema de ar condicionado com a edificação visa a obtenção do equilíbrio entre as condições de conforto térmico dos ocupantes, o tipo de ocupação e o consumo de energia associado à edificação. O comportamento térmico da envoltória é um dos parâmetros que pode ser modificado para atingir este equilíbrio. Neste trabalho foi avaliado o efeito das características térmicas da envoltória na carga térmica de uma edificação de ocupação mista. Os resultados mostram que, mesmo não havendo influência significativa da envoltória na carga térmica máxima, uma envoltória com maior isolamento térmico produz um perfil de carga térmica mais uniforme, o que aumenta o potencial de redução do consumo de energia.

ABSTRACT Air conditioning and building integration intends to achieve the equilibrium between occupants thermal comfort, building pattern and energy consumption. Shell thermal behaviour is one parameter that can be modified in order to achieve such equilibrium. This work evaluates the effect of shell thermal characteristics on the cooling load for a mixed pattern building. Results show that, even though there is no significant influence of shell characteristics on maximum cooling load, a more insulated shell produces a more uniform cooling load profile, which enhances the potential of energy consumption reduction.

1 Introdução

Edifícios comerciais são normalmente grandes consumidores de energia elétrica devido à necessidade do uso de sistema de ar condicionado central para produzir condições satisfatórias de conforto térmico aos seus ocupantes e/ou temperaturas adequadas para o funcionamento de equipamentos e processos.

As cargas térmicas a serem retiradas pelo sistema de ar condicionado são resultantes das trocas de calor com a envoltória e da geração de calor por fontes internas (pessoas, iluminação, equipamentos).

Em edifícios comerciais de ocupação mista (que possuem alguns andares em que o condicionamento do ar visa o conforto térmico das pessoas e outros em que se objetiva manter condições adequadas para o funcionamento de equipamentos eletro-eletrônicos) muitas vezes a carga térmica gerada internamente pelos equipamentos pode desempenhar papel preponderante na demanda de ar condicionado do edifício e pode implicar na necessidade de funcionamento ininterrupto do sistema de ar condicionado (24 horas por dia o ano inteiro).

Uma vez definido o tipo de ocupação do edifício, está também definido o perfil de geração de calor por fontes internas. Porém, as cargas térmicas resultantes da interação destas fontes de calor com a envoltória e desta com o meio externo são variáveis com o tempo. Isto ocorre devido ao caráter dinâmico das trocas de calor, em função dos mecanismos de transferência de calor e da variação das condições climáticas. Desta forma, a única maneira de intervir no comportamento térmico do edifício é através da alteração das características dos elementos de vedação da envoltória.

No caso da necessidade de funcionamento ininterrupto do sistema de ar condicionado (períodos diurno e noturno), o edifício está sujeito a uma variação mais significativa nas condições climáticas, o que pode conferir um papel ainda mais importante à escolha adequada da envoltória.

Neste trabalho é apresentada uma análise do efeito da envoltória no perfil de carga térmica com base em dados de um edifício comercial de ocupação mista na cidade de São Paulo. Foram avaliadas as cargas térmicas máximas e totais diárias de um andar típico de uso exclusivo de equipamentos e de um andar típico de conforto, para três tipos de paredes e três condições climáticas (São Paulo, Recife e Curitiba).

Na determinação da carga térmica foi utilizado o programa computacional BLAST (Pedersen et. al., 1993) que realiza simulações detalhadas do comportamento térmico de ambientes condicionados (Hernandez Neto et al., 1999).

2 Descrição do Edifício Típico

A edificação em estudo é composta de 8 andares e um mezanino. A ocupação por andar é exclusiva, ou seja, existem andares apenas para atividades administrativas e de serviços (demanda por conforto térmico) e andares exclusivamente ocupados por equipamentos eletro-eletrônicos e salas de controle (demanda por resfriamento de equipamentos). A Tab. 1 apresenta o tipo e perfil de ocupação e as condições

higrotérmicas internas adotadas na simulação, bem como os valores típicos utilizados para as fontes internas de geração de calor.

Tab. 1 Perfil de Ocupação e Carga do Edifício Típico.

