O USO DA MESA D´ÁGUA: VENTILAÇÃO NATURAL E O DESAFIO DE REQUALIFICAR AMBIENTES DE ESCRITÓRIOS

Lucas Lauton de Lima (1); Alessandra R. Prata Shimomura (2)

(1) Arquiteto e Urbanista, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, (lucas.lauton.lima@alumni.usp.br).

(2) Professora Dra., arprata@usp.br, Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LABAUT), Rua do Lago 876, São Paulo – SP, 05508-080, Tel: (11) 3091 4538

RESUMO

Estudos de ventilação natural são importantes para proporcionar conforto térmico, qualidade do ar e salubridade do ambiente ocupado. Assim, é importante compreender a dinâmica da movimentação do ar nos espaços internos e identificar o impacto que as aberturas, dispositivos de fachada e barreiras internas têm no fluxo de ar e, consequentemente, no conforto dos ocupantes. As estratégias de requalificação de edifícios para serem efetivas e promoverem melhores condições globais de conforto ambiental devem considerar as diferentes variáveis ambientais de forma combinada, observando os efeitos gerados sobre o desempenho térmico, lumínico, acústico e etc. Este artigo, entretanto, se restringe à análise dos impactos que os dispositivos de fachada exercem sobre o fluxo de ar no ambiente interno, com identificação e caracterização de tais fenômenos, para que uma vez que a previsão de dispositivos de fachada se faça presente em um projeto de requalificação, os efeito sobre a ventilação natural sejam melhor compreendidos. Diferentes métodos podem avaliar os efeitos da ventilação natural na escala urbana e para a edificação. O estudo descrito neste artigo é baseado em testes de ventilação natural em mesa d´água com modelo físico representativo do edifício da Administração Central, da USP - Universidade de São Paulo, na cidade de São Paulo/Brasil. Foram realizados 19 testes e, com base nos resultados, foi possível identificar os elementos de sombreamento nas fachadas que influenciaram na direção e velocidade dos fluxos de vento nos espaços internos.

Palavras-chaves: Mesa d´água, modelo físico, ventilação natural.

ABSTRACT

Natural ventilation studies are important to provide thermal comfort, air quality and healthiness of the occupied environment. Thus, it is important to understand the dynamics of air movement in internal spaces and to become aware of the impact that openings, façade devices and internal barriers have on the air flow and, consequently, on the occupants' comfort. Building requalification strategies to be effective and promote better overall conditions of environmental comfort must consider the different environmental variables in a combined way, observing the effects on the thermal, luminous, acoustic performance, etc. This article, however, is restricted to the analysis of the impacts caused by facade devices on the air flow in the internal environment, with the identification and characterization of such phenomena, so that once the prediction of facade devices plays a part in the requalification project, the effects on the natural ventilation are better understood. Different methods can evaluate the effects of natural ventilation on the urban scale to the building. The study described in this article is based on natural ventilation tests in a water-table with the representative physical model of an office building in the city of São Paulo/Brazil (USP – São Paulo University/Central Administration building). Nineteen tests were carried out and, based on the results, it was possible to identify the shading elements on the façades that may have an influence on the direction and speed of wind flows within the spaces.

Key words: Water-table, physical models, natural ventilation.

1. INTRODUÇÃO

As ferramentas de avaliação de desempenho ambiental são primordiais no processo de projeto e ganham cada vez mais importância na produção arquitetônica, pois elas criam a possibilidade de se premeditar cenários e ter conhecimento das condições de conforto e eficiência energética antes que o projeto seja executado.

Alterações em fase de projeto são muito mais fáceis, rápidas, baratas e eficientes de serem realizadas se comparadas às readequações de um projeto construído, onde além do alto custo de obra, há uma série de limitações em termos de arquitetura que muitas vezes impossibilitam uma readequação de grande impacto na qualidade ambiental.

> *"Quanto aos processos de projeto, procedimentos analíticos e ferramentas de avaliação tiveram seu papel de correção e aperfeiçoamento do desempenho ampliado, tornando-se recursos quase indispensáveis para a criação de soluções arquitetônicas e tecnológicas inovadoras. Por um lado, equivoca-se quem espera das simulações computacionais o meio para o encontro das soluções ótimas do ponto de vista do desempenho ambiental e energético da arquitetura."* (GONÇALVES, et al., 2015).

Há inúmeros métodos de avaliação de desempenho ambiental que tratam das diferentes condicionantes de qualidade ambiental como o conforto térmico, lumínico, acústico e etc. As ferramentas de avaliação podem ter como base ensaios com modelos físicos ou cálculos numéricos, até simulações computacionais com alto grau de complexidade. A escolha da ferramenta depende de uma série de fatores: se são análises qualitativas ou quantitativas; do grau de precisão para os resultados esperados; o tempo disponível para realização da avaliação; custo da ferramenta e etc.

Existem diferentes métodos para avaliar os efeitos da ventilação natural em ambientes urbanos e edifícios. Estes podem ser por meio de modelos digitais, *softwares* de simulação de dinâmica de fluidos (CFD); ou, por modelos físicos testados em túnel de vento ou mesa d´água.

