

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TAMANHO DAS ABERTURAS DE ENTRADA DE AR NO DESEMPENHO DA VENTILAÇÃO NATURAL

Helenice M Sacht (1); Marieli Azoia Lukiantchuki (2); Rosana Caram (3)

(1) Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), Foz do Iguaçu – PR, Brasil, helenice.sacht@edu.br

(2) Universidade Estadual de Maringá, Maringá – PR, Brasil, mlukiantchuki@yahoo.com.br

(3) Instituto de Arquitetura e Urbanismo - IAU, USP, São Carlos – SP, Brasil, rcaram@sc.usp.br
Universidade Federal da Integração Latino-Americana,
Foz do Iguaçu–PR, 85867-970, Tel.: (45) 3529-2790

RESUMO

A ventilação natural é uma eficiente estratégia para o resfriamento passivo de edifícios, para melhorar a qualidade do ar interior, o conforto dos ocupantes e, conseqüentemente, a economia da energia elétrica. Características como o tipo de janelas, mobilidade, área efetiva de ventilação, formas de operação, se contemplam elementos que oferecem maior resistência à passagem do ar ou elementos direcionadores, entre outros que influenciam diretamente nas condições de ventilação natural. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma comparação do desempenho da ventilação natural que diferentes áreas de janelas proporcionam a um ambiente, por meio de simulações computacionais utilizando como ferramenta o software CFD (*Computational Fluid Dynamics*) – Ansys CFX. Para o desenvolvimento do estudo foram alteradas as dimensões das aberturas de entrada de ar de um modelo, a fim de avaliar a influência desse parâmetro na quantidade do fluxo de ar, nas taxas de renovação de ar/hora, nos coeficientes de pressão nas aberturas (janelas e portas) e na distribuição qualitativa do fluxo de ar interno. Foram analisadas duas diferentes dimensões: área da janela correspondendo a 10% e 25% da área do piso, cujas dimensões foram determinadas com base em normas e legislação construtiva. De modo geral, as condições de ventilação natural foram influenciadas pela mudança na dimensão das aberturas e pela variação do ângulo de incidência dos ventos, apresentando alterações expressivas nos coeficientes de pressão médios das aberturas e nas taxas de renovação de ar/hora. Houve um incremento de 78% e 134% nas condições de ventilação natural para ângulos de incidência de 0° e 45° respectivamente. Para 135° e 180° esse aumento foi de 122% e 121%.

Palavras-chave: Ventilação natural; Simulação Computacional; CFD; Janelas.

ABSTRACT

Natural ventilation is efficient for passive cooling of buildings, to improve indoor air quality, occupant comfort and, consequently, the reduction of the use of electric energy. Characteristics such as the type of windows, if fixed or mobile; effective ventilation area; operation; if present elements that offer greater resistance to the passage of the air, it influences directly on the conditions of natural ventilation. Therefore, the present work aimed to compare the natural ventilation conditions that different window areas provide to an environment, by means of computational simulations using *Computational Fluid Dynamics* (CFD) - - Ansys CFX. To develop the study were changed dimensions of the inlet openings of a model, specifically the windows, to evaluate the influence of this parameter in the amount of airflow in the change rates, the pressure coefficients in the openings (windows and doors) and in the qualitative distribution of internal airflow. Two different dimensions were analysed: window area corresponding to 10% and 25% of the floor area, whose dimensions were determined based on codes and construction legislation. The conditions of natural ventilation were influenced by the modifications in the size of the openings and variation of the angle of incidence of the winds, presenting significant changes in the pressure average coefficients and the air change rates. An increase of 78% and 134% in the natural ventilation conditions was observed for incidence angles of 0 ° and 45 ° respectively. For 135 ° and 180 ° this increase was 122% and 121%.

Keywords: Natural ventilation; Computer simulation; CFD; Windows.

1. INTRODUÇÃO

A ventilação natural é uma estratégia eficiente para resfriamento passivo de edifícios, para melhorar a qualidade do ar interior e o conforto dos ocupantes, bem-estar e produtividade. De modo geral, a distribuição e a velocidade do fluxo de ar interno são fortemente influenciadas pela implantação do edifício no terreno e pela orientação de suas aberturas aos ventos dominantes, uma vez que a maneira como o vento incide na edificação modifica os campos de pressões no entorno da construção e ao redor das janelas e, portanto, a forma como o fluxo interno percorre o espaço. Aliados a esses fatores, o tamanho, a forma e a localização das aberturas no edifício também exercem uma influência significativa no desempenho da ventilação natural no espaço interno.

Na ventilação cruzada, as aberturas são dispostas em fachadas nas diferentes orientações do edifício, sendo que as aberturas de entrada devem situar-se nas zonas de alta pressão e as de saída nas zonas de baixa pressão. Além da localização, o tipo de abertura afeta diretamente o desempenho da ventilação cruzada, pois interfere tanto na resistência oferecida ao fluxo de ar como no seu direcionamento e intensidade. Além disso, a dimensão interfere na quantidade e no padrão de distribuição do fluxo de ar.

Segundo Givoni (1976), a abertura menor – seja de entrada ou de saída – é que determina a velocidade média do ar internamente. O aumento simultâneo das aberturas de entrada e saída 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). Entrada e saída de tamanhos similares resultam em uma ventilação mais distribuída.

Neste contexto, existem ferramentas computacionais para análise das condições de ventilação natural, sendo que umas das opções mais indicadas é a utilização de programas CFD (*Computational Fluid Dynamics*). O CFD “*Computational Fluid Dynamics*”, ou seja, fluidodinâmica computacional ou dinâmica dos fluidos computacional consiste na simulação numérica de processos físicos e/ou físico-químicos que apresentam escoamento. Através desses tipos de ferramentas podem ser calculadas temperaturas, velocidades, pressão, coeficientes de pressão e outras características dos fluidos, por meio de modelos baseados nos princípios de conservação de massa, da energia e da quantidade de movimento, no domínio do espaço e do tempo, sendo totalmente adequados aos estudos da ventilação natural no edifício e no meio urbano.

