

168 - Avaliação da Aplicação do Modo Misto na Redução da Carga Térmica em Edifícios de Escritórios na Cidade de São Paulo

DE BENEDETTO, Gisele Saveriano (1); ROMÉRO, Marcelo de Andrade (2)

(1) Arquiteta, mestre do Programa de Pós-Graduação na área de Tecnologia da Arquitetura da FAU/USP, Especialista em Conforto Ambiental e Conservação de Energia (FUPAM/FAU/USP), e-mail: giselel@ipiranga.com.br; (2) Arquiteto, professor titular do departamento de tecnologia da FAU/USP, e-mail: maromero@usp.br.

Resumo

Este trabalho estuda o desempenho térmico e energético de edifícios de escritórios na cidade de São Paulo. Edifícios cujo tipo de ocupação e atividade criam por si sós, cargas térmicas elevadas, dificultando a obtenção de conforto em um clima que, apesar de temperaturas mais baixas no inverno, apresenta condições extremas de calor durante o verão e até em outras estações do ano.

Diante desse desafio, o sistema de modo misto de condicionamento ambiental une as vantagens do sistema ativo às do passivo, operando com sistemas naturais sempre que possível, reduzindo o consumo de energia e acionando o sistema ativo em situações fora das condições de conforto. Porém, sua máxima eficiência não é obtida abrindo simplesmente as janelas de qualquer edifício quando as condições de clima forem propícias, e sim projetando o edifício para o sistema, priorizando a ventilação natural e os sistemas passivos. Com base nesse pensamento, a pesquisa analisa o desempenho térmico e energético de três tipologias arquitetônicas operando primeiramente com o sistema ativo e depois com o modo misto, no clima de São Paulo, comparando seu potencial de redução de carga térmica.

O sistema de modo misto mostrou-se extremamente vantajoso para o clima de São Paulo quando considerado desde o início do projeto de arquitetura. Através deste, pode-se obter uma redução de carga térmica de até 87% se comparado a um edifício de tipologia usualmente encontrada na cidade, operando exclusivamente com sistema ativo.

Palavras-chave: arquitetura, modo misto, conforto térmico, desempenho térmico e energético, eficiência energética, simulação computacional.

Abstract

This research focus on thermal and energy performance of office buildings in São Paulo. Due to its activity, offices frequently produce high internal loads, which makes even more difficult to achieve thermal comfort conditions in such a warm climate.

Facing this challenge, mixed mode systems combine the best of air-conditioning and natural ventilation, operating by passive means whenever it's possible, using the air-conditioning system only when thermal environmental conditions are not acceptable, thus reducing energy consumption. However, a higher efficiency is not achieved just by opening any windows. The building must have been designed for the mixed mode system since its first steps. Based on that, this research evaluated thermal and energy performance of three architectural design buildings operating by active means and with a mixed mode strategy. Under the climatic conditions of São Paulo, the potential thermal load reduction was assessed.

The buildings designed to operate under a mixed mode conditioning strategy in São Paulo presented the best results, enabling a thermal load reduction of up to 87% in comparison to a typical fully air conditioned building in the city.

Introdução

A arquitetura de edifícios de escritórios na cidade de São Paulo vem caminhando para a solução da fachada selada, com área envidraçada cada vez maior. Essa arquitetura é concebida admitindo-se o uso integral de sistemas ativos não só para atingir um nível satisfatório de conforto, mas também para garantir a renovação do ar. Em 2004, uma ampla pesquisa de análise comportamental e avaliação física do conforto ambiental feita em um importante edifício de escritórios em São Paulo (ROMÉRO et al., 2005) constatou que em média, apenas 50% dos usuários está em equilíbrio térmico com o ambiente condicionado, ou seja, em conforto. Do restante, para 6% a 13%, o ambiente está quente; e para 36% a 41%, está frio.

O modo misto é um sistema que tem sido amplamente estudado e aplicado em edifícios na Europa como ação de redução de consumo de energia, melhora das condições de conforto dos usuários e qualidade do ar, reduzindo emissões e evitando o aquecimento global. Como exemplo pode-se citar o edifício do banco Commerzbank HQ, construído em 1997 em Frankfurt, na Alemanha, e o edifício 30St Mary Axé, onde se encontra a sede da Swiss Re, em Londres, Inglaterra.

