

Sheds extratores e captadores de ar: influência da geometria e da dimensão das aberturas no desempenho da ventilação natural nas edificações

Shed roof air extractors and collectors: the influence of geometry and inlet and outlet openings on the performance of natural ventilation

Marieli Azoia Lukiantchuki
Alessandra Rodrigues Prata Shimomura
Fernando Marques da Silva
Rosana Maria Caram

Resumo

A ventilação natural é uma eficiente estratégia projetual para o condicionamento térmico passivo de edificações, ocorrendo por ação dos ventos, efeito chaminé ou pela combinação de ambos. Dentre as estratégias de ventilação, destacam-se os *sheds*, aberturas no telhado, que funcionam como captadores ou extratores de ar, dependendo de sua localização em relação aos ventos dominantes. O objetivo desse artigo é avaliar a influência da variação na geometria dos *sheds* e na dimensão das aberturas de entrada e saída de ar no desempenho da ventilação natural. O sistema foi avaliado para os ângulos de incidência dos ventos externos de 0° e 45° (extração) e 135° e 180° (captação). A metodologia adotada foi a simulação por Dinâmica dos Flúidos Computacional (CFD), utilizando como ferramenta o *software* CFX. Foram realizadas análises quantitativas (taxas de renovação de ar/hora e coeficiente de pressão nas aberturas) e qualitativas (planos de contorno e vetores de direção e intensidade do fluxo de ar). Os resultados indicam que *sheds* com geometrias aerodinâmicas e o aumento das aberturas de saída de ar incrementam o fluxo de ar interno. Para os *sheds* captadores o aumento isolado das aberturas de entrada de ar não proporciona uma melhora significativa na captação dos ventos pela cobertura.

Palavras-chaves: Simulação CFD. *Sheds*. Aberturas. Ventilação natural.

Marieli Azoia Lukiantchuki
Universidade de São Paulo
São Carlos - SP - Brasil

Alessandra Rodrigues Prata
Shimomura
Universidade de São Paulo
São Paulo - SP - Brasil

Fernando Marques da Silva
Laboratório Nacional de Engenharia
Civil
Lisboa - Portugal

Rosana Maria Caram
Universidade de São Paulo
São Carlos - SP - Brasil

Recebido em 01/05/15
Aceito em 13/10/15

Abstract

Natural ventilation is an efficient strategy for the passive cooling of buildings, occurring through wind action, through stack effect, or a combination of both. Among ventilation strategies, shed roofs stand out. These structures contain roof openings that work as either air collectors or extractors, depending on their location relative to prevailing wind directions. The aim of this paper is to evaluate the influence of the shed geometries and the dimensions of the inlet and outlet openings on the performance of natural ventilation. The system was evaluated for different external wind incidence angles: 0° and 45° (air extraction) and 135° and 180° (air capture). The methodology adopted the CFX software for Computational Fluid Dynamic simulation. Quantitative analyses (air change rates per hour and pressure coefficients in the openings) and qualitative analyses (internal airflow path) were performed. The results indicate that shed roofs with aerodynamic geometries and increased outlet openings increase internal airflow. In case of sheds for air capture, increasing inlet openings did not cause significant improvement in air capture.

Keywords: *CFD simulation. Shed roofs. Openings. Natural ventilation.*

Introdução

A ventilação natural consiste no deslocamento de ar através do edifício, pela disposição de aberturas em suas fachadas, originado por diferenças de pressão entre as áreas externas e internas. Essa estratégia pode ocorrer de duas formas distintas: movimento do ar produzido pela ação dos ventos ou pela diferença de temperatura entre o interior e o exterior (efeito chaminé). O Brasil possui um clima bastante variado, e segundo Cândido *et al.* (2010) grande parte de seu território é classificado como tendo um clima quente e úmido, em que a ventilação natural é uma eficiente estratégia para a obtenção de conforto térmico, reduzindo o consumo de energia elétrica.

O uso dessa estratégia é, muitas vezes, prejudicado em regiões onde não há ventos externos. Isso ocorre pela presença de ventos de fraca intensidade ou pela falta de espaços adequados para a circulação de ar dentro da malha urbana, devido à existência de obstáculos externos que os bloqueiam. Isso pode ser melhorado de duas formas:

- (a) ventilação pelo efeito chaminé, que consiste na formação de uma coluna ascendente de ar e sua exaustão pela cobertura, devido à diferença de temperatura entre o interior e o exterior; e
- (b) uso de captadores de ar acima do plano da cobertura, cujas obstruções à circulação do vento são menores, possibilitando correntes de ar com maiores velocidades.

Existem diversas estratégias de ventilação natural pela cobertura que podem funcionar para extração e captação de ar, dependendo de sua localização em relação aos ventos dominantes. Entre elas podemos citar as chaminés solares, as torres de ventos e os *sheds*. As chaminés solares utilizam a energia do sol para aumentar a diferença de pressão entre pontos internos e, conseqüentemente, incrementar o fluxo de ar interno (CHEN *et al.*, 2004). Pesquisas conduzidas em diferentes países têm apontado a eficácia dessa estratégia para aumentar a ventilação nos edifícios (AFONSO, OLIVEIRA, 2000; MAEREFAT; HAGHIGHI, 2010; WAEWSAK; HIRUNLABH; SHIN, 2003). Além disso, a pesquisa de Neves e Roriz (2012) mostra que o uso da chaminé solar em países tropicais como o Brasil é muito eficiente.

Com relação às torres de vento, pesquisas têm analisado a influência de diferentes formatos geométricos no desempenho da ventilação natural (BAHADORI; MAZIDI; DEGHANI, 2008; MONTAZERI; AZIZIAN, 2008). Nessas torres o vento é capturado em uma altitude cujas obstruções à circulação do ar são menores,

permitindo ventos com maiores velocidades e menores temperaturas. Uma pesquisa desenvolvida por Lôbo e Bittencourt (2003) avaliou o uso desses dispositivos acoplados a caixas d'água funcionando como captadores e extratores de ar. Os resultados mostram que o uso dessa estratégia aumenta a velocidade interna do ar, em alguns ambientes, em até 100%. Além disso, observam-se melhoras no padrão de distribuição do fluxo de ar interno, reduzindo as áreas de estagnação.

Por fim, os *sheds* são dispositivos na cobertura cujas aberturas funcionam para incorporar a iluminação e a ventilação natural nos ambientes internos. O desenho mais comum para esses dispositivos são os conhecidos “dentes de serra”, cujo formato é ortogonal e sem muitas variações (Figura 1). No entanto, apesar de terem um grande potencial, são pouco explorados pela arquitetura nacional (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2006). Segundo Lôbo e Bittencourt (2003), isso ocorre devido ao pouco conhecimento científico sobre o funcionamento dos *sheds* e à falta de dados técnicos acessíveis aos projetistas, induzindo ao erro ou ao não uso desse dispositivo. Além disso, nota-se que na maioria dos casos os *sheds* são utilizados para extração ou para captação de forma aleatória, sem a análise da influência de diferentes parâmetros projetuais na ventilação natural (LUKIANTCHUKI, 2015).

Apesar desse cenário, destaca-se o trabalho do arquiteto João Filgueiras Lima, Lelé¹, cujos *sheds* como captadores ou extratores de ar estão presentes na maioria de seus projetos. A disposição desses dispositivos em seus edifícios não possui uma regra única. Baseado em suas experiências e nos fatores climáticos locais, em determinados projetos ele prioriza a entrada dos ventos por galerias subterrâneas e a extração do ar pelos *sheds* através do efeito chaminé. Em outros, a captação dos ventos é realizada pela cobertura, propiciando uma corrente de ar permanente, que, além de ventilar os ambientes internos, permite a proteção térmica do edifício, reduzindo os ganhos de calor devido à radiação solar que incide diretamente pela cobertura. Lelé projetou *sheds* por quase 50 anos² e, buscando melhorar a eficiência desses dispositivos com relação à ventilação natural, desenvolveu *sheds* com diferentes geometrias aerodinâmicas (Figura 2). A

¹Desde o início de sua trajetória profissional, Lelé incorpora fortemente a ventilação natural em seus projetos através de estratégias criativas e sofisticadas, atuando, principalmente, em regiões de clima quente-úmido.

²Um dos primeiros edifícios de Lelé onde esses dispositivos foram utilizados foi na Sede da Disbrave, em Brasília, 1965.

definição do formato desses dispositivos é de grande importância, pois, segundo Hoof, Blocken e Aanen (2011), um dos principais parâmetros que influem na ventilação natural é a geometria do edifício.

Através do levantamento bibliográfico realizado, nota-se que a grande maioria das publicações encontradas sobre o assunto refere-se apenas ao *shed* com formato ortogonal, sem considerar diferentes variações geométricas. Além disso, não abordam a relação das dimensões das aberturas de entrada e saída de ar no desempenho da ventilação natural nos ambientes internos. Grande parte desses trabalhos está relacionada ao uso de *sheds* para incorporar a luz natural, e poucas pesquisas investigam o potencial desse dispositivo para extração e para a captação do ar. A maioria das pesquisas relacionadas à avaliação dos ventos nesses dispositivos, que envolvem a aferição dos coeficientes de pressão (C_p), está relacionada à análise estrutural das cargas dos ventos, e não a seu potencial para o uso da ventilação natural. Segundo Yang (2004), os valores de C_p disponíveis na literatura são para um número limitado de configurações geométricas de edifícios. Em geral, somente formas muito

simples, como cubos e paralelepípedos com telhado plano ou em declive, podem ser encontradas. Edifícios reais com geometrias complexas, como, por exemplo, as que contenham *sheds*, não estão disponíveis para consulta. Outra questão relevante é que geralmente os dados apresentados se referem a valores médios de C_p nas fachadas, o que, segundo Cóstola e Alucci (2007), pode ocultar importantes informações. Sobre isso, Hien *et al.* (2000) coloca que paredes com C_p médios geralmente não possuem a precisão necessária para modelos de fluxo multizona, o que reforça a necessidade da mensuração dos C_p em edifícios de geometrias diferenciadas. Diante desse cenário, evidencia-se a demanda por pesquisas sobre *sheds* extratores e captadores de ar em climas quentes e úmidos, característicos de grande parte do território brasileiro.

Este trabalho contribui na investigação de estratégias de ventilação natural nos edifícios. O objetivo geral é avaliar a influência da geometria dos *sheds* e da dimensão das aberturas de entrada e saída de ar no desempenho desses dispositivos como extratores e captadores de ar para promover a ventilação natural em edificações.

Figura 1 - Modelo de *sheds* ortogonais - dente de serra



Figura 2 - Modelos de *sheds* aerodinâmicos projetados por Lelé - Sarah Salvador e Rio de Janeiro



Metodologia

A metodologia de trabalho adotada nesta pesquisa divide-se em cinco etapas, descritas detalhadamente a seguir.

Levantamento de dados

Para a definição da geometria aerodinâmica dos *sheds* avaliada, primeiramente se realizou um levantamento de dados das edificações com *sheds* projetadas por Lelé. Os critérios para sua escolha foram:

- (c) arquiteto brasileiro que mais utiliza *sheds* captadores e extratores de ar;
- (d) adoção de *sheds* aerodinâmicos e com a maior variação geométrica;
- (e) atuação em regiões de clima quente-úmido, onde a ventilação natural é uma eficiente solução para o alcance do conforto térmico; e
- (f) arquiteto pioneiro em projetos sustentáveis, cuja postura sempre foi a de integrar princípios ambientais desde a concepção dos edifícios.

Esse levantamento foi realizado em duas etapas: 1) pesquisa nas principais publicações existentes sobre sua obra (LIMA, 2013; RISÉRIO *et al.*, 2011; LAGO *et al.*, 2010; LATORRACA, 1999; LIMA, 1999), selecionando 38 edifícios com *sheds*. Posteriormente, escolheram-se os *sheds* aerodinâmicos, totalizando 23 projetos; 2) pesquisa em seu acervo no Centro de Tecnologia da Rede Sarah (CTRS), em Salvador, BA, cujos desenhos dos projetos selecionados estão armazenados e catalogados. Essa etapa possibilitou reunir uma documentação essencial para a construção de um quadro comparativo entre as diferentes geometrias aerodinâmicas dos *sheds*, auxiliando na escolha do modelo analisado.