Andar	Tipo de ocupação	Temperatura/umidade relativa	Horário de ocupação	Número Pessoas	Equipamentos (kW)	Iluminação (kW)
1° andar	Cabina de força	Não condicionado	0:00 às 24:00	n.a.	n.a.	n.a.
Mezanino	Escritório	24°C / 50%	8:00 às 18:00	50	5,0	20
2° andar	Equipamentos eletro-eletrônicos.	22°C / 50%	0:00 às 24:00	10	50,0	10
3° andar	Equipamentos eletro-eletrônicos.	22°C / 50%	0:00 às 24:00	10	75,0	10
4° andar	Equipamentos eletro-eletrônicos.	22°C / 50%	0:00 às 24:00	10	160,0	10
5° andar	Equipamentos eletro-eletrônicos.	22°C / 50%	0:00 às 24:00	10	160,0	10
6° andar	Equipamentos eletro-eletrônicos.	22°C / 50%	0:00 às 24:00	10	160,0	10
7° andar	Escritório	24°C / 50%	8:00 às 18:00	100	12,0	40
8° andar	Escritório	24°C / 50%	8:00 às 18:00	100	12,0	40

Adotou-se uma temperatura interna de 22°C para os andares com equipamentos, por ser uma temperatura adequada para o bom funcionamento dos equipamentos, e de 24°C nos andares de escritório, por ser uma temperatura que proporciona boa relação consumo de energia/conforto térmico (Tribess et. al., 1997) e por ser uma prática corrente de projeto.

No edifício analisado as paredes sul e norte têm comprimento de 44 m enquanto as paredes leste e oeste têm comprimento de 25 m, com pé direito de 5,95 m. As faces norte e leste não possuem janelas. A área envidraçada (vidro comum) nas demais faces é de somente 10 m² por face nos andares de equipamentos e de 50 m² por face nos andares de escritório

Na simulação foram utilizados três tipos de paredes com materiais de baixo, médio e alto isolamento térmico, cujas espessuras e propriedades físicas são apresentadas na Tab. 2. Para as paredes tipo painel de concreto (parede1) foram consideradas camadas adicionais de massa corrida e para as paredes com bloco de concreto (parede2) e de bloco de concreto + poliestireno do lado interno (parede3) considerou-se camadas adicionais de argamassa. O piso é de concreto e o teto é de concreto com forro rebaixado feito com placas de lã de vidro

Tab. 2 Paredes da envoltória.

	Materiais	Espessura [cm]	Massa Espec. [kg/m ³]	Calor Espec. [J/kg.°C]	Cond.Térm. [W/m.°C]
Parede 1	Painel de concreto	2,5	2250	0,84	1,9
Parede 2	Bloco de concreto*	3,3 (2 camadas)	2250	0,84	1,9
Parede 3	Bloco de concreto* + poliestireno	Idem 2,5	Idem 30	Idem 1,2	Idem 0,03

(*) Utilizou-se uma resistência para o ar no bloco de concreto de 0,09 m² °C/W

3 Avaliação do Perfil de Carga Térmica

Na avaliação de carga térmica para cada andar típico com diferentes tipos de material para as paredes foram adotadas três condições climáticas, apresentadas na Tab. 3 (IPT,1992).

Tab. 3. Condições Climáticas

	Temp. de Bulbo Seco Máxima (°C)		Temp. de Bulbo Seco Mínima (°C)		Temp. de Bulbo Úmido Máxima (°C)		Radiação Solar (Wh/m ²)	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
São Paulo	31,4	18,8	20,2	9,1	26,7	13,8	5180	4480
Recife	31,4	26,5	24,0	18,8	27,9	23,8	5105	4562
Curitiba	31,4	12,3	21,2	0,7	28,7	10,5	2770	1661

A escolha destes três tipos de condições climáticas deve-se às peculiaridades de cada clima para comparação de resultados obtidos na simulação:

1. As condições climáticas de São Paulo e Recife são semelhantes no verão, mas apresentam variações significativas no inverno. Isto permite que se possa

analisar o efeito no perfil de carga térmica nos casos em que em determinado período do dia e/ou do ano as trocas de calor através da envoltória ocorrem do ambiente interno para o meio externo (temperaturas externas menores que as temperaturas internas de condicionamento);

- Na cidade de Curitiba têm-se temperaturas semelhantes às de São Paulo e Recife no verão, porém com uma menor incidência de radiação solar. No caso das condições climáticas de inverno as temperaturas externas são sempre menores que as temperaturas de insuflamento do sistema de ar condicionado (em torno de 13°C). Portanto, mesmo quando é necessário retirar carga térmica dos ambientes, basta acionar somente o sistema de ventilação forçada com insuflamento de ar externo.

4 Análise e Discussão dos Resultados

Na Tab. 4 são apresentados os valores máximos e totais diários de carga térmica para um andar típico de uso exclusivo de equipamentos (5° Andar), enquanto na Tab. 5 estes valores são apresentados para um andar típico de conforto (7° Andar).

Tab. 4 Cargas térmicas de um andar típico de uso exclusivo de equipamentos (5° Andar).