Cóstola e Alucci (2011) avaliaram a viabilidade no uso de dinâmica dos fluídos computacional (CFD) para a obtenção de C_p , assim como avaliar a importância de alguns aspectos da configuração das simulações nos resultados obtidos. O artigo concluiu que o uso de CFD para a definição de C_p é viável e constitui uma importante alternativa aos túneis de vento. No entanto, diferentes configurações da simulação levam a desvios consideráveis, tanto em termos absolutos (até $\pm 0,5$) quanto em termos relativos (até 50%). Lukiantchuki et al. (2016) avaliaram a influência da variação na geometria dos *sheds* e na dimensão das aberturas de entrada e saída de ar no desempenho da ventilação natural. 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.

Na pesquisa realizada por Moraes e Labaki (2017), o objetivo foi analisar a ventilação natural por ação dos ventos no interior de edifícios para três edifícios multifamiliares do Programa Minha Casa, Minha Vida, considerando três ângulos de incidência do vento (0° , 90° e 135°). No tocante à investigação por tipologia arquitetônica, primeiramente alertam para a implantação do edifício no lote. Nessa pesquisa constatou-se ainda que a posição de implantação oblíqua (ou diagonal) do edifício em relação ao vento dominante forneceu os melhores resultados de velocidades médias internas nas três tipologias estudadas. Quanto à geometria dos edifícios, observou-se que o uso de reentrâncias nas fachadas incrementa a diferença de pressão nas aberturas. Numa das tipologias, com grande reentrância central na fachada, ocorreram os melhores resultados de ventilação nos apartamentos. Observou-se ainda que edifícios monolíticos e muito alongados com fachadas desprovidas de reentrâncias resultam em apartamentos centrais sem ventilação cruzada, como ocorreu numa das tipologias analisadas na pesquisa.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência de diferentes áreas da abertura de entrada de ar no desempenho da ventilação natural dos ambientes internos, por meio de simulações computacionais utilizando software CFD (*Computational Fluid Dynamics*).

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em duas etapas principais: 1) Determinação das características do caso base; 2) simulações computacionais.

3.1 Determinação das Características do Caso Base

O modelo avaliado corresponde a área de um quarto ou sala de uma residência, de forma que atendessem simultaneamente às recomendações do código de obras de Foz do Iguaçu, São Carlos e Maringá. A escolha por esses ambientes foi devido à recomendação da norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013), onde a realização de medições/ simulações devem considerar os ambientes de longa permanência. Diante disso, foram levantadas as dimensões para quartos e salas, de acordo com o Código de Obras das cidades pesquisadas.

O estudo desse ambiente teve como objetivo verificar a influência das áreas das aberturas de entrada de ar no comportamento do vento no interior da célula, tanto para a incidência perpendicular (0° , 90° e 180°) como para a oblíqua (45° e 135°) dos ventos dominantes. A interferência de elementos externos na ventilação e a disposição de ambientes não é o foco dos resultados que se pretendia alcançar, mas sim o desempenho da solução em um ambiente apenas, uma vez que selecionar uma tipologia habitacional específica implicaria em resultados específicos para a tipologia analisada.

Foram listados especificamente, para os ambientes quarto e sala, a área mínima recomendada, o pé-direito mínimo e a área mínima de ventilação em comparação à área de ventilação indicada pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005). A Tabela 1 apresenta as características finais do modelo simulado, tendo por base o Código de Obras das cidades analisadas e a área de ventilação de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005).

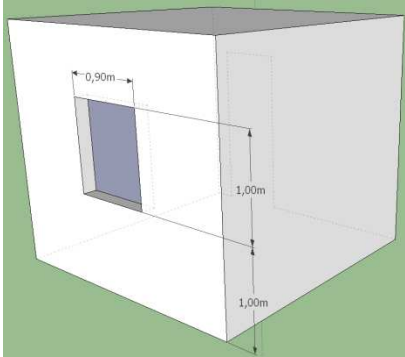
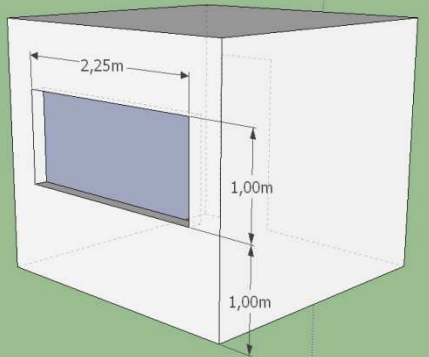
Tabela 1 - Definição final do modelo de referência.

Cidades	Código de Obras					Norma NBR 15220
	Quarto (m ²)	Sala (m ²)	Pé-Direito Mínimo (m)	Ventilação (Quarto)	Ventilação (Sala)	
São Carlos	8,0	8,0	2,70	6,25%	6,25%	15 a 25%
Foz do Iguaçu	9,0	8,0	2,40	8,33%	6,25%	
Maringá	9,0	8,0	2,60	10,0%	10,0%	
Modelo de Referência Final	9,0	-	2,70	10,0%	-	25%

Em termos de dimensões do modelo, optou-se pela maior área e maior pé direito, uma vez que ainda assim, se a área e pé-direito fossem menores, os ambientes simulados ofereceriam maior desconforto. Em relação à área de ventilação, a situação da norma NBR 15220 (ABNT, 2005) é a mais favorável (25% da área do piso), porém, se considerada somente uma área de ventilação de 25% da área do piso, poderia não reproduzir a realidade, portanto, optou-se por analisar áreas de ventilação de 10% e de 25%, de forma a abranger duas situações.

