

CONTRIBUIÇÃO DA MESA D'AGUA NA ANÁLISE DA GEOMETRIA DE SHEDS EXTRATORES E CAPTADORES DE AR PARA VENTILAÇÃO NATURAL¹

RIBEIRO, Pedro Vitor Sousa; BITTENCOURT, Leonardo Salazar

(1) UFAL, e-mail: pedrovsribeiro@gmail.com; (2) UFAL, e-mail: lsb54@hotmail.com

RESUMO

O uso de sheds para iluminação e ventilação natural tem sido visto em diversos projetos, mas ainda carece de estudos sobre as implicações da forma e posicionamento sobre sua eficiência. Softwares de simulação permitem tal análise, mas outras ferramentas, como a mesa d'água, permitem análises compatíveis com a realidade e de forma simplificada. Este artigo tem como objetivo analisar o comportamento de diferentes formas de sheds, o seu posicionamento quanto a incidência de vento e o dimensionamento para proteção solar. Foram confeccionados oito modelos em escala reduzida de cortes verticais para realização de ensaios com o equipamento da mesa d'água para estudar o fluxo de ar nos ambientes. Os resultados mostraram que o shed possui melhor desempenho quando posicionado como extrator de ar, com abertura contrária ao sentido do fluxo de ar, pois gera zonas de baixa pressão tais que o ar percorre o ambiente no nível do usuário na maioria dos casos. Na posição de captador o vento tende a permanecer próximo ao telhado, funcionando melhor como renovador do ar quente que se acumule nessa região.

Palavras-chave: Mesa d'água. Shed. Ventilação Natural.

ABSTRACT

The use of sheds for natural lighting and ventilation has been seen in so many projects, but others studies are needed to analyses the implications of shape and positioning of the element efficiency. Methodologies such as simulation software's, allow for appropriate analysis, but there are simple tools such as water table, allowing for analysis consistent with reality. This article aims to analyze the behavior of different sheds configuration as the form of the element, the relative position with respect to the wind incidence and the implications regarding solar protection. Eight scale models were made of vertical sections of the building, and the equipment used to analyses the airflow was the water table. The results showed that the shed has better performance when positioned as air extractor with opening contrary to the airflow direction, went generates low-pressure zones such that the air goes through the environment at the user level in most cases. The opposite position the wind tends to pass though near the roof, working better to renew the hot air that accumulates in this region.

Keywords: Water Table. Shed. Natural Ventilation.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de elementos arquitetônicos que busquem a integração entre

¹ Ribeiro, Pedro Vitor Sousa. BITTENCOURT, Leonardo Salazar. Contribuição da mesa d'água na análise da geometria de sheds extratores e captadores de ar para ventilação natural. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

meio ambiente e conforto ambiental do usuário tem se tornado um aspecto importante na definição de projetos em diversos âmbitos. Vários arquitetos vêm desenvolvendo projetos em que a utilização dos recursos naturais é uma de suas diretrizes, orientando as decisões tomadas para que se tenha um melhor aproveitamento dos elementos naturais na promoção de conforto ao usuário e na geração de energia para a edificação (EDWARDS, 2013).

Grande parte dos climas oferecem potencial para a utilização da ventilação natural dentro das edificações, em algum período do ano. Para tanto é importante que hajam referências de conforto térmico inseridas nas realidades regionais ao qual a edificação se insere, permitindo que os projetistas possam incorporá-las em seus trabalhos. (GONÇALVES et al, 2015).

A ventilação natural como estratégia para resfriamento passivo das edificações possui grande importância. Permite manter a qualidade do ar no ambiente, renovando-o, promove o conforto térmico dos ocupantes por acelerar os processos de evaporação do corpo humano e ainda consegue resfriar a massa construída do edifício (GIVONI, 1976).

Elementos associados à coberta, a exemplo do shed, funcionam como captadores de luz e ventilação natural pelo topo do ambiente. Tais elementos proporcionam melhora no fluxo e na intensidade de ar no ambiente, possuindo um grande potencial para edificações em que a estratégia bioclimática seja diretriz de projeto importante (BITTENCOURT, CANDIDO, BATISTA, 2003). Os desafios das tecnologias que buscam um melhor aproveitamento dos recursos naturais, quando incluem também a iluminação natural, é manter a qualidade na distribuição luminosa sem provocar efeitos de ofuscamento (LECHNER, 2001).

Um conjunto de projetos que se destaca pela utilização dos sheds como estratégia de ventilação e iluminação natural é a obra do arquiteto João Figueiras Lima, o Lelé. Para ele a principal motivação para a utilização de tais elementos em seus projetos perpassa a do conforto visual, pois busca promover a humanização dos espaços pelo condicionamento natural dos ambientes (LUKIANTCHUKI, CARAM, 2015).

Os sheds desenvolvidos por Lelé em seus projetos variam, inicialmente aparecem mais frequentemente os retos, pela dificuldade de execução de formatos mais curvilíneos, posteriormente a combinação de tamanhos e a adoção de perfis mais aerodinâmicos, a partir do uso de estruturas metálicas de suporte (LUKIANTCHUKI, CARAM, 2013).