Assim como os edifícios totalmente dependentes do ar-condicionado são projetados de maneira a otimizar o funcionamento dos equipamentos, o edifício condicionado em modo misto deve aproveitar as tecnologias passivas, de maneira a viabilizar situações de conforto o máximo possível. Essa técnica vem sendo muito aplicada no Reino Unido e, segundo estudos (WILLIS; FORDHAM; BORDASS, 1994 apud ARNOLD, 1996, p. 687), esses edifícios são geralmente bem-sucedidos e bem vistos por seus usuários. Essa técnica faz uso da habilidade do ser humano de aceitar e se sentir confortável sob uma variação de temperatura ao longo de um mesmo dia. Em princípio, o ambiente começa o dia em condições próximas do limite aceitável de frio e termina em condições próximas do limite aceitável de calor (ARNOLD, 1996). Portanto, os parâmetros de conforto adotados para esse tipo de edifício devem permitir maior variação de temperatura e umidade do ar, diferentemente do que acontece com os sistemas ativos, onde a temperatura e a umidade são fixas durante todo o tempo.

A grande inovação do sistema de condicionamento ambiental de modo misto é utilizá-lo com consciência, objetivando a redução do consumo de energia e a melhora do conforto dos usuários. Quem projeta edifícios com esse tipo de sistema defende a idéia de que a ventilação natural colabora com o aumento da produtividade; além disso, existe o aspecto positivo de que o usuário pode ter certo controle sobre as condições internas de seu ambiente de trabalho. Muitas vezes, porém, esse tipo de edifício é totalmente controlado por um sistema de automação, onde as janelas são abertas e fechadas automaticamente.

Aliar soluções arquitetônicas à eficiência de equipamentos de ar condicionado pode ser muito mais eficiente em redução de consumo de energia e melhoria da qualidade ambiental do que confiar apenas no sistema artificial de condicionamento térmico.

Objetivo e sistema de avaliação

O objetivo principal desta pesquisa é avaliar o desempenho térmico e energético do pavimento tipo de um edifício de escritórios, do ponto de vista da maximização do seu potencial passivo e da utilização do modo misto, visando à redução da carga térmica interna.

Para tal, foram definidos três modelos de pavimento-tipo para edifícios de escritórios, variando-se planta, fachada, e materiais construtivos. As análises foram feitas através de simulações computacionais comparando-se condições internas de temperatura e umidade, conforto dos usuários e carga térmica para o clima da cidade de São Paulo.

Para a definição da ferramenta, dois programas computacionais foram investigados: EnergyPlus e TAS, sendo o TAS (9.0.7 May, 2005) mais adequado para esta pesquisa. Com relação ao arquivo de clima, após um levantamento dos bancos climáticos disponíveis, decidiu-se por montar um banco de clima para São Paulo, baseado em parâmetros medidos.

Parâmetros de Conforto

Para avaliação dos períodos de conforto térmico com o modo misto, foi necessário aplicar dois índices de conforto: um para o período de condicionamento passivo e outro para os períodos de uso de ar-condicionado.

Para avaliação de conforto dos ambientes nos períodos de condicionamento natural foi adotado o modelo adaptativo proposto por Dear (1997), que parte da temperatura efetiva média externa para estabelecer a temperatura interna de conforto térmico.

Esse mesmo modelo foi aplicado em consultoria realizada por um grupo de pesquisadores do LABAUT, e consta no relatório técnico Cenpes-II-Arquitetura e Ecoeficiência: Clima, Insolação e Índices de Conforto (LABAUT, 2004).

Dessa mesma maneira, o índice proposto pelo modelo adaptativo foi desenvolvido para o clima da cidade de São Paulo e a temperatura de conforto proposta foi aplicada no arquivo de clima anual.

O Gráfico 1 mostra a TBS externa ao longo do ano de referência de projeto e a Tc proposta pelo modelo adaptativo aplicada ao ambiente interno, com ventilação natural. Essas condições externas, ao serem transferidas a um ambiente interno, sofrerão alterações que poderão aproximá-las ou afastá-las ainda mais da linha de Tc.

