

## **ESTRATÉGIAS PROJETOVAIS PARA INCREMENTAR A VENTILAÇÃO NATURAL NOS AMBIENTES INTERNOS: COBERTURAS EM SHEDS**

**Marieli Azoia Lukiantchuki (1); Alessandra Prata Shimomura (2); Fernando Marques da Silva (3); Rosana Maria Caram (4)**

- (1) Professora Doutora do departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Maringá - UEM, mlukiantchuki@yahoo.com.br  
(2) Professora Doutora da Faculdade de Arquitetura e urbanismo da Universidade de São Paulo – FAU/USP, arprata.shimo@gmail.com  
(3) Engenheiro mecânico, Doutor, Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Lisboa, Portugal fms@lnec.pt  
(4) Professora Associada do Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo – IAU/USP, rcaram@sc.usp.br

### **RESUMO**

A ventilação natural é uma das estratégias mais eficientes para o condicionamento térmico passivo de edificações, ocorrendo por ação dos ventos, por efeito chaminé ou pela combinação de ambos. Na ventilação por ação dos ventos, o tamanho, a forma e a localização das aberturas no edifício apresentam um impacto significativo no desempenho do fluxo de ar interno. Com relação à localização, as aberturas de entrada de ar devem situar-se nas zonas de alta pressão e as de saída nas zonas de baixa pressão. No entanto, em algumas situações isso não é possível, o que pode prejudicar o desempenho da ventilação natural no espaço interno. Diante disso, o objetivo desse artigo é avaliar o desempenho do aumento das aberturas de entrada e saída de ar e a inclusão de aletas verticais nas aberturas de edifícios com *sheds* na cobertura, em situações quando os ventos externos não incidem diretamente nas aberturas do edifício (90°). A metodologia adotada foi simulação através de Dinâmica dos Flúidos Computacional (CFD), utilizando como ferramenta o *software* CFX. Foram realizadas análises quantitativas e qualitativas. Os resultados indicam que a orientação do edifício é um fator mais influente no desempenho da ventilação interna do que o aumento de suas aberturas, uma vez que a alteração desse parâmetro projetual não ocasionou um incremento significativo na velocidade do fluxo de ar interno. Já quando se incluem aletas verticais na abertura nota-se um incremento do fluxo de ar interno à medida que se aumenta o tamanho desse anteparo externo e não seja localizada muito próxima da fachada de incidência dos ventos dominantes. Além disso, a junção de duas aletas também auxilia no direcionamento do fluxo de ar para o interior do edifício.

Palavras-chave: *sheds*, aberturas, aletas, simulação computacional, ventilação natural.

### **ABSTRACT**

Natural ventilation is an efficient strategy for the cooling of buildings, occurring by stack effect, wind action or by combination of both. In wind ventilation the size, shape and location of the openings in the building have a significant impact on the performance of the internal airflow. In relation to location, the air inlet openings should be located in the high pressure zones and air outlet openings in the low pressure zones. However, in some situations this is not possible which may reduce the performance of the natural ventilation in the internal space. Therefore, paper aim is to evaluate the performance of the increase of the air inlet and outlet openings and the inclusion of external shields in the openings of buildings with roof sheds in situations when external winds do not directly affect the openings of the building (90°). The methodology used was Dynamic Fluid Computational simulation, using as a tool the CFX software. Quantitative and qualitative analyses were performed. The results indicate that the orientation of the building is more important than the increase of its openings, because the alteration of this design parameter did not cause a significant increase in the internal air flow velocity. The inclusion of external shield in the opening increases the internal air flow. However, the location should not be near the incident facade of the prevailing winds. In addition, the combination of two shields also helps in the directing of the airflow into the building.

Keywords: sheds, openings, shields, computer simulation, natural ventilation.

## 1. INTRODUÇÃO

A ventilação natural consiste no deslocamento de ar através do edifício, originado por diferenças de pressão entre as áreas externas e internas. Essa estratégia pode ocorrer pela ação dos ventos ou pela diferença de temperatura entre o ar interno e externo (efeito chaminé). Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014) o Brasil, devido ao seu imenso território e por se localizar entre dois trópicos, possui um clima bastante variado, sendo que grande parte do território brasileiro é classificado como tendo um clima quente e úmido (CÂNDIDO et al. (2010). Nestas regiões a ventilação natural é uma eficiente estratégia para a obtenção de conforto térmico, reduzindo o consumo de energia elétrica.

A ventilação cruzada ocorre pela diferença de pressão ocasionada pela incidência dos ventos na edificação, sendo que a zona de pressão positiva acontece na área a barlavento e a zona de pressão negativa na área a sotavento. Na ventilação cruzada, as aberturas de entrada devem situar-se nas zonas de alta pressão e as de saída nas zonas de baixa pressão, sendo que o maior fluxo de ar ocorrerá quanto maior a diferença de pressão nas faces onde estão localizadas as aberturas. No entanto, em algumas situações não é possível localizar as aberturas de entrada e saída de ar em zonas de pressão opostas, como edifícios muito compartimentados ou pela dimensão do terreno de implantação, o que pode prejudicar o desempenho da ventilação natural no espaço interno. Quando o ambiente apresenta janelas somente em uma das paredes externas, sujeita a uma mesma pressão, ou quando as aberturas não são orientadas para as faces dos ventos dominantes ocorre uma reduzida circulação de ar nos ambientes internos.

Nesses casos, algumas estratégias como aletas ou anteparos externos, tanto horizontais quanto verticais, podem ser utilizadas para canalizar a direção da corrente dos fluxos de entrada, criando uma ventilação cruzada artificial - aumentando o diferencial de pressão - e, conseqüentemente, aumentando o fluxo de ar interno (figura 1). Quando os ventos externos incidem paralelamente as aberturas, ou seja, as aberturas não podem ser orientadas diretamente para os ventos dominantes, zonas de relativa baixa e alta pressão podem ser artificialmente produzidas, através do projeto de elementos externos, verticais ou horizontais, colocadas em lados adjacentes ou opostas das janelas, para entrada e saída do ar. Desse modo, busca-se induzir a ventilação através de janelas paralelas às direções dos ventos. No entanto, se os ventos dominantes foram perpendiculares às aberturas o efeito da colocação de anteparos se limita às janelas no lado de pressão positiva e não tem nenhum efeito se estiver localizado na região de pressão negativa. O tamanho da projeção das aletas verticais deve ser no mínimo 0,5 a 1 vez a largura da janela e o espaçamento entre elas deve ser no mínimo duas vezes a largura da janela (DEKAY e BROWN, 2004).