Definição do caso de referência

O caso de referência (CR) é o edifício modelo onde são realizadas as variações dos parâmetros projetuais analisados. O *shed* adotado nesse caso foi o modelo ortogonal, por ser a geometria utilizada na maior parte dos edifícios padrão com aberturas na cobertura. Além disso, é a forma que apresenta resultados publicados e, portanto, a que permite comparações.

Como o CR é comparado com uma das geometrias aerodinâmicas projetadas por Lelé, suas proporções tiveram como base os aspectos construtivos das edificações desse arquiteto. As principais características desses edifícios são:

- (a) construções térreas e retangulares;
- (b) modulação de 0,625 m (1L)³, que serviu como base para as proporções do edifício;
- (c) distância entre os *sheds* de 2,50 m;
- (d) pé-direito na base inferior e superior dos *sheds* de 4,375 m e 5,00 m respectivamente; e
- (e) aberturas de entrada e saída de ar com a mesma dimensão.

O levantamento detalhado das características construtivas dos projetos de Lelé estão em Lukiantchuki (2015). As Figuras 3 e 4 apresentam as perspectivas e a planta e corte do CR respectivamente. Em seguida, a Tabela 1 apresenta suas dimensões, em metro.

Seleção dos casos analisados

A análise paramétrica consiste na variação de parâmetros de projeto, a fim de verificar suas influências sobre o desempenho de *sheds* extratores e captadores de ar. Os parâmetros avaliados foram a geometria dos *sheds* e a dimensão das aberturas de entrada e saída de ar. Para a análise das diferentes configurações, modificou-se apenas um parâmetro por vez, de modo a identificar a sensibilidade do sistema para cada parâmetro isoladamente.

A variação da geometria dos *sheds* altera a forma da edificação, o que influencia na distribuição das pressões no edifício, nos valores de C_p nas aberturas e nas taxas de renovação de ar. Diante disso, duas geometrias foram analisadas:

- (a) modelo ortogonal (caso de referência – CR); e
- (b) modelo aerodinâmico projetado por Lelé (geometria um – G01).

A escolha pela G01, entre as muitas desenhadas pelo arquiteto, foi devida a seu amplo uso em diversos edifícios, como nos Sarah de Salvador, Rio de Janeiro e Brasília (LUKIANCHUKI, 2015).

Em seguida, variaram-se as dimensões das aberturas de entrada e saída de ar, a fim de verificar a influência desse parâmetro no volume de ar que entra e sai do edifício, nos valores de C_p e na distribuição qualitativa do fluxo de ar interno. A análise foi desenvolvida para três diferentes dimensões:

- (a) 0,625 m (1L);
- (b) 0,9375 m (3L/2); e
- (c) 1,25 m (2L).

³Nomenclatura adotada nesta pesquisa para representar o valor de um módulo (1L = 0,625 m).

O caso CA tem as aberturas de entrada e saída de ar com as mesmas dimensões (0,625 m x 5,00 m). Nos casos CA1 e CA2 a altura da abertura próximo ao piso (A1) foi aumentada em 50% (0,9375 m) e 100% (1,25 m). Já nos casos CS1 e

CS2 a altura das aberturas dos *sheds* (S1, S2 e S3) foram aumentadas em 50% (0,9375 m) e 100% (1,25 m). Na Tabela 2 apresentam-se os casos avaliados. As características projetuais em destaque são as que sofreram alterações.

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

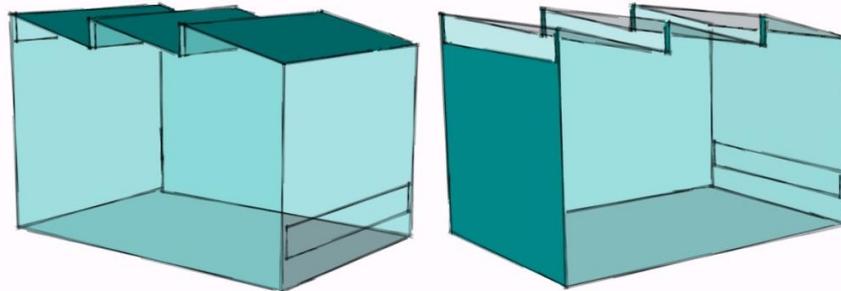


Figura 4 - Caso de referência com as dimensões

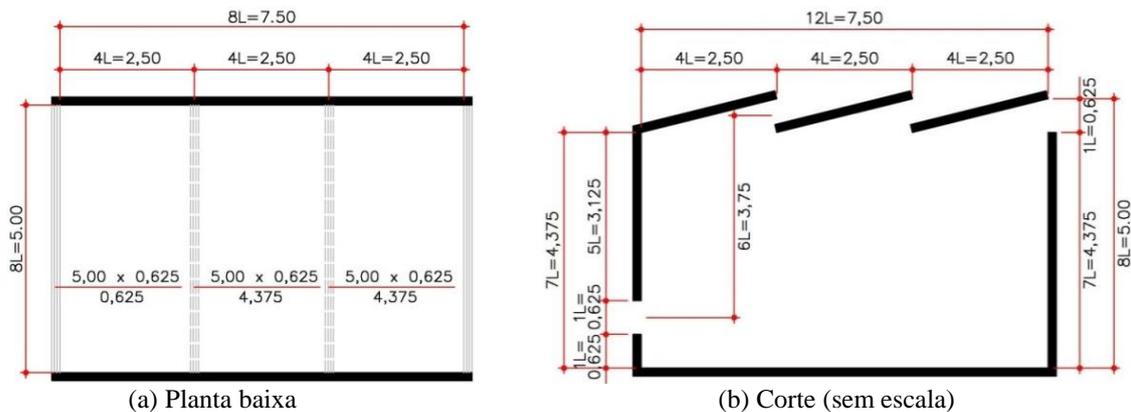
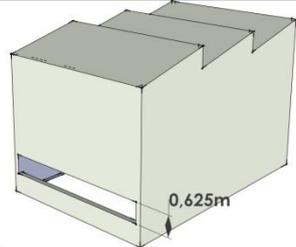
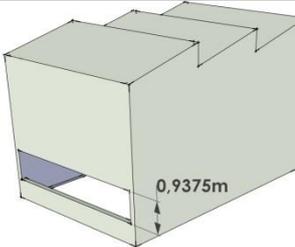
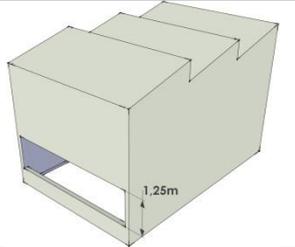
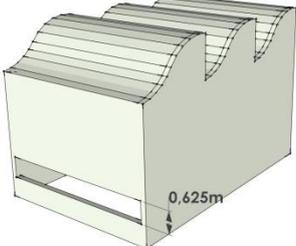
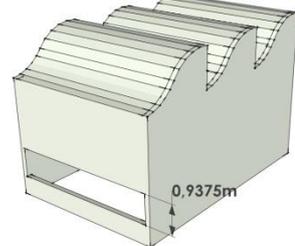
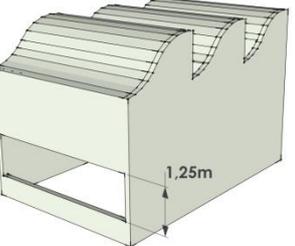
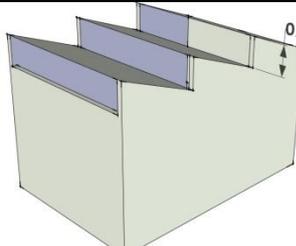
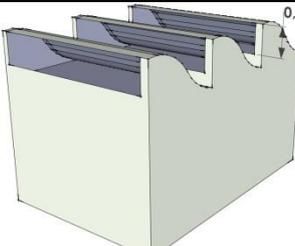
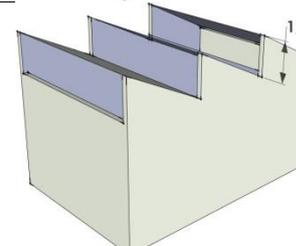
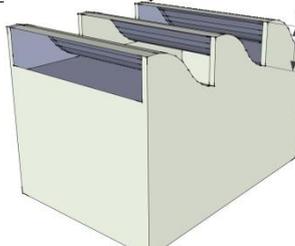


Tabela 1 - Configuração do caso de referência utilizado na análise paramétrica

	Parâmetro	Módulo	Valor padrão
Edifício	Comprimento	12L	7,50 m
	Largura	8L	5,00 m
	Pé-direito maior	8L	5,00 m
	Pé-direito menor	7L	4,375 m
	Distância vertical entre as aberturas	6L	3,75 m
Abertura na fachada (A1) ⁴	Comprimento	8L	5,00 m
	Altura	1L	0,625 m
	Peitoril	1L	0,625 m
	Área efetiva de abertura	5L	3,125 m ²
Abertura de cada <i>shed</i> (S1, S2 e S3)	Comprimento	8L	5,00 m
	Altura	1L	0,625 m
	Peitoril	7L	4,375 m
	Área efetiva de abertura	5L	3,125 m ²
<i>Sheds</i>	Geometria dos <i>sheds</i>	--	Ortogonal
	Distância horizontal entre os <i>sheds</i>	4L	2,50 m
	Número de <i>sheds</i>	--	03
	Ângulo de inclinação	--	14°
	Inclinação das aberturas	--	90°

⁴Peitoril de 0,625 m, seguindo a modulação de Lelé, o que possibilita a corrente de ar na altura do usuário.

Tabela 2 - Características projetuais de cada caso avaliado

CASOS	CA	CA1	CA2
Caso de referência (CR)			
Geometria um (G01)			
Dados projetuais	N. sheds = 03	N. sheds = 03	N. sheds = 03
	Distância sheds = 2,50 m	Distância sheds = 2,50 m	Distância sheds = 2,50 m
	Abertura A1 = 0,625 m	Abertura A1 = 0,9375 m	Abertura A1 = 1,25 m
	Área abertura A1 = 3,12 m ²	Área abertura A1 = 4,68 m ²	Área abertura A1 = 6,25 m ²
	Altura abert. shed = 0,625 m	Altura abert. sheds = 0,625 m	Altura abert. sheds = 0,625 m
Área abert. sheds = 9,37 m ²	Área abert. sheds = 9,37 m ²	Área abert. sheds = 9,37 m ²	
CASOS	CS1		CS2
Caso de referência (CR)			
Geometria um (G01)			
Dados projetuais	N. sheds = 03		N. sheds = 03
	Distância entre sheds = 2,50 m		Distância entre sheds = 2,50 m
	Abertura fachada = 0,625 m		Abertura fachada = 0,625 m
	Área abert. fachada = 3,12 m ²		Área abert. fachada = 3,12 m ²
	Altura abert. de cada shed = 0,973 m		Altura abert. de cada shed = 1,25 m
Área total sheds = 14,06 m ²		Área total sheds = 18,75 m ²	

Seleção dos dados climáticos

O desempenho dos sheds foi avaliado sob a influência de diferentes velocidades e ângulos de incidência dos ventos externos. Com relação às velocidades, buscou-se uma análise dos dados

climáticos das cidades brasileiras localizadas na Zona Bioclimática 8 (ZB8 – NBR 15220-3 (ABNT, 2005)) para estabelecer uma referência de valores baixos, médios e altos. A opção pela ZB8 foi devida à recomendação do uso da ventilação natural permanente durante todo o ano. Dados

climatológicos das séries históricas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMet) do período de 2002 a 2011 (INSTITUTO..., 2011) e os arquivos no formato Epw⁵ elaborados por Roriz (2012) foram selecionados. De acordo com os dados analisados, definiram-se três valores de velocidades, caracterizados por baixa, média e alta, em termos médios: 1,5 m/s, 3,0 m/s e 7,0 m/s respectivamente. Esses valores são referentes aos dados medidos nas estações climatológicas, a 10 m de altura, e, sendo assim, foi utilizada a equação 1, a seguir, para a correção dessas velocidades na altura da edificação. Para as simulações computacionais adotou-se a maior velocidade ($U = 7,0$ m/s), e como entorno um ambiente suburbano com valor de $\alpha = 0,21$, obtido através de ensaios no túnel de vento⁶.