Alguns fatores devem ser considerados durante a fase de implantação da edificação para que seja possível um melhor aproveitamento das componentes ambientais. Para a ventilação natural é importante que o edifício esteja posicionado de forma a incidir sobre suas aberturas e elementos de fachada o vento predominante na região (CORBELLA E YANNAS, 2003).

Ferramentas de análise simplificadas, como a mesa d'água, e simulação por

computador permitem que o projetista submeta seu projeto a situações semelhantes ao real, analisado as potencialidades e possibilidades de melhoria quanto a incorporação dos elementos naturais de luz e ventilação para promoção do conforto ambiental em seus projetos.

3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é analisar o comportamento de diferentes modelos de sheds e definir quais desses possuem melhor desempenho quanto à ventilação natural na edificação

São objetivos específicos:

- A influência do formato do shed sobre a captação e exaustão da ventilação natural;
- A influência do dimensionamento associado à proteção solar na captação e exaustão da ventilação natural;
- A influência do posicionamento das aberturas na captação e extração de ventilação natural na edificação;

4 METODOLOGIA

Para o estudo foi utilizado o equipamento da mesa d'água. Esse consiste em dois tanques de água interligados superiormente por uma placa horizontal e inferiormente por um sistema de bombeamento de tal forma que, quando ligada, o nível de água se eleva em um dos tanques até a cota do plano horizontal, transbordando pela placa horizontal até o outro tanque, formando uma lâmina d'água. A inserção de algum componente químico surfactante, com a função de indicador, gera bolhas no sistema, permitindo a visualização do fluxo.

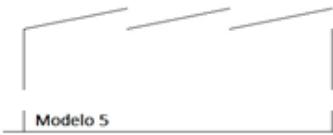
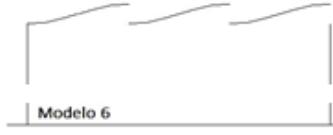
A mesa d'água possibilita, com a inserção de um modelo em escala, que se observe o fluxo de ar de forma simples e didática, tendo tanto função elucidativa quanto prática para análise da influência da ventilação em edificações (TOLEDO; PEREIRA, 2003). Uma das limitações do equipamento utilizado é a impossibilidade de análise em três dimensões do fluxo, permitindo que se analise por vez apenas corte ou planta baixa da edificação (TOLEDO; PEREIRA, 2003).

Alguns trabalhos onde foram estudados os sheds como extractores e captadores de ventilação natural não contemplaram a análise total das aberturas no nível do usuário e sua influência no conjunto geral. Estudos como os de Lukiantchuki et al (2015) ou Araújo (2011) posicionam a abertura no nível do usuário à barlavento ou a sotavento, mas não verifica outros casos, como a inexistência de tais aberturas.

Os modelos foram feitos em poliestireno com 2mm de espessura em escala de 1:50 e corresponde ao corte vertical de um galpão com 15 metros de comprimento por 5 de altura. Os sheds possuíam abertura de tamanho fixo, com um metro de altura, e em alguns modelos foi incluído um incremento

horizontal correspondente a proteção solar de 35° em relação ao zênite. As variações são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Modelos analisados e suas variações

Modelo	Nº	Nº De Aberturas	Formato do Shed	Proteção Solar
 Modelo 1	1	6	Reto	Não
 Modelo 2	2	6	Curvo	Não
 Modelo 3	3	6	Reto	Sim
 Modelo 4	4	6	Curvo	Sim
 Modelo 5	5	3	Reto	Não
 Modelo 6	6	3	Curvo	Não
 Modelo 7	7	3	Reto	Sim
 Modelo 8	8	3	Curvo	Sim

Os modelos possuíam duas janelas, posicionadas uma em cada lateral, com um metro de peitoril e um metro de altura, que podiam ser abertas ou fechadas durante o ensaio, permitindo que fossem combinados aos oito modelos quatro formas de abertura: janela a barlavento aberta, sotavento aberta, ambas abertas e nenhuma aberta, nas posições de captação e exaustão de ar, totalizando 64 ensaios.

Para análise dos resultados as discussões serão divididas em quatro partes, cada uma correspondente a um tipo de fechamento das aberturas

inferiores utilizado nos modelos. Nessa divisão, o conjunto de oito modelos será analisado com as aberturas dos sheds voltadas para o fluxo de ar, como captadores, e outra com eles em sentido contrário, como extratores.