O teste com a utilização da mesa d´água é um método de análise qualitativa da ventilação natural que se mostra bastante eficiente em termos de custo e facilidade de execução, quando comparado a simulações de CFD e testes em túnel de vento (LIMA, 2019). Na dinâmica dos fluidos, os efeitos visíveis do movimento de gases e líquidos são bastante semelhantes. Desta forma, os fenômenos observados nos testes com a mesa d´água, em que há a intersecção da camada d'água com o modelo físico gerando vórtices, recirculação etc; pode ser uma representação análoga ao efeito da ação dos ventos sobre os edifícios (ROSSI et al, 2019).

Na mesa d´água, ao contrário do túnel de vento, são realizadas análises exclusivamente bidimensionais e o detergente para produção de espuma branca é adotado como indicador, o que gera contraste com o fundo da mesa (na cor escura) facilitando a visualização dos efeitos.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar uma forma alternativa de análise qualitativa dos efeitos da ventilação natural em ambientes internos, por meio de ensaios em mesa d'água, fazendo uso de um modelo físico versátil para composição de diferentes cenários propositivos para um ambiente de escritório. Desta forma, foi possível compreender os efeitos sobre a ventilação natural que um dado dispositivo de fachada exerce quando sua presença se faz necessária para remediar alguma condição de desconforto.

3. MÉTODO

O ensaio em mesa d'água para visualização dos efeitos da ventilação natural consiste na utilização de um modelo físico em escala reduzida, representando uma seção em corte ou em planta contendo as aberturas (portas, janelas etc.) e os obstáculos (dispositivos de fachada, caixilhos, mobiliário etc.) a ser alocado em uma mesa com fluxo contínuo e uniforme de água, com velocidade controlada e espuma branca como indicador a fim de tornar o fluxo de água visível. Estudos sobre a eficiência de sombreamento dos dispositivos de fachada não fazem parte do escopo deste artigo. O enfoque é dado à identificação dos efeitos gerados pelos obstáculos sobre a ventilação natural nos ambientes internos.

3.1. Objeto de Estudo - local

Para o este estudo foi construído um modelo físico representando um ambiente de escritórios no edifício da Administração Central da USP, localizado no campus Cidade Universitária Armando Sales de

Oliveira (CUASO) São Paulo -SP. O Edifício da Administração Central da Universidade de São Paulo está localizado na Rua do Anfiteatro, na Cidade Universitária Armando Sales de Oliveira (CUASO). O edifício fica ao lado da praça do relógio, entre a Biblioteca Brasiliana e o antigo Museu de Arte Contemporânea da Universidade de São Paulo (MAC USP).

O Edifício é constituído por um térreo que além de ambientes de escritório, abriga também estúdios de gravação, salas de conferência, depósito de acervos e etc. Acima do embasamento, sobem as torres L e K do edifício, nas quais se instalam os escritórios da administração institucional como os da editora da Universidade de São Paulo (EDUSP), Sistema Integrado de Bibliotecas (SIBi USP), Superintendência dos Espaços Físicos da USP (SEF), etc.

A Figura 1 mostra a inserção do edifício no campus CUASO e a Figura 2 a planta baixa da torre K, onde se localiza o ambiente de escritório adotado como estudo de caso para os ensaios em mesa d'água.



Figura 1 – Inserção do edifício da administração central da USP.

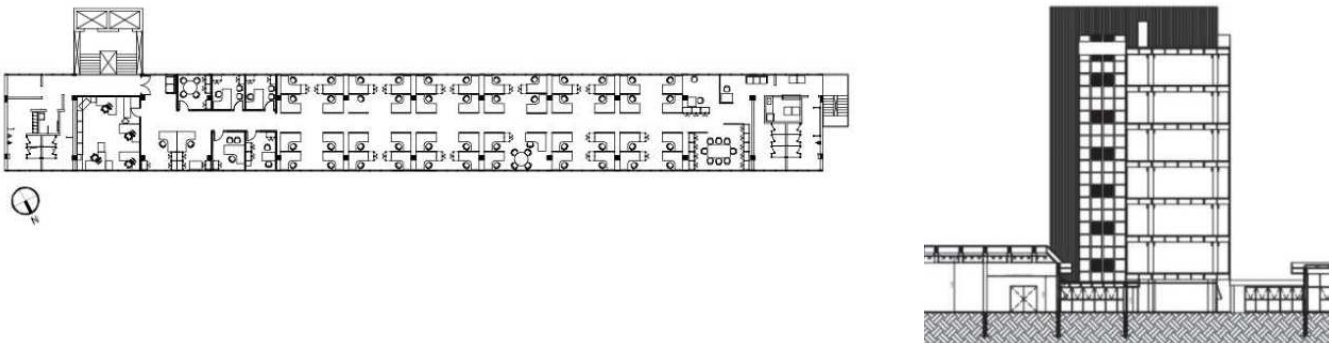


Figura 2 – Planta e corte transversal da torre K do Edifício da Administração Central da USP.