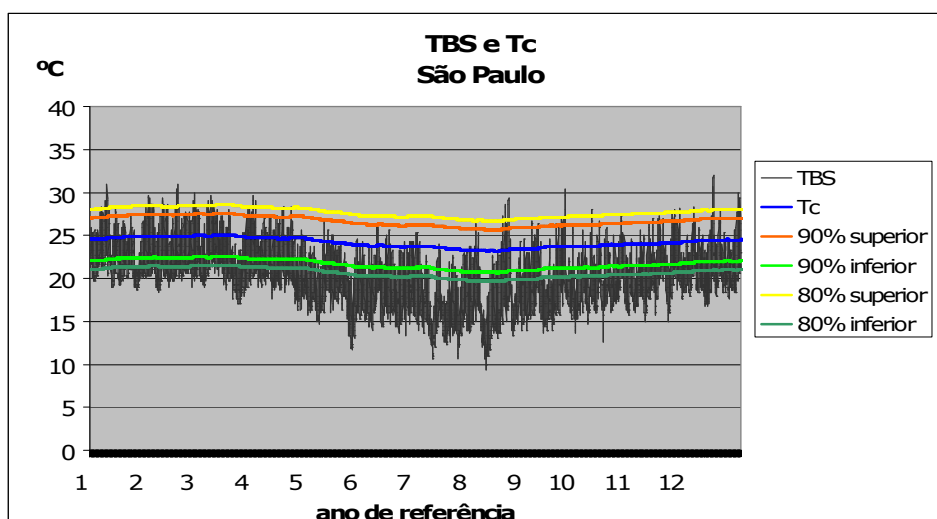


Gráfico 1 – TBS ao longo do ano de referência de projeto x Tc segundo o modelo adaptativo – SP

Para o clima de São Paulo, observa-se a maior parte de TBS abaixo da Tc proposta, porém seus picos (acima da linha de Tc) acontecem durante o período de ocupação. Para maximizar o período de conforto será importante que a edificação amenize os efeitos das altas temperaturas durante o verão e armazene certa quantidade de calor durante o inverno. A ventilação poderá exercer bem o papel de retirar o calor durante o verão e no inverno; a combinação de uma reduzida taxa de ventilação e massa térmica poderá ser uma boa alternativa para manter o ambiente a uma temperatura mais próxima da linha de Tc.

Para os períodos de condicionamento artificial, serão adotados valores de temperatura e umidade do ar de acordo com o proposto no relatório técnico CENPES-II-Arquitetura e Eco-eficiência: Clima, Insolação e Índices de Conforto (LABAUT, 2004). Os valores indicados como parâmetros de conforto são TBS= 26°C, UR= 65% e vAR=0,1m/s, pois além de atender a norma internacional ISO 7730 (1994) configurando uma situação com porcentagem de pessoas insatisfeitas inferior a 10%, atende às exigências da Norma Brasileira NBR 6401 (1980) e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2003).

Definidos os parâmetros de conforto para os períodos de condicionamento passivo e ativo, configurou-se o funcionamento do modo misto nesta pesquisa: os ambientes permanecem operando com as janelas abertas até que mais de 10% dos usuários identifiquem uma situação de desconforto. Ao se configurar essa situação, as janelas se fecham e o sistema de ar-condicionado é acionado. Este permanecerá com os valores fixos de TBS=26°C e UR=65% até que as condições externas indiquem possibilidade de conforto com o sistema passivo novamente.

Projetando para o modo misto

Um edifício que utiliza apenas o ar-condicionado poderá ser totalmente vedado, construído com materiais isolantes, com dimensões profundas de planta baixa etc. Já um edifício projetado em clima quente para a ventilação natural terá dimensões estreitas de planta baixa, aberturas nas fachadas que permitam uma ventilação cruzada, sombreamento externo que reduza a incidência solar e massa térmica exposta que possibilite trocas térmicas entre a estrutura e os ambientes, e inúmeras outras características. Para se projetar um edifício que opere em modo misto, pode-se começar aplicando-se ações que favorecem os dois sistemas: redução de ganhos de calor solar Depois disso, como o objetivo principal é diminuir o tempo de

uso de ar-condicionado, deve-se potencializar os sistemas passivos ao máximo para verificar o tempo realmente necessário de utilização de sistemas ativos.