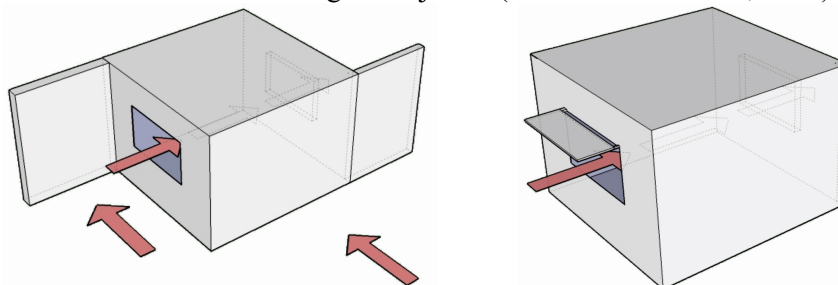


Figura 1 – exemplos de anteparos externos horizontais e verticais para direcionamento da corrente de ar para o ambiente interno

Diversas pesquisas no Brasil e no mundo (CÓSTOLA e ALUCCI, 2007; PERÉN et. al., 2015; MORAIS e LABAKI, 2017) tem sido realizadas a fim de analisar o impacto de diferentes configurações de aberturas e de outros parâmetros projetuais no desempenho da ventilação natural, por meio de simulação por Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD). Nota-se que além da localização, o tipo e a dimensão das aberturas também afetam diretamente o desempenho da ventilação cruzada, pois interfere na resistência oferecida ao fluxo de ar e no seu direcionamento e intensidade. Segundo Givoni (1976) a abertura menor, seja de entrada ou de saída, determina a velocidade interna do ar. O aumento simultâneo das aberturas de entrada e saída do ar resulta em velocidades internas do ar mais elevadas. A combinação de uma entrada pequena com uma saída maior produz um movimento de ar concentrado, de maior velocidade, limitado a uma pequena seção do ambiente (efeito venturi). Já quando a área das janelas de saída (pressão negativa) é maior que a área das aberturas de entrada (pressão positiva), a velocidade do ar é maximizada. Entrada e saída de tamanhos similares resultam em uma ventilação mais distribuída.

## 2. OBJETIVO

Este artigo tem como objetivo avaliar o desempenho do aumento das aberturas de entrada e saída de ar e a inclusão de aletas verticais em lados adjacentes ou opostas das aberturas de edifícios com *sheds* na cobertura, em situações quando os ventos externos não incidem diretamente nas aberturas do edifício (90°).

### 3. MÉTODO

Para atingir os objetivos desse trabalho, utilizou-se uma metodologia dividida em duas etapas: 1. Definição dos modelos avaliados e 2. Simulação através de Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD).

#### 3.1. Definição dos modelos avaliados

##### 3.1.1. Definição dos dados climáticos

Analisaram-se os dados dos ventos das principais cidades brasileiras da zona bioclimática 8 (NBR15220), por ser a região que exige uma ventilação permanente ao longo de todo o ano. Diante disso, os modelos foram avaliados para uma velocidade máxima dos ventos externos de 7,0m/s. Esse valor é referente aos dados medidos nas estações meteorológicas. Sendo assim, foi utilizada a equação 1 a seguir, para a correção da velocidade do vento na altura da edificação, considerando as obstruções das edificações ao redor. Adotou-se como entorno um ambiente suburbano com valor de  $\alpha = 0,21$ , obtido através de ensaios no túnel de vento<sup>1</sup>.

$$\frac{U}{U_{ref}} = \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

U	Velocidade média do vento em certa altura h (m/s)
U <sub>ref</sub>	Velocidade do vento medida na altura de referência (m/s)
h	Altura da edificação que se deseja avaliar a velocidade do vento (m)
h <sub>ref</sub>	Altura de referência da velocidade do vento medida (10m)
$\alpha$	Expoente de lei potencial da camada limite atmosférica (depende do entorno).

O desempenho dos *sheds* foi avaliado por ação dos ventos para uma situação onde os ventos não incidem diretamente nas aberturas do modelo, visando analisar o desempenho do edifício implantado em uma situação não favorável aos ventos externos (90°) (figura 2). A análise do efeito chaminé é importante devido o aquecimento dos telhados sob o efeito do sol e dos espaços internos pela presença dos usuários e equipamentos. No entanto, essa análise não foi o foco desse artigo e será apresentada posteriormente.

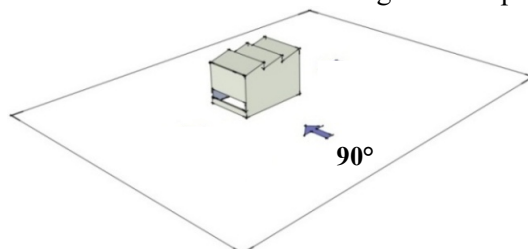


Figura 2 - Ângulos de incidência dos ventos externos analisadas

##### 3.1.2. Definição do caso de referência

Como edifícios com *sheds* diferem da maioria dos edifícios padrões, definiu-se o caso de referência a partir das proporções construtivas de edificações projetadas pelo arquiteto Lelé, por ser o profissional que mais utiliza *sheds* em seus projetos. As principais características dos seus edifícios, usadas como base para a elaboração do modelo, são: 1) edifícios térreos e retangulares; 2) modulação de 0,625m em todas as proporções do edifício; 3) distância entre os *sheds* de 2,50m; 4) pé-direito na base inferior e superior dos *sheds* de 4,375m e 5,00m, respectivamente; 5) Aberturas de entrada e saída de ar com a mesma a dimensão. O *shed* adotado foi o dente de serra, por ser o mais comum nos edifícios com *sheds* (LUKIANCHUKI, 2015; LUKIANCHUKI et. al, 2015) (figura 3).

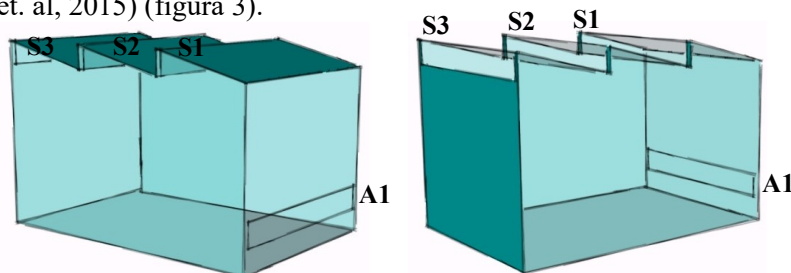


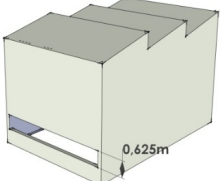
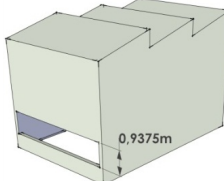
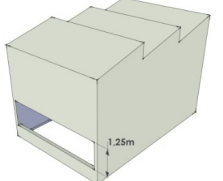
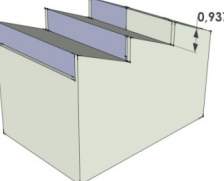
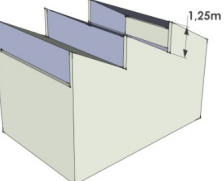
Figura 3 – Perspectiva do caso de referência (sem escala)