O espaço abriga o escritório da Superintendência dos Espaços Físicos (SEF) da USP, que dispõe os postos de trabalho em uma planta livre com poucas obstruções altas (apenas os pilares, armários ou divisórias). A planta é estreita, favorecendo a ventilação cruzada e os caixilhos têm abertura do tipo maxim-ar divididas em duas parcelas, uma em altura média e outra elevada.

A Figura 3 apresenta a foto do ambiente interno estudado, ilustrando as divisórias altas e o corredor central. Já a Figura 4 ilustra a forma de abertura das janelas (igual nas duas fachadas). Tais elementos arquitetônicos foram levados em consideração para a confecção do modelo físico para ensaio.



Figura 3 – Espaço de escritório adotado para a confecção do modelo físico para ensaio (LIMA, 2019).



Figura 4 – Fachada do edifício da Administração Central da USP (LIMA, 2019).

3.2. Modelo físico – construção

A contrução do modelo físico precisou ser algo versátil e que se adaptava às várias configurações dos diversos cenários propostos. Dado que o modelo físico fica parcialmente imerso na água durante os ensaios, o material deve ser impermeável e, por esse motivo, adotou-se placas de acrílico cortadas à laser para a confecção das partes do modelo.

Com a finalidade de viabilizar a visualização dos efeitos no interior do modelo, foi proposta a utilização de acrílico transparente para a base na qual foram fixados os demais elementos (para representar paredes, janelas etc.). Estes, foram confeccionados com acrílico na cor preta para contrastar da espuma branca. Essas peças devem ter uma altura de pelo menos 3cm para permitir a livre passagem do fluxo de água no interior do modelo físico.

Para o ensaio em mesa d'água pode ser utilizados modelos físicos que representem tanto plantas quanto cortes. Embora a visualização dos fenômenos seja bidimensional, ao realizar ensaio é possível identificar tanto os deslocamentos verticais quando horizontais no fluxo da lâmina d'água.

Visto que a planta do edifício da Administração central da USP é longa e estreita, optou-se em considerar apenas um trecho da planta, de modo a representar duas das fachadas que possuem as janelas que promovem a ventilação cruzada no ambiente. Para o corte, considerou-se o corte transversal, no qual consta as mesmas janelas consideradas no trecho da planta e representa os principais elementos que podem gerar alguma perturbação no fluxo de vento (vigas e divisórias altas, por exemplo) (Figura 5).

Foi confeccionada uma base para a planta e outra para o corte; bem como foram confeccionadas bases para peças complementares para configurar os diferentes cenários a serem ensaiados. Para a base do modelo físico em planta, foram confeccionadas as seguintes peças complementares: 1. brises verticais de aleta longa; 2. brises verticais de aleta curta; 3. brises verticais de aletas curtas com angulação; 4. sala privativa dentro do ambiente e outras peças auxiliares para conduzir os ensaios, por exemplo placas para fechar as aberturas (Figura 6).

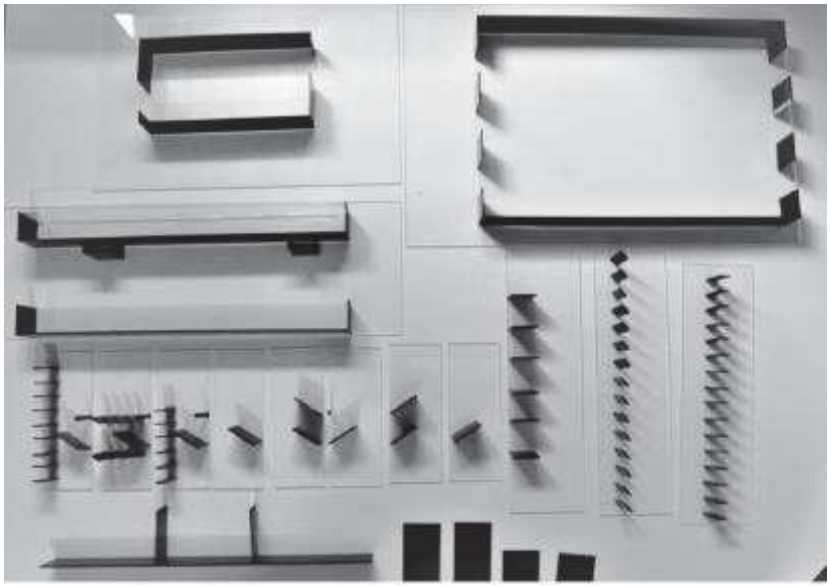


Figura 5: Peças que constituem o modelo físico para ensaio (LIMA, 2019).