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

Onde:

U: velocidade média do vento em certa altura h (m/s);

U_{ref} : velocidade do vento medida na altura de referência (m/s);

h: altura da edificação que se deseja avaliar a velocidade do vento (m);

h_{ref} : altura de referência da velocidade do vento (10 m); e

α : expoente de lei de potência da camada limite atmosférica (entorno).

Com relação aos ângulos de incidência dos ventos externos, os *sheds* foram avaliados como extratores (0° e 45° em relação à reta normal à abertura próximo ao piso) e captadores (135° e 180°) de ar (Figura 5). A análise dos efeitos da diferença de temperatura entre o ar interno e externo (efeito chaminé) também é de grande importância em estudos do movimento do ar e devem ser analisados. No entanto, essa análise não foi o foco deste artigo e será apresentada posteriormente.

Simulação computacional

Para a realização das simulações, utilizou-se o software CFX 12.0. A escolha por essa ferramenta baseou-se nos seguintes critérios:

- (a) software baseado na Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD), adequado ao estudo da ventilação natural nos edifícios; e
- (b) ferramenta amplamente utilizada nas pesquisas de análise de fluidos nas áreas de engenharia e arquitetura, apresentando boa coerência dos resultados com os fenômenos físicos.

Geração do modelo

O modelo tridimensional do edifício e do domínio foi realizado com o *software* AutoCAD. Optou-se pelo domínio retangular por possibilitar um número menor de elementos na malha e, conseqüentemente, a redução do tempo de processamento das simulações. As dimensões seguiram as recomendações de Harries (2005)⁷:

distâncias a barlavento e nas laterais = 5H (25 m);

altura = 6H (30 m); e

distância a sotavento = 15H (75 m);

Sendo H = 5 m, que corresponde à altura do modelo simulado (Figura 6).

A área de obstrução do edifício no domínio foi de 1,1% no sentido do fluxo e de 1,5% no sentido perpendicular ao fluxo, atendendo à sugestão de Cost (2004), que recomenda um valor abaixo de 3%. Assim, evita-se o efeito de blocagem, impedindo que as fronteiras do domínio influenciem no escoamento.

Geração da malha computacional

Para todas as simulações utilizou-se uma malha estruturada tetraédrica, cujos parâmetros globais adotados foram:

- (a) maximum element size 16;
- (b) natural size 4; e
- (c) cells in gap 8.

A malha foi refinada nas superfícies do edifício em um valor de $0,20$ m⁸, a fim de melhorar a visualização do fluxo de ar no espaço interno e no entorno imediato ao edifício. Aplicou-se o método de geração da malha computacional definindo o número de 25 iterações e a qualidade mínima de 0,5 (Figura 7). A combinação desses parâmetros determina a quantidade de elementos da malha e, assim, o tempo de processamento das simulações.

⁵EPW (*EnergyPlus Weather File*).

⁶Os ensaios de avaliação da camada limite atmosférica foram realizados no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), em Lisboa, Portugal (LUKIANCHUKI, 2015).

⁷HARRIES, A. Notas de aula. In: *Workshop: CFX - FAU/USP*. São Paulo, 2005.

⁸Esses parâmetros foram definidos após a realização de testes de sensibilidade da qualidade da malha computacional, apresentados em Lukiantchuki (2015).

Definição das condições iniciais e de contorno

As condições do domínio foram definidas de forma semelhante às de um túnel de vento:

- (a) entrada como *Inlet* e a saída como *Outlet*;
- (b) as laterais e o teto como *Wall free slip* (sem atrito), pois não impõe resistência às partes do domínio onde não são realizadas análises importantes; e
- (c) 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 (ação dos ventos). Segundo Brandão (2009), simulações apenas do campo de ventos normalmente são realizadas em regime permanente. Isso ocorre porque as condições de contorno são constantes e a relação entre o campo de velocidade e a velocidade de entrada do ar no modelo se mantém constante para

velocidades médias ou altas. De acordo com Cóstola (2006), a simulação em regime transiente só se justifica para o uso do modelo LES, o que não é o caso da presente pesquisa.

O modelo de turbulência utilizado foi o K-Epsilon, que é comum e bem estabelecido em diversas pesquisas de dinâmica dos fluidos e ventilação natural (CALAUTIT; HUGHES, 2014; HARGREAVES; MORVAN; WRIGHT, 2014). Além disso, usa-se esse modelo por oferecer a melhor relação entre custo (tempo de processamento) e benefício (precisão). Segundo Figueiredo (2007), esse modelo é o mais validado e usado devido a sua baixa capacidade computacional. As funções turbulentas de superfície do K-Epsilon devem ser *scalable*, para se ajustar às interações entre o fluido e as superfícies sólidas.

Figura 5 - Ângulos de incidência dos ventos externos analisados

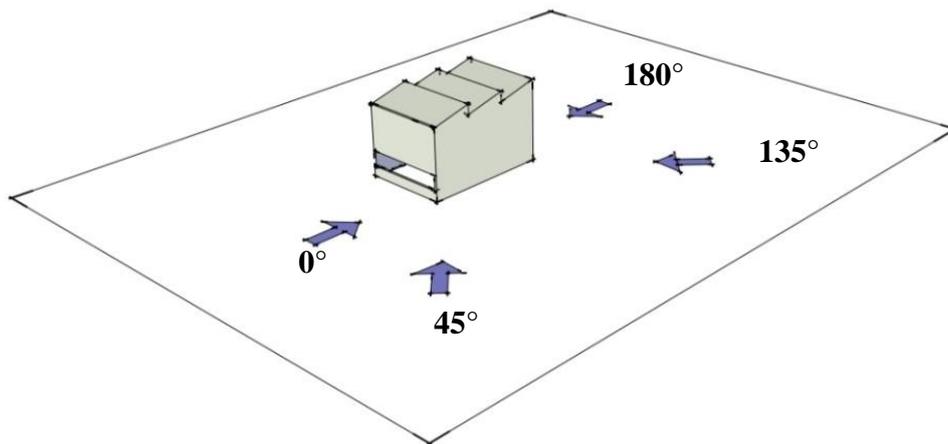


Figura 6 - Dimensões adotadas para o domínio retangular

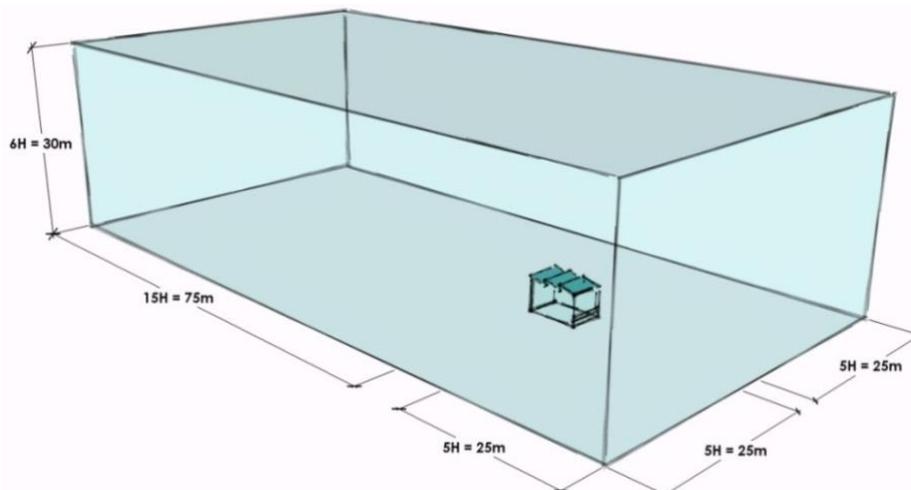
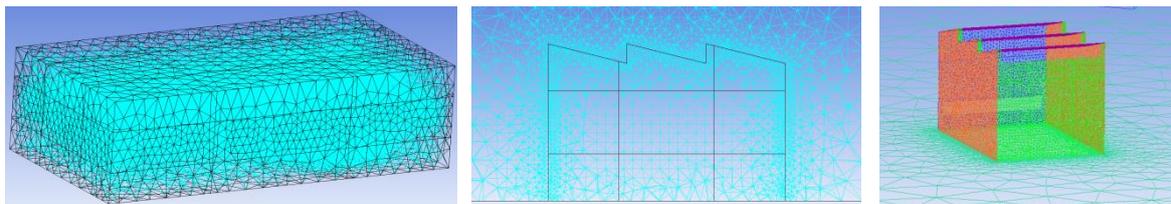


Figura 7 - Detalhes da malha gerada para o caso de referência



O nível de convergência foi estabelecido quando todos os níveis residuais alcançaram um valor máximo de 10^{-4} . Os números de iterações mínimos e máximos adotados foram de 600 e 6.000 respectivamente. Esses parâmetros foram baseados em diversas pesquisas brasileiras sobre ventilação natural, utilizando como ferramenta o CFX (BRANDÃO, 2009; COSTA, 2009; CÓSTOLA, 2006; FIGUEIREDO, 2007; LEITE, 2008; PRATA, 2005).

Resultados

Primeiramente, analisou-se a influência da geometria dos *sheds* no desempenho desses dispositivos como extratores e captadores de ar com relação à ventilação natural. Posteriormente, a influência da variação da dimensão das aberturas de entrada e saída de ar foi avaliada. As análises foram realizadas de duas formas:

- qualitativa (planos de contorno e vetores de direção e intensidade do fluxo de ar); e
- quantitativa (taxas de renovação de ar/hora, porcentagem de incremento ou redução nessas taxas e C_p nas aberturas dos modelos).

Variação da geometria dos *sheds*

A Figura 8 apresenta as taxas de renovações de ar/hora em função dos ângulos de incidência dos ventos externos, para as duas geometrias analisadas, com a variação (%) nesses valores para G01, em relação ao CR. Em seguida, o Gráfico 2 apresenta os C_p médios nas aberturas de entrada e saída de ar, em função dos ângulos de incidência dos ventos.

De modo geral, a mudança na geometria dos *sheds* influencia no fluxo de ar interno, apresentando alterações expressivas nos valores de C_p e nas taxas de renovação de ar/hora. Tanto para os *sheds* como extratores quanto para os captadores de ar, as maiores taxas foram alcançadas quando os ventos incidiram obliquamente no edifício (45° e 135°). Isso ocorreu devido aos maiores valores da velocidade do ar nas aberturas do edifício, o que incrementou a vazão volumétrica e, consequentemente, a renovação do ar no espaço

interno. Tanto para CR como G01 os *sheds* como extratores apresentaram um desempenho superior do que como captadores de ar (Figuras 8 e 9).

Sheds extratores de ar

As Figuras 10 e 11 apresentam a velocidade e a distribuição do fluxo de ar a 0,94 m a partir do piso para 0° e 45° respectivamente. Para os *sheds* extratores de ar, nota-se que a G01 apresenta as maiores taxas de renovação, registrando um incremento de 51% e 32% em relação ao CR para 0° e 45° respectivamente. Para 0° a mudança nas geometrias dos *sheds* não exerce influência significativa na distribuição do fluxo de ar interno. Em ambos os casos, o fluxo percorre o espaço interno de maneira uniforme devido à incidência perpendicular do vento na abertura e à simetria das pressões nessa região. O ar atravessa a abertura a barlavento com altas velocidades, sofrendo redução após entrar no espaço, devido à expansão da corrente de ar. Em seguida, as velocidades vão aumentando até atingir o pico no centro do ambiente; posteriormente decrescem. Destaca-se G01, que apresenta a região central com as maiores velocidades do ar (Figura 10).

Já quando os ventos externos incidem a 45° na edificação, a distribuição do ar interno não foi uniforme, sendo este desviado para a lateral. Embora a velocidade atingida na abertura e na região próxima a ela tenha sido elevada (em torno de 4,0 m/s), o fluxo de ar sofreu redução à medida que se afastou dessa face. Novamente, a G01 apresenta os maiores valores de velocidade do ar interno na zona de ocupação dos usuários (Figura 11).

