

O PAPEL DA VENTILAÇÃO NATURAL NO DESEMPENHO TÉRMICO DO EDIFÍCIO ALTO DE ESCRITÓRIOS NA CIDADE DE SÃO PAULO: O CASO DO CBI-ESPLANADA

Erica Mitie Umakoshi (1); Joana Carla Soares Gonçalves (2)

(1) Doutora, pesquisadora do grupo LABAUT, eumakoshi@gmail.com

(2) Doutora, Professora Livre Docente do Departamento de Tecnologia jocarch29@gmail.com

(1)(2) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Departamento de Tecnologia.
Rua do Lago, 876, CEP 05508-080 São Paulo SP Brasil (11) 3091-4538 ramal 211

RESUMO

Ao visar a redução do consumo de energia em edifícios comerciais, as soluções técnicas são, geralmente, as mais utilizadas, com o investimento em sistemas de resfriamento mais eficientes ao invés de soluções projetuais que realmente façam com que esse consumo reduza de maneira significativa (GONÇALVES E UMAKOSHI, 2010). Estratégias como proteção solar, ventilação natural e mudanças no comportamento dos usuários podem trazer resultados mais rápidos e duradouros para o desempenho termico dos edificios (LAMBERTS *et al*, 2010). Com o intuito de verificar o papel da ventilação natural no condicionamento de ambientes de escritórios, esse artigo apresenta medições de parâmetros ambientais realizadas no edifício CBI-Esplanada no período de 2 a 17 de maio de 2012. Através da coleta desses dados, objetivou-se compreender o desempenho térmico dos pavimentos a partir da utilização da ventilação natural dos ambientes em diferentes alturas, com diferentes ocupações e, principalmente, analisar o papel do usuário como controlador dessas aberturas. E, para complementar esses estudos, serão apresentadas simulações de desempenho térmico utilizando o software Bentley TAS Simulator V8i versão 9.2.1 de um edificio modelo de planta quadrada e 30 pavimentos de altura.

Palavras-chave: escritórios, desempenho térmico, ventilação natural, medições, simulação computacional.

ABSTRACT

Aiming to reducing the energy consumption in commercial building, technical solutions are often more used, with investment in more efficient cooling systems rather than in design solutions that really make the consumption reduces significantly (GONÇALVES & UMAKOSHI, 2010. Strategies such as sun protection, natural ventilation and changes in user behavior can bring faster and lasting results (LAMBERTS *et al*, 2010). In order to verify the role of natural ventilation in office environments conditioning, this article presents environmental parameters measurements in the CBI-Esplanada building in the period of 2-17 May 2012. By collecting such data, aimed to understand the thermal performance of the pavements from the use of natural ventilation of the environments at different times with different occupations and mainly analyze the user's role as controller of these openings. And to complement these studies, thermal performance simulations will be submitted using the Bentley TAS Simulator V8i software version 9.2.1 of a square plan building with 30 floors height.

Keywords: offices, thermal performance, natural ventilation, computer simulation, environmental comfort.

1. INTRODUÇÃO

São Paulo possui em sua malha urbana, edifícios que utilizam tanto estratégias passivas de iluminação e ventilação, como aqueles totalmente selados. Os edifícios construídos na primeira metade do século 20 caracterizam-se por uma volumetria que possibilita a penetração da luz natural em praticamente toda a área do pavimento, devido à presença de átrios e de reentrâncias na planta do edifício. Além da iluminação, essas características arquitetônicas permitem, ainda, a ventilação natural dos ambientes por meio da abertura dos caixilhos nas fachadas e da movimentação das bandeiras colocadas acima das portas internas. A partir de 1940, começam a surgir os primeiros edifícios de escritório de Arquitetura Moderna no centro de São Paulo e, com eles, a elevação no percentual de vidro na fachada, que até meados da década de 1960, ainda mantiveram a ventilação natural como o seu principal meio de arrefecimento.

2. OBJETIVO

Com o intuito de verificar o papel da ventilação natural no condicionamento de ambientes de escritório, foram realizadas medições de temperatura do ar, da temperatura de globo e da umidade relativa, bem como de níveis de iluminação natural no edifício CBI-Esplanada no período de 2 a 17 de maio de 2012. Através da coleta desses dados, objetivou-se compreender o desempenho térmico dos pavimentos a partir da utilização da ventilação natural dos ambientes em diferentes alturas com diferentes ocupações e, principalmente, analisar o papel do usuário como controlador dessas aberturas. E, para complementar esses estudos, foram realizadas simulações de desempenho térmico utilizando o software Bentley TAS Simulator V8i versão 9.2.1 em um edifício de planta quadrada com 30 pavimentos de altura, visando avaliar o impacto da área envidraçada em um edifício alto comercial.

3. MÉTODO

O método deste trabalho consistiu em três procedimentos complementares:

1. Monitoramento do edifício alto comercial tomado como estudo de caso, que utiliza a ventilação natural como principal estratégia de resfriamento dos espaços internos. Paralelamente foram monitorados dados de iluminação natural com o objetivo de verificar o impacto da área envidraçada e das dimensões da planta.

2. Simulações computacionais de desempenho térmico, a partir da definição de um modelo computacional representativo de um edifício alto padrão, utilizando o software Bentley TAS Simulator V8i versão 9.2.1. O objetivo da simulação consiste em verificar o impacto da área de vidro no desempenho térmico de um edifício de escritório localizado na cidade de São Paulo.

3. Avaliação dos dados da medição e da simulação dos parâmetros ambientais selecionados.

3.1. Monitoramento do edifício CBI-Esplanada

O edifício está localizado no centro da cidade de São Paulo (latitude 23°30'S), esquina da Praça Ramos de Azevedo e Rua Formosa (Vale do Anhangabaú). A fachada Leste (L) é completamente desobstruída, possibilitando a vista do Vale do Anhangabaú, enquanto a fachada Norte (N) é totalmente obstruída até o 7º andar e, acima, é completamente desobstruída. Já a fachada Oeste (O) tem o entorno imediato desobstruído, porém, após o afastamento de aproximadamente 6 metros, tem-se o Edifício Votorantim, antigo Hotel Esplanada, hoje sede da Votorantim, com 40 metros de altura, e a fachada Sul (S) é completamente desobstruída, possibilitando a vista da Praça Ramos de Azevedo. A figura 1 apresenta a localização do edifício.