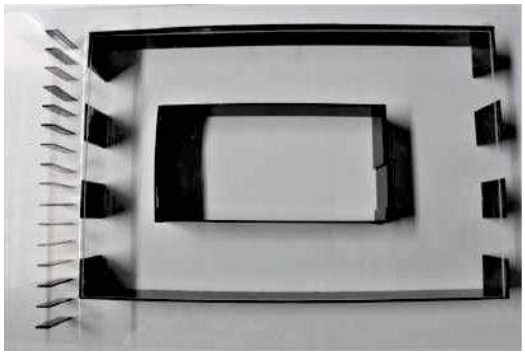


Figura 6: Exemplo de composição de um modelo físico em planta para ensaio (LIMA, 2019).

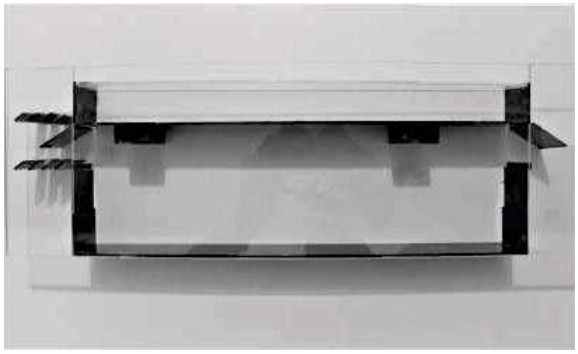


Figura 7: Exemplo de composição de um modelo físico em corte para ensaio (LIMA, 2019).

Para a base do modelo físico em corte; foram confeccionadas as seguintes peças complementares: 1. janelas maxim-ar que caracterizam a condição atual do edifício; 2. brises horizontais em toda extensão da fachada; 3. brises horizontais considerando apenas o trecho de sombreamento efetivo da janela;4. brises horizontais longos decompostos em aletas menores; 5. divisórias altas dentro do ambiente e outras peças auxiliares para conduzir os ensaios, por exemplo placas para fechar as aberturas.

3.3. A mesa d'água e o preparo para a realização do ensaio

A mesa d'água para estudos de ventilação natural que foi utilizada neste estudo faz parte da infraestrutura disponível para pesquisas acadêmicas no Laboratório de Conforto Ambiental (LCA) do Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos (IAU-USP) (Figura 8). A mesa d'água constitui um sistema formado por dois tanques de água com capacidade de 92,5L (0,74m x 0,25m x 0,5m) cada, conectados por uma bomba 0,75 cv e 60 Hz e um inversor de frequência responsável por controlar a velocidade e a frequência do fluxo de água.

A área de ensaio apresenta 1,10m de comprimento e 0,74m de largura. Antes de realizar os ensaios foi elevada a frequência do sistema elétrico a 50 Hz a fim de garantir o turbilhonamento necessário para a formação de espuma. Após o turbilhonamento, a frequência é ajustada para 20Hz, que é uma frequência ideal para a visualização do fluxo laminar (ROSSI, et al., 2019).



Figura 8: mesa d'água do laboratório de Conforto Ambiental (LCA) do instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos (IAU-USP). (LIMA, 2019).

Adotou-se detergente como indicador para tornar os efeitos visíveis. O detergente é adicionado ao tanque de água para gerar espuma branca por meio do turbilhonamento. Assim que a quantidade de espuma produz uma fina camada, a frequência da bomba é reduzida para então iniciar os ensaios. A parte inferior do vidro que constitui a base da mesa é revestida com material na cor preta, com a finalidade de permitir que a espuma branca contraste com o fundo e facilite o registro fotográfico dos fenômenos.

3.4. Condução e registros dos ensaios em mesa d'água

Após a formação necessária de espuma e ajuste da frequência e velocidade do fluxo de água, o modelo físico em acrílico pode ser posicionado no centro da mesa d´água. É necessário aguardar alguns segundos para que a água percorra pelo interior do modelo e o fluxo se estabilize para assim iniciar os registros fotográficos.

Com uma câmera digital posicional acima da mesa d'água, o mais perpendicular possível, foram capturados vídeos de pequena duração para posterior tratamento das imagens (Figura 9)

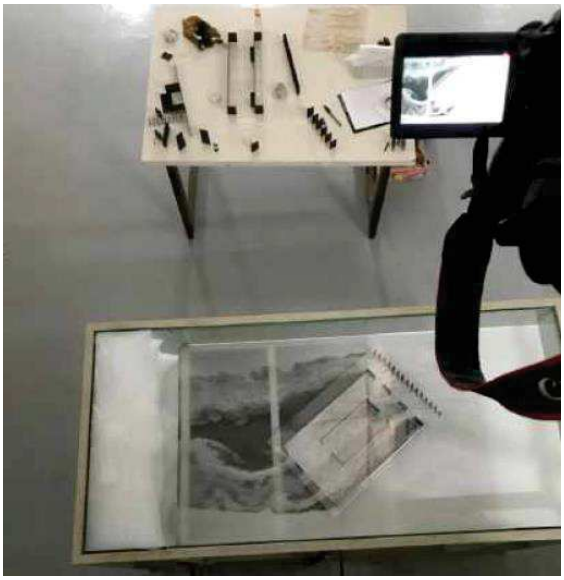


Figura 9: Registro dos resultados por meio de vídeos e imagens. (LIMA, 2019)

Após os registros fotográficos de um cenário, é necessário retirar o modelo da mesa e gerar um novo turbilhonamento para formação de espuma para garantir que o próximo cenário a ser ensaiado contará com espuma suficiente para se ter o contraste necessário para um novo registro fotográfico.