Nos dois casos analisados o fluxo de ar atravessa a abertura a barlavento como um jato descendente com velocidades elevadas na zona de ocupação dos usuários. Na região central do espaço a redução desses valores está associada à recirculação interna, com a formação de um vórtice central. Nota-se também aumento da velocidade do ar interno próximo aos *sheds*. Isso ocorre devido ao vento externo, que tangencia a cobertura com altas velocidades, gerando uma zona de separação fortemente depressionária nas aberturas dos *sheds*, o que ocasiona a aceleração

do fluxo de saída. Desse efeito resultam campos de pressão assimétricos na abertura central da cobertura, com diferentes valores de C_p , o que, em conjunto com a influência do *shed* seguinte, dá origem a uma recirculação de ar nos *sheds*. No entanto, essa recirculação ocasiona uma massa de ar estacionária que não penetra no espaço interno. Já no último *shed* nota-se a extração do ar de forma intensa. Esse efeito é intensificado na G01,

uma vez que o escoamento que contorna as geometrias aerodinâmicas reduz o efeito de separação, aumentando localmente as velocidades; dessa forma, têm-se valores de C_p mais baixos (maiores ΔC_p entre as aberturas). Com isso, tem-se a maior movimentação do ar no interior do edifício e, portanto, a situação mais vantajosa para a ventilação por *sheds* extratores, por ação dos ventos (Figuras 9 e 12).

Figura 8 - Taxas de renovações de ar em função dos ângulos de incidência dos ventos externos, para as geometrias analisadas e a variação (%) nesses valores, em relação ao CR

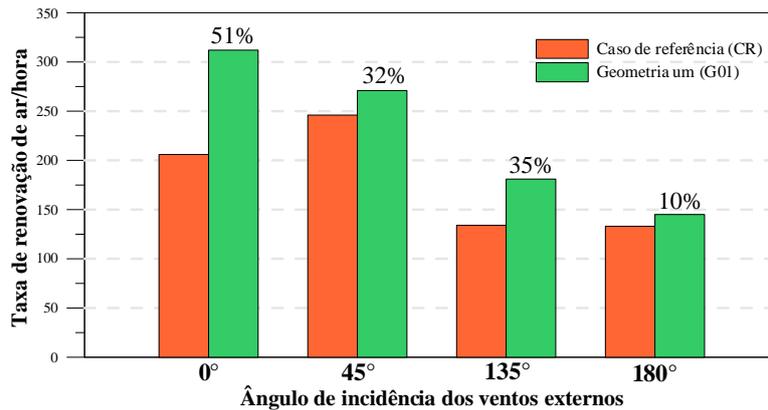


Figura 9 - Coeficientes de pressão (C_p) médios nas aberturas para cada caso analisado

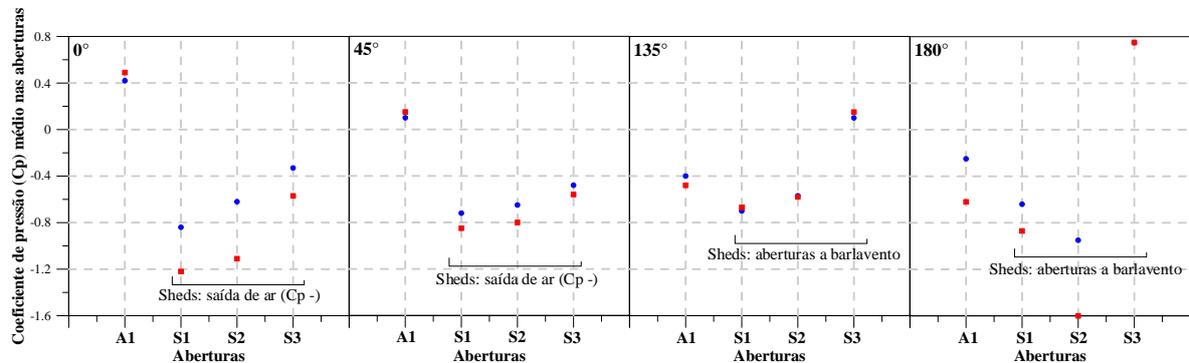


Figura 10 - Velocidade do ar para 0°

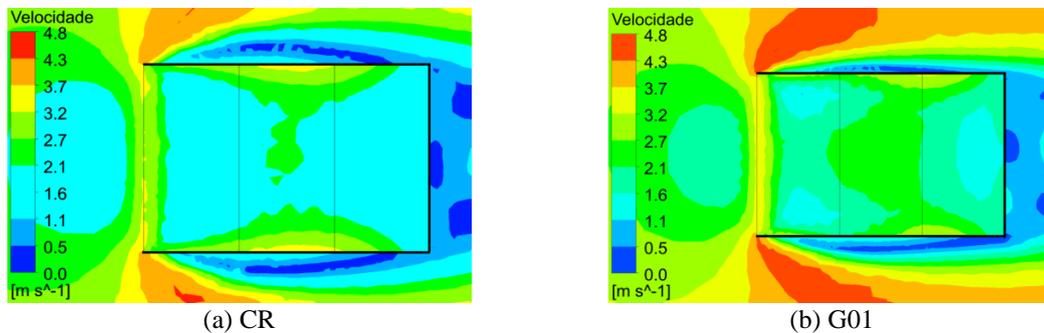


Figura 11 - Velocidade do ar para 45°

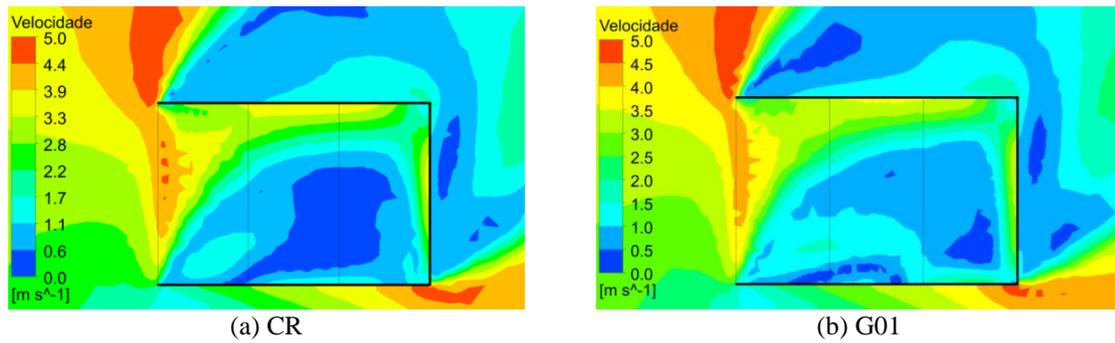
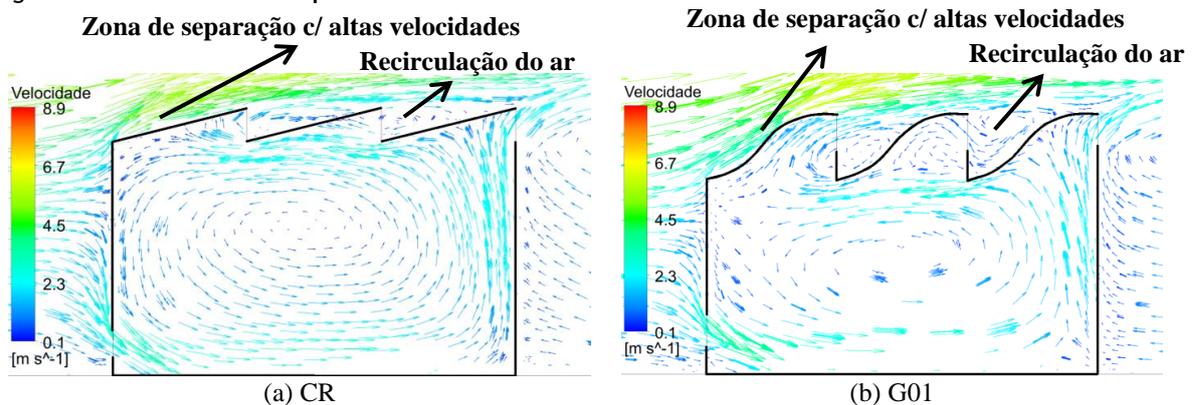


Figura 12 - Velocidade do ar para 0°



Sheds captadores de ar

No caso dos *sheds* captadores de ar, novamente G01 apresenta desempenho superior ao CR, registrando um incremento de 35% e 10% para os ângulos de 135° e 180° respectivamente (Figura 8). Nota-se que em G01 a região interna com velocidades reduzidas é menor, e, como constatado anteriormente, quando o vento incide a 180° nas aberturas a distribuição do ar interno é simétrica, ao contrário da direção de 135° (Figuras 13 e 14).

Nos dois casos apenas o *shed* frontal a barlavento funciona como captador. O fluxo de ar incidente na cobertura com altas velocidades gera uma forte zona de separação com a formação de uma sombra de vento. Esse efeito ocasiona a queda dos valores de pressão nas aberturas dos *sheds* localizados na região posterior (C_p -), gerando um fluxo reverso nas aberturas S1 e S2, que, ao contrário de captarem o ar, passam a extraí-lo. O melhor desempenho ocorre na G01, que possui o maior ΔC_p entre as aberturas e as maiores taxas de renovação (Figuras 8 e 9

No CR o fluxo de ar captado pelo primeiro *shed* é direcionado para frente, sendo parcialmente extraído pelos *sheds* posteriores. A corrente de ar com maior velocidade permanece na zona superior do espaço e na região mais afastada do *shed* captador, pois a diferença de pressão entre as aberturas ocasiona a saída do ar com maior intensidade pela abertura mais baixa. Em função disso, a velocidade do ar atinge valores mais baixos próximo ao *shed* captador, indicando que o ar que penetra por esse dispositivo não atinge com grandes velocidades a altura do usuário. Na G01, devido à curvatura aerodinâmica, o fluxo é desviado para baixo de forma mais intensa, o que aumenta a velocidade na zona de ocupação dos usuários e possibilita que o fluxo com maiores velocidades atinja locais mais distantes do *shed* captador. Por outro lado, a trajetória do fluxo de ar interno forma uma região de sombra de vento com menores velocidades no centro do ambiente. Ressalta-se que novamente em G01 as velocidades são significativamente superiores do que no CR (Figuras 13 a 15).