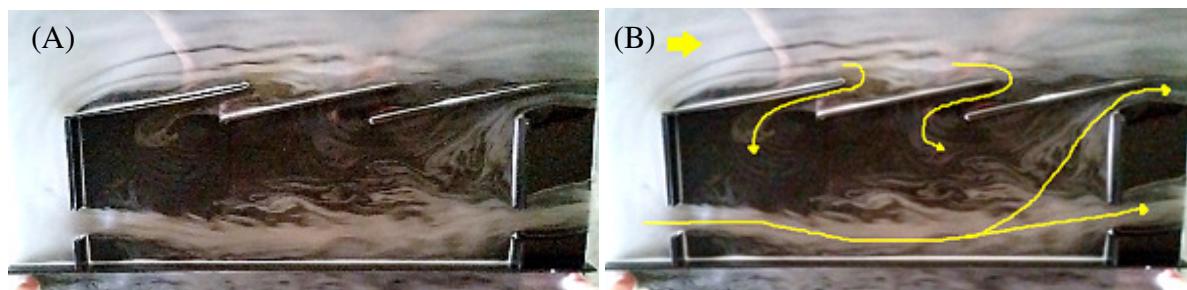
Para facilitar a visualização dos fluxos de ar pelos modelos foi observado seu comportamento durante os ensaios e posteriormente através de vídeos. Os fluxos predominantes foram desenhados nas imagens utilizando setas direcionais.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

5.1 Ambas as Janelas Inferiores Abertas

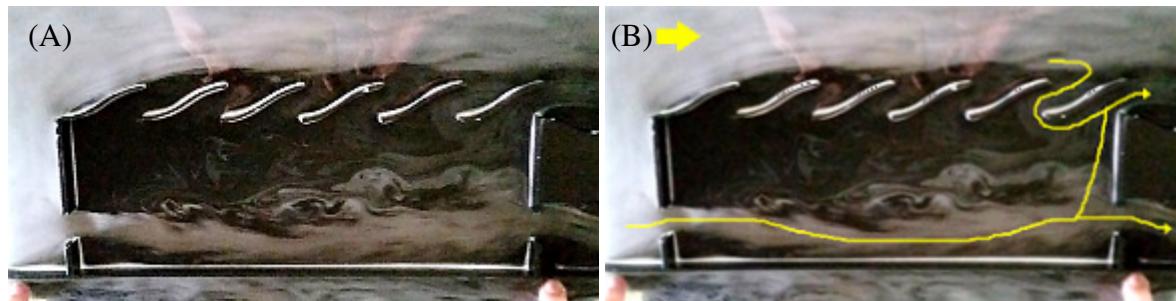
A situação com janelas a barlavento e sotavento abertas produzem um grande fluxo de ar no interior da edificação. Para sheds extratores esse fluxo tende a permanecer na altura do usuário desde a abertura de entrada até a de saída, havendo uma saída de ar em menor intensidade pela abertura do último shed. A forma do elemento teve pouca influência sobre os resultados, já o incremento de comprimento devido à proteção solar resultou em uma pequena entrada de ar superior, mostrada na Figura 1.

Figura 1 - (A) Escoamento do vento no modelo 3, com ambas as janelas abertas e shed na posição de extrator. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



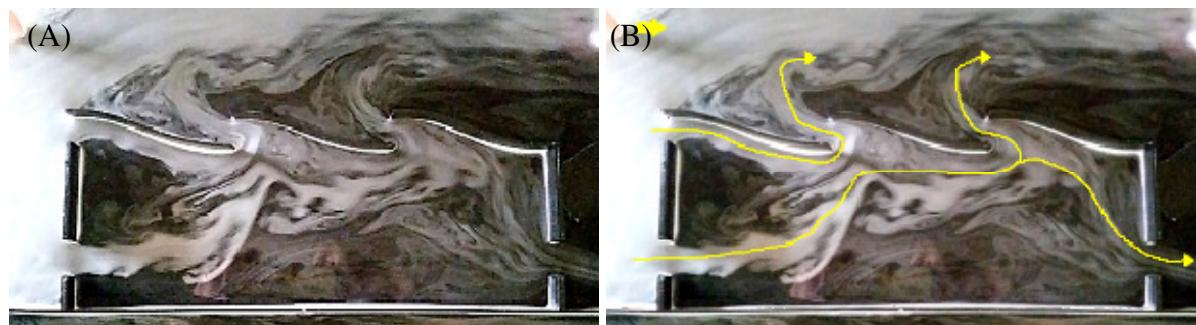
O fator que apresentou maior influência sobre os resultados foi a inclinação do elemento. Para inclinações maiores inclinações do shed, seja ele reto ou curvo, houve uma tendência de que o primeiro funcionasse como barreira, elevando o nível do fluxo de ar, e impossibilitando a entrada de ar através dos elementos. A Figura 2 mostra um modelo com elemento curto, sem proteção solar, para demonstrar tal efeito.