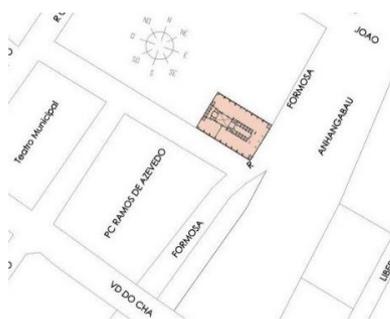


Figura 1 – Implantação

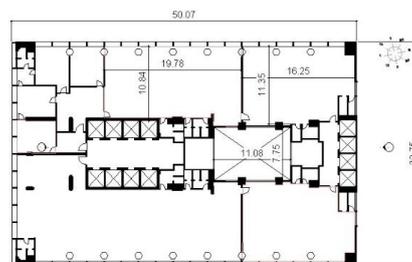


Figura 2 – Dimensões do edifício, dos ambientes no 15º pavimento e do átrio central.

Na época de sua construção, o edifício CBI Esplanada foi, para a cidade de São Paulo, um grande marco arquitetônico na paisagem urbana em razão de seu projeto inovador, bem como um marco tecnológico

por utilizar novos materiais, equipamentos e técnicas construtivas (XAVIER *et al*, 1983). Este edifício foi o primeiro do pós-guerra com estrutura racional, panos de vidro e de planta livre.



Figura 3 - O Edifício CBI Esplanada é extremamente marcante na paisagem do Vale do Anhangabaú.

A planta característica da arquitetura racionalista é composta por dois conjuntos de núcleos simétricos, banheiro articulados com as escadas, elevadores e hall. Isto permite que a planta possa ser dividida em até quatro grandes escritórios, servidos dois a dois pela circulação. A organização da planta demonstra a racionalidade da arquitetura, com a estrutura de concreto e colunas periféricas independentes da fachada de vidro, no entanto, alinhados no eixo paralelo. O átrio central envidraçado cria um grau de transparência e comunicação visual entre lados opostos da planta (FUJIOKA, 1996).

Os materiais utilizados para a construção do edifício foram, basicamente, o concreto aparente armado – o edifício era a maior estrutura em volume de concreto armado no mundo na época da sua construção – e caixilho de ferro com vedação em vidro comum. As únicas superfícies revestidas eram as lajes de piso, que receberam uma camada de contrapiso de 5 cm. As demais superfícies foram pintadas na cor branca. Com o passar dos anos, os condôminos executaram reformas

internas, fazendo com que a maioria dos pavimentos não dispusessem de planta livre, sendo que alguns materiais internos foram modificados.

3.1.1. Dados Ambientais -Dados climático do IAG-USP para o período de medição

Os dados acerca das condições climáticas da cidade de São Paulo para o período de medição foram fornecidos pelo instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP) (<http://www.estacao.iag.usp.br/>, 2012). Os dados de temperatura do ar, umidade, radiação global e velocidade de vento foram tomados no Aeroporto de Congonhas, a aproximadamente 10 quilômetros do local da medição. A leitura de temperatura revela dias amenos, típicos do clima da cidade de São Paulo, com temperaturas variando entre 15°C e 25°C (fig. 4), acompanhadas de valores de umidade relativa entre 90% e 50%, e velocidades de vento entre 1,5m/s e 4,0 m/s (fig. 6). A radiação solar provou ser o parâmetro climático mais crítico, alcançando 800 w/m² e chamando a atenção para a necessidade de proteções solares (fig. 5).

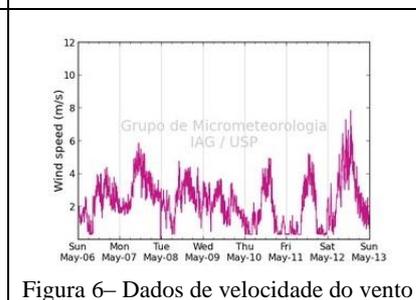
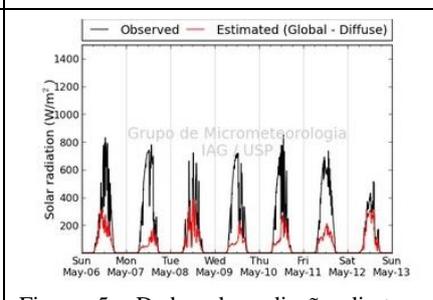
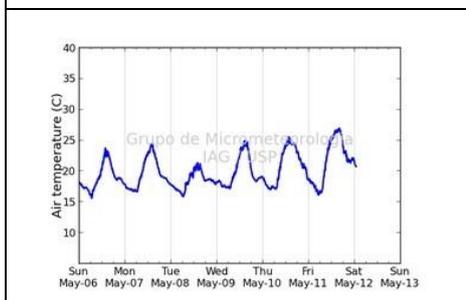
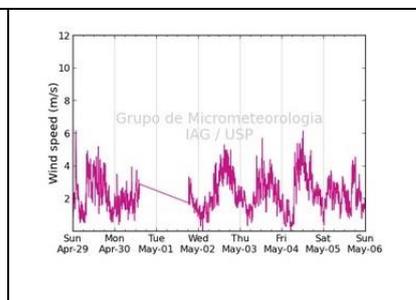
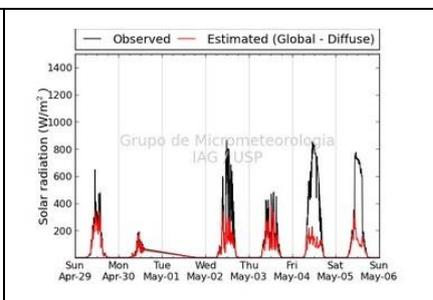


Figura 4– Dados de temperatura extraídos do site do IAG.

Figura 5– Dados de radiação direta e difusa extraídos do site do IAG.

Figura 6– Dados de velocidade do vento extraídos do site do IAG.