<sup>1</sup> Testes da Camada Limite Atmosférica realizados no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa (LUKIANCHUKI, 2015)

### 3.1.3. Definição dos modelos avaliados

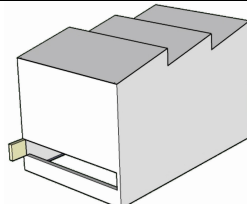
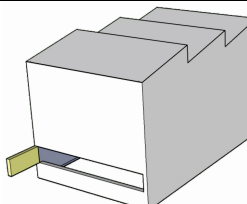
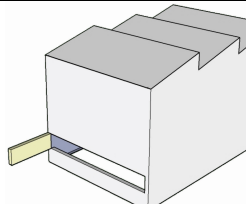
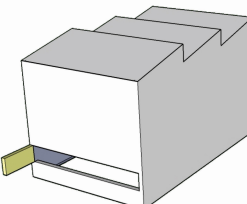
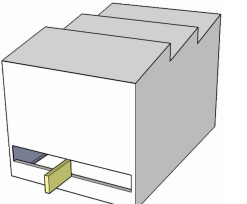
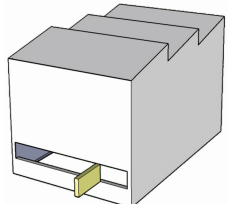
Primeiramente, as dimensões das aberturas de entrada e saída de ar foram variadas a fim de verificar a influência desse parâmetro na quantidade do fluxo de ar que entra e sai do edifício, nos valores de  $C_p$  nas aberturas do modelo, na velocidade e na distribuição qualitativa do fluxo de ar interno. A análise foi desenvolvida para 3 diferentes dimensões: 0,625m (1L) – 0,9375m (3L/2) – 1,25m (2L). Modificou-se apenas um parâmetro por vez, de modo a identificar a sensibilidade do sistema para cada dimensão isoladamente. O caso CA é o caso de referência, com as aberturas de entrada e saída de ar com as mesmas dimensões (0,625m x 5,00m). Nos casos CA1 e CA2 a altura da abertura mais baixa (A1) foi aumentada em 50% (0,9375m) e 100% (1,25m). Já nos casos CS1 e CS2, a altura das aberturas dos sheds (S1, S2 e S3) foram aumentadas em 50% (0,9375m) e 100% (1,25m). Na tabela 1 apresentam-se os detalhes de cada caso avaliado. As características projetuais em destaque são as que sofreram alterações.

Tabela 1– Características dos casos analisados

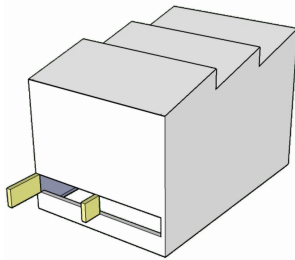
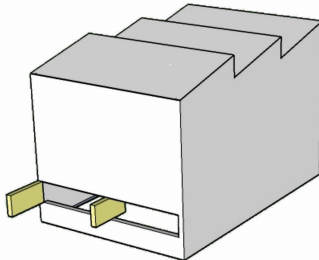
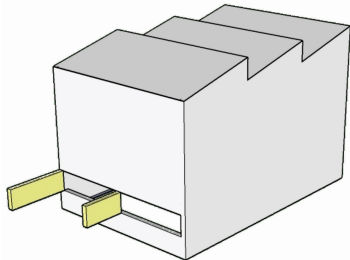
CA	CA1	CA2	CS1	CS2
				
Abert. A1: 0,625m	Abert. A1: 0,9375m	Abert. A1: 1,25m	Abert. Fachada: 0,625m	Abert. Fachada: 0,625m
Área A1: 3,12m <sup>2</sup>	Área A1: 4,68m <sup>2</sup>	Área A1: 6,25m <sup>2</sup>	Área abert. A1: 3,12m <sup>2</sup>	Área abert. A1: 3,12m <sup>2</sup>
Altura Sheds = 0,625m	Altura Sheds = 0,625m	Altura Sheds = 0,625m	Altura Sheds = 0,973m	Altura Sheds = 1,25m
Área sheds = 9,37m <sup>2</sup>	Área sheds = 9,37m <sup>2</sup>	Área sheds = 9,37m <sup>2</sup>	Área sheds = 14,06m <sup>2</sup>	Área sheds = 18,75m <sup>2</sup>

Posteriormente, analisou-se a influência da inclusão de aletas externas verticais nas aberturas, como uma solução projetual para direcionar a corrente de ar para os ambientes internos. A análise foi desenvolvida para diferentes parâmetros das aletas externas: **parâmetro 01:** 3 diferentes dimensões: 0,625m (1H) – 1,25m (2H) - 1,875m (3H), sendo H = altura da janela; **parâmetro 02:** com a dimensão intermediária de 1,25m (C02), analisaram-se 3 distâncias em relação a face a barlavento: 5m; 2,50m e 0,625m; **parâmetro 03:** duas aletas com 3 dimensões: 0,625m (1H) – 1,25m (2H) - 1,875m (3H) e 2 distâncias em relação a face a barlavento: 5m e 2,50m, sendo um caso com a aleta intermediária prolongada para dentro; Na tabela 2 tem-se os detalhes dos casos avaliados. As características projetuais em destaque são as que sofreram alterações.

Tabela 2– Características dos casos analisados

PARÂMETRO 01		
CASO 01	CASO 02	CASO 03
		
Quantidade: 01 aleta externa	Quantidade: 01 aleta externa	Quantidade: 01 aleta externa
Dimensão: 0,625m	Dimensão: 1,25m	Dimensão: 1,875m
Distância da face a barlavento: 5,0m	Distância da face a barlavento: 5,0m	Distância da face a barlavento 5,0m
PARÂMETRO 02		
CASO 02	CASO 04	CASO 05
		
Quantidade: 01 aleta externa	Quantidade: 01 aleta externa	Quantidade: 01 aleta externa
Dimensão: 1,25m	Dimensão: 1,25m	Dimensão: 1,25m
Distância da face a barlavento: 5,0m	Distância da face a barlavento: 2,50m	Distância da face a barlavento: 0,625m



PARÂMETRO 03		
CASO 06	CASO 07	CASO 08
		
<b>Quantidade:</b> 02 aletas externas	<b>Quantidade:</b> 02 aletas externas	<b>Quantidade:</b> 02 aletas externas
<b>Dimensão:</b> 1,25m e 0,625m	<b>Dimensão:</b> 1,25m – prolongada para dentro	<b>Dimensão:</b> 1,875m e 1,25m
<b>Distância da face a barlavento:</b> 5,00m e 2,50m	<b>Distância da face a barlavento:</b> 5,00m e 2,50m	<b>Distância da face a barlavento:</b> 5,00m e 2,50m

## 3.2. Simulação computacional

Para a realização das simulações computacionais, utilizou-se o *software* Ansys CFX 12.0. Essa ferramenta é baseada na Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) e é amplamente utilizada nas pesquisas de análise de fluidos nas áreas de arquitetura, apresentando boa coerência dos resultados com os fenômenos físicos.