O tamanho das aberturas é uma das características que influenciam diretamente no desempenho em termos de ventilação natural. Diante disso, alterou-se a dimensão da abertura de entrada de ar a fim de avaliar a influência desse parâmetro na quantidade do fluxo que incide e sai do edifício (vazão volumétrica), nas taxas de renovação de ar/hora, nos coeficientes de pressão nas aberturas (janelas e portas) e na distribuição qualitativa do fluxo de ar interno. Analisaram-se duas diferentes dimensões: área da janela correspondendo a 10% e 25% da área do piso (Tabela 2). Além das aberturas, o sistema foi avaliado para diferentes ângulos de incidência dos ventos externos, variando entre 0° e 45° .

Tabela 2 - Detalhamento dos Casos Simulados

Caso	CASO BASE A = 10% da área do piso	CASO 01 A = 25% da área do piso
Ilustrações		

Dados do Projeto	Largura da janela = 0,90m	Largura da janela = 2,25m
	Altura da janela = 1,0m	Altura da janela = 1,0m
	Peitoril da janela = 1,0m	Peitoril da janela = 1,0m
	Área da janela = 0,90m² (10% - área do piso)	Área da janela = 2,25m² (25% - área do piso)
	Área do ambiente = 9,00m²	Área do ambiente = 9,00m²
	Pé Direito = 2,70m	Pé Direito = 2,70m

3.2 Simulações Computacionais

Para a realização das simulações computacionais, utilizou-se o software CFX 12.0, produzido pela empresa ANSYS. A escolha por essa ferramenta foi devido aos seguintes critérios: trata-se de um software baseado na Dinâmica dos Flúidos Computacional (CFD), sendo totalmente adequado ao estudo da ventilação natural no edifício e no meio urbano. Além disso, é uma ferramenta amplamente utilizada nas pesquisas de análise de fluidos nas áreas de engenharia e arquitetura, apresentando boa coerência dos resultados com os fenômenos físicos.

3.2.1 Elaboração do Modelo de Referência e do Domínio Computacional

A preparação do modelo base tridimensional foi realizada no software AutoCAD, utilizando os comandos *extrude*, *union* e *subtract*, para que os objetos sejam compreendidos como sólidos no Icem CFX. O modelo foi construído considerando apenas as características importantes para as análises e todas as janelas/portas foram consideradas abertas. Após a finalização, elaborou-se um volume externo estanque, sem aberturas, representando o domínio pelo qual o fluido seria escoado. O procedimento adotado na confecção foi o de subtrair esse domínio, gerando um negativo volumétrico da área de estudo e configurando o modelo como um bloco unificado (Figura 1a-c).

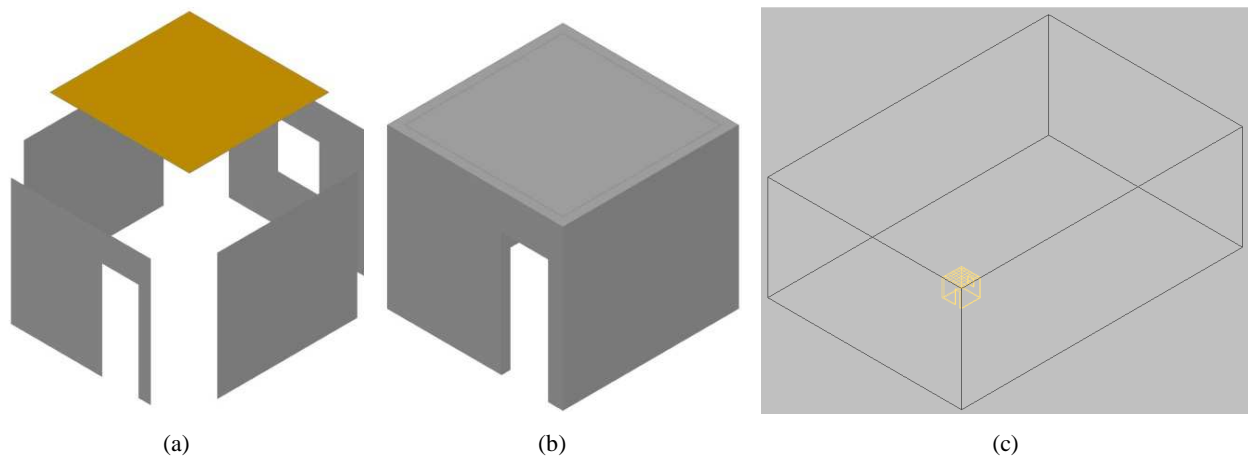


Figura 1 - Construção da geometria no AutoCAD (a) processo de *extrude union* e *subtract*, (b) edifício pronto e (c) edifício e o domínio como um bloco unificado.

Em relação ao domínio, optou-se pelo formato 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): distâncias a barlavento e nas laterais = 5H (13,5m); altura = 6H (16,2m); distância a sotavento = 10H (27m), sendo H=2,7m, que corresponde à altura do modelo simulado (Figura 2). 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%. Esse dimensionamento do domínio evita o efeito de bloqueio, impedindo que as fronteiras que o delimitam influenciam no escoamento.

Por fim, o edifício e o domínio foram unidos em um único modelo, eliminando todos os elementos externos às fronteiras do domínio. O modelo em CAD foi exportado como um bloco único no formato ACIS, extensão *.sat, compatível para ser aberto no Icem CFX.