Figura 2 - (A) Escoamento do vento no modelo 2, com ambas as janelas abertas e shed na posição de extrator. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



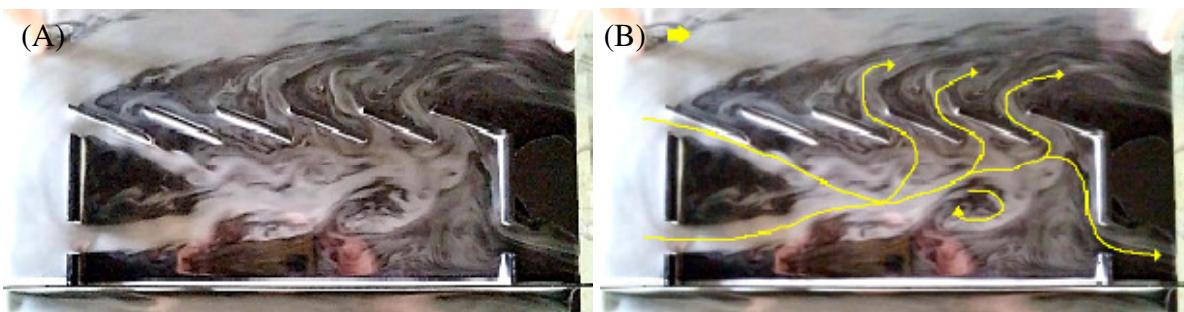
Quando o modelo é posicionado como captador de vento o comportamento do ar é diferente. Como há duas entradas de ar voltadas para a incidência do vento e apenas uma do lado oposto há uma grande zona de pressão positiva que será liberada nas aberturas mais próximas, as superiores, fazendo com que o fluxo de ar ao entrar no ambiente procure sair pelas aberturas dos sheds. Tal cenário é mostrado na Figura 3, em que apenas a abertura do primeiro shed funciona como captadora, e as demais como extratores.

Figura 3 - (A) Escoamento do vento no modelo 6, com ambas as janelas abertas e shed na posição de captador. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



Os parâmetros de forma e tamanho dos sheds tiveram influência direta nos resultados, os que possuíam superfície reta e com maior inclinação tenderam a direcionar o fluxo de ar para o nível do usuário, enquanto que os curvos mantiveram o fluxo de ar próximo ao telhado da edificação. A Figura 4 mostra o efeito dos sheds retos. Não foi observada nenhuma alteração nos resultados com a variação do incremento no comprimento para proteção solar.

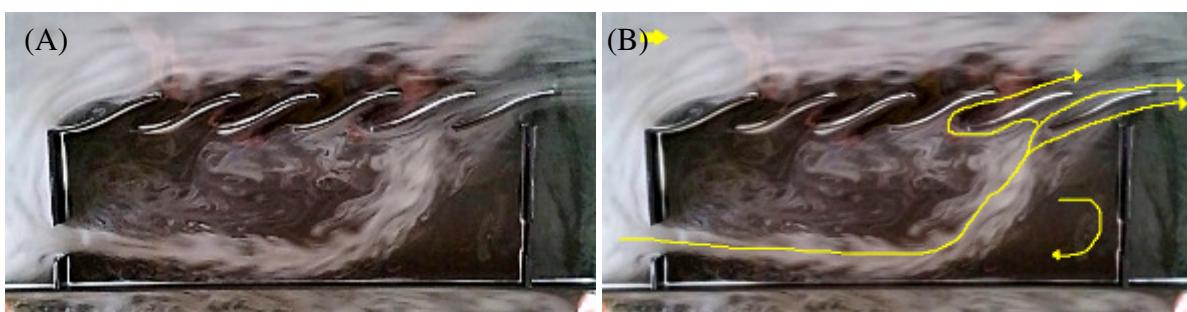
Figura 4 - (A) Escoamento do vento no modelo 1, com ambas as janelas abertas e shed na posição de captador. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



5.2 Janela a barlavento aberta

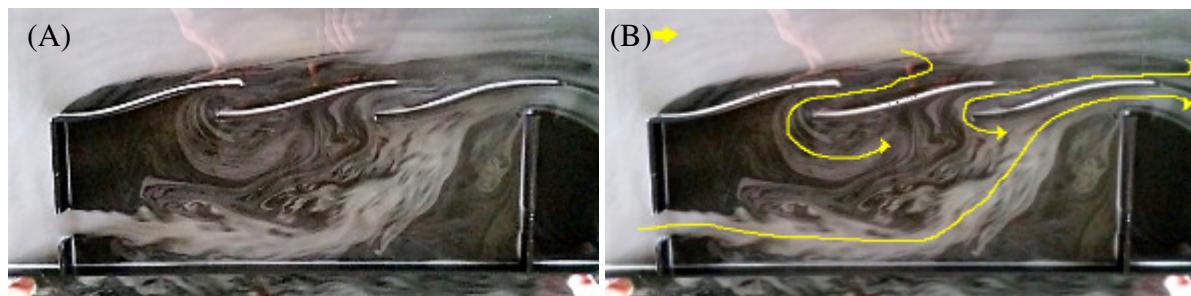
Ao fechar a abertura de sotavento verificou-se pouca alteração no comportamento do vento dentro da edificação em relação à situação anterior. Para o modelo posicionado como extrator do ar a zona de baixa pressão passa situar-se na abertura do último shed, lugar por onde o vento que entra no ambiente tende a sair. O fluxo de ar no nível do usuário tende a subir para a abertura de saída no ultimo terço do ambiente, resultando em uma circulação de ar sem renovação nessa região, mostrada na Figura 5.