### 3.2.1. Construção do modelo

A preparação do modelo tridimensional foi realizada no *software* AutoCAD, de modo que os objetos sejam compreendidos como sólidos no Icem CFX. Todas as janelas foram consideradas abertas. Junto ao edifício, elaborou-se um volume externo sem aberturas, representando o domínio pelo qual o fluido escoará. Optou-se pelo domínio retangular, cujas dimensões seguiram as recomendações de Harries (2005): distâncias a barlavento e nas laterais = 5H (25m); altura = 6H (30m); distância a sotavento = 15H (75m), sendo H=5m, que corresponde à altura do modelo simulado (figura 3). A área de obstrução do edifício no domínio foi de 1,1%, na seção transversal no sentido do fluxo e 1,5% no sentido perpendicular ao fluxo, atendendo a sugestão de Cost (2004), cujo valor não deve exceder 3%.

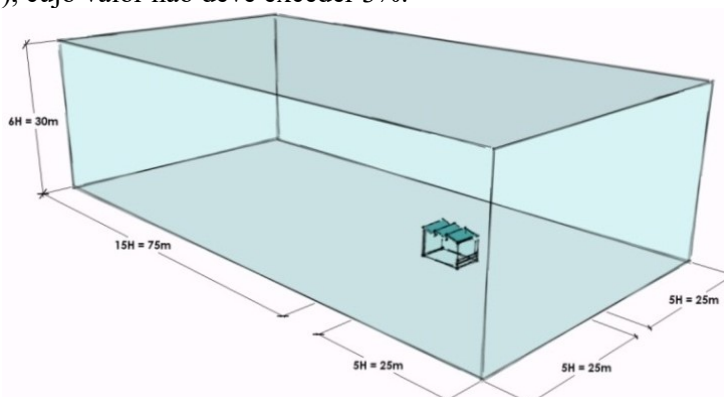


Figura 3 – Dimensões adotadas para o domínio retangular

### 3.2.2. Geração da malha computacional

Para todas as simulações utilizou-se uma malha estruturada tetraédrica cujos parâmetros globais adotados foram: *maximum element size* de 16; *natural size* de 4; *cells in gap* de 8. Após a definição desses parâmetros, a malha foi refinada nas superfícies do edifício em um valor de 0,20m, a fim de melhorar a visualização do fluxo de ar no espaço interno e no entorno imediato ao edifício<sup>2</sup>. A malha foi gerada, determinando a quantidade de elementos da malha e o tempo de processamento das simulações (figuras 4 e 5).

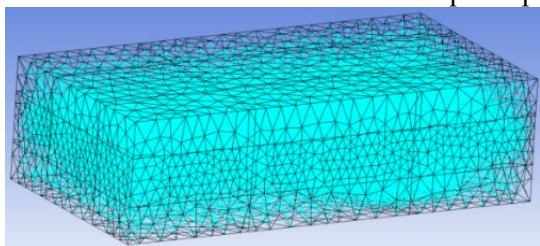


Figura 4 – Vista geral da malha para o Caso de referência

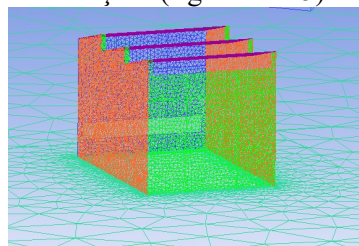


Figura 5 – Detalhe da malha gerada para o Caso de referência

<sup>2</sup> Valores definidos após a realização de testes de sensibilidade da qualidade da malha computacional (LUKIANCHUKI, 2015)

### 3.2.3. Definição das condições iniciais e de contorno

As condições do domínio foram semelhantes às de um túnel de vento: entrada como INLET e a saída como OUTLET; as laterais e o teto como WALL *free slip* (sem atrito) e; o piso e as superfícies do edifício como WALL *no slip* (com atrito). A simulação decorreu em regime permanente, na condição isotérmica a 25°C, com o modelo K-epsilon de turbulência (*first order* – intensidade de turbulência média: 5%) e parâmetros de resolução para controle de convergência de 600 iterações e nível de convergência MÁX de  $10^{-4}$ .

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Variação na dimensão da abertura A1 e dos sheds S1, S2 e S3

Analisa-se aqui a influência da variação na dimensão da abertura A1<sup>3</sup> e das aberturas dos *sheds* S1, S2 e S3<sup>4</sup> no desempenho da ventilação natural nos espaços internos do edifício. A figura 6 apresenta a velocidade do fluxo de ar interno em função dos ventos externos ( $U/U_{ref}$ ) e o incremento (%) nos valores das taxas de renovações de ar/hora em função do aumento das aberturas, em relação ao caso com a menor dimensão dessa abertura (CA), respectivamente. Em seguida, apresenta-se a figura 7 com os valores médios de coeficientes de pressão nas aberturas de entrada e saída de ar, em função do aumento dessas mesmas aberturas.

No caso avaliado, quando os ventos incidiram paralelamente as aberturas (90°), o aumento das aberturas (A1, S1, S2 e S3) não ocasionou um incremento significativo na velocidade do fluxo de ar interno. Quando a abertura teve sua dimensão aumentada em 50% (CA1 e CS1), o fluxo de ar interno, em função da velocidade dos ventos externos ( $U/U_{ref}$ ) aumentou de 0,07 para 0,08. Já quando a abertura teve um aumento de 100%, esse valor foi de 0,09.