3.1.2. Sobre as medições na edificação

Buscando identificar o papel da ventilação natural no condicionamento dos ambientes de escritório em diferentes alturas, com diferentes ocupações, além de analisar o papel do usuário como controlador dessas aberturas, foi realizada uma medição das variáveis climáticas em três pavimentos distintos no edifício CBI-Esplanda, 15°, 22°, 26° pavimentos, que são ocupados pela empresa de engenharia e arquitetura HagaPlan. Cada pavimento possui padrões distintos de ocupação, mas, em todos, os usuários têm a possibilidade de

controlar a abertura da janela.

Para identificar as condições de conforto térmico, foram medidas a temperatura do ar, a temperatura de globo, a umidade relativa e o nível de iluminação com o equipamento datalogger *Hobo Onset U12* durante o período de 2 a 17 de maio de 2012, em quatro pontos, sendo dois no 15º pavimento, um no 22º e um no 26º. Em paralelo a isso, foram realizadas medições de níveis de iluminação no primeiro dia (2 de maio de 2012), no 22º pavimento, em quatro pontos (de acordo com a norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013). Nesse mesmo dia, foram realizadas medições de temperatura superficiais do vidro e da laje para a verificação de seus comportamentos quando comparados com a temperatura do ar. Para isso, foi utilizado uma câmera termográfica digital Flir i7. Para medir a temperatura do vidro foi colado na superfície interna um material opaco (fita isolante), numa área sombreada. Dessa forma, o material entrou em equilíbrio térmico do vidro e pôde-se obter a temperatura do vidro.

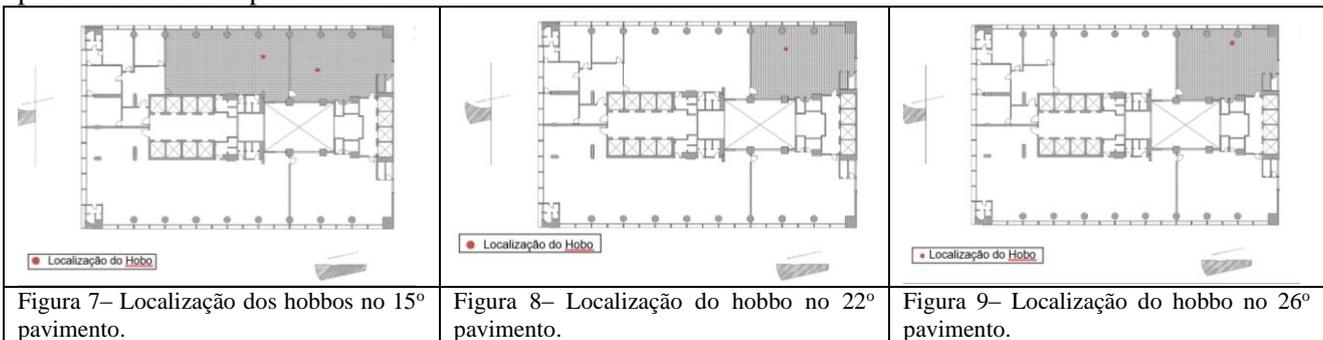


Figura 7– Localização dos hobbos no 15º pavimento.

Figura 8– Localização do hobbo no 22º pavimento.

Figura 9– Localização do hobbo no 26º pavimento.

3.2. Definição do modelo computacional

Com o objetivo de obter resultados sobre o desempenho térmico do edifício alto de escritórios ao longo de todo o ano, indo além da situação específica dos dias medidos, com ênfase no papel da área envidraçada, foram realizadas simulações de desempenho térmico na ferramenta computacional Bentley TAS Simulator V8i v 9.2.1 (*Thermal Analysis Simulation*).

Foi modelado um edifício com características similares ao padrão encontrado na cidade de São Paulo, de planta quadrada, com 30 pavimentos (fig. 10), com forro e piso elevado, materiais e ocupação típicos da tipologia, no qual foi analisado um pavimento inferior (5) e um superior (28). Os estudos analíticos incluíram análises paramétricas sobre os impactos dos seguintes fatores no desempenho do edifício: orientação, *WWR*, sombreamento, massa térmica, temperaturas de conforto e ventilação natural (tabela 1).

O objetivo dos estudos foi, primeiramente, entender a relação entre esses diferentes parâmetros e o desempenho térmico e energético do edifício alto, visando encontrar a melhor combinação a fim de se alcançar um desempenho ambiental satisfatório para essa tipologia.

O modelo utilizado para os estudos se caracteriza por:

- pavimento tipo 30mx30m;
- escritório celular 6mx6m;
- pé-direito 2,70m, piso a piso 3,55m;
- parede: $U = 2,7 \text{ W/m}^2\text{C}$;
- vidro: $U = 5,7 \text{ W/m}^2\text{C}$;
- temperatura de *setpoint*: 24°C ;
- forro (vão 0,14m e fibra mineral- $U = 0,85 \text{ W/m}^2\text{C}$) e piso elevado com carpete (vão de 0,20m + 0,05m piso);
- ocupação (sensível): $19.9 \text{ Kwh/m}^2\text{ano}$;
- ocupação (latente): $17.3 \text{ Kwh/m}^2\text{ano}$;
- iluminação: $27 \text{ Kwh/m}^2\text{ano}$;
- equipamento: $28.6 \text{ Kwh/m}^2\text{ano}$;
- horário de ocupação: 9h – 20h.



Figura 10 - Modelo 3D do edifício.

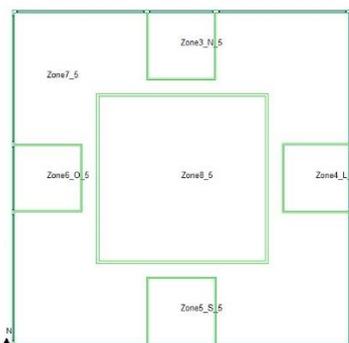


Figura 11 - Planta do pavimento a ser avaliado.

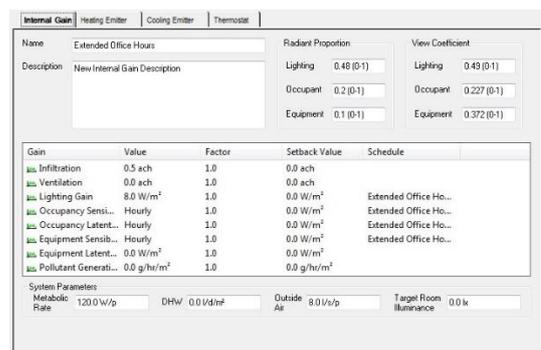


Figura 12– Características das cargas internas do edifício.