Durante o ensaio é possível movimentar peças do modelo para verificar o efeito imediato gerado a partir de tais alterações e dentro de poucos segundos o fluxo de água volta a se estabilizar.

4. RESULTADOS

Os resultados foram divididos em dois grupos de análise, de acordo com o modelo físico base utilizado para conduzir o ensaio: 1) Modelo físico representativo de um trecho da planta do edifício estudado; e, 2) Modelo físico representativo de um corte transversal do edifício estudado.

4.1. Modelo físico representativo de um trecho da planta do edifício estudado

O ensaio foi conduzido utilizando o modelo físico representativo da planta do edifício. As peças complementares que geraram os efeitos dos diferentes cenários constituíram 13 resultados, divididos em 4 grupos: 1. Efeitos da presença de brise vertical; 2. Efeito da inclinação e distância das aletas à fachada; 3. Efeito das aberturas em uma sala no centro da planta; e, 4. Efeitos da direção do vento.

Nos ensaios realizados com o modelo físico representativo de um trecho da planta, foi possível identificar que fluxos de vento mais linearizados ocorrem com a ausência de dispositivos de fachada e obstruções internas, demonstrando assim a baixa perda de velocidade (item 1A – Tabela 1). Ao adicionar a obstrução interna (sala privativa no centro da planta) ocorre um acentuado deslocamento horizontal no fluxo de vento e cria-se uma sombra de vento na parte oposta à obstrução (item 3G – Tabela 1). Já a adição de dispositivos de fachada, gera um fluxo de vento mais sinuoso o que caracteriza a redução da velocidade do vento no interior do ambiente analisado (itens 1B, 2C e 2D – Tabela 1). Dispositivos de sombreamento com aletas em posição não perpendicular à fachada, tais como os brises verticais angulados, mudam a direção do vento (deslocamento horizontal) no interior do ambiente analisado (itens 2E e 2F – Tabela 1).

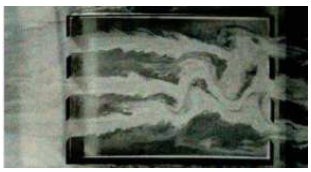
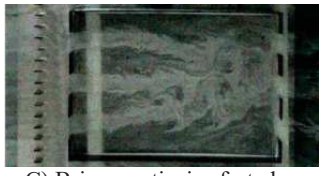
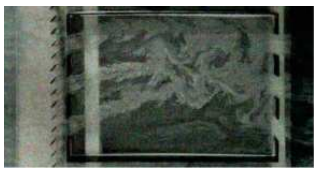
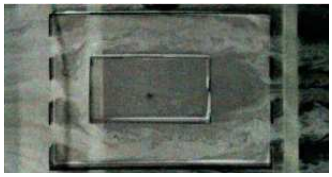
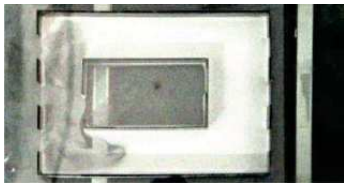
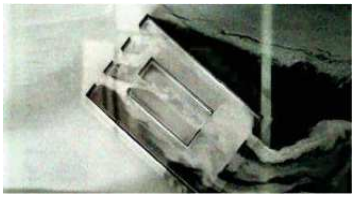
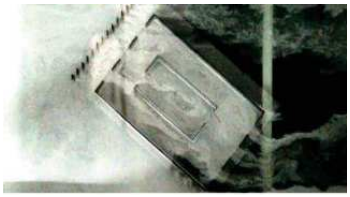
1. Efeitos da presença de brise vertical (aletas longas) - planta	 A) Sem dispositivos de sombreamento de fachada	 B) Brises verticais longos juntos à fachada
2. Efeito da inclinação e distância das aletas à fachada - planta	 C) Brises verticais afastados	 D) Brises verticais próximos
	 E) Brises verticais afastados e com angulação	 F) Brises verticais próximos e com angulação
3. Efeito das aberturas em uma sala no centro da planta	 G) Sala enclausurada no centro da planta	 H) Sala no centro da planta com aberuras em lados opostos
	 I) Sala no centro da planta com uma abertura	 J) Sala no centro da planta com uma abertura e apenas uma abertura na fachada oposta para saída de vento
	 K) Apenas um lado da planta com janelas abertas	
4. Efeito da direção do vento - planta	 L) Direção do vento = 45°	 M) Direção do vento = 45° e brises verticais com angulação

Tabela 1 – Resultados dos ensaios realizados em planta (LIMA, 2019)

A existência de aberturas em lados opostos da sala privativa posicionada no centro da planta permite a ventilação cruzada e renovação do ar no interior da sala (item 3H – Tabela 1), quando a abertura de saída do fluxo é fechada cria-se uma pressão no interior da sala que dificulta a renovação de ar (itens 3I e 3J – Tabela 1). O mesmo fenômeno se observa quando se fecha todas as janelas onde ocorreria a saída de ar do ambiente, gerando recirculação de ar apenas no trecho da planta próximo às aberturas de entrada de ar (item 3K – Tabela 1).