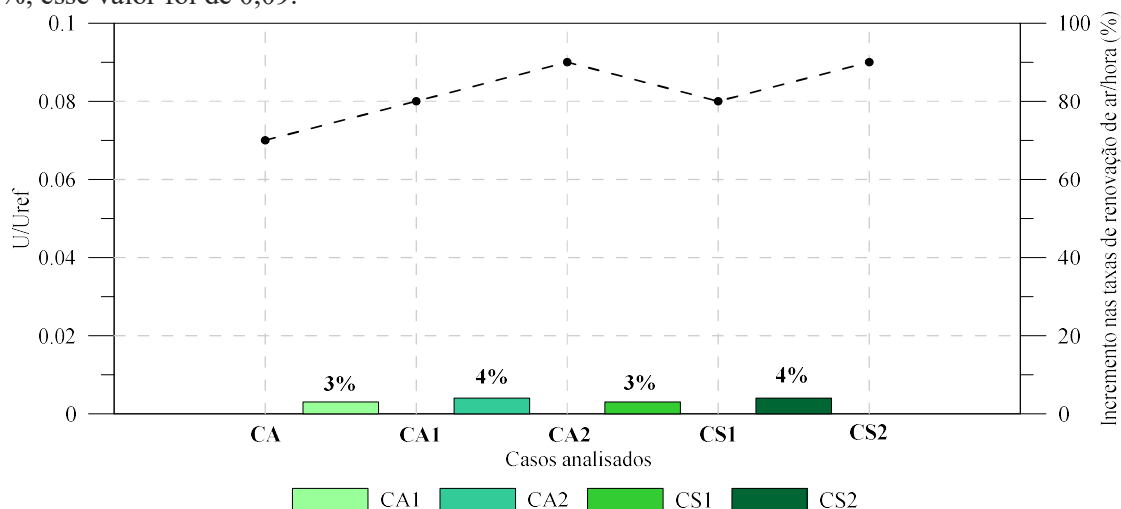


Figura 6 – velocidade do fluxo de ar interno em relação aos ventos externos e variação (%) das taxas de renovação de ar/hora

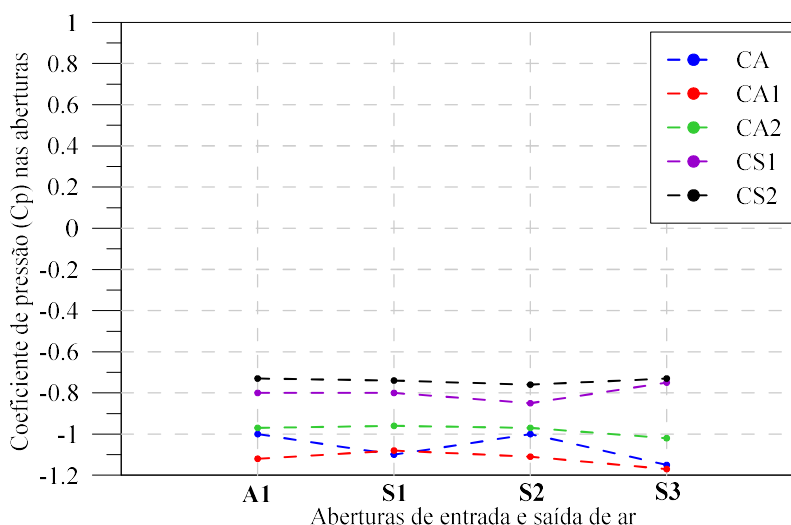


Figura 7 – Coeficientes de pressão nas aberturas para todos os casos analisados

<sup>3</sup> Para os *sheds* extratores e captadores A1 é a abertura de entrada e saída de ar, respectivamente.

<sup>4</sup> Para os *sheds* extratores e captadores S1, S2 e S3 são as aberturas de saída e entrada de ar, respectivamente.

O aumento máximo registrado nas taxas de renovação de ar foi de 4% para o CA2 e o CS2, que apresentam as maiores aberturas. No entanto, como essas taxas são reduzidas, um incremento de 4% não é significativo no desempenho da ventilação natural. Além disso, os incrementos registrados (3% para o CA1 e CS1 e 4% para o CA2 e CS2) são insignificantes comparados com o aumento da dimensão das aberturas (50% para CA1 e CS1 e 100% para CA2 e CS2). Embora tenha sido notado um leve incremento na velocidade do ar em A1, à medida que a sua dimensão foi aumentada, nota-se apenas uma variação do ar nessa região, sem a sua penetração com maiores velocidades no espaço interno. Nota-se que o aumento das aberturas de entrada e saída de ar não afetou significativamente o padrão de distribuição do fluxo de ar interno (figura 8). Isso é reforçado pelos valores similares de Cps nas aberturas, o que indica  $\Delta Cps$  próximos a zero e, conseqüentemente, um fluxo de ar interno com velocidades reduzidas (figura 7).

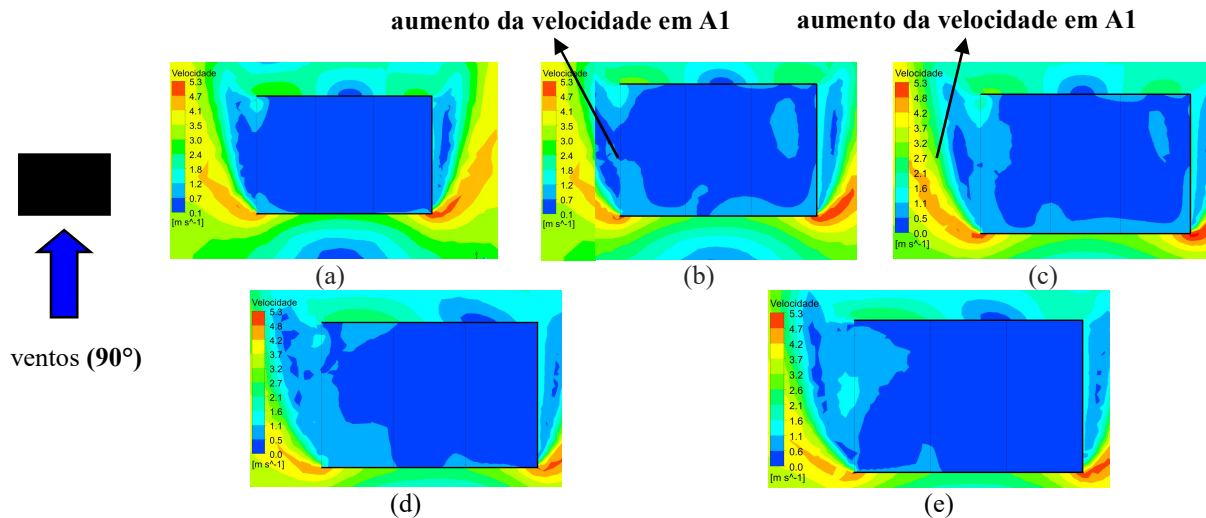


Figura 8 – contorno de velocidade do fluxo de ar nos ambientes internos (a) CA, (b) CA1, (c) CA2, (d) CS1 e (e) CS2

Os resultados mostraram que o aumento das dimensões das aberturas de entrada e saída de ar não é uma estratégia projetual relevante, caso o edifício não esteja orientado de forma correta em relação aos ventos dominantes. Esse resultado era esperado uma vez que a dimensão das aberturas não influencia as zonas de escoamento separado, sendo estas últimas que determinam os  $C_p$  locais. Em virtude disso, estratégias projetuais foram analisadas, visando melhorar o desempenho da ventilação natural nos ambientes internos, caso o edifício esteja orientado nessa situação. Como o aumento das aberturas não ocasionou uma melhora significativa no fluxo de ar interno, as próximas simulações foram realizadas para o caso base (CA).