Figura 5 - (A) Escoamento do vento no modelo 4, com a janela a barlavento aberta e shed na posição de extrator. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



Os modelos com incremento do comprimento para proteção solar resultaram em uma saída mais lenta do ar se comparados aos modelos sem incremento. O modelo com shed longo e incremento para proteção solar apresentou um comportamento de sucção do ar através do shed, não observado nos demais modelos, como mostra a Figura 6. Os modelos de shed curtos tenderam a redirecionar o fluxo de ar para longe do shed, quanto que os mais longos tiveram efeito contrário, mantendo o nível do fluxo próximo ao telhado.

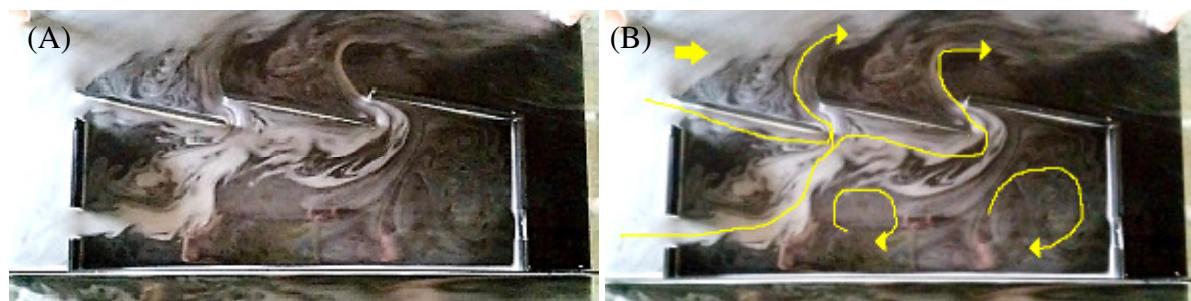
Figura 6 - (A) Escoamento do vento no modelo 8, com janela a barlavento aberta e shed na posição de extrator. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



Esse pequeno fluxo de ar observado nos sheds curvos com incremento de comprimento possuem baixa velocidade se comparados ao principal, mas foram constantes durante todo o ensaio.

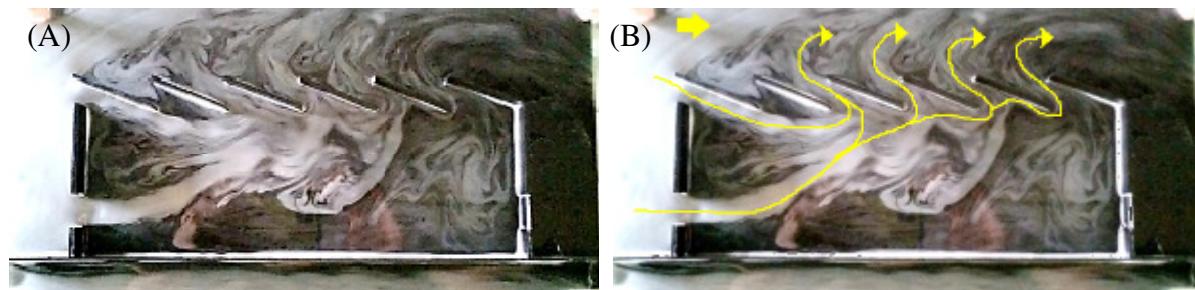
Ao analisar os modelos na posição de captação do ar os resultados mostraram que o vento tende a subir rapidamente ao entrar no ambiente, permanecendo ao nível do usuário no máximo ao primeiro terço do comprimento total. Essa saída promove uma zona de leve circulação sem renovação do ar no fundo do ambiente, sendo mostrados na Figura 7. O fluxo de ar que entra pela janela e pela abertura do primeiro shed rapidamente sobe saindo pela zona de baixa pressão criada a partir do segundo shed. O fundo da sala, por não possuir aberturas, tem ventilação natural comprometida.

Figura 7 - (A) Escoamento do vento no modelo 5, com janela a barlavento aberta e shed na posição de captador. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



Nessa posição a inclinação dos sheds nos modelos curtos e longos não foi suficiente para direcionar o fluxo de ar para o nível do usuário, mesmo assim resultaram em um comportamento ligeiramente diferente, como apresentado na Figura 8. Nesse caso, apenas o primeiro shed funciona como captador, estando os outros na função de extrator, sendo o incremento para proteção solar o fator que menos afetou os resultados.