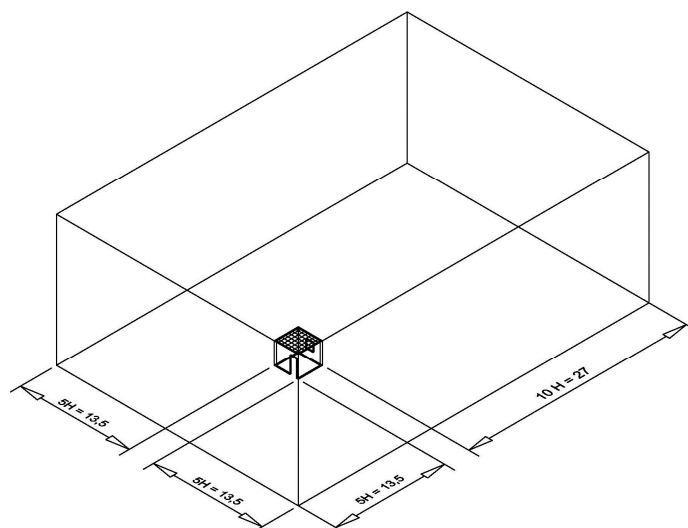


Figura 2 - Dimensões adotadas para o domínio retangular.

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 0,15m, a fim de melhorar a visualização do fluxo de ar no espaço interno e no entorno imediato ao edifício. A malha foi gerada, determinando a quantidade de elementos da malha e o tempo de processamento das simulações (Figura 3a-b).

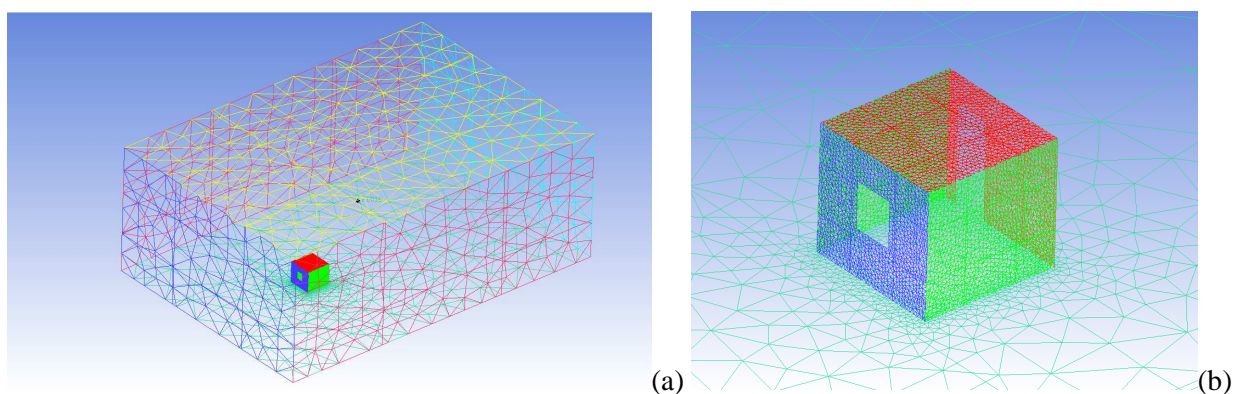


Figura 3 a-b – malha computacional adotada nas simulações.

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 e parâmetros de resolução para controle de convergência de 600 iterações e nível de convergência de 10^{-4} .

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Variação da Dimensão das Aberturas

A Figura 4 apresenta as taxas de renovação de ar/hora em função dos ângulos de incidência dos ventos externos, para cada caso analisado, com a porcentagem (%) do incremento nessas taxas no caso um, em relação ao caso de referência. A Figura 5 apresenta as diferenças entre os coeficientes de pressão médios (Cps) nas aberturas de entrada e saída do ar, para cada caso, em função dos ângulos de incidência dos ventos.

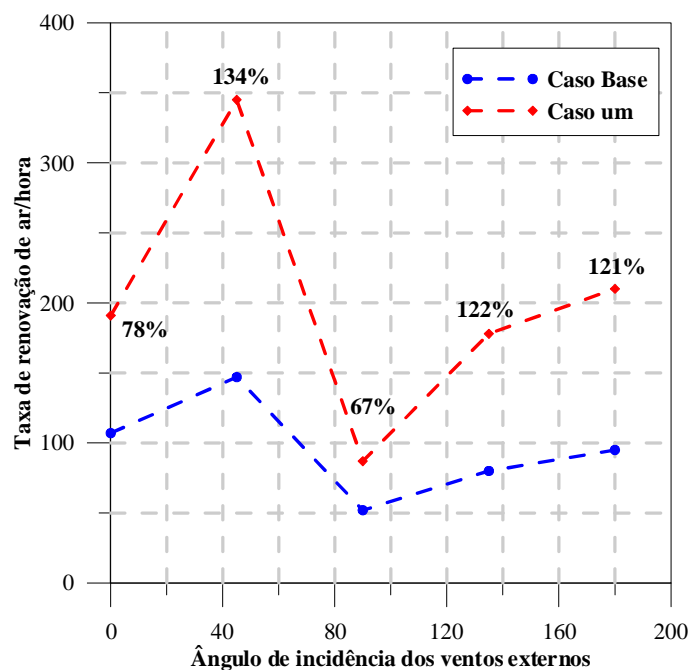


Figura 4 - Taxas de renovação de ar/hora em função dos ângulos de incidência dos ventos externos, para o caso de referência e para o caso um.

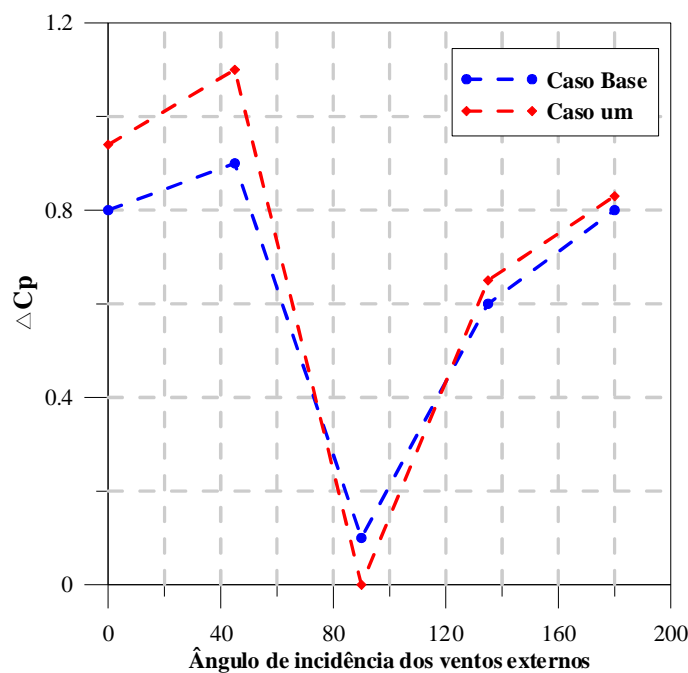


Figura 5 - Diferença dos coeficientes de pressão (ΔC_p) nas aberturas em função dos ângulos de incidência dos ventos externos, para o caso de referência e para o caso um.