#### 4.2. Análise paramétrica: inclusão de aletas nas aberturas de entrada e saída de ar

Analisa-se aqui a influência da inclusão de aletas verticais nas aberturas, no incremento do fluxo de ar nos ambientes internos. A figura 9 apresenta a velocidade do fluxo de ar interno em função dos ventos externos ( $U/U_{ref}$ ) e a variação (%) nesses valores em função da inclusão de aletas verticais nas aberturas, em relação ao caso sem nenhuma aleta (CA), respectivamente. Em seguida, apresenta-se a figura 10 com os valores médios de coeficientes de pressão nas aberturas do edifício, em função da inclusão de aletas nas aberturas.

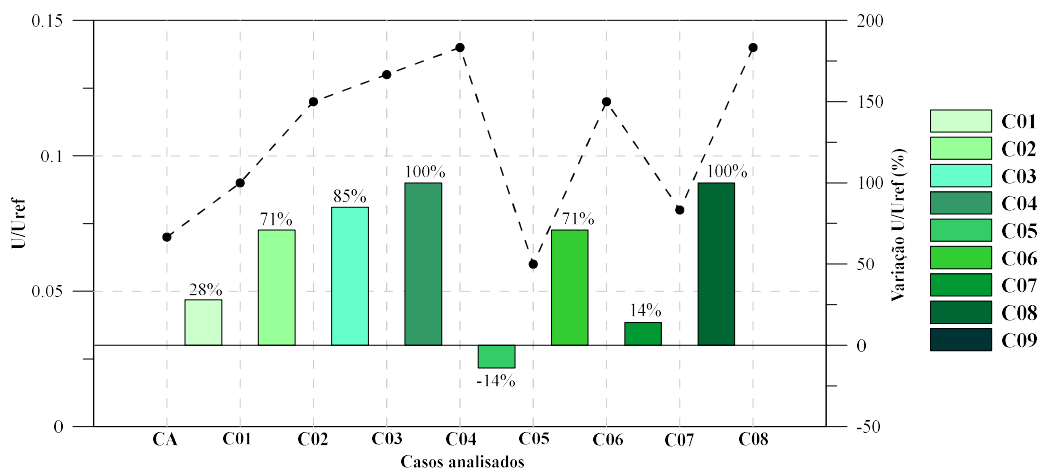


Figura 9 – velocidade do fluxo de ar interno em relação aos ventos externos e variação (%) nesses valores

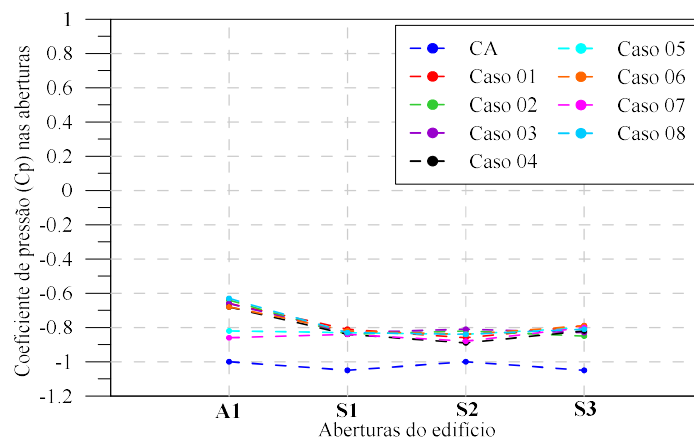


Figura 10 – Coeficientes de pressão nas aberturas para todos os casos analisados

Com relação ao parâmetro 01 avaliado, de modo geral, a inclusão de uma aleta na abertura A1 incrementou o fluxo de ar no ambiente interno em 28% (caso 01). No entanto, à medida que a dimensão desse anteparo externo foi aumentada a velocidade do ar no ambiente interno apresentou um incremento maior, registrando variações de 71% e 85% para os casos 02 e 03, respectivamente. Nota-se que esse aumento foi mais significativo quando se dobrou a dimensão da aleta (caso 02). Já quando a sua dimensão foi triplicada o aumento foi menos significativo, apresentando valores de  $U/U_{ref}$  similares (figura 9). Nota-se ainda que a inclusão desse anteparo externo na abertura A1 modificou os valores de  $C_p$  nessa abertura, o que aumentou o valor de  $\Delta C_p$  e, assim, o fluxo de ar interno. Conforme registrado anteriormente no CA os valores de  $C_p$ s são bastante similares em todas as aberturas, o que indica  $\Delta C_p$ s próximos a zero e, consequentemente, um fluxo de ar interno com velocidades reduzidas (figura 10).

Nota-se também uma modificação na distribuição do fluxo de ar interno. No caso 01, cuja dimensão da aleta é menor, uma quantidade menor do ar que atinge esse elemento externo entra no ambiente, sendo o restante desviado para a região externa lateral a sotavento. O aumento da dimensão desse elemento reduz o fluxo de ar desviado para fora do ambiente, aumentando a quantidade de ar que é direcionado para o ambiente interno. Nota-se, claramente, uma redução da região com baixas velocidades do ar interno, à medida que esse elemento é aumentado. Isso ocorre devido o aumento da pressão junto à aleta vertical e o direcionamento do ar para o ambiente interno, sendo que ao longo da abertura é registrada uma recirculação do ar com saída pela outra extremidade da abertura (figura 11).