Figura 8 - (A) Escoamento do vento no modelo 1, com janela a barlavento aberta e shed na posição de captador. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo

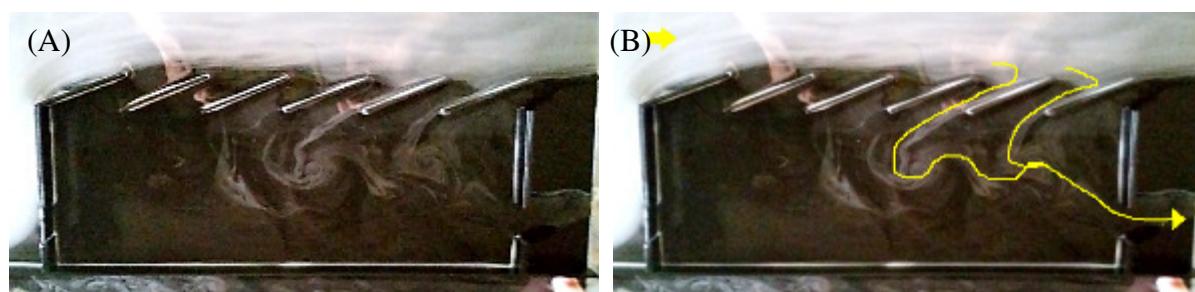


Importante notar que a posição de captação, em sheds onde há ao menos uma abertura inferior fechada, faz com que o nível do fluxo de ar se eleve muito acima da edificação após seu término, criando uma sombra de vento alta sobre a edificação, potencialmente prejudicial à ventilação natural de possíveis edifícios adjacentes.

5.3 Janela a sotavento aberta

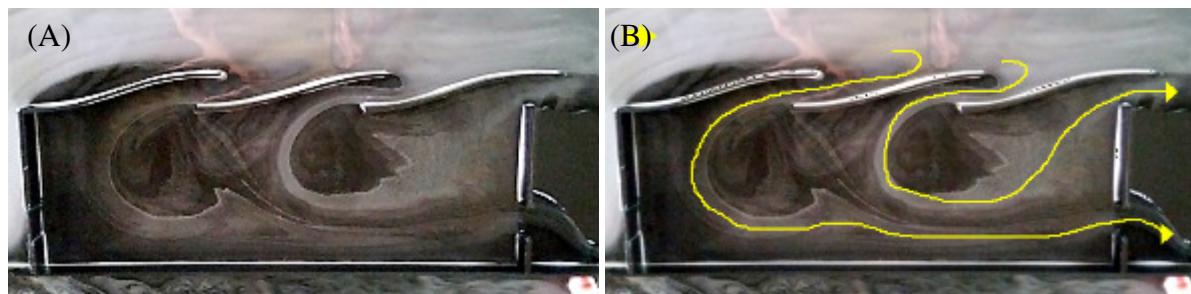
Na posição em que a janela de barlavento está fechada o principal fluxo de ar que percorre o ambiente é o proveniente das aberturas em shed. Quando essas estão voltadas para o sentido contrário do vento, como extratores, há muito pouca entrada de ar. Nos modelos com shed curto o primeiro elemento redireciona o fluxo de ar para cima, fazendo com que a maioria dele passe sobre a edificação sem entrar, apenas uma pequena quantidade entre pelas elementos finais, como mostrado na Figura 9. Como a diferença de pressão entre aberturas dos sheds e janela inferior não é grande, havendo um pequeno fluxo de ar entre esses dois pontos.

Figura 9 - (A) Escoamento do vento no modelo 1, com janela a sotavento aberta e舍 na posição de extrator. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



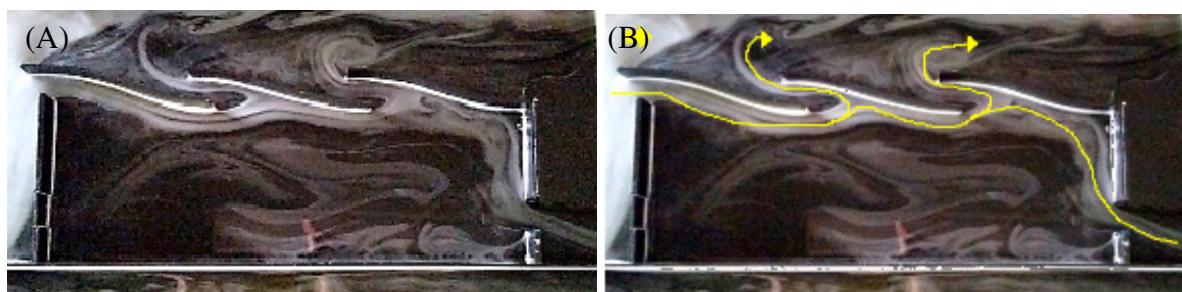
A combinação de sheds longos e curvos com proteção solar resultou num melhor fluxo de ar ao nível do usuário, se comparado aos demais tipos. Nesse caso há entrada de ar através dos sheds, com saída pela abertura inferior. A Figura 10 mostra tal comportamento, em que o formato do shed cria uma zona de baixa pressão em sua parte inferior, trazendo o ar para dentro.