Carga térmica total diária [kW]						
Cidade	Parede 1		Parede 2		Parede 3	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
São Paulo	4168	3248	4141	3552	4108	3880
Recife	4330	3908	4245	3974	4145	4039
Curitiba	4081	2399	4082	3001	4075	3667
Valor diário máximo de carga térmica [kW/TR]						
Cidade	Parede 1		Parede 2		Parede 3	
	Verão		Verão		Verão	
São Paulo	201 / 57		184 / 52		174 / 49	
Recife	203 / 58		186 / 53		175 / 50	
Curitiba	191 / 54		179 / 51		172 / 49	

Tab. 5 Cargas térmicas de um andar típico de conforto (7º Andar).

Carga térmica total diária [kW]						
Cidade	Parede 1		Parede 2		Parede 3	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
São Paulo	971	418	879	447	874	605
Recife	1064	815	963	762	919	794
Curitiba	875	0	815	44	827	300

Valor diário máximo de carga térmica [kW / TR]			
Cidade	Parede 1	Parede 2	Parede 3
	Verão	Verão	Verão
São Paulo	104 / 30	89 / 25	81 / 23
Recife	107 / 31	93 / 26	84 / 24
Curitiba	92 / 26	82 / 23	76 / 22

Nas Figs. 1 e 2 são apresentados resultados do perfil de carga térmica total ao longo do dia para os três tipos de envoltória e condições climáticas de verão em São Paulo, respectivamente, para andar típico de equipamentos e de conforto.

Fig. 1 Perfis de Carga Térmica Total Para Andar Típico de Equipamentos

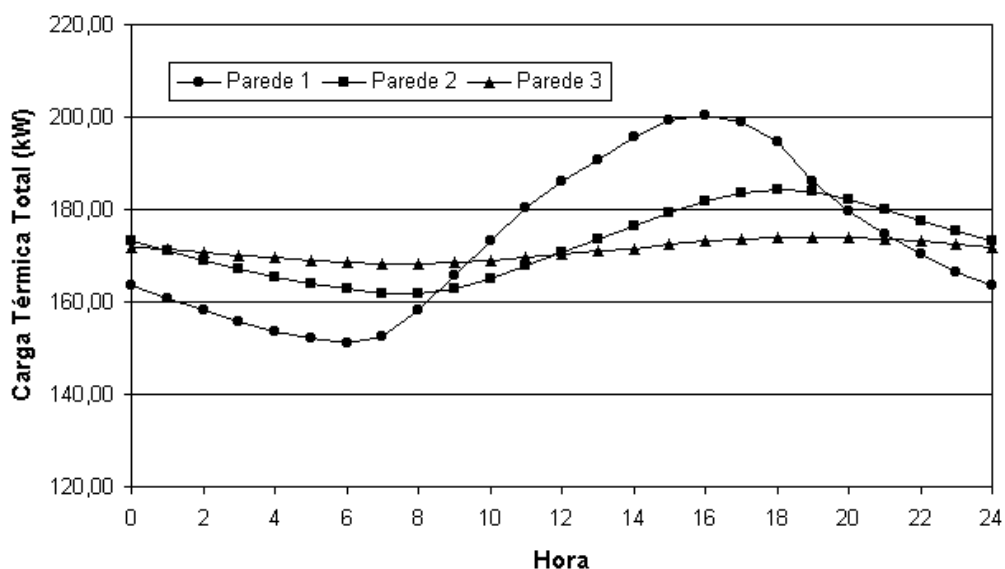
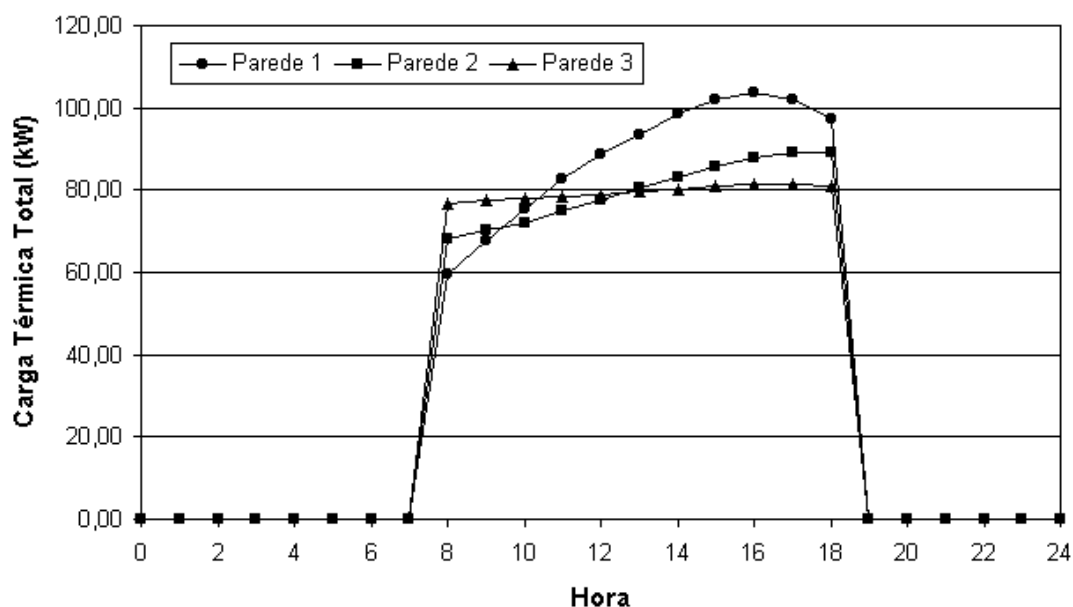