Ventos que incidem à 45º na fachada não mudam de direção ao percorrer dentro do ambiente. Os deslocamentos horizontais provocados pelas obstruções internas são semelhantes às observadas nos cenários onde a incidência de vento é perpendicular à fachada. Porém ao analisar o comportamento do fluxo em condições em que há aberturas desalinhadas na sala privativa no centro da planta, ventos que incidem à 45º permitem um fluxo com maior velocidade, dado o fluxo mais linearizado observado no ensaio (item 4L – Tabela 1). A presença de dispositivos de fachada no cenário de incidência de vento à 45º na fachada também reduziu a velocidade no fluxo, assim como nos cenários onde o vento incide perpendicularmente na fachada (item 4M – Tabela 1).

4.2. Modelo físico representativo de um corte transversal do edifício estudado

Os ensaios com o modelo físico representativo em corte foram conduzidos da mesma forma que o modelo físico em planta. Enquanto em planta observa-se os deslocamentos horizontais dos fluxos de vento, em corte observa-se os deslocamentos verticais. A partir dos ensaios conduzidos em corte, foram obtidos 7 resultados. Estes foram divididos em 2 grupos: 1. Condição existente; e, 2. Fachada com dispositivo de sombreamento.

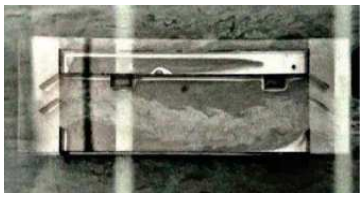
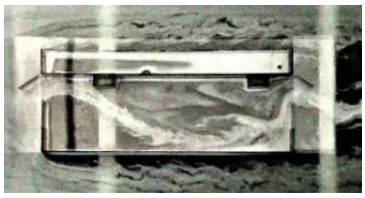
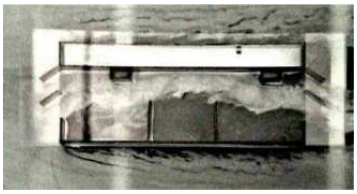
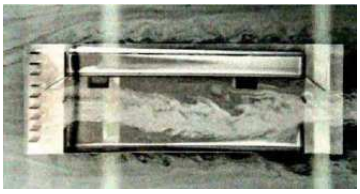
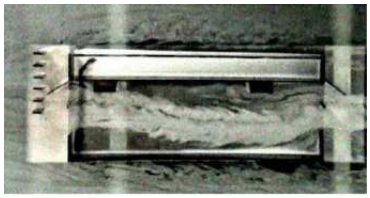
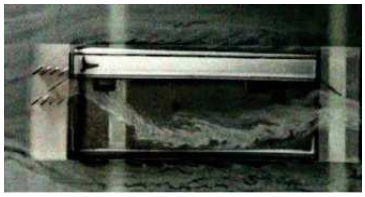
1. Condição existente - corte	 A) Condiçao Existente: Janelas abertas	 B) Condicao Existente: Parcela inferior da janela fechada
	 C) Condicao Existente: Divisorias altas no centro do ambiente	
2. Fachada com dispositivo de sombreamento - corte	 D) Brises horizontais na fachada inteira	 E) Brises horizontaIs no trecho de sombreamento efetivo
	 F) Brise horizontal longo decomposto em aletas inclinadas	 G) Brise horizontal longo decomposto em aletas inclinadas + parcela inferior da janela fechada

Tabela 2 – Resultados dos ensaios realizados em corte (LIMA, 2019)

Na condição existente três cenários foram analisados. No primeiro cenário, todas as janelas estão abertas e nenhuma obstrução além dos elementos estruturais (vigas). Nesse cenário observou-se que se cria uma sombra de vento no trecho interno abaixo do peitoril da janela de entrada do fluxo de vento. Observou-se, também, que a primeira viga longitudinal que atinge o fluxo de vento produz um ruido de tal forma a criar uma sinuosidade no fluxo (item 1A – Tabela 2). Ao fechar a porção inferior das janelas, observa-se que o fluxo de vento ficou menos uniforme e a sinuosidade mais acentuada, assim como o aumento da área de sombra de vento (item 1B – Tabela 2). Já no terceiro ensaio, considerou-se todas as janelas abertas e o acréscimo de duas divisórias altas que compõem o corredor central, condição esta que constitui o *layout* atual do ambiente estudado. Nesse cenário observa-se que o fluxo de vento fica mais linear e restrito à porção

superior do ambiente. Desta forma observa-se o impacto que elementos verticais no ambiente exercem na eficiência da ventilação cruzada e, consequentemente, na renovação de ar nos postos de trabalho (item 1C – Tabela 2).