De modo geral, o ângulo de incidência dos ventos e a mudança na dimensão das aberturas influenciaram nas condições de ventilação natural, apresentando alterações expressivas nos valores de C_p s nas aberturas e nas taxas de renovação de ar/hora. De acordo com os resultados obtidos, o fluxo de ar interno mostrou-se dependente da dimensão da janela, pois um orifício maior permite a passagem do ar com menor perda de carga localizada na entrada, devido à obstrução, resultando em um melhor aproveitamento dos ventos externos no espaço interno e em maiores taxas de renovação de ar por hora.

O caso 01 apresentou um desempenho significativamente superior ao caso base, para os todos os ângulos de incidência dos ventos externos. O aumento da dimensão da janela gerou valores absolutos de C_p mais elevados, o que implicou em maiores ΔC_p . Isso indica a possibilidade de uma maior movimentação do ar no ambiente interno (Figura 5), uma vez que esse diferencial de pressão entre as aberturas é a força motriz para a circulação do ar.

Os melhores desempenhos foram registrados quando os ventos incidem pela janela (0° e 45°). Já quando os ventos incidem paralelamente às aberturas (90°), tem-se o pior desempenho, onde o fluxo de ar

interno apresenta velocidades reduzidas. O Caso 01 apresentou um incremento de 78% e 134% para 0° e 45° respectivamente, em relação ao Caso base. Para a incidência de 90° o incremento foi de 67%, no entanto, ressalta-se que os valores permanecem bastante reduzidos. Por fim, para 135° e 180° esse aumento foi de 122% e 121%, respectivamente.

Através da Figura 6, nota-se que no Caso de Referência (CR), o fluxo de ar atinge velocidades maiores na abertura de entrada de ar, em virtude da sua dimensão menor, o que canaliza o ar nessa região e, conseqüentemente, aumenta a sua velocidade. No entanto, esse fluxo de ar com altas velocidades não atinge o ambiente interno de forma geral, deixando as laterais com velocidades reduzidas. O fluxo de ar com altas velocidades só atinge a região central, se direcionando para a porta que funciona como a abertura de saída de ar (região a sotavento com valores de Cps negativos).

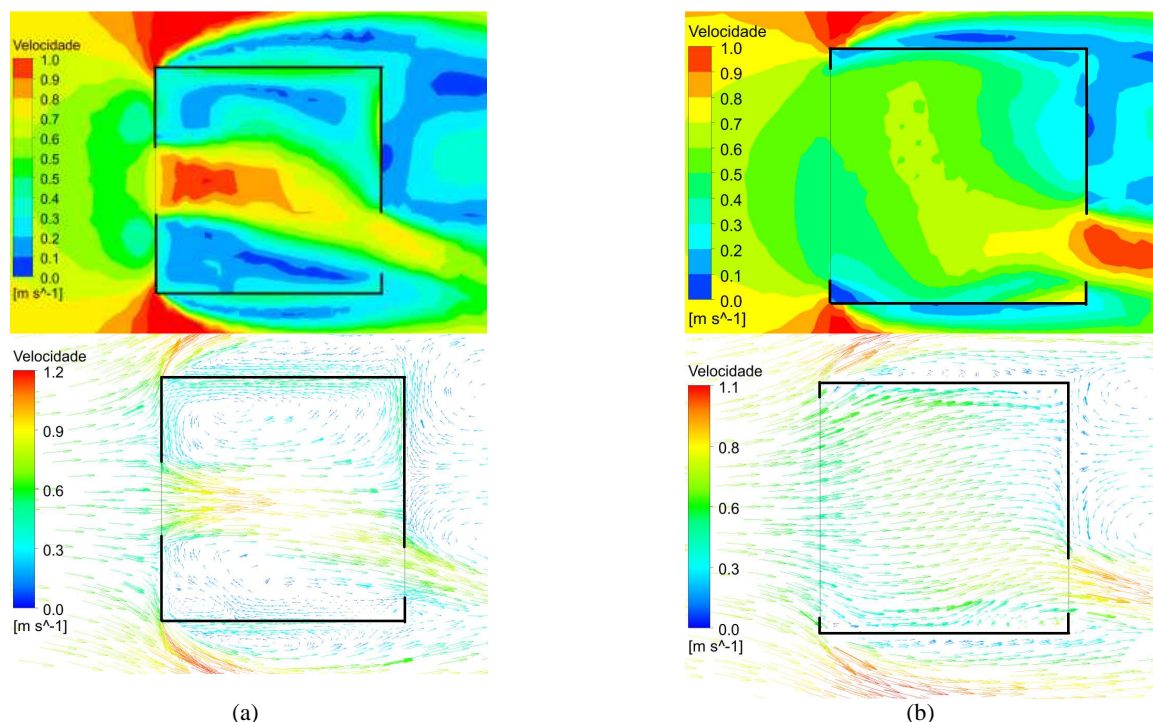


Figura 6 - Trajetória do fluxo de ar no ambiente interno para o ângulo de incidência dos ventos externos de 0° , para (a) caso base e (b) caso 01, respectivamente.