Figura 13 - Velocidade do ar para 180°

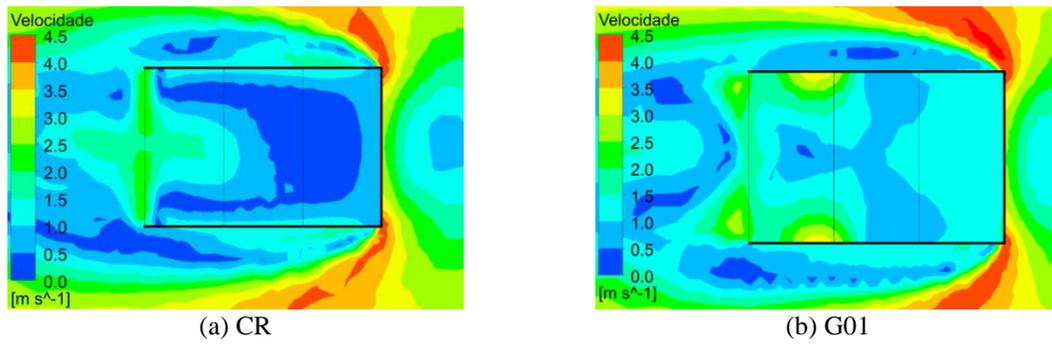


Figura 14 - Velocidade do ar para 135°

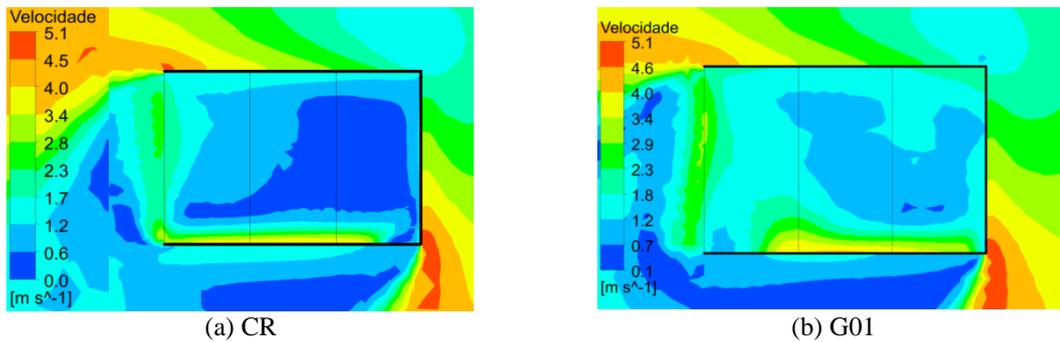
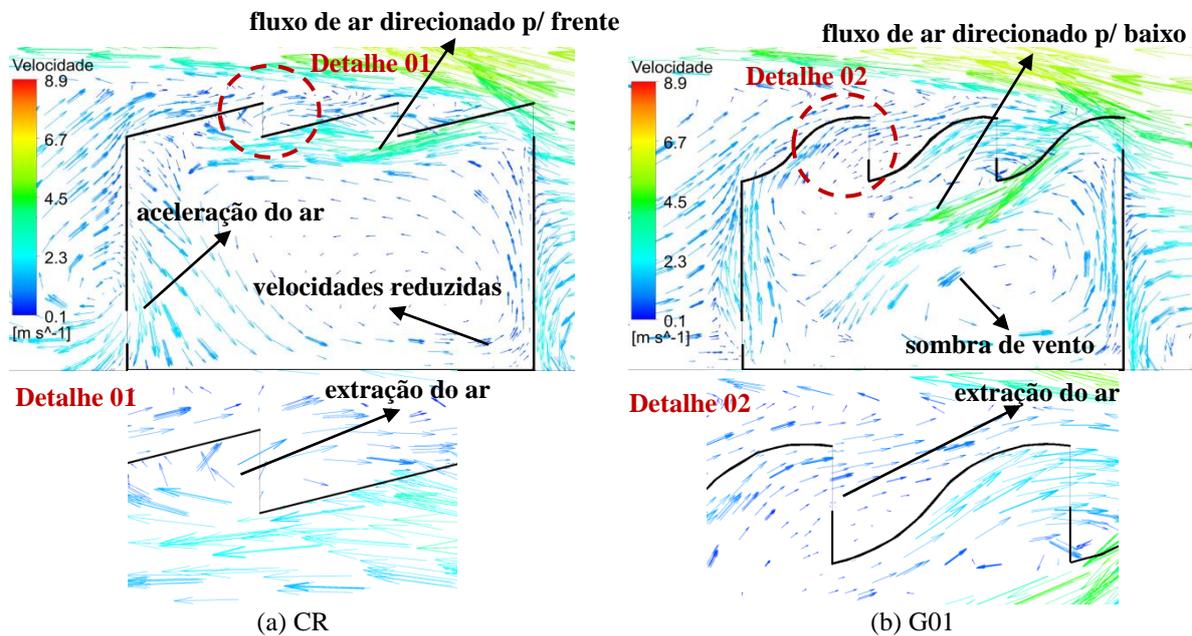


Figura 15 - Vetores de velocidade do ar - ângulo de 180°



Variação da dimensão das aberturas de entrada e saída de ar

A Figura 16 apresenta os valores médios dos C_p em cada abertura, para CR e G01, para os *sheds* como extratores e captadores de ar. Em seguida, os Gráficos 4 e 5 apresentam as taxas de renovações de ar/hora em função do aumento das aberturas de

entrada e saída de ar e a variação (%) nesses valores em relação ao caso com a menor dimensão dessas aberturas (CA), para CR e G01, para os *sheds* extratores e captadores de ar respectivamente.

De maneira geral, o fluxo de ar interno mostra-se dependente das dimensões das aberturas, pois uma

abertura maior permite a passagem do ar com menor perda de carga localizada na entrada, resultando em melhor aproveitamento dos ventos externos no espaço interno e em maiores taxas de renovação de ar. O tamanho, a forma e a localização das aberturas são fatores determinantes na configuração do fluxo de ar. Além disso, a distribuição do ar no espaço interno é influenciada pelos campos de pressão gerados pelo vento no entorno da construção e pelas pressões existentes ao redor da abertura.

Sheds extratores de ar

Para os *sheds* extratores de ar, o aumento de A1 altera os valores de Cp nas aberturas, obtendo-se maiores ΔC_p e, conseqüentemente, maior movimentação do ar no ambiente interno para as duas geometrias analisadas. No entanto, ressalta-se que G01 apresenta desempenho superior ao CR. Isso ocorre devido a seu formato aerodinâmico, que não apresenta interrupções à circulação do ar, provocando maior aceleração dos ventos próximo aos *sheds*, maiores ΔC_p entre as aberturas e maiores taxas de renovação do ar (Figuras 16 a 20).

Já quando se aumentam as aberturas dos *sheds*, que funcionam como saída de ar, as taxas de renovação apresentam incremento mais

significativo, uma vez que a dimensão das aberturas a sotavento influencia fortemente na vazão volumétrica do edifício. Maiores taxas de renovação no ambiente interno são obtidas quando essas aberturas apresentam as maiores dimensões, sendo os maiores valores registrados no CS2 (Figuras 17 e 18).

Apesar de o CR registrar os maiores incrementos nas taxas de renovação do ar, G01 apresenta o melhor desempenho. No entanto, nos casos CS1 e CS2 o desempenho foi muito similar ao do CR. Neste os incrementos nas taxas de renovação dos CS1 e CS2, em relação ao CA, são de 152% e 220% respectivamente, enquanto em G01 são de 46% e 106% respectivamente. Isso ocorre porque, à medida que essas aberturas são aumentadas no CR, aumenta-se também a inclinação dos *sheds* (14°, 21° e 27°, nessa ordem). Com isso, o vento que tangencia a cobertura sofre uma aceleração mais intensa, o que provoca uma queda mais significativa nos Cp nas aberturas e, conseqüentemente, a sucção do ar com mais força para fora do ambiente (Figuras 16 e 19). Para 45° também ocorre um incremento nessas taxas em função do aumento das aberturas dos *sheds*. No entanto, esse aumento é inferior ao ocorrido para 0°, o que é notado pelos Cp que permaneçam similares (Figura 16).

Figura 16 - Coeficientes de pressão (Cp) médios nas aberturas para cada caso analisado

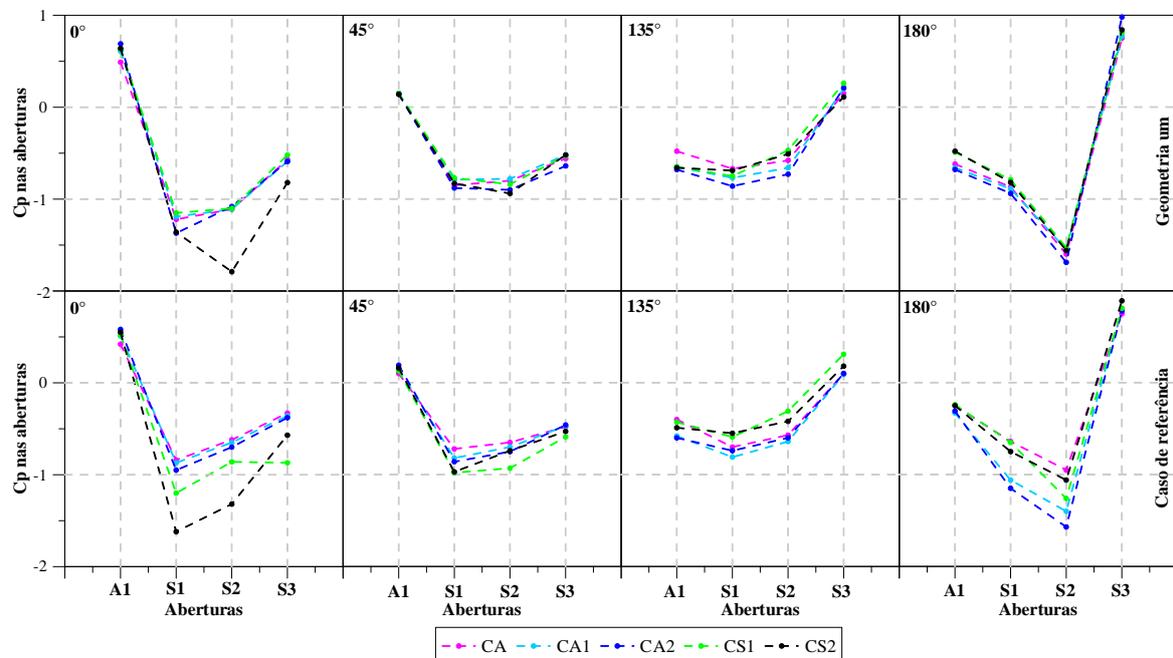
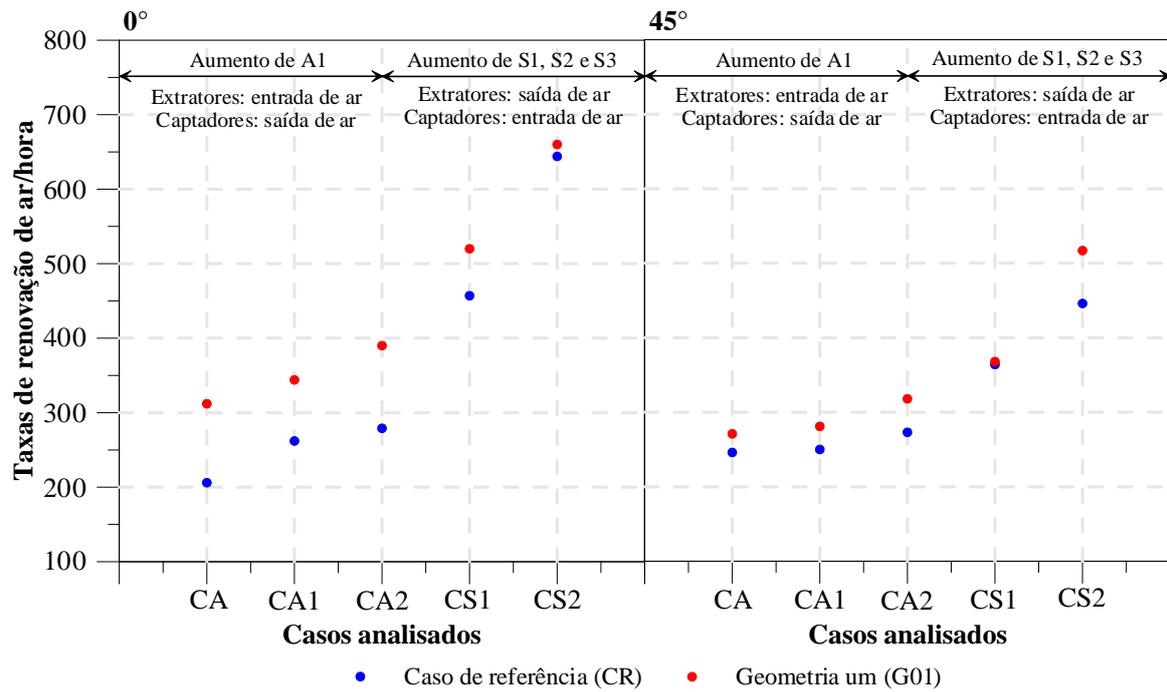
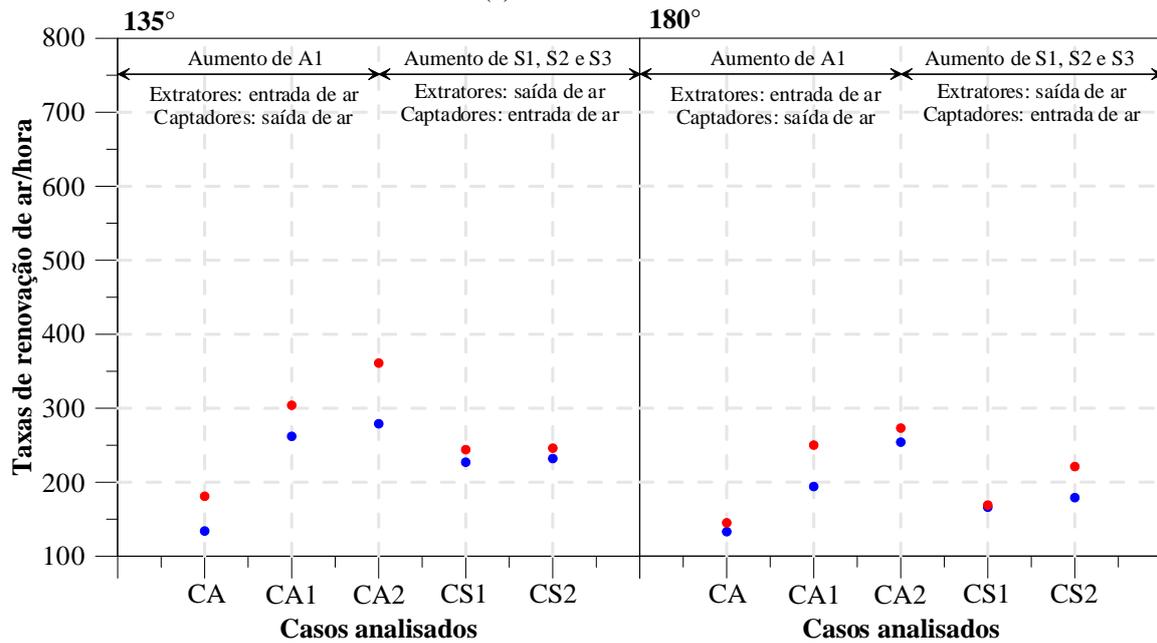