Modelos Geométricos

Os modelos geométricos 1 e 2 (M1 e M2) utilizados nas duas primeiras etapas deste trabalho foram os mesmos definidos por Dilonardo (2001) e novamente utilizados por Pirró (2005).

O modelo geométrico proposto (dimensões de planta baixa, pé-direito, distribuição dos ambientes, presença de piso elevado e forro rebaixado) representa o padrão atual de construção de edifícios de escritórios na cidade de São Paulo e segue os seguintes conceitos:

- forma paralelepípedica com quatro zonas periféricas de igual área;
- existência de uma zona central (core);
- área do pavimento em planta: 1225 m² (35 m x 35 m);
- altura do pé-direito (piso interno acabado ao forro): 2,70 m.

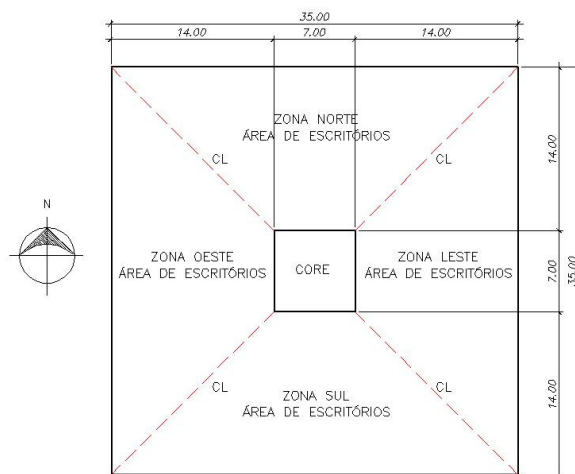


Figura 01 - Planta baixa, M1 e M2

O que diferencia o modelo 1 do modelo 2 é apenas a fachada. A fachada do modelo 1 foi configurada com $WWR^1=100\%$, sem elementos de proteção solar, enquanto o modelo 2 tem $WWR=50\%$, com proteção externa total nas quatro fachadas. Reduzindo-se o WWR de 100% para 50% e adicionando-se elementos de proteção solar nas áreas envidraçadas, os ganhos solares são consideravelmente reduzidos (a incidência de radiação direta na área envidraçada é eliminada), melhorando o desempenho térmico da fachada e contribuindo para a redução da carga térmica do ar-condicionado.

Esse conjunto de ações visa maximizar o potencial passivo do modelo 1 com a reforma de fachada e avaliar o potencial de redução da carga térmica interna dos edifícios de escritórios que vêm sendo construídos atualmente.

Tanto a primeira como a segunda etapa de simulações desta pesquisa teve o objetivo de avaliar o desempenho térmico de edifícios de escritórios que seguem o padrão atual de construção na cidade de São Paulo do ponto de vista do sistema de modo misto de condicionamento ambiental. Em outras palavras,

¹ Neste trabalho, *Window Wall Ratio* (WWR) é a porcentagem de vidro (área transparente) na fachada, correspondente ao pé-direito interno do ambiente, excluindo-se a área de fachada que abrange a estrutura (laje e viga).

pretende-se testar o modelo de edifício de escritórios encontrado na cidade, operando em modo misto de condicionamento, verificando-se a possibilidade de adaptação dos edifícios existentes ao modo misto.

Para a terceira etapa de simulações, definiu-se um novo modelo geométrico (M3), que traz algumas alterações de conceito arquitetônico, direcionando o edifício para o sistema de modo misto, visando uma maximização dos períodos de condicionamento passivo.

O modelo 3 tem área interna praticamente igual às do M1 e M2, propondo apenas outro tipo de planta. Cada zona apresenta aproximadamente 288m², com total de 1.154,4m². As zonas dos modelos M1 e M2 apresentam 294m², com total de 1.176m².

Entre as alterações do M3 com relação ao M1 e M2, estão:

- planta baixa menos profunda, com fachadas opostas mais próximas, permitindo ventilação cruzada;
- pé-direito mais alto (3,50m);
- ausência de forro, deixando a laje exposta, permitindo trocas térmicas com a estrutura;
- paredes externas mais espessas (17cm), com painéis de concreto mais pesados, densidade 1.800kg/m³.