Já no C01, nota-se que a velocidade do fluxo de ar na abertura é menor. No entanto, ele atinge de maneira mais homogênea o ambiente interno, deixando todo o espaço bem ventilado e sem regiões de calmaria, com velocidades reduzidas. Novamente, o fluxo de ar é direcionado para a porta em virtude dos valores de Cps negativos e nota-se que a velocidade de ar nessa abertura é mais intensa no C01 do que no caso base, o que reforça novamente as maiores velocidades do fluxo de ar no ambiente interno, no caso 01 (Figura 5). O aumento da abertura possibilita a entrada de um maior volume de ar no ambiente interno, o que altera os valores de Cps nas aberturas e, conseqüentemente, a trajetória do fluxo de ar interno.

Quando a janela funciona como entrada de ar (0° e 45°) nota-se que, tanto para o Caso de Referência (CR) como para o Caso 01, as maiores taxas foram alcançadas quando os ventos incidiram obliquamente no edifício (45°), constatando-se diferenças significativas em relação à incidência perpendicular (0°). Isso ocorreu devido aos maiores valores da velocidade do ar nas aberturas do edifício, no caso de 45° , o que incrementou a vazão volumétrica e, conseqüentemente, a renovação do ar no espaço interno (Figura 7). Esse desempenho é confirmado através dos valores de Cps nas aberturas dos modelos. Nota-se que os maiores ΔCps foram alcançados para o ângulo de 45° (Figura 5), o que novamente reforça que nesse caso tem-se uma maior corrente de ar nos ambientes internos.

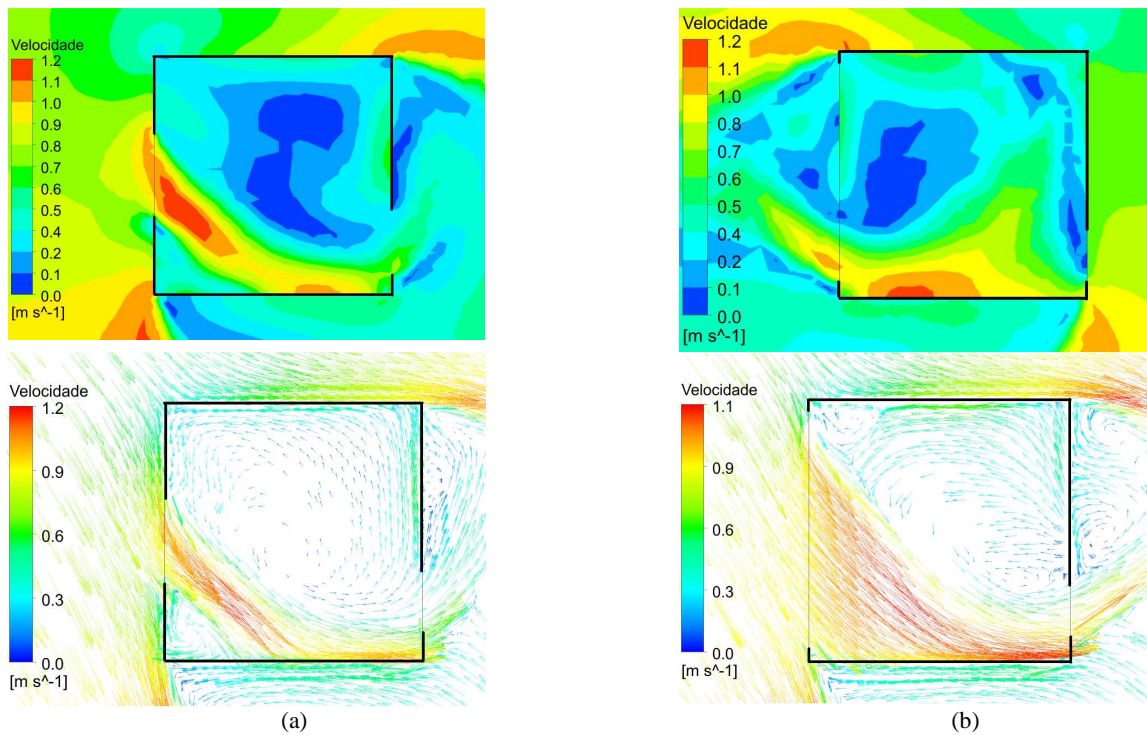


Figura 7 - Trajetória do fluxo de ar no ambiente interno para o ângulo de incidência dos ventos externos de 45°, para (a) caso base e (b) caso 01, respectivamente.

Nos dois casos avaliados, quando os ventos incidiram paralelamente às aberturas (90°), o aumento da abertura não ocasionou um incremento significativo nas taxas de renovação de ar/hora e nem no seu padrão de distribuição do fluxo de ar interno. Como essas taxas são reduzidas, um incremento de 67% não é significativo no desempenho da ventilação natural. Embora tenha sido notado um leve incremento na velocidade do ar na abertura, à medida que a sua dimensão foi aumentada, nota-se apenas uma variação da velocidade do ar nessa região, sem a sua penetração com maiores velocidades no espaço interno (Figura 8). Isso é reforçado pelos valores de Cps bastante similares nas aberturas de entrada e saída de ar, o que indica ΔCps próximos a zero e, conseqüentemente, um fluxo de ar interno com velocidades reduzidas (Figura 5).