Figura 17 - Taxas de renovação de ar/hora em função do aumento das aberturas de entrada e saída de ar



(a) Sheds extratores



(b) Captadores de ar

Figura 18 - Incremento nas taxas de renovação de ar/hora (%) em função do aumento das aberturas de entrada e saída de ar

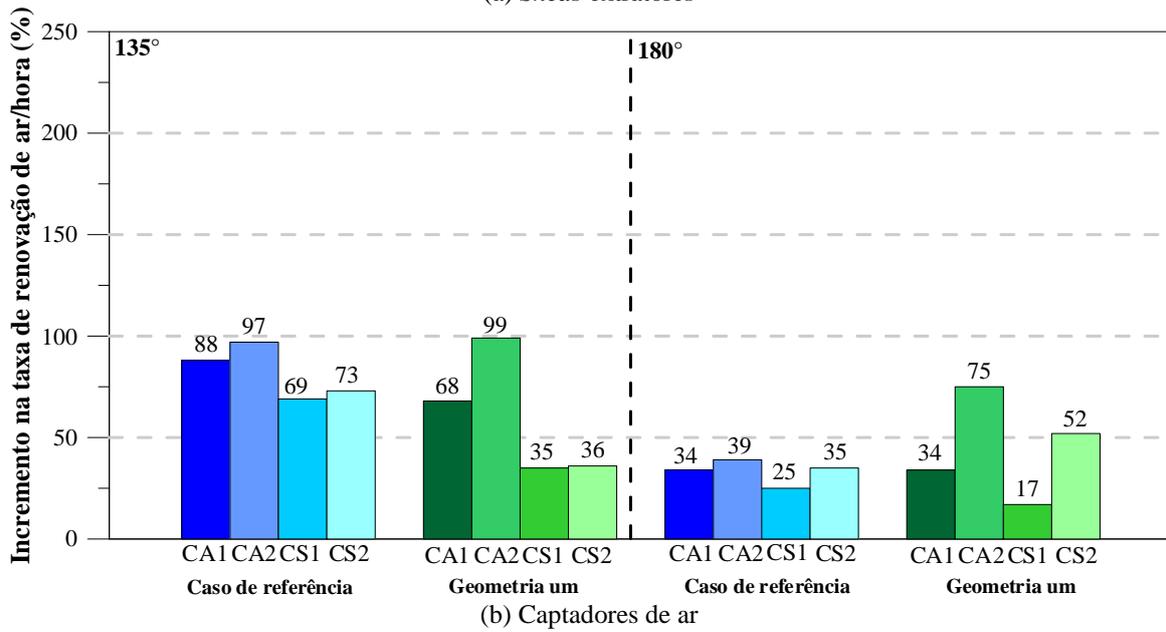
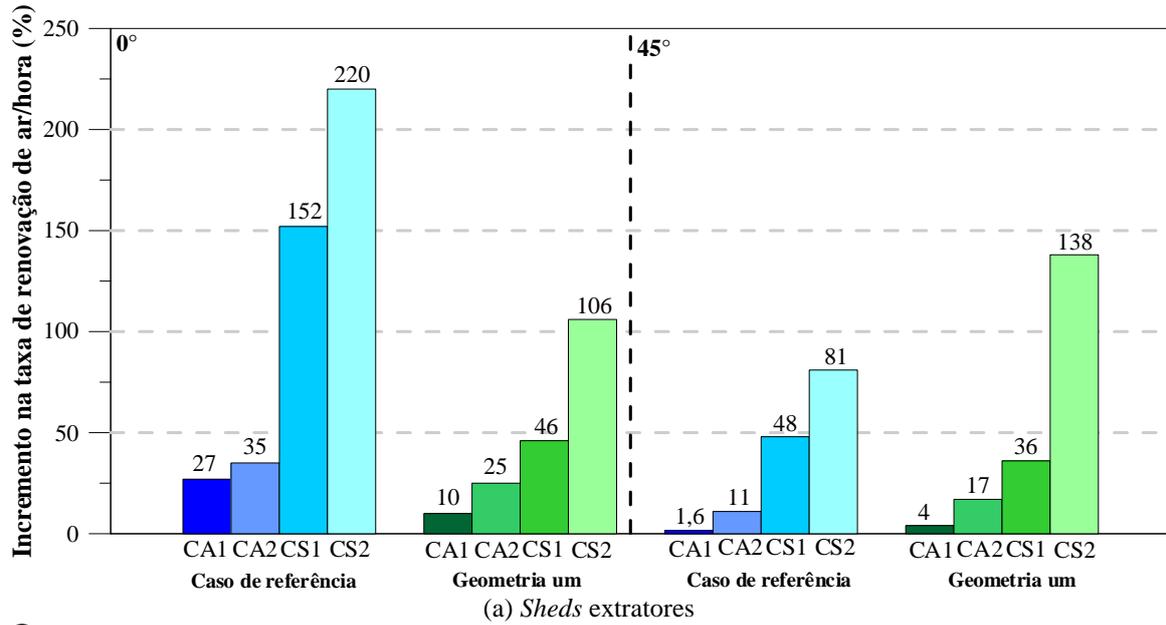


Figura 19 - Vetores de velocidade do ar para o caso de referência (CR) - ângulo de 0°

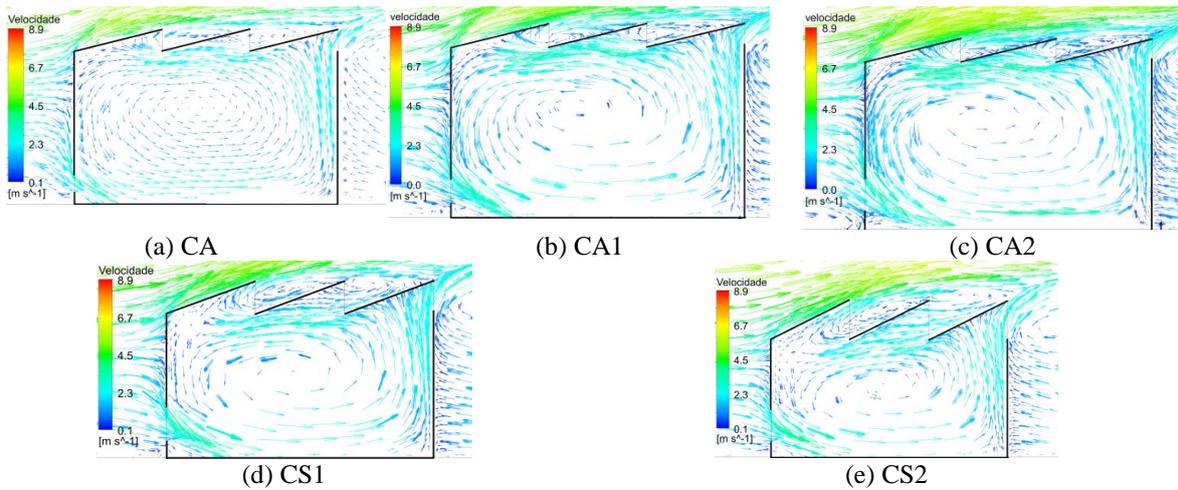
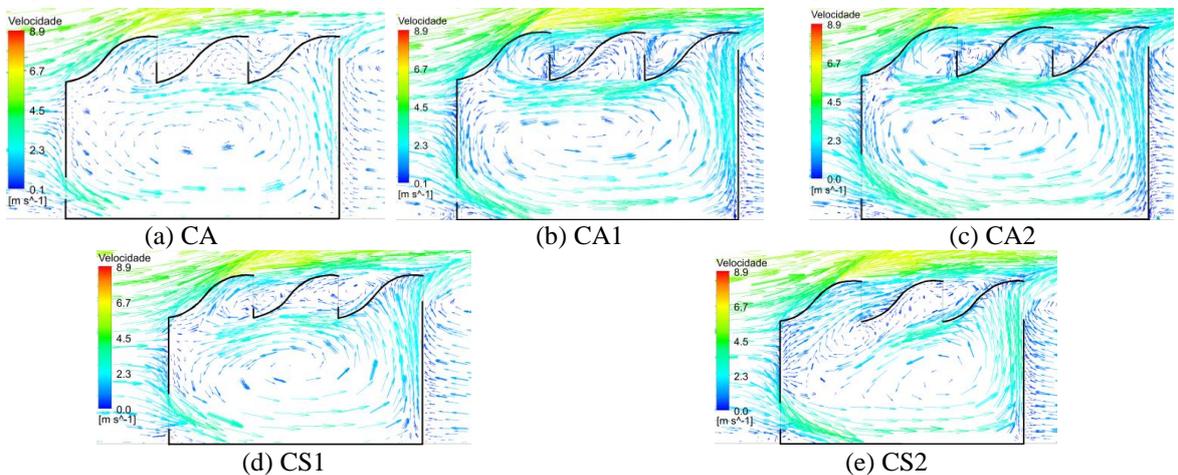


Figura 20 - Vetores de velocidade do ar para a geometria um (G01) - ângulo de 0°



Sheds captadores de ar

Para os *sheds* captadores, o aumento de A1 proporciona os maiores incrementos das taxas de renovação do ar interno. Para 180° o aumento nessas taxas é quase linear, à medida que A1 é aumentada, registrando um incremento de 34% e 39% para CA1 e CA2 para CR e de 34% e 75% para CA1 e CA2 para a G01 (Figuras 17 e 18). Nota-se um incremento na velocidade do ar em A1 (sotavento), na medida em que sua área foi aumentada, o que ocasiona uma vazão do ar mais intensa (Figuras 21 e 22).

Quando as aberturas dos *sheds* foram aumentadas (CS1 e CS2), nota-se, nas duas geometrias analisadas, um leve incremento nas taxas de renovação. No entanto, esse aumento é expressivamente inferior ao registrado para os *sheds* extratores do ar. Isso ocorre porque, apesar de nesses casos as aberturas de entrada de ar terem sofrido aumento, a captação continuou ocorrendo apenas pelo primeiro *shed*, conforme registrado no

caso com a dimensão menor (CA). Os *sheds* a barlavento continuam ocasionando grande sombra de vento sobre os dispositivos posteriores e, conseqüentemente, ocorre a extração do ar (Figuras 21 e 22). Esse desempenho foi confirmado pelos valores de Cp, que permanecem bastante similares para CA, CS1 e CS2 (Figura 16).

Através da análise qualitativa, nota-se a movimentação do ar nas aberturas dos *sheds* com maiores velocidades. No entanto, esse aumento da velocidade permanece na região superior do espaço interno, não atingindo a região dos usuários, cujas velocidades permanecem reduzidas (Figuras 21 e 22). Nota-se também que a alteração desse parâmetro projetual isolado não proporciona melhora significativa na captação do ar pela cobertura, sendo, para isso, necessárias outras intervenções no projeto, como aumento da distância entre os *sheds* e o desalinhamento desses dispositivos, conforme analisado em Lukiantchuki (2015).