Tabela 1– Cenários de simulação do caso base

WWR	Vidro	Orientação	Sombreamento	Massa	Temperatura de Conforto e Ventilação Natural	
50%	Simples	N/S/L/O	NA	Forro	24°C (setpoint)	
			1m	Forro	24°C (setpoint)	
				Forro	26°C (setpoint)	
				Laje exposta	Ventilação noturna	
					Ventilação noturna + ventilação mecânica	
			2m	Forro	24°C (setpoint)	
				Shading 50%		
				Shading 70%		
				Shading 90%		Leve/exposta
						Média
			Pesada			
			Duplo	N/S/L/O	NA	Forro
N/S/L/O	Forro					
70%	Simples	N/S/L/O	NA	Forro	24°C (setpoint)	
			1m			
			2m			
			Shading 50%			
			Shading 70%			
			Shading 90%			
90%	Simples	N/S/L/O	NA	Forro	24°C (setpoint)	
			1m	Forro	24°C (setpoint)	
			1m	Forro	26°C (setpoint)	
			2m	Forro	24°C (setpoint)	
			Shading 50%	Forro	24°C (setpoint)	
						Shading 70%
						Shading 90%
			Duplo	N/S/L/O	Forro	24°C (setpoint)

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Serão apresentados a seguir os resultados medidos entre os dias 3 e 9 de maio, que representam uma semana dentro do período de medição. As medições foram alocadas dentro do cronograma da tese, e contaram com a viabilidade de acesso ao edifício. Ademais, maio apresentou dias amenos que representam a grande maioria dos dias do ano em São Paulo segundo o diagnóstico climático da cidade apresentado em Umakoshi (2014). Foi escolhido esse período devido a necessidade de estabilização dos equipamentos e por compreender uma semana completa que registrou a variação da ocupação nos espaços.

4.1. Dados extraídos do hobo

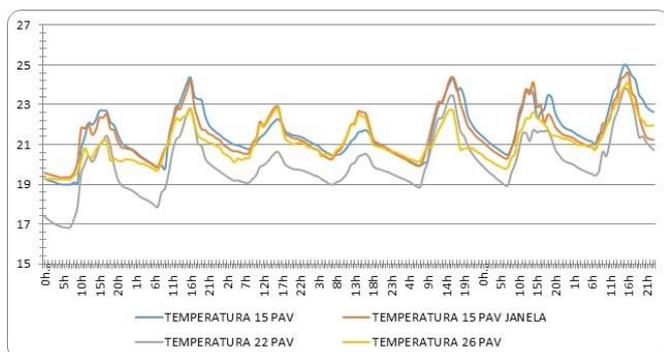


Figura 13 – Temperatura do ar nos quatro pavimentos.

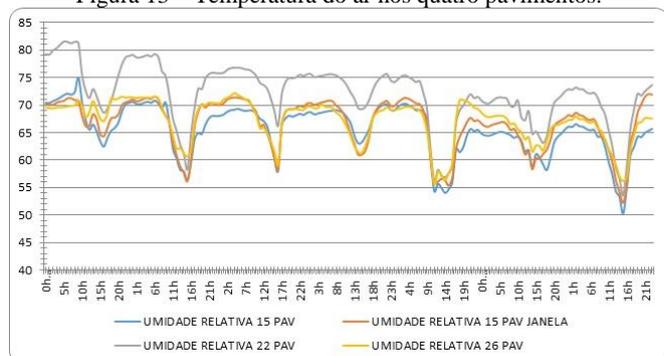


Figura 14 – Umidade relativa nos quatro pavimentos.

É interessante notar que, mesmo com os ganhos internos das atividades de escritório, as temperaturas internas não foram superiores às temperaturas externas (ver figura 4 e 13), enquanto a umidade relativa permaneceu em níveis confortáveis, provando ser bom o desempenho do edifício. Foi observado que os ocupantes do 22º pavimento, com as suas estações de trabalho próximas às janelas, preferem deixá-las abertas durante todo o período de ocupação. Da análise dos dados, observou-se uma significativa queda na temperatura durante o final de semana, o que indica que alguma janela foi deixada aberta durante o período.

Além disso, como consequência da ventilação natural, os valores da temperatura de globo (fig. 15) são muito parecidos com os de temperatura do ar. Isso pode ser comprovado a partir da

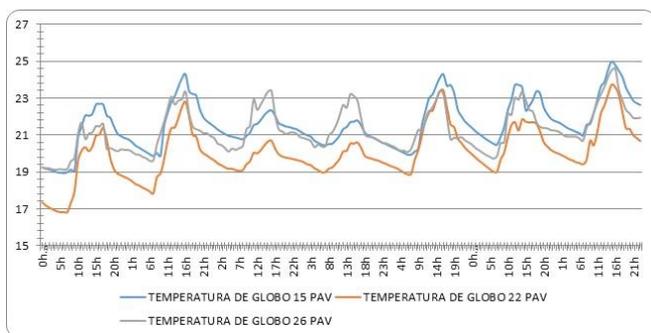


Figura 15 – Temperatura de Globo.

análise do gráfico de temperatura, o qual demonstra que, em todos os pavimentos em que a janela permaneceu aberta fornecendo ventilação natural suficiente, foi mantida a temperatura interna ao redor dos 24°C em condição de conforto, mesmo sem proteção solar adequada.

4.2. Dados do Termovisor no 22º pavimento

As medições com o equipamento Termovisor indicaram que não estando sob o efeito do sol, as temperaturas da superfície da janela mostraram-se abaixo dos valores da temperatura do ar, conseqüentemente, não afetando negativamente o conforto térmico. A temperatura da superfície do forro indica que, embora a estrutura de concreto da laje não esteja exposta aos espaços internos, um certo grau de sua inércia térmica foi mantido. Em outras palavras, o forro adiciona uma fina camada de isolamento.