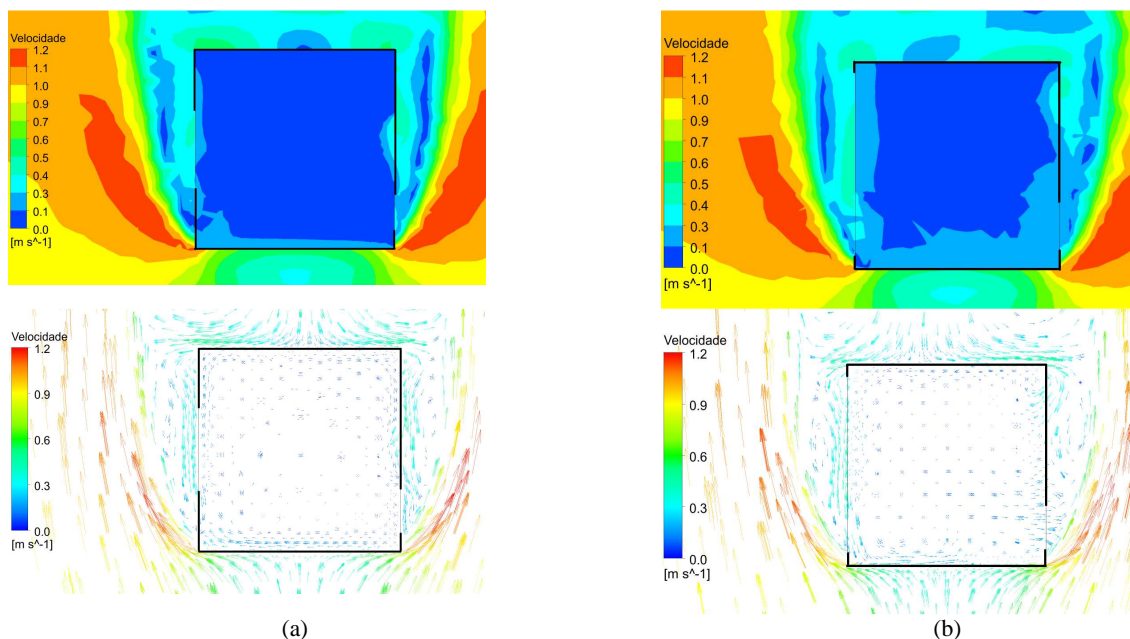


Figura 8 - Trajetória do fluxo de ar no ambiente interno para o ângulo de incidência dos ventos externos de 90°, para (a) caso base e (b) caso 01, respectivamente.

Por fim, quando os ventos incidem no lado oposto, ou seja, pela porta do ambiente, novamente o C01 apresenta um melhor desempenho que o CR. Isso ocorre, pois, nessa situação o aumento é na direção da abertura de saída de ar, e, assim, nota-se um incremento na velocidade do ar na janela, à medida que ela foi

aumentada, o que ocasiona uma vazão do ar na saída mais intensa (Figuras 9 e 10). Maiores taxas de ventilação são obtidas quando as aberturas situadas a sotavento do edifício são maiores. Já nessa situação, as maiores taxas de ventilação foram obtidas quando os ventos incidem perpendicularmente às aberturas (180°). Isso é comprovado também pelos valores de ΔC_p , cujos valores são maiores para o C01, conforme apresentado anteriormente (Figura 5). No entanto, ressalta-se que para os ângulos de 135° e 180° o fluxo de ar interno apresenta menores velocidades do que para os ângulos de 0° e 45° .

Apesar do incremento na renovação do ar interno, no caso 01, nota-se que para essas situações (135° e 180°), a variação da janela não alterou significativamente a distribuição do fluxo de ar na zona de ocupação do usuário, sendo que nos dois casos estes foram bastante similares (Figuras 9 e 10).

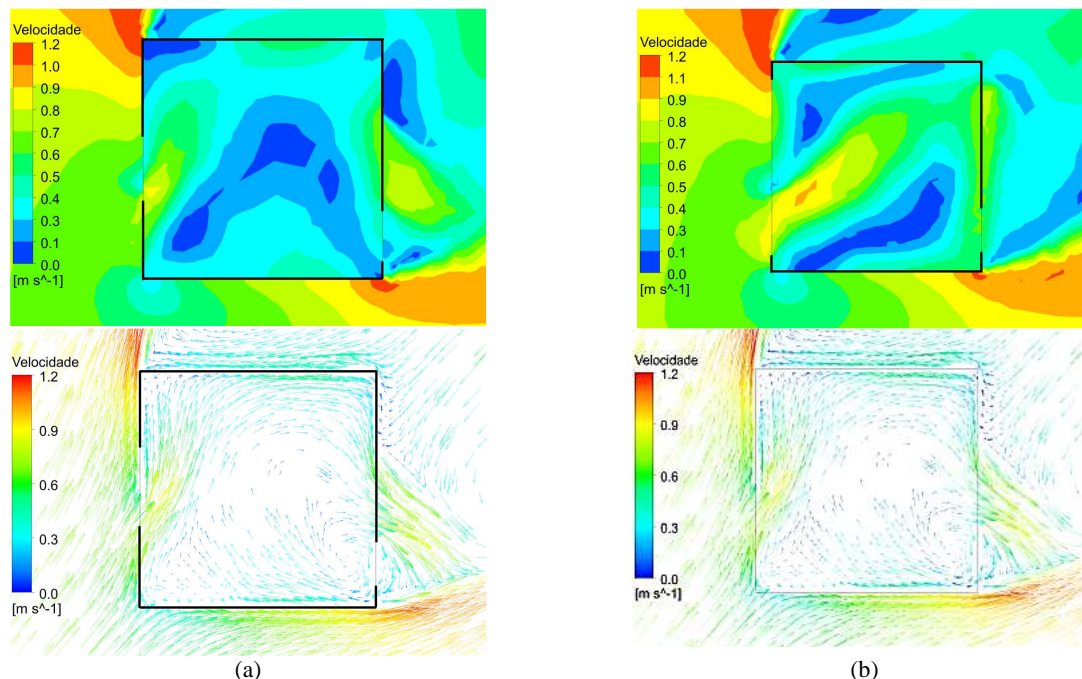


Figura 9 - Trajetória do fluxo de ar no ambiente interno para o ângulo de incidência dos ventos externos de 135° , para (a) caso base e (b) caso 01, respectivamente.