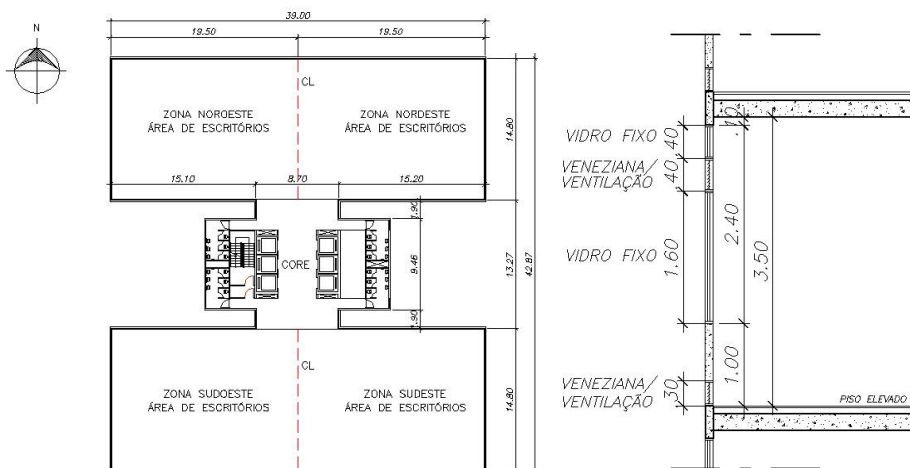


Figura 1 – Planta e corte esquemático da fachada, M3 (WWR²=50%)

Etapas de simulações

Os modelos foram submetidos a uma série de simulações, configuradas da seguinte maneira (todas considerando carga de ocupação):

- ATIVO: simulação com banco de clima anual operando com sistema de ar-condicionado (AC) durante todo o período de ocupação. Resultado: gráfico e valor anual de carga térmica;
- MODO MISTO: simulação com banco de clima anual operando com ventilação natural, permanecendo aberta por 24 horas. Os parâmetros resultantes de temperatura e umidade foram submetidos a uma planilha que aplica os parâmetros de conforto adotados (modelo adaptativo) resultando em um balanço horário e tabelas de porcentagem de períodos em que os usuários estão em condições de conforto.

² Neste trabalho, WWR (*window wall ratio*) é a porcentagem de vidro (área transparente) na fachada correspondente ao pé-direito interno do ambiente, excluindo-se a área de fachada que abrange a estrutura (laje e viga).

Para dimensionamento das aberturas, imaginou-se uma área de 30cm de altura por toda a extensão da fachada. Esses 30cm representam uma proporção de 11,1% da fachada dos modelos 1 e 2 e 17,1% do modelo 3.

Após a definição dos períodos de conforto com ventilação natural, esses horários foram confrontados com a carga térmica resultante da simulação com sistema de ar-condicionado e um valor de carga térmica para o sistema de modo misto (MM) foi estimado.

Análise comparativa de resultados e conclusões

Os resultados obtidos nas simulações foram comparados e os desempenhos térmicos e energéticos foram avaliados comparando-se o total de carga térmica de ar-condicionado requisitado por cada um deles e o período em que os usuários se encontram em conforto térmico.

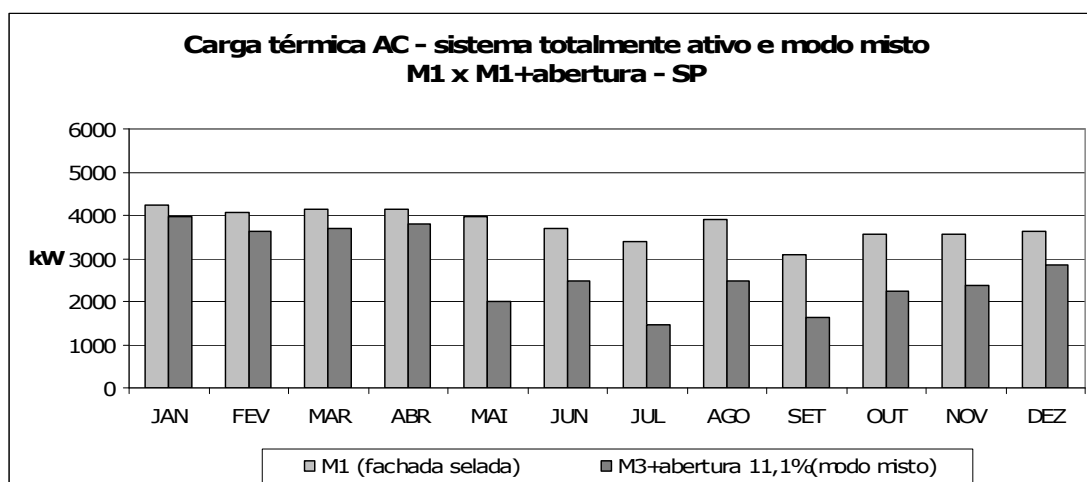


Gráfico 2 – Carga térmica para M1 com sistema totalmente ativo e M1+abertura com modo misto, SP