Tabela 2 - Comparação dados obtidos com a medição através do hobo e do termovisor

Horário	Temp. ar hobo	Temp. vidro Termovisor	Temp. forro Termovisor
13h	19.3°C	18.2°C	17.3°C
14h	19.8°C	18.1°C	17.2°C
15h	20.4°C	18.5°C	17.9°C
16h	19.8°C	17.9°C	17.8°C

4.3. Desempenho da Iluminação Natural no 22º pavimento

A medição de iluminação natural foi, no dia 02 de maio de 2012, realizada durante a visita ao edifício no 22º pavimento, devido à concessão dos usuários. Tendo em vista a restrição na utilização da iluminação artificial durante o período de medição, o local e os horários ficaram restritos à aceitação dos usuários. Para a medição de iluminação natural foram utilizados quatro luxímetros, posicionados segundo mostra a figura 16. As medidas foram realizadas das 12h às 16h.

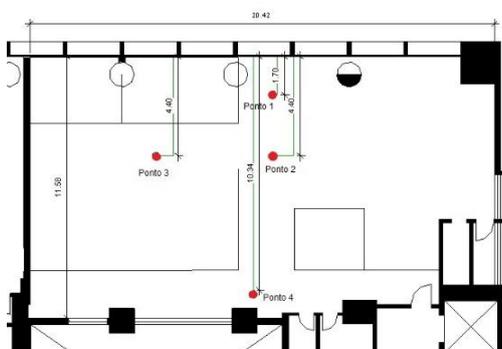


Figura 16 – Localização dos pontos onde foram realizadas as medições de iluminação natural no 22º pavimento.

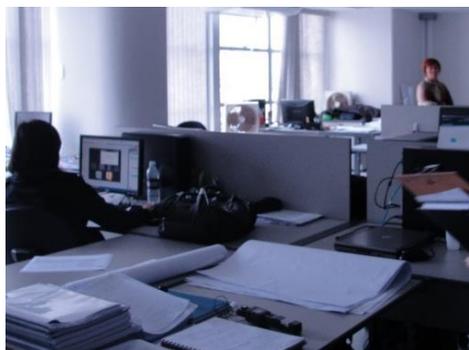
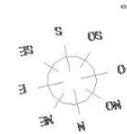


Figura 17 – Localização do luxímetro num dos postos de trabalho no 22º pavimento (Ponto 1).

No ponto 1, próximo à fachada (80% de área envidraçada), altos níveis de iluminância foram medidos entre 1400 lux a 670 lux (tabela 3). Entretanto, devido à presença de persianas internas, a quantidade de iluminação natural reduz drasticamente quando se distânciamos da fachada, alcançando níveis insuficientes para o uso de escritórios. Por outro lado, é preciso ressaltar que as divisórias não passam da altura de 1,2 m, permitindo o acesso da iluminação natural e da ventilação natural no pavimento.

Tabela 3– Medição de iluminação natural no 22º pavimento em 4 pontos distintos

Horário	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
12h	1400 lux	170 lux	-	-
13h	891 lux	218 lux	112 lux	43 lux
14h	791 lux	160 lux	91 lux	42 lux
15h	780 lux	138 lux	94 lux	33 lux
16h	670 lux	76 lux	48 lux	16 lux

As medidas iniciais de iluminação natural, de níveis de iluminância tomados simultaneamente com as variáveis térmicas, mostraram que as áreas perto das janelas podem chegar a mais de 1000 lux, isto é, podem ser uma fonte de ofuscamento se não forem devidamente controlados. Distanciando-se alguns metros

da janela, os dados mostram níveis satisfatórios de iluminação, perto de 400 lux, desde que as persianas internas não estejam fechadas. É importante ressaltar que a profundidade da planta afeta diretamente nos níveis de iluminação natural disponível, sendo assim fica claro que é preciso uma complementação de iluminação por um sistema artificial. Visando economizar energia, é importante que o sistema artificial de iluminação seja feito por fileiras paralelas à fachada e com acionamento individual, assim, somente as áreas que necessitem de iluminação serão acessas.

4.4. Considerações sobre a ocupação

A análise dos dados mostrou que o pavimento com maior ocupação, o 15º (171m² e 209 m²), obteve as maiores temperaturas internas registradas, enquanto o 22º pavimento (172 m²), com menor ocupação, apresentou as menores temperaturas, confirmando a relação entre a ocupação e as condições térmicas.

Observações realizadas durante o período de medição mostraram que a abertura e o fechamento das janelas são controlados diretamente pelo usuário mais próximo a elas. Este fato limita a abertura da janela somente a uma pessoa, por isso, se o usuário em questão não quiser abrir a janela, esta permanecerá fechada por todo o período de ocupação, o que pode comprometer as condições de conforto de todo o ambiente, principalmente no período mais quente do verão. Infelizmente, as janelas voltadas ao átrio central, que poderiam contribuir para uma ventilação cruzada, são mantidas fechadas.

A falta de proteção contra radiação direta também foi identificada como um dos impedimentos à ventilação natural. Durante as horas de insolação direta na fachada, na falta de proteção solar externa, os usuários utilizam as persianas internas para se proteger, o que acaba dificultando a passagem de ar. Como consequência, dois problemas ocorrem: a necessidade de iluminação natural e de ar condicionado para que os usuários consigam atingir a situação de conforto desejada. O problema de insolação direta nas estações de trabalho cria situações de superaquecimento e de ofuscamento, que poderiam ser resolvidas com o afastamento dessas estações de trabalho da janela e/ou a colocação de elementos de sombreamento na parte externa da fachada.

Outra questão problemática, observada na visita técnica, está relacionada com a eficiência energética do edifício, que é o fato de toda a iluminação artificial da área de trabalho ser acionada por um único interruptor. Um novo sistema de iluminação artificial é preciso, e essa troca poderia reduzir significativamente o consumo relacionado à iluminação artificial.

4.5. Estudos Analíticos: ORIENTAÇÃO e WWR



Figura 18- O impacto da área envidraçada na carga térmica de resfriamento

Para entender melhor o desempenho individual de cada orientação, foram divididos os ambientes em células com apenas uma fachada exposta. Com isso, foram testadas quatro orientações: Norte, Sul, Leste e Oeste. Com relação à área envidraçada, o objetivo foi testar o desempenho real de três WWRs (*Window Wall Ratio*): 50%, 70% e 90%.