Figura 21 - Vetores de velocidade do ar para o caso de referência (CR) - ângulo de 180°

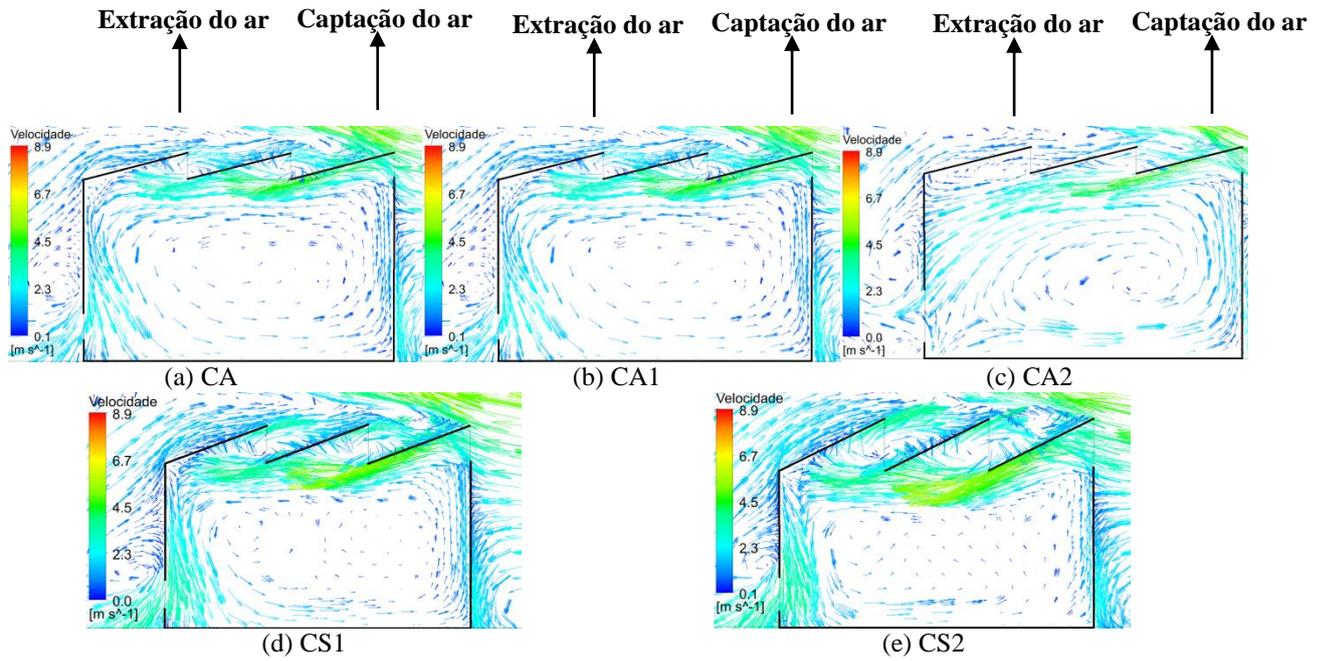
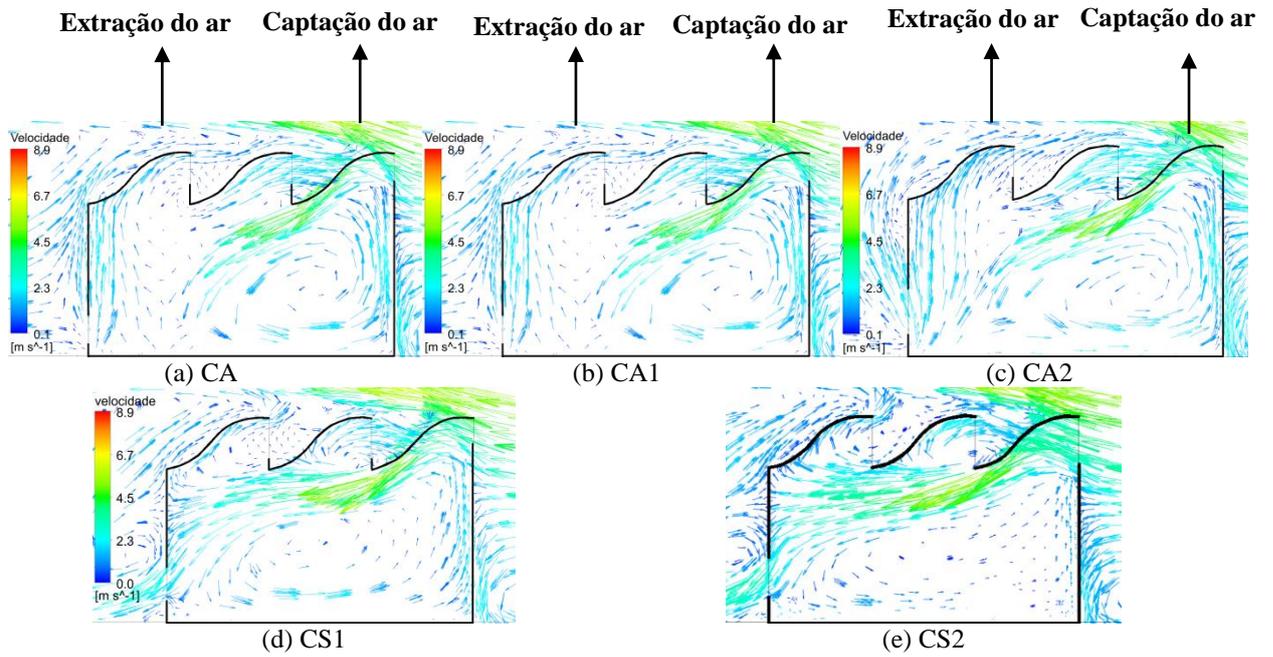


Figura 22 - Vetores de velocidade do ar para a geometria um (G01) - ângulo de 180°



Desempenho sob diferentes velocidades dos ventos externos

Uma das principais funções dos edifícios é proporcionar conforto a seus ocupantes, considerando os aspectos locais e sazonais. Diante das necessidades locais de cada região do Brasil, a ventilação natural tem-se mostrado uma solução aplicável na grande parte de seu território, podendo ser seu controle e/ou incremento por meio de decisões projetuais, buscando a adequação do projeto a diferentes regiões. Para isso é necessário conhecer a potencialidade das estratégias projetuais, utilizando-as adequadamente e evitando o desconforto dos usuários. Para cada caso analisado foram discutidos os níveis aceitáveis da velocidade média do ar no ambiente interno em função da velocidade dos ventos externos (1,5 m/s – 3,0 m/s – 7,0 m/s). Essa análise foi realizada visando ao conforto dos usuários para regiões de clima quente e úmido, uma vez que a maior parte do território brasileiro é assim classificada. Além disso, esse tipo de clima é o que mais necessita da ventilação natural para o alcance do conforto térmico.

Para as análises utilizaram-se os limites propostos no trabalho de Cândido *et al.* (2010). Através de experimentos práticos realizados no Brasil, os autores concluíram que nossos limites de velocidade são diferentes dos praticados em países europeus. O movimento de ar que é considerado desconfortável em países de clima frio e temperado pode ser bem aceito e até desejado pelos ocupantes de regiões quentes e úmidas. A Tabela 4 apresenta a escala elaborada, com base neste trabalho, para os limites da velocidade média do ar nos espaços internos.

A Figura 23 apresenta a velocidade média do ar interno para os casos analisados, indicando os limites da velocidade do ar interno (incremento, uso e controle), em função da velocidade dos ventos externos (m/s), para os *sheds* extratores e captadores de ar.

Para os *sheds* extratores em regiões cujos ventos externos têm baixas velocidades (1,5 m/s), CR apresenta fluxo de ar interno reduzido (abaixo dos 0,4 m/s), o que demanda o uso de estratégias de incremento da ventilação natural. Já G01 apresenta valores dentro do limite da zona de ventilação satisfatória, contribuindo na redução da carga térmica e no conforto dos usuários. Com relação ao aumento das aberturas de entrada (CA1 e CA2) e saída de ar (CS1 e CS2), têm-se velocidades

internas adequadas para o alcance do conforto térmico. Quando os ventos externos apresentam uma velocidade média de 3,0 m/s, tanto CR como G01 propiciam uma velocidade interna satisfatória. Sendo assim, recomenda-se manter as dimensões das aberturas, uma vez que o aumento de suas dimensões demanda o controle da entrada de ar no ambiente interno. Por fim, em regiões cujos ventos externos apresentam velocidades elevadas (7,0 m/s), todos os casos atingiram velocidades do ar interno expressivamente acima do que é considerado satisfatório (em torno de 1,5-2,0 m/s). Sendo assim, recomenda-se o uso de estratégias de controle da entrada de ar, a fim de evitar incômodos nos usuários.

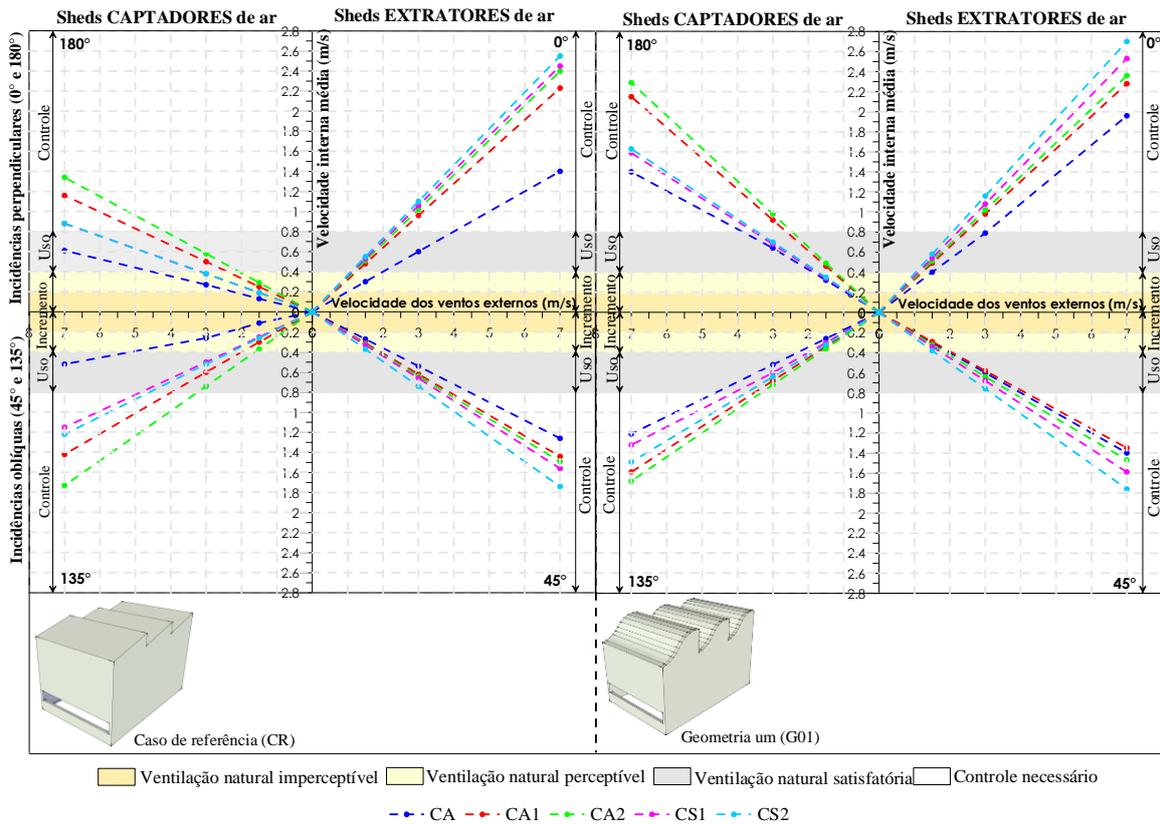
Para os *sheds* como captadores de ar, nota-se que as baixas velocidades dos ventos externos (1,5 m/s) não possibilitam a entrada do fluxo de ar com velocidades satisfatórias, o que demanda o uso de estratégias de incremento da ventilação natural. Ressalta-se que para o CR a velocidade interna foi bastante reduzida, estando na faixa de ventilação imperceptível. Essa velocidade interna sofre incremento com o aumento das aberturas de entrada e saída de ar. No entanto, o edifício ainda permaneceu com uma ventilação insatisfatória para conforto. Já para G01 somente o aumento das aberturas de saída de ar resultou em valores satisfatórios para o conforto dos usuários. Para ventos com uma velocidade de 3,0 m/s, G01 propicia uma velocidade interna satisfatória para o conforto, enquanto CR apresenta valores abaixo de 0,3 m/s, requerendo estratégias de incremento da velocidade do ar interno. O aumento das aberturas de saída de ar proporciona velocidades satisfatórias, enquanto o aumento das aberturas de entrada de ar (*sheds*) não ocasiona um incremento suficiente para o resfriamento fisiológico dos usuários no CR. Já em G01 os aumentos das aberturas de entrada incrementam levemente a velocidade do ar interno, mas suficiente para contribuir para o conforto dos usuários. Já quando se aumenta a abertura de saída, a vazão volumétrica é significativamente superior, necessitando o uso de estratégias de controle. Por fim, quando os ventos externos apresentam velocidades elevadas, a velocidade interna atinge valores expressivamente acima do que é considerado satisfatório (em torno de 1,2 e 1,6 m/s). Diante disso, assim como nos *sheds* extratores, necessita-se do uso de estratégias de controle da entrada de ar no edifício para ambos os casos analisados.