Ao acrescentar brises horizontais em toda a extensão da fachada que funciona como entrada de ar, observa-se que houve uma redução na velocidade do fluxo, identificada pelo aumento da sinuosidade e por trechos onde houve recirculação de ar nas bordas do fluxo contínuo (item 2D – Tabela 2). Quando o brise horizontal é instalado apenas no trecho efetivo (necessário para o sombreamento da abertura), reduz-se a perda de velocidade no fluxo e ocorre uma menor recirculação de ar (item 2E – Tabela 2).

Brises longos decompostos em aletas menores, permitem a passagem de ar entre as aletas, dado que ocorre naturalmente com um deslocamento vertical no fluxo de vento. Assim que ele incide na fachada, considerando este cenário em que todas as janelas estavam abertas, o fluxo de vento observado foi pouco sinuoso, mas com alta recirculação de ar (item 2F – Tabela 2). Ao fechar a parcela inferior da janela, observa-se que tal condição em que existem brises horizontais longos decompostos em aletas menores, os espaços entre as aletas foram primordiais para garantir a permeabilidade do fluxo de vento pela fachada. Por conta da obstrução exercida pela viga longitudinal no interior do ambiente, o fluxo sofreu grande desvio vertical (item 2G – Tabela 2).

4.3. Representação gráfica dos fenômenos em forma de diagrama

Como forma de tratamento dos resultados obtidos nos ensaios, foram feitas as representações gráficas dos fenômenos em diagramas, no qual é traçado o fluxo predominante de ar e se identifica os fenômenos gerados em cada um dos cenários conduzidos no ensaio. Tal representação foi possível de ser feita tanto nos ensaios com modelo físico em corte como em planta.

O resultado representado na Figura 10 equivale à representação do resultado do ensaio com modelo físico em corte, referente ao cenário existente do ambiente de escritório estudado. Neste exemplo é possível observar que é possível fazer uma leitura do fenômeno e representá-lo de forma mais legível, por exemplo usando uma linha continua para representar a trajetória do ar ao atravessar o ambiente e os respectivos ruídos gerados pelas obstruções internas. A escala humana inserida na imagem permite o senso de escala do espaço estudado, assim como a representação dos elementos estruturais e caixilhos permitem uma melhor leitura do fenômeno.

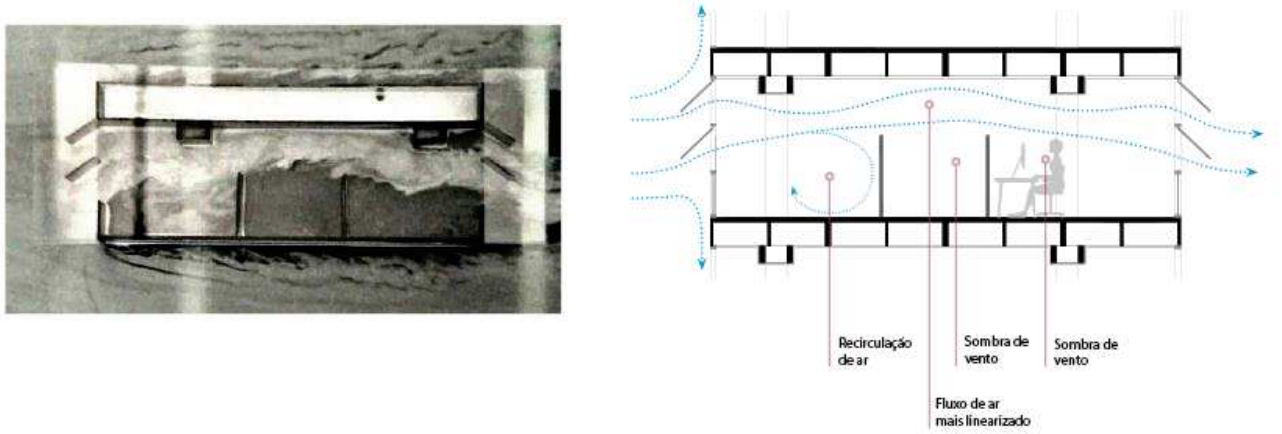


Figura 10: Exemplo de representação gráfica dos fênomenos observados nos ensaios em corte (LIMA, 2019)

A interpretação dos resultados obtidos no ensaio parte da análise da presença e ausência de espuma. Onde não houve movimentação de espuma no ensaio em mesa d'água, caracteriza-se como região de baixa renovação de ar, fenômeno identificado na representação gráfica como região de sombra de vento. Já a corrente de água que carrega consigo espuma, identificamos como fluxo, que pode ser sinuoso ou mais linearizado dependendo das perdas de velocidade que este pode sofrer.

No exemplo da Figura 11, o fenomeno representado é o de existencia de uma sala interna com aberturas em lados opostos. Nesse cenário é possivel observar como as recirculações de ar foram identificadas nas imagens capturadas no ensaio, assim como os desvios horizontais no fluxo visiveis pela sinuosidade da corrente de espuma no ensaio.