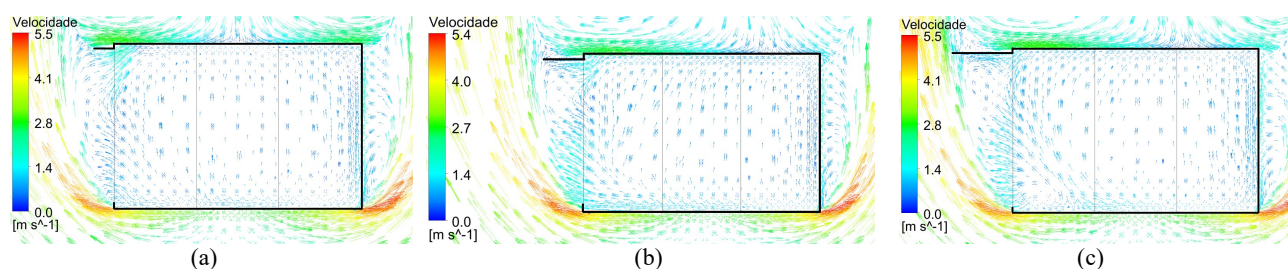


Figura 11 – vetores de velocidade do fluxo de ar nos ambientes internos (a) Caso 01, (b) Caso 02, (c) Caso 03

Com relação ao parâmetro 02 avaliado (distância das aletas verticais em relação a face a barlavento) com a dimensão da aleta de 1,25m, nota-se que quando localizamos essa aleta no centro da abertura A1, ou seja, mais próxima da face a barlavento (distância de 2,50m), tem-se um incremento ainda maior no desempenho da ventilação natural interna, em relação ao CA e ao C01, cuja distância da face a barlavento é o dobro (5,0m). Para esse caso, a velocidade interna do fluxo de ar registrada foi o dobro da registrada em CA (aumento de 100%) e 29% maior que o C02. Isso ocorre, pois, uma maior quantidade do fluxo de ar que seria desviado para a lateral do edifício consegue ser direcionado para o ambiente interno, apresentando uma distribuição interna mais uniforme, sem regiões com baixas velocidades do fluxo de ar. Nota-se claramente o direcionamento do fluxo de ar para o interior do edifício e o aumento da velocidade do ar nessa região e ao longo de todo o espaço interno. Enquanto para o CA as velocidades são muito reduzidas (entre 0 e 0,6m/s) ao longo de todo o espaço interno (figura 11), nos Casos C02 e C04 nota-se um aumento nesses valores, registrando apenas velocidades reduzidas na parte posterior no espaço. O fluxo de ar que passa tangenciando as aberturas em direção à região a sotavento é redirecionado para o ambiente interno, alterando os valores de  $C_p$  nas aberturas e, consequentemente, o desempenho da ventilação nos ambientes internos. A presença da



aleta vertical ocasiona uma pressão positiva na região a barlavento e uma pressão negativa a sotavento da aleta, o que ocasiona entrada e saída de ar por essa abertura (figura 12).

No entanto, para o caso C05, cuja aleta está mais próxima da face a barlavento (0,625m), nota-se uma redução da velocidade do fluxo de ar interno, registrando-se, inclusive, um desempenho pior que o caso sem anteparo externo direcionador do fluxo de ar (redução de 14%). Isso ocorreu, pois, essa localização da aleta barra grande parte do fluxo de ar entrar no ambiente interno, ocasionando uma zona de recirculação na região posterior a aleta (pressão negativa) e, conseqüentemente a sucção do ar para fora do edifício. Nota-se claramente regiões com velocidades do ar reduzidas no ambiente interno (figura 12).

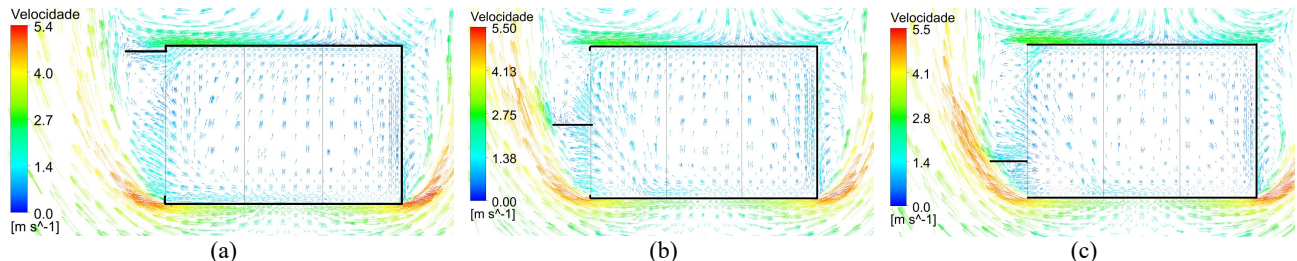


Figura 12 – contorno de velocidade do fluxo de ar nos ambientes internos (a) Caso 02, (b) Caso 04 e (c) Caso 05

Caso a aleta se localize na extremidade da janela, mas incluindo uma aleta intermediária com metade do seu dimensionamento (C06), nota-se um incremento de 71% na velocidade do fluxo de ar interno em relação ao CA, equivalente ao C02 que apresenta apenas uma aleta na extremidade da abertura, com a mesma dimensão. A inclusão da aleta intermediária não afetou significativamente na velocidade do fluxo de ar interno. Isso ocorreu, pois, esse anteparo externo intermediário apresenta uma dimensão reduzida, de forma que se localiza na região de baixa pressão formada pelo desvio lateral da corrente de ar, não interferindo no trajeto do fluxo de ar lateral e, assim, no desvio de parte dessa corrente para o ambiente interno. Nota-se claramente que a inclusão da aleta intermediária ocasionou uma divisão da janela em pressão positiva e negativa, de forma que a entrada do fluxo de ar acontece pela região posterior, ou seja, próxima da aleta localizada na extremidade da abertura, tendo um fluxo de saída na parte anterior da janela (figura 13). Já essa mesma situação prolongando a aleta para o ambiente interno (C07) o desempenho sofre uma redução, em comparação ao C06, e registra-se um pequeno incremento de 14% em relação ao CA (figura 9). Na figura 13 nota-se claramente que o C06 apresenta maiores velocidades do fluxo de ar interno em comparação ao C07, cujos valores são reduzidos ao longo de todo o espaço interno.

Para o Caso 08, nota-se um incremento no fluxo de ar interno (100%) em relação ao CA. Isso ocorreu, pois, o aumento da dimensão da aleta intermediária atinge a corrente de ar que é desviada lateralmente pelo edifício, possibilitando o desvio desse fluxo de ar para o ambiente interno. Assim, na primeira porção da aleta têm-se regiões de entrada e saída de ar (pressão positiva e negativa) e não apenas de saída de ar (pressão negativa), como nos casos 06 e 07. Quando a aleta intermediária tem uma dimensão reduzida ela não funciona como um elemento direcionador do fluxo de ar para dentro do edifício, uma vez que ela se localiza na região de sombra, que é gerada pelo vento que tangencia o edifício lateralmente (figura 13).