Na figura 18, pode-se comparar o impacto da área envidraçada em cada orientação em relação à carga térmica de resfriamento anual (Kwh/m²ano). As fachadas Norte e Oeste são as que recebem maior insolação e, por isso, necessitam de maior carga térmica para resfriamento. No caso da fachada

Norte, a redução no WWR de 90% para 70% implica numa redução de 15% da carga térmica anual de resfriamento. Quando comparamos o WWR de 90% para 50%, essa diferença é ainda maior, chegando a 30% de redução. Em termos de desempenho, pode-se dizer que a fachada Norte, com um WWR de 50%, possui um desempenho equivalente à fachada Sul, com um WWR de 90%, à fachada leste, com um WWR de 70%, e à fachada Oeste, com um WWR de 50%. Com isso, mesmo sendo um primeiro estudo no qual só foi observada a porcentagem de área envidraçada, já se pode dizer que as fachadas não podem receber o mesmo tratamento.

4.6. Estudos Analíticos: SOMBREAMENTO

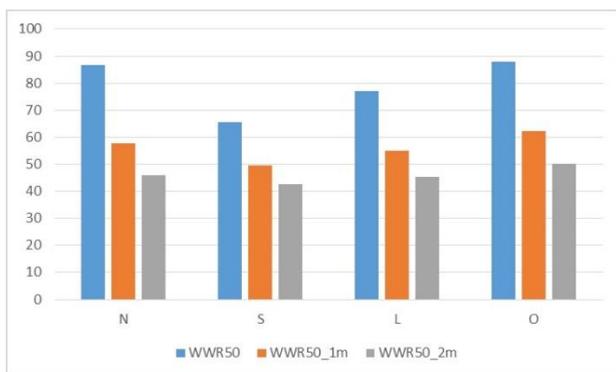


Figura 19- O impacto do sombreamento na redução da carga térmica (kWh/m².ano) de resfriamento num WWR de 50

A redução da carga térmica na fachada norte, ao se colocar um brise horizontal de 1m de profundidade, foi de 33, e de 47% com um brise de 2m. Já para a fachada Sul, essa redução fica em 24% e 35%, para a fachada Leste 28% e 41%, e, para a Oeste, 29% e 43%.

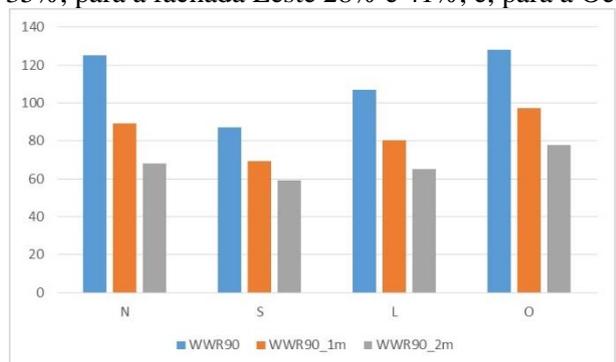


Figura 20 - O impacto do sombreamento na redução da carga térmica (kWh/m².ano) de resfriamento num WWR de 90.

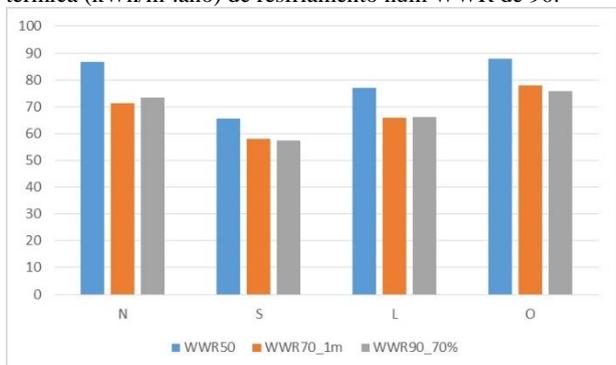


Figura 21- O impacto do sombreamento da radiação direta e difusa na redução da carga térmica (kWh/m².ano) de resfriamento num WWR de 50, 70 e 90.

que a utilização de grandes panos de vidro só são possíveis quando bem sombreados. Em fachadas como a Sul e a Oeste, a redução da carga térmica é maior ao se utilizar um WWR de 90% com 70% da insolação barrada do que ao seu usar um WWR de 70% com um brise de 1m. Já na fachada Sul, o desempenho dos dois WWRs são bem equivalentes.

4.7. Estudos Analíticos: MASSA TÉRMICA, VENTILAÇÃO E TEMPERATURA DE CONFORTO

Para testar a massa térmica e a ventilação noturna, foram rodadas simulações com o modelo de WWR 50% e, com os resultados, gerou-se a figura 21. Nele podemos observar que o fato de se deixar a laje exposta e permitir uma ventilação noturna das 21h até as 7h, com uma abertura de 10%, gera uma redução de 18% na carga térmica quando comparado ao mesmo modelo com sombreamento. Foi feita, ainda, uma outra simulação, abrindo-se 20% da janela no período noturno. No entanto, a diferença foi pequena, subindo para

Nos estudos de sombreamento, foram mantidas as quatro orientações e os três WWRs. Foram testados dois tamanhos de brise horizontal: de 1m e de 2m, sendo que, com relação ao sombreamento, foram testados três tipos externos ao vidro, que barravam, respectivamente, 50%, 70% e 90% da radiação solar incidente. No entanto, vale ressaltar que, nesse exercício, não foram testados as possíveis formas do brise e do sombreamento. Na figura 19, podemos observar a redução significativa da carga térmica tanto na fachada norte como na fachada oeste ao acrescentar um brise.

Devido a sua maior área exposta à radiação solar, essa redução observada num WWR de 50% é, percentualmente, menor em um WWR de 90%, como podemos observar na figura 20. A redução na carga térmica para resfriamento na fachada Norte foi de 29% ao se colocar o brise de 1m, e de 46% quanto ao brise de 2m. No caso da fachada Sul, a redução foi de 20% e 32%, em relação à fachada Leste, de 25% e 39% e, para a Oeste, 24% e 39%. Com isso, fica clara a importância da proteção solar das áreas envidraçadas, já que a maior redução é na adoção do brise, sendo que o tamanho e o formato deverão ser discutidos separadamente.