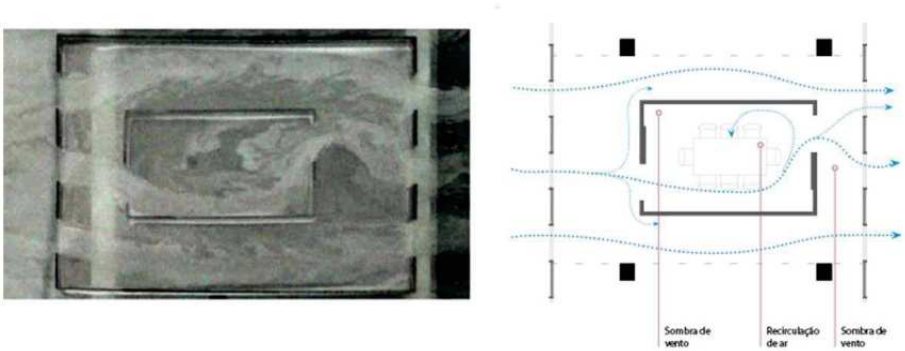


Figura 11: Exemplo de representação gráfica dos fenômenos observados nos ensaios em planta (LIMA, 2019)

Os fenômenos observados nos ensaios com modelo fisico em planta também foram representados graficamente por diagramas. O mobiliário inserido na imagem permite o senso de escala do espaço e as aberturas, paredes e elementos estruturais ficam melhor representados. Os traçados de fluxo e indicação dos fenômenos seguem a mesma linguagem adotada na representação dos ensaios em corte.

5. CONCLUSÕES

O ar e água são fluidos que exercem efeitos visuais semelhantes, pois são matérias que se comportam de forma aproximada à um fluido ideal (incompressível e sem viscosidade). Desta forma, os ensaios com modelo físico em mesa d'água permitem a análise qualitativa dos efeitos gerados pelos elementos arquitetônicos na dinâmica dos fluidos. Vale destacar que na mesa d'água são apresentados comportamentos fluidodinâmicos de forma bidimensional, porém a ventilação natural é um fenômeno estritamente tridimensional. Portanto para análises quantitativas, de maior complexidade ou que exijam maior precisão, existem ferramentas mais apropriadas como os ensaios em túnel de vento ou simulações CFD - *Computational Fluid Dynamics*.

Considerando o custo de implementação e treinamento necessário para os em túnel de vento, assim como a complexidade na configuração assertiva das simulações CFD, a mesa d'água por sua vez, tem um custo de implementação reduzido e é de fácil operação e manutenção. Desta forma, se mostra como uma alternativa que permite tornar o estudo da ventilação natural na arquitetura mais acessível.

Neste artigo foi verificado que estratégias de ventilação podem ser testadas utilizando a mesa d'água, desde estratégias simples a estratégias cumulativas que constituem cenários diversos. Em projetos de requalificação em que um dado dispositivo de fachada como o brise-soleil é identificado como estratégia eficaz na remediação de condições ambientais, seja qual for a justificativa para escolha do dispositivo, o impacto exercido sobre o fluxo de vento nos ambientes internos pode ser facilmente verificado através de ensaios com modelos físicos em mesa d'água. Constatou-se que uma vez que o modelo físico é produzido, a condução do ensaio é rápida e permite a realização de vários ensaios em série. Essas características da ferramenta demonstram sua aplicabilidade nas escolas de arquitetura, no ensino de conforto ambiental e eficiência energética, onde pode-se explorar diversas aplicações da ferramenta, como análise da ventilação na escala dos ambientes internos e na visualização dos efeitos em escala urbana (formação de cânions) em diferentes condições de implantação dos edifícios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CABRAL, Neyde A. Joppert: **A recuperação do CRUSP**. (2009)
FROTA, Anésia Barros: **Manual do conforto térmico** 5 ed. (2001)
GONÇALVES, Joana Carla Soares; BODE, Klaus**: Edifício Ambiental**. (2015)
LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** (2014)
LIMA, Lucas Lauton de. **Qualidade do Ambiente Interno em Edifícios de Escritórios: Desafios Para a Requalificação**, trabalho final de graduação (2019)
MARCONDES, Mônica Pereira: **Soluções projetuais de fachadas para edifícios de escritórios com ventilação natural em São Paulo**. (2010)
ROSSI, Michele Marta; VALE, Fernanda Itkes; SHIMOMURA, Alessandra R. Prata: **A Mesa D'água Como Ferramenta de Apoio Para a Caracterização de Um Modelo Genérico a Ser Ensaiado em Túneo de Vento.** Revista IPT v.2 n. 10. (2019)

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o técnico de laboratório Pedro Mattia e a arquiteta pesquisadora Michele Rossi do Laboratório de Conforto Ambiental (LCA) do instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos (IAU-USP) pelo auxílio prestado durante a condução do ensaio