Ao se alterarem as fachadas do modelo 1 em São Paulo, obteve-se conforto para 90% dos usuários, com ventilação natural, durante uma média de 44% do período de ocupação anual, reduzindo-se a carga térmica em 34,5%, em comparação à utilização de ar-condicionado durante todo o período de ocupação, com termostato configurado para temperatura de 26°C e 65% de umidade relativa do ar.

A alteração de fachada do modelo 1, reduzindo-se o WWR em 50% e incluindo-se elementos de sombreamento externo nas quatro fachadas (modelo 2), resultou em redução de carga térmica de ar-condicionado de 19%. Ao se usar uma abertura na fachada de 11,1%, o modelo M2 em São Paulo apresentou ótimas condições de exploração do sistema de modo misto, resultando em uma redução de carga térmica de ar-condicionado total anual em torno de 64%.

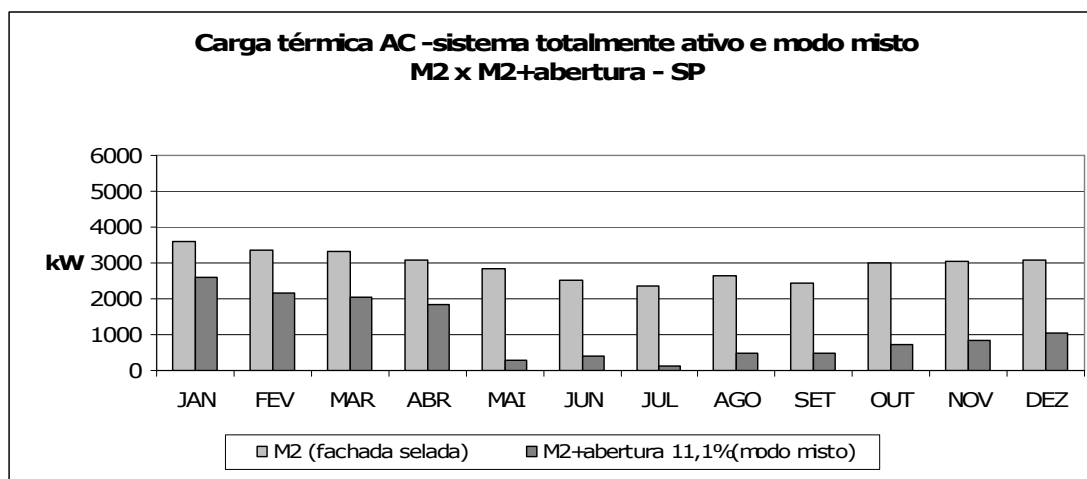


Gráfico 3 – Carga térmica do ar-condicionado para M2 com sistema totalmente ativo e M2+abertura com modo misto, SP

O M3, em operação com sistema de ar-condicionado durante todo o período de ocupação, apresentou uma redução de carga térmica total anual de 31% em relação ao M1 e 14% em relação ao M2. Quando 17,1% das fachadas foram abertas, o M3 reduziu a necessidade de utilização do sistema de ar-condicionado a apenas 13,5% do período de ocupação, considerando-se 90% de usuários satisfeitos. Durante os meses de junho a setembro, o ar-condicionado não seria acionado. A troca do sistema ativo pelo modo misto, no modelo 3 em São Paulo, significa em redução de carga térmica anual de 81%. Considerando-se 80% de usuários satisfeitos, essa redução atinge 89%.