Figura 10 - (A) Escoamento do vento no modelo 8, com janela a sotavento aberta e shed na posição de extrator. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



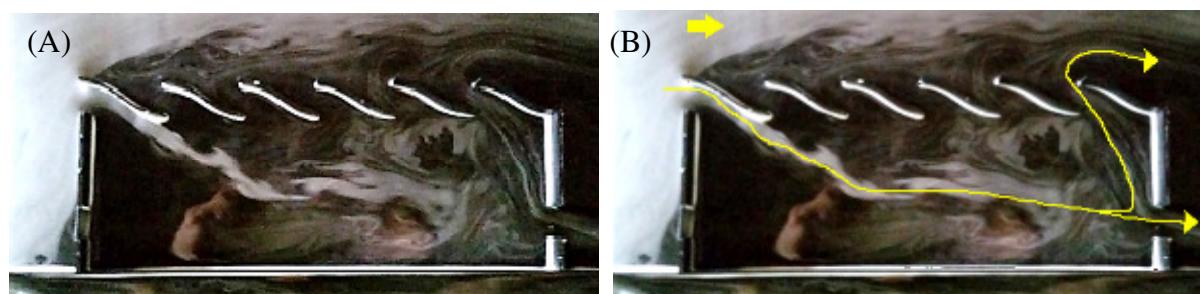
Quando o modelo é posicionado na situação de captação dos ventos através do shed, também se observa pouco fluxo de ar chegando ao nível do usuário. O fluxo permanece próximo ao telhado e a maior parte do ar que entra, unicamente pela primeira abertura, percorre o ambiente pelo topo, saindo na janela a sotavento. Esse comportamento é mostrado na Figura 11.

Figura 11 - (A) Escoamento do vento no modelo 8, com janela a sotavento aberta e shed na posição de captador. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



Novamente o efeito de elevar o nível do fluxo de ar que passa por cima da edificação é observado e o incremento para proteção solar não mais apresentou relevância nos resultados. Os modelos de shed curto foram os que resultaram em melhores fluxos no nível do usuário, pois redirecionam para baixo o ar que entra, e que depois sai pela janela a sotavento, como mostrado na Figura 12.

Figura 12 - (A) Escoamento do vento no modelo 6, com janela a sotavento aberta e shed na posição de extrator. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo

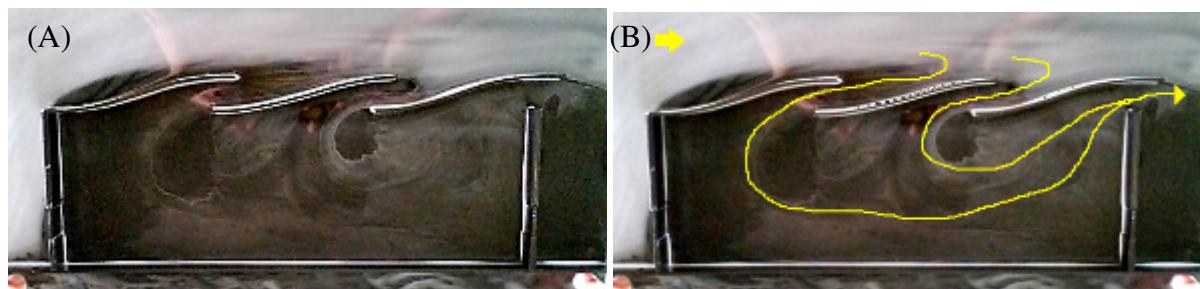


5.4 Ambas as janelas inferiores fechadas

A pior situação para a entrada de ventilação natural encontrada foi a com ambas as janelas, a barlavento e sotavento, fechadas. Quando posicionado como extrator de ar, o shed reto não conseguiu fazer com que o ar entrasse na edificação, mas passasse por cima sem nenhum redirecionamento.

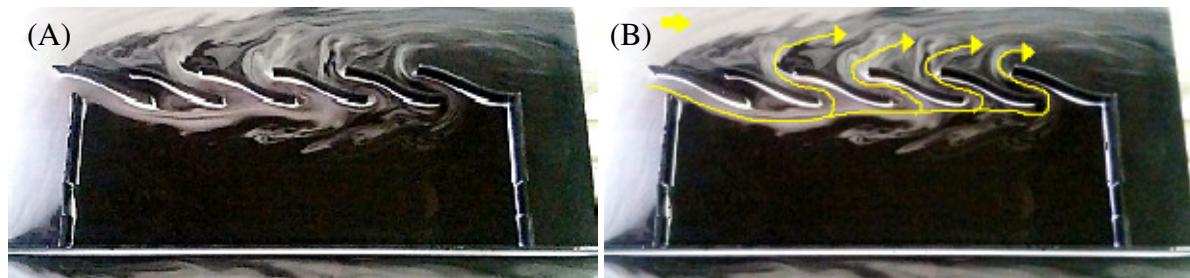
Um comportamento que já havia sido observado anteriormente foi novamente visto neste caso. O shed longo, curvo e com incremento para proteção solar gerou diferença de pressão tal, que o ar entrou no ambiente pelos dois primeiros, e saindo pelo último, como apresenta a Figura 13. Este fato pode ser observado apenas nessa situação e, mesmo sendo um fluxo de ar lento, é favorável ao usuário se comparado aos demais, sem nenhum fluxo de ar dentro do ambiente.