Tabela 4 - Limites de aceitabilidade da velocidade do ar nos ambientes internos

Velocidade do ar (m/s)	Situação ocasionada
0 – 0,2	Ventilação natural imperceptível
0,2 – 0,4	Ventilação natural perceptível
0,4 – 0,8	Ventilação natural satisfatória (há redução da carga térmica e contribui para o conforto)
Acima de 0,8	Controle necessário (causa incômodos como levantamento de papéis, desordem de cabelos, roupas e objetos)

Fonte: adaptado de Cândido *et al.* (2010).

Figura 23 - Limites de aceitabilidade da velocidade do ar interno, em função da velocidade dos ventos externos (m/s), para os sheds extratores e captadores de ar



Considerações finais

De maneira geral, os *sheds* extratores de ar apresentam desempenho superior aos captadores. Isso acontece porque, apesar de os *sheds* como captadores apresentarem maior número de aberturas de entrada de ar, apenas o primeiro *shed* a barlavento funciona como captador. O vento incidente na cobertura forma uma sombra de vento, que gera valores de C_p negativos nos *sheds* localizados na região posterior e, conseqüentemente, a extração do ar, ao invés de sua captação.

Para os *sheds* extratores e captadores de ar, o modelo G01 apresentou o melhor desempenho, devido a seu formato aerodinâmico, que reduz o

efeito de separação, aumentando localmente as velocidades e reduzindo os valores de C_p nas aberturas dos *sheds*. Com isso, tem-se a maior movimentação do ar no interior do edifício e, portanto, a situação mais vantajosa para a ventilação por ação dos ventos.

No caso de variação da dimensão das aberturas de entrada e saída de ar, tanto para os extratores quanto para os captadores, o melhor desempenho foi registrado quando as aberturas de saída de ar tiveram um aumento (S1, S2 e S3 para extração, e A1 para captação). No entanto, ressalta-se que o aumento de A1 também propiciou um incremento na renovação do ar interno para os *sheds* extratores. Em vista disso, o aumento da abertura de entrada de ar também é um fator importante

para os extratores, ao contrário dos *sheds* captadores de ar. Nesses casos, o aumento isolado das aberturas dos *sheds* (entrada de ar) sofre a influência de outros fatores projetuais, como os *sheds* localizados mais próximos uns dos outros e na mesma altura. Essa configuração impossibilita a entrada de ar pelos dispositivos localizados na região posterior.

Com relação à velocidade dos ventos externos, tanto para os *sheds* extratores como captadores de ar, nota-se que quando esta é muito baixa é necessário o uso de estratégias para incrementar a velocidade do ar interno – como o uso de geometrias aerodinâmicas e o aumento das aberturas – visando contribuir para melhorar o conforto dos usuários. Já para velocidades muito elevadas, devem-se utilizar estratégias de controle, que visem reduzir a velocidade do ar interno e o desconforto dos usuários.

Por fim, ressalta-se que essa é uma abordagem introdutória sobre o tema, sendo de grande importância o estudo da influência de outros parâmetros projetuais no desempenho de *sheds* extratores e captadores de ar, tais como distância entre os *sheds*, desalinhamento desses dispositivos, altura entre as aberturas, entre outros. Ressalta-se ainda que os resultados apresentados referem-se apenas ao desempenho da ventilação natural por ação dos ventos. A análise dos efeitos da diferença de temperatura entre o ar interno e externo (efeito chaminé) também é de grande importância em estudos do movimento do ar, os quais devem ser considerados para uma conclusão mais completa sobre o desempenho de *sheds* extratores e captadores de ar.

Referências

- AFONSO, C.; OLIVEIRA, A. Solar Chimneys: simulation and experiment. **Energy and Buildings**, v. 32, n. 1, p. 71-79, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações: parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- BAHADORI, M. N.; MAZIDI, M.; DEGHANI, A. R. Experimental Investigation of New Designs of Wind Towers. **Renewable Energy**, v. 33, p. 2273-2281, 2008.
- BITTENCOURT, L. S.; CÂNDIDO, C. **Introdução à Ventilação Natural**. Maceió: EDUFAL, 2006.
- BRANDÃO, R. S. **As Interações Espaciais Urbanas e o Clima**. São Paulo, 2009. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- CALAUTIT, J. K.; HUGHES, B. R. Wind Tunnel and CFD Study of the Natural Ventilation Performance of a Commercial Multi-Directional Wind Tower. **Building and Environment**, v. 80, p. 71-83, 2014.
- CÂNDIDO, C. *et al.* Aplicabilidade dos Limites de Velocidade do Ar Para Efeito de Conforto Térmico em Climas Quentes e Úmidos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 59-68, out./dez. 2010.
- CHEN, Q. Y. Using Computational Tools to Factor Wind Into Architectural Environment Design. **Energy and Building**, v. 36, n. 12, p. 1197-1209, 2004.
- COST. **Cost Action 14**: recommendations on the use of cfd in predicting pedestrian wind environment. Bruxelas: COST, 2004.
- COSTA, L. **Aproveitamento da Ventilação Natural nas Habitações**: um estudo de caso na cidade de Aracaju – SE. São Paulo, 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- CÓSTOLA, D. **Ventilação Por Ação do Vento no Edifício**: procedimentos para quantificação. São Paulo, 2006. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Construção) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- CÓSTOLA, D.; ALUCCI, M. Pressure Coefficient Simulated by CFD For Wind-Driven Ventilation Analysis. In: BUILDING SIMULATION, Beijing, 2007. **Proceedings...** Beijing, 2007.
- FIGUEIREDO, C. A. **Ventilação Natural em Edifícios de Escritórios na cidade de São Paulo**: limites e possibilidades do ponto de vista do conforto térmico. São Paulo, 2007. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Construção) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- HARGREAVES, D. M.; MORVAN, H. P.; WRIGHT N. G. Validation of the Volume of Fluid Method For Free Surface Calculation: the broad-crested weir. **Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics**, v. 1, n. 2, p. 136-146, 2014.

- HIEN, W. N. *et al.* The Use of Performance-Based Simulation Tools For Building Design and Evaluation: a Singapore perspective. **Building and environment**, v. 35, p. 709-736. 2000.
- HOOFF, T. V.; BLOCKEN, A.; AANEN, B. B. A Venturi-Shaped Roof For Wind-Induced Natural Ventilation of Buildings: wind tunnel and CFD evaluation of different design configurations. **Building and Environment**, v. 46, n. 9, 1797-1807, 2011.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. [Sobre]. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em 21 nov. 2011.
- LAGO, A. A. C. do *et al.* **Olhares**: visões sobre a obra de João Filgueiras Lima. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 2010.
- LATORRACA, G. **João Filgueiras Lima, Lelé**. São Paulo: Lina Bo e P. M. Bardí Institute, 1999.
- LEITE, C. G. **Alterações da Ventilação Urbana Frente ao Processo de Verticalização de Avenidas Litorâneas**: o caso da avenida litorânea de São Luís/MA. São Paulo, 2008. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- LIMA, A. B. *et al.* A Influência de Diferentes Aberturas Zenitais na Distribuição da Luz Natural e na Redução do Consumo de Energia Elétrica. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., Búzios, 2011. **Anais...** Búzios: ENTAC, 2011.
- LIMA, J. F. **Arquitetura**: uma experiência na área de saúde. São Paulo: MCB e Romano Guerra, 2013.
- LÔBO, D. G. F.; BITTENCOURT, L. S. A Influência dos Captadores de Vento na Ventilação Natural de Habitações Populares Localizadas em Climas Quentes e Úmidos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 57-67, abr./jun. 2003.
- LUKJANTCHUKI, M. **Sheds Extratores e Captadores de Ar Para Indução da Ventilação Natural em Edificações**. São Paulo, 2015. Tese (Doutorado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- MAEREFAT, M.; HAGHIGHI, A. P. Passive Cooling of Buildings by Using Integrated Earth to Air Heat Exchanger and Solar Chimney. **Renewable Energy**, v. 35, n. 10, p. 2316-2324, 2010.
- NEVES, L.; RORIZ, M. Procedimentos Estimativos do Potencial de Uso de Chaminés Solares Para Promover a Ventilação Natural em Edificações de Baixa Altura. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 177-192, jan./mar. 2012.
- MONTAZERI, H.; AZIZIAN, R. Experimental Study on Natural Ventilation Performance of One-Sided Wind Catcher. **Building and Environment**, v. 43, n. 12, p. 2193-2202, 2008.
- PRATA, A. R. **Impacto da Altura de Edifícios nas Condições de Ventilação Natural no Meio Urbano**. São Paulo, 2005. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- RISÉRIO, A. *et al.* **A Arquitetura de Lelé**: fábrica e invenção. São Paulo: Imprensa Oficial, 2011.
- RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. Relatório Interno, 2012. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>>. Acesso em: 12 maio 2012.
- WAEWSAK, J.; HIRUNLABH, K.; SHIN, UC. Performance Evaluation of the BSRC Multi-Purpose Bio-Climatic Roof. **Building and Environment**, v. 38, n. 11, p. 1297-1302, 2003.
- YANG, T. **CFD and Field Testing of a Naturally Ventilated Full-Scale Building**. 2004. Tese (Ph.D.) – School of Civil Engineering, The University of Nottingham, 2004.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), pelo fundamental financiamento da presente pesquisa (PROCESSO n°. 2011/11376-6).

Marieli Azoia Lukiantchuki

Instituto de Arquitetura e Urbanismo | Universidade de São Paulo | Av. Trabalhador São Carlense, 400 | São Carlos - SP - Brasil | CEP 13566-590 | Tel.: (16) 3373-8299 | E-mail: mlukiantchuki@yahoo.com.br

Alessandra Rodrigues Prata Shimomura

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo | Universidade de São Paulo | Rua do Lago, 876, Butantã | São Paulo - SP - Brasil | CEP 05508-080 | Tel.: (11) 3091-4681 Ramal 213 | E-mail: arprata.shimo@gmail.com

Fernando Marques da Silva

Departamento de Estruturas, Laboratório Nacional de Engenharia Civil | Avenida do Brasil, 101 | Lisboa - Portugal | CEP 1700-066 | Tel.: + 351 (21) 844-3000 | E-mail: fms@lnec.pt

Rosana Maria Caram

Instituto de Arquitetura e Urbanismo | Universidade de São Paulo | Av. Trabalhador Saocarlene, 400, Centro | São Carlos - SP - Brasil | Caixa Postal 359 | CEP 13560-970 | Tel.: (16) 273-9311 | E-mail: rcaram@sc.usp.br

Revista Ambiente Construído

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

Fax: +55 (51) 3308-4054

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br