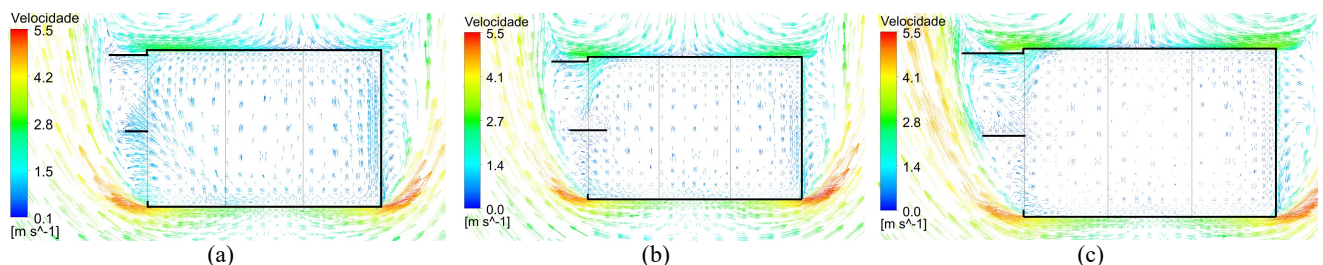


Figura 13 – contorno de velocidade do fluxo de ar nos ambientes internos (a) Caso 06, (b) Caso 07 e (c) Caso 08

Isso é reforçado pelos valores de  $C_{ps}$  na abertura A1 (C06 e C08), o que aumenta o valor de  $\Delta C_p$  e, assim, o fluxo de ar interno. Já no C07 os valores de  $C_{ps}$  são bastante similares em todas as aberturas, o que indica  $\Delta C_{ps} \sim 0$  e, conseqüentemente, um fluxo de ar interno com velocidades reduzidas (figura 10).

## 5. CONCLUSÕES

Quando os ventos externos não incidem diretamente nas aberturas o desempenho da ventilação natural no ambiente interno é reduzido, uma vez que o vento que tangencia as aberturas ocasiona zonas de subpressão e

sobreprensão e, assim, entrada e saída de ar pela mesma janela. No entanto, essas recirculações nas aberturas não penetram no edifício, formando zonas de estagnação do ar ao longo de todo o espaço interno. À medida que as aberturas tiveram as dimensões aumentadas não houve um incremento significativo na velocidade do fluxo de ar interno. Quando as aberturas tiveram suas dimensões aumentadas em 50% (CA1 e CS1), o fluxo de ar interno, em função dos ventos externos ( $U/U_{ref}$ ), aumentou de 0,07 para 0,08. Já quando as aberturas tiveram um aumento de 100%, esse valor foi de 0,09. Isso também foi constatado pelos valores similares de  $C_p$ s entre as aberturas, com um  $\Delta C_p \sim 0$  e, assim, uma reduzida movimentação do ar nos ambientes internos.

Já com relação à inclusão de anteparos externos nas aberturas, à medida que esse anteparo teve sua dimensão aumentada e sua localização mais próxima da face a barlavento, teve-se um incremento no fluxo de ar interno. No entanto, para o C05, com a aleta mais próxima da face a barlavento, a velocidade do ar interno foi reduzida, sendo inclusive menor que o caso sem aletas. Caso a aleta se localize na extremidade da janela, mas com a inclusão de uma nova aleta com metade do seu tamanho (C06), não se tem uma diferença significativa na velocidade do ar interno, apresentando um desempenho similar ao C02 que apresenta apenas a aleta intermediária. Isso ocorreu, pois, esse anteparo externo intermediário com dimensão reduzida, se localiza na região de baixa pressão formada pelo desvio lateral da corrente de ar, não afetando no trajeto do fluxo de ar lateral e, assim, no desvio de parte dessa corrente para o ambiente interno.

No entanto, o aumento da dimensão da aleta intermediária (C08), proporcionou um incremento significativo no fluxo de ar interno (100%) em relação ao CA. Isso ocorreu, pois, o aumento da dimensão da aleta intermediária atinge a corrente de ar que é desviada lateralmente pelo edifício, possibilitando o desvio desse fluxo de ar para o ambiente interno. Quando a aleta intermediária tem uma dimensão reduzida ela não funciona como um elemento direcionador do fluxo de ar para dentro do edifício, uma vez que ela se localiza na região de sombra, que é gerada pelo vento que tangencia o edifício lateralmente.

Por fim, ressalta-se a importância da correta orientação do edifício no terreno, sendo mais impactante do que unicamente o aumento das dimensões de suas aberturas. Essa decisão projetual é simples, mas muitas vezes desconsiderada pelos projetistas durante a concepção do projeto, o que ocasiona consequências como o desconforto térmico dos usuários. A inclusão de simples aletas externas para o direcionamento do vento que é desviado para a lateral o edifício, para os ambientes internos, pode incrementar o fluxo de ar interno e, assim, tornar os espaços mais confortáveis. É importante destacar a necessidade da avaliação do desempenho de outras soluções projetuais para essas situações, como o uso de anteparos externos como muros e elementos vegetais, outras composições de protetores verticais ou horizontais, uso de elementos permeáveis a corrente de ar, visto que nesse trabalho somente foram avaliados aletas impermeáveis, entre outros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMASTÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. ABNT: Rio de Janeiro, Brasil, set, 2003.
- CÂNDIDO, C.; DEAR, R. J. de; LAMBERTS, R.; BITTENCOURT, L. Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. **Building and environment**, v. 45, p. 222-229. 2010.
- COST. Cost Action 14: recommendations on the use of CFD in predicting pedestrian wind environment. Bruxelas: Cost, 2004.
- CÓSTOLA, D.; ALUCCI, M. Pressure coefficient simulated by CFD for wind-driven ventilation analysis. **Proceedings Building Simulation**, Beijing, China, 2007.
- DEKAY M.; BROWN, G. Z. **Sol, vento e luz: estratégias para o projeto de arquitetura**. Bookmand, 2004.
- GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. Applied Science Publisher, London, 1976.
- HARRIES, A. Notas de aula. In: Workshop: CFX – FAU/USP. São Paulo, 2005
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª edição. São Paulo: ProLivros, 2004.
- LUKIANCHUKI, M. A. **Sheds extratores e captadores de ar para indução da ventilação natural em edificações**. 2015. Tese (doutorado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
- LUKIANCHUKI, 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. XIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO e IX ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Campinas: ENCAC. CD-ROM, 2015.
- MORAES, J. M. da S. C.; LABAKI, L. C. CFD como ferramenta para similar ventilação natural interna por ação dos ventos: estudo de caso em tipologias verticais do “Programa Minha Casa, Minha Vida. **Revista ambiente construído**, v. 17, n. 1, 2017.
- PERÉN, J. I. VAN HOOFF, T. LEITE B. C. C. BLOCKEN, B. CFD analysis of cross-ventilation of a generic isolates building with asymmetric opening positions: impact of roof angle and opening location. **Building and Environment** 2015; 85: 263-276.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pelo financiamento da presente pesquisa.