Figura 13 - (A) Escoamento do vento no modelo 6, com ambas as janelas fechadas e shed na posição de extrator. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



Por fim, a análise com o舍 voltado a barlavento, atuando como captador, apresentou resultados semelhantes, com grande aumento do nível do fluxo de ar acima da edificação e entrada de ar que não chega ao nível do usuário. A grande pressão positiva gerada na entrada do primeiro舍, combinada às pressões negativas geradas nos demais, faz com que o fluxo entre na edificação e logo saia pelos舍s que seguem, como mostram a Figura 14.

Figura 14 - (A) Escoamento do vento no modelo 6, com ambas as janelas fechadas e舍 na posição de extrator. (B) Representação com setas direcionais do escoamento do vento para o mesmo modelo



6 CONCLUSÃO

Para o estudo a mesa d'água conseguiu reproduzir com facilidade o fluxo de ar na edificação em um tempo curto se comparada a métodos computacionais da mecânica dos fluidos. A principal limitação do equipamento é permitir a análise em apenas uma dimensão por vez, mesmo assim apresentando resultados conclusivos.

Na posição de captador de ar o shed se mostrou pouco eficiente para ventilação natural ao nível do usuário nos modelos estudados. O vento incidente no primeiro shed faz com que uma zona de baixa pressão se crie nos sheds seguintes fazendo com que o ar que entra no ambiente logo saia por eles, criando também uma sombra de vento elevada sobre o edifício, que prejudicaria inclusive a ventilação natural de edificações adjacentes.

O fluxo de ar nessa situação permanece sempre próximo ao telhado retirando o ar quente que esteja acumulado no topo. A melhor configuração foi com ambas as janelas abertas, pois o vento tende a passar ao nível do usuário, mesmo assim obtendo resultado menos expressivo que na outra posição analisada.

Como extrator de ar os sheds apresentaram resultados bem melhores que os anteriores. Nessa posição o fluxo de ar que entra pela janela a barlavento percorre todo o ambiente ao nível do usuário, para sair na última abertura. Os sheds curvos e longos apresentaram os melhores resultados, pois permitiram que o fluxo de ar permanecesse próximo ao telhado. Ao adicionar à geometria citada, o incremento para proteção solar observou-se a entrada do ar pelos sheds superiores, descendo até o nível do usuário e saindo pelo último shed. Tal comportamento foi encontrado inclusive no modelo com ambas as aberturas fechadas.

Conclui-se que o shed, para os modelos estudados, mostrou resultados melhores na função de extrator de ar. Caso seja utilizado como captador deverá possuir aberturas ao nível do usuário a barlavento para garantir a renovação do ar nesse nível. No uso como extrator deverá haver ao menos uma abertura, podendo essa se posicionar a barlavento ou sotavento para movimentação do ar, entretanto faz-se ideal que estejam presentes as duas janelas. A geometria curva facilita o fluxo de ar e permite a entrada em algumas situações, e o incremento para proteção solar além de proteger dos raios solares diretos gera um efeito de reentrada benéfico ao usuário.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C. V. de A.. **Análise de componentes arquitetônicos para potencialização da ventilação natural com ênfase em captadores de vento.** 2011. 130 f. Dissertação (Mestrado em Conforto no Ambiente Construído; Forma Urbana e Habitação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

BITTENCOURT, L.S.; CANDIDO, C. M.; BATISTA J. O. A utilização de captadores de vento para aumentar a ventilação natural em espaços de sala de aula. In: **III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações** – COTEDI/ENCAC 2003, 2003, Curitiba. Anais do COTEDI/ENCAC 2003. Curitiba: ANTAC, 2003. P. 177 a 184

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simons. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental.** Rio de Janeiro: Revan, 2003.

EDWARDS, Brian. **Contexto Ambiental, educacional e profissional.** In: EDWARDS, B. O guia básico para a sustentabilidade. Barcelona. Ed. Gustavo Gilli, 2008. p. 4 a 45.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture.** Londres: Applied Science Publishers, 1976.

GONÇALVES, J. C. S.; PEREIRA, M.; CAVALERI, M. **Ventilação natural em edifícios de escritórios: mito ou realidade?** In: GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. (Org.). Edifício Ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 57 a 78.

LECHNER, Norbert, (2001). **Heating, cooling and lighting: Design methods for architects.** USA: John Wiley & Sons, 2001.

LUKANTCHUKI, M. A.; SHIMOMURA, A. P. ; MARQUES, da silva F. ; CARAM, R. M. Sheds extratores e captadores de ar: análise da influência da geometria na ventilação natural. In: XIII **Encontro nacional de conforto no ambiente construído e IX Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, 2015, Campinas.

LUKANTCHUKI, M. A.; CARAM, R. M.. Análise do conforto térmico na obra de João Figueiras Lima, Lelé: Hospitais Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro. In: XII ENCAC - **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, 2013, Brasília – DF.

TOLEDO, A. M. ; PEREIRA, F. O. R. . O potencial da mesa d'água para visualização analógica da ventilação natural em edifícios. In: VII **Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído/ III Conferência Latino-Americana sobre Conforto e Desempenho Energético de Edificações/ II Workshop IBPSA-Brasil**, 2003, Curitiba. ENCAC 2003.