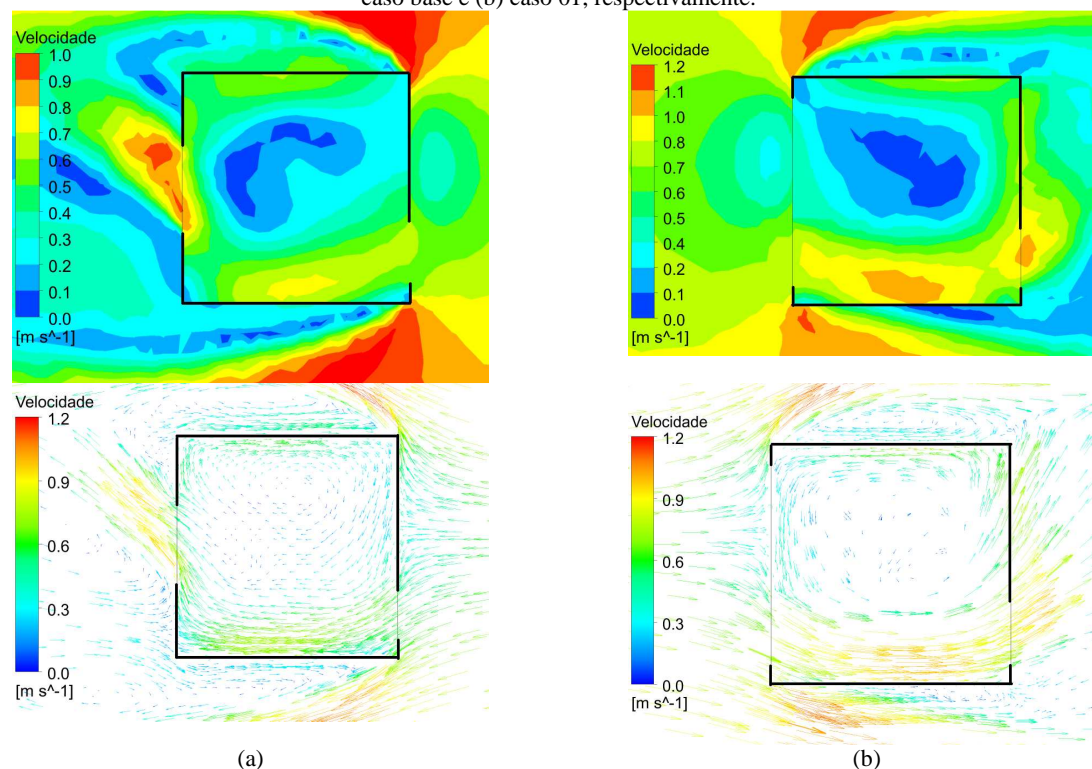


Figura 10 - Trajetória do fluxo de ar no ambiente interno para o ângulo de incidência dos ventos externos de 180° , para (a) caso base e (b) caso 01, respectivamente.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados das simulações computacionais, observou-se que as condições de ventilação natural foram influenciadas pela mudança na dimensão das aberturas, bem como pela variação do ângulo de incidência dos ventos, os quais ocasionaram alterações expressivas nos valores dos coeficientes de pressão médios das aberturas e nas taxas de renovação de ar/hora.

O caso 01 apresentou um desempenho significativamente superior ao caso base, para todos os ângulos de incidência dos ventos externos. O aumento da dimensão da janela ocasionou maiores ΔC_p , ou seja, indica a possibilidade de uma maior movimentação do ar no ambiente interno. Os melhores desempenhos foram registrados quando os ventos incidem pela janela (0° e 45°), sendo que tanto para o CR como para o Caso 01, as maiores taxas foram alcançadas quando os ventos incidiram obliquamente no edifício (45°), constatando-se diferenças significativas em relação à incidência perpendicular (0°). Já quando os ventos incidem paralelamente às aberturas (90°), tem-se o pior desempenho, onde o fluxo de ar interno apresenta velocidades reduzidas. O Caso 01 apresentou um incremento de 78% e 134% para 0° e 45° respectivamente, em relação ao caso base. Para 135° e 180° esse aumento foi de 122% e 121%, respectivamente.

Com relação à distribuição do fluxo de ar no ambiente interno, notou-se que o mesmo mostrou-se dependente da dimensão da janela, pois um orifício maior permite a passagem do ar com menor perda de carga localizada na entrada, devido à obstrução, resultando em um melhor aproveitamento dos ventos externos no espaço interno e em maiores taxas de renovação de ar por hora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- _____. (ABNT). **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: 2013.
- COST. **Cost Action 14**: Recommendations on the use of CFD in predicting pedestrian wind environment. Bruxelas: COST, 2004.
- CÓSTOLA, D.; ALUCCI, M. P. Aplicação de CFD para o cálculo de coeficientes de pressão externos nas aberturas de um edifício. **Ambiente Construído**, 11(1), 145-158. 2011.
- GIVONI, B. Man, Climate and Architecture. 2. Ed. London: Applied Science Publishers, 1976.
- HARRIES, A. **Notas de aula**. In: Workshop: CFX – FAU/USP. São Paulo, 2005.
- LUKIANCHUKI, M. A.; SHIMOMURA, A. R. P.; MARQUES DA SILVA, F. CARAM, R. M. Sheds extratores e captadores de ar: influência da geometria e da dimensão das aberturas no desempenho da ventilação natural nas edificações. **Ambiente Construído**, 16(1), 83-104. 2016.
- MORAIS, J. M. S. C.; LABAKI, L. C. CFD como ferramenta para simular ventilação natural interna por ação dos ventos: estudos de caso em tipologias verticais do "Programa Minha Casa, Minha Vida". **Ambiente Construído**, 17(1), 223-244. 2017. <https://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000100133>

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto de pesquisa.