Fig. 2 Perfis de Carga Térmica Total Para Andar Típico de Conforto



A análise dos resultados das Tabs. 4 e 5 permite verificar que para as três condições climáticas tem-se que:

1. A influência da envoltória na carga térmica total de verão é desprezível no andar típico de equipamentos e no andar típico de conforto só se verifica alguma influência da parede1 em relação à parede2;
2. Na carga térmica total de inverno, o efeito de isolamento térmico da envoltória é percentualmente menos significativo no andar típico com equipamentos;
3. A influência da envoltória na carga térmica máxima também é percentualmente menos significativa no andar típico com equipamentos;

Observa-se ainda nas Tabs. 4 e 5 que, tanto para o andar típico de equipamentos quanto para o de conforto, o efeito do tipo de envoltória nos valores de carga térmica máxima para as condições climáticas de Curitiba é menos pronunciado que para as outras cidades. Isto ocorre devido a uma menor incidência de radiação solar em Curitiba.

Com relação as Figs. 1 e 2, verifica-se que:

1. A influência da envoltória na diferença entre os valores máximos e mínimos de carga térmica ao longo do dia é percentualmente menor para o andar típico de equipamentos;
2. O tipo de envoltória representado pela parede3 (com maior isolamento térmico) apresenta um perfil de carga térmica praticamente constante com o tempo, tanto para o andar típico de equipamentos quanto para o de conforto.

5 Conclusões

De uma forma geral, pode-se concluir que o efeito da envoltória é menor em andares de equipamentos do que naqueles de conforto, devido a uma maior geração interna de calor e à necessidade do sistema de condicionamento de ar ter que estar ligado 24 horas por dia o ano inteiro. Isto resulta numa influência pequena da envoltória na carga térmica total num edifício de ocupação mista.

Por sua vez, a capacidade do sistema de condicionamento de ar a ser instalado, que é função da carga térmica máxima (verão), também não varia muito, o que pode significar que alterações na envoltória não signifiquem a necessidade da utilização de um sistema de maior ou menor porte.

Por outro lado, tem-se uma influência significativa da envoltória no perfil de carga térmica ao longo do dia. Uma envoltória com características de maior isolamento térmico causa um achatamento no perfil de carga térmica, permitindo que o sistema de ar condicionado trabalhe próximo ao seu ponto ótimo de operação (Stoecker & Jones, 1993) quase o tempo todo. Desta forma o sistema opera com uma maior eficiência, diminuindo o consumo de energia.

Os resultados deste trabalho reforçam a necessidade de uma interação maior entre os responsáveis pelos aspectos arquitetônicos, construtivos e de ar condicionado já na fase de pré-projeto. Além disto, nesta fase de pré-projeto é fundamental que se tenha uma definição clara do tipo de ocupação de cada um dos andares da edificação.

Faz-se necessária ainda uma avaliação econômica das diversas alternativas do tipo de envoltória para se obter a solução mais adequada.

6 Referências Bibliográficas

Hernandez Neto, A. et al. (1999): The effects of Indoor Conditions on the Reduction of Energy Consumption in Commercial Buildings in Rio de Janeiro, *Building Simulation'99*, Kyoto (anais em CD-ROM).

IPT. (1992): Elaboração de Critérios para Classificação de Edificações segundo seu Desempenho Térmico – *Relatório IPT 30.923*, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo.

Pedersen, C.O. et al., (1993): *BLAST – Building Load Analysis and System Thermodynamics*, University of Illinois, Champaign-Urbana, EUA.

Stoecker, W.; Jones, J.W. (1993): *Refrigeração e Ar Condicionado*. MacGraw-Hill, São Paulo.

Tribess, A. et al. (1997): Aspectos de Conservação de Energia em Ambientes Condicionados, *Anais do IV ENCAC*, Salvador, 413-417, 1997.