No entanto, pode-se observar com as simulações que, apesar da grande exposição de uma fachada com WWR de 90%, se bem sombreada, ela poderá alcançar um desempenho satisfatório num clima como o de São Paulo. Como pode ser observado na figura 21, a fachada Norte com um WWR de 70% e um brise de 1m possui uma redução de 17% na carga térmica de resfriamento quando comparada a uma fachada de WWR de 50% sem sombreamento. E o que é ainda mais interessante observar é que uma fachada de WWR de 90% com 70% da insolação barrada possui uma redução de 15% na carga térmica quando comparada a uma fachada de WWR de 50% sem sombreamento. Dessa forma, é importante ressaltar

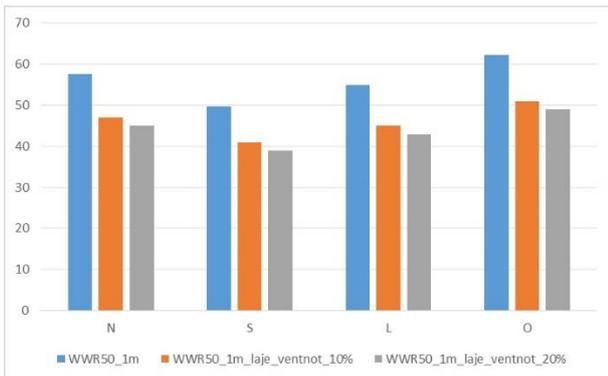


Figura 22 – O impacto do sombreamento e da massa exposta e ventilação noturna na redução da carga térmica (kWh/m².ano) de resfriamento num WWR de 50.

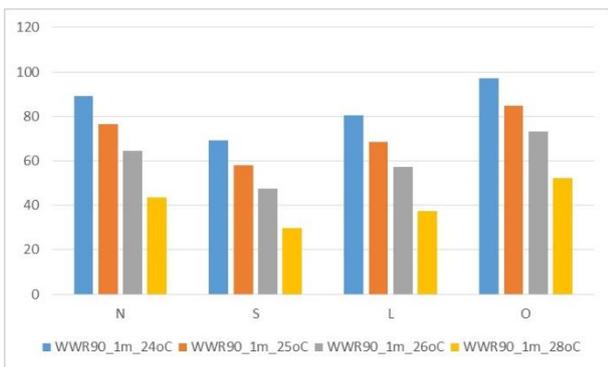


Figura 23 – O impacto do aumento na temperatura de setpoint do ar condicionado de 24°C para 25°C, 26°C e 28°C na redução da carga térmica (kWh/m².ano) de resfriamento num WWR de 90.

estão acostumadas ao resfriamento com uma temperatura muito inferior a essa. Nota-se, ainda, que, apesar de terem sido desenvolvidos para edifícios ventilados naturalmente, o uso dos limites de conforto gerados pelos modelos adaptativos em edifícios condicionados artificialmente está atrelado a economias relevantes de energia, além da constatação de que a dependência do condicionamento artificial pode ser questionada.

As simulações de ventilação natural foram realizadas para um WWR de 50%, com um brise de 1m, com as janelas abrindo 30% e 10% no período noturno. Na figura 24, podemos observar uma semana do verão, onde as temperaturas, por algumas horas, ultrapassaram os limites do conforto, indicando a necessidade de se ligar o ar-condicionado. No entanto, caso o sombreamento seja feito de maneira adequada, principalmente na fachada oeste, essas temperaturas serão mais amenas e, provavelmente, ficarão dentro das linhas de conforto.

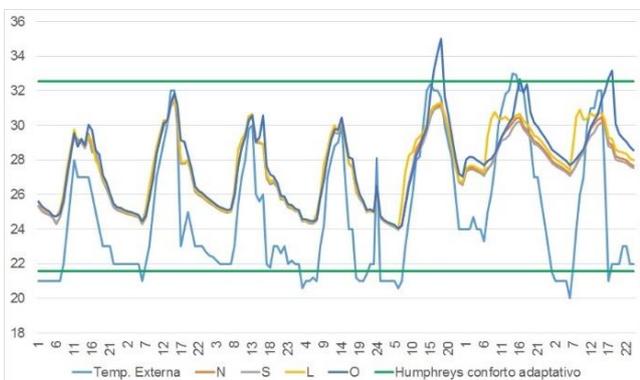


Figura 24 – Simulação térmica de uma semana típica de verão com janelas abrindo 30%. Fonte: Bentley Tas Simulator V8i versão 9.2.1

21% a redução na carga térmica. Assim, uma pequena mudança na configuração do pavimento e a abertura da janela num período não ocupado do edifício pode contribuir com a redução no consumo energético anual para o resfriamento, pois retira-se o calor acumulado durante o dia através da ventilação.

Quando falamos sobre conforto térmico e ar-condicionado, estamos focando, principalmente, na temperatura de setpoint do equipamento, pois é ela que vai determinar o tempo e a potência com a qual o mesmo irá trabalhar. Visando entender melhor a mudança no consumo de energia para o resfriamento, realizou-se uma simulação na qual foi alterada a temperatura de setpoint de 24oC para 25oC, 26oC e 28oC.

Na primeira alteração de temperatura, de 24oC para 25oC, pode-se observar uma redução de 14% na carga térmica para resfriamento na fachada Norte, 16% na Sul, 15% na Leste e 13% na Oeste. Aumentando-se a temperatura para 26oC, a redução chega a 27% na fachada Norte, 31% na Sul, 29% na Leste e 25% na Oeste. No entanto, essa redução é significativa quando a temperatura chega a 28oC, reduzindo em 43% a carga na fachada Norte, 30% na Sul, 37% na Leste e 52% na Oeste. Mas, vale ressaltar que essa temperatura de 28oC, mesmo sendo condizente com os limites apontados pelos modelos adaptativos de conforto térmico, necessita de uma aceitação cultural, tendo em vista que as pessoas já

estão acostumadas ao resfriamento com uma temperatura muito inferior a essa. Nota-se, ainda, que, apesar de terem sido desenvolvidos para edifícios ventilados naturalmente, o uso dos limites de conforto gerados pelos modelos adaptativos em edifícios condicionados artificialmente está atrelado a economias relevantes de energia, além da constatação de que a dependência do condicionamento artificial pode ser questionada.