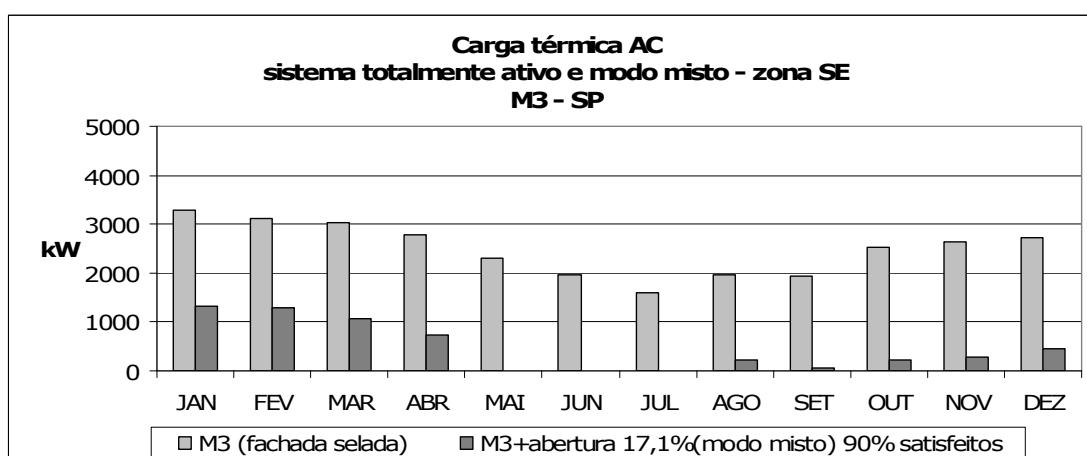


Gráfico 4 – Carga térmica do ar-condicionado para M3 com sistema totalmente ativo e M3+abertura com modo misto, SP

Tabela 1 – Carga térmica total anual resultante das simulações de AC e MM

CARGA TÉRMICA TOTAL ANUAL (kW)						
SP	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3	
	AC 26°C/65%UR	MM	AC 26°C/65%UR	MM	AC 26°C/65%UR	MM
	(1) 172.067	(2) 112.661	(3) 139.032	(4) 49.437	(5) 119.102	(6) 22.221

Observando-se o resumo dos resultados na Tabela 1, pode-se afirmar que na cidade de São Paulo, o sistema de modo misto é extremamente vantajoso (6), se pensado desde o início do projeto de arquitetura e

instalações, podendo resultar em redução de carga térmica de até 87%, se comparando com o pior caso estudado (1).

Se se compara somente a utilização do sistema ativo, o modelo 3 representa uma redução de 31% (5) em relação ao modelo 1 (1), na cidade de São Paulo. Assim, observa-se que as maiores reduções de carga térmica, e conseqüentemente consumo de energia, se dá na utilização do sistema de modo misto, e não na busca de maior eficiência do sistema ativo. Portanto, diante do atual cenário ambiental, é necessário que se parta para soluções arquitetônicas mais eficientes, visando a maior eficiência energética das edificações.

Referências

- DE BENEDETTO, Gisele Saveriano. **Avaliação da aplicação do modo misto na redução da carga térmica em edifícios de escritórios nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado)—Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- ROMÉRO, Marcelo de Andrade et al. Avaliação pós-ocupação (APO) aplicada no Edifício Torre Norte do Centro Empresarial Nações Unidas (CENU) em São Paulo/SP. **Relatório de análise comportamental e avaliação física do conforto ambiental, segurança contra incêndio e consumo de energia elétrica**. São Paulo: FAUUSP, 2005. (Relatório técnico de acesso restrito).
- ARNOLD, D. Mixed Mode HVAC. An Alternative Philosophy. **ASHRAE Transactions**, v. 102, n. 1, 1996.
- DEAR, Richard; BRAGER, Gail; COOPER, Donna. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference**. Sydney: ASHRAE, 1997. (ASHRAE FINAL REPORT RP-884).
- LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – LABAUT. **Cenpes-II, arquitetura e ecoeficiência: clima, insolação e índices de conforto**. São Paulo: FAUUSP, 2004. (Relatório técnico de acesso restrito).
- DILONARDO, Lucia F. S. **Avaliação do uso de tecnologias passivas visando a eficiência energética em edifícios de escritórios**. Dissertação (Mestrado)—Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.
- PIRRÓ, Lucia F. S. **O impacto das envoltentes verticais no desempenho energético de edifícios de escritórios**. Tese (Doutorado)—Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.