As simulações de ventilação natural foram realizadas para um WWR de 50%, com um brise de 1m, com as janelas abrindo 30% e 10% no período noturno. Na figura 24, podemos observar uma semana do verão, onde as temperaturas, por algumas horas, ultrapassaram os limites do conforto, indicando a necessidade de se ligar o ar-condicionado. No entanto, caso o sombreamento seja feito de maneira adequada, principalmente na fachada oeste, essas temperaturas serão mais amenas e, provavelmente, ficarão dentro das linhas de conforto.

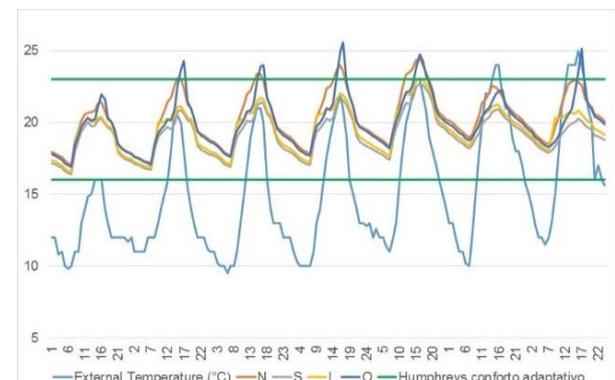


Figura 25 – Simulação térmica de uma semana típica de inverno com janelas abrindo 10%. Fonte: Bentley Tas V8i versão 9.2.1

Já na figura 25, podemos observar uma semana típica de inverno, onde as temperaturas não variaram tanto como a externa, tendo sido a ventilação natural reduzida a 10% da abertura nas janelas, dada a geração de calor interno e a inércia térmica do edifício.

5. CONCLUSÕES

Ao contrário do que vem sendo construído na cidade de São Paulo nas últimas décadas, as medições no edifício CBI-Esplanada e as simulações de desempenho térmico demonstraram que edifícios de escritórios em São Paulo podem ser ocupados sem a necessidade dos sistemas de condicionamento do ar ao longo de todo o ano, desde que haja um controle efetivo da radiação solar em todas as orientações, disponibilidade de movimento de ar e a oportunidade de adaptação aos usuários através do controle da abertura das janelas e de dispositivos como ventiladores de mesa ou teto. No inverno, as cargas térmicas de ocupação e o controle das aberturas permitem que os ambientes de trabalho não dependam de isolamento térmico ou de aquecimento para se alcançar o conforto.

Nos períodos mais quentes do ano, é importante ressaltar que os ganhos de calor provenientes de ocupação são um desafio maior ao alcance de condições de conforto térmico do que o clima propriamente dito, uma vez que, mesmo com a inércia térmica e as altas taxas de ventilação, ainda foram encontradas horas remanescentes de superaquecimento. No entanto, esta quantidade de horas de superaquecimento não justifica a adoção de ar-condicionado, já que a disponibilidade de oportunidades de adaptação ao ambiente térmico é suficiente para que se melhore o conforto dos usuários nas horas de mais calor.

As simulações de desempenho térmico, que consideraram janelas de vidro simples, também demonstraram que edifícios de escritórios em São Paulo não necessitam de vidro duplo para o conforto térmico de seus usuários, em nenhum momento do ano. E, com relação aos testes com massa térmica exposta, ou seja, retirando-se o forro, foi verificado que o teto é a parte que mais contribui com a inércia térmica, já que o ar quente tende a subir dentro do ambiente.

Ressalte-se, ainda, que fatores específicos do contexto urbano, como a qualidade do ar e o ruído, podem ter um impacto significativo no projeto de janelas e na viabilidade da ventilação natural. Fatores culturais e de adaptação dos usuários são elementos chave para o funcionamento adequado das estratégias passivas de ventilação e de iluminação natural. Caso não seja permitida uma adaptação dos mesmos para que possam atingir níveis satisfatórios de conforto, seja através de ventiladores de mesa ou de luminárias individuais, nenhuma dessas estratégias poderá ser viabilizada. Segundo entrevista com Santos (2012), os usuários se sentem muito satisfeitos com o controle das condições de temperatura e ventilação do seu ambiente de trabalho, demonstrando que o controle da abertura e fechamento das janelas e persianas é importante para a adaptação do usuário ao seu ambiente de trabalho.

Com isso, fica claro que os resultados das medições e das simulações se complementam e não tem o objetivo de validação. Enquanto nas medições ficou claro o papel do usuário em adaptar o seu meio ambiente para atingir o conforto através da ventilação e iluminação natural, as simulações por sua vez, discutiram o papel da área envidraçada, o seu dimensionamento e a importância do sombreamento em áreas de vidro muito extensas e voltadas à determinadas orientações, mostrando que a fachada Sul e Leste podem ter, respectivamente, 90% e 70% de área envidraçada desde que sombreadas adequadamente. Ampliando-se assim, a discussão do diferenciamento das fachadas e o uso do vidro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013. **Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior.**
- FUJIOKA, P. **O Edifício Itália e a arquitetura dos edifícios de escritórios em São Paulo.** Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, 1996.
- GONÇALVES, Joana Carla Soares; UMAKOSHI, Erica Mitie. **The Environmental Performance of Tall Buildings.** London: Earthscan, 2010.
- IAG-USP. <http://www.estacao.iag.usp.br/>, 2012.
- LAMBERTS et. al (2010). **Towards a Brazilian standard for naturally ventilated buildings: guidelines for thermal and air movement acceptability.** In Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort Cumberland Lodge, Windsor, UK, 9-11 April. Network for Comfort and Energy Use in Buildings (<http://nceub.org.uk>). London, 2010.
- SANTOS, Luciana. Entrevista com a Engenheira Ambiental como parte da pesquisa para a elaboração da tese. São Paulo, maio de 2012.
- UMAKOSHI, Erica Mitie. Avaliação de desempenho ambiental e arquitetura paramétrica generativa para o projeto do edifício alto. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, 2014.
- XAVIER, A.; LEMOS, C.; CORONA, E. **Arquitetura Moderna Paulistana.** São Paulo: Pini, 1983.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.