XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

A INFLUÊNCIA DA CONFIGURAÇÃO GEOMÉTRICA DE MUROS VAZADOS NOS PADRÕES DE COMPORTAMENTO DOS VENTOS EM HABITAÇÕES TÉRREAS

Isabely Penina C. da Costa (1); Ricardo Victor R. Barbosa (2); Gianna M. Barbirato (3)
(1) Doutoranda, Unicamp - Professora do Instituto Federal de Alagoas - IFAL, isabelypenina@gmail.com
(2) Doutor, Professor da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - FAU/UFAL, rvictor@arapiraca.ufal.br
(3) Doutora, Professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - FAU/UFAL, gmb@ctec.ufal.br
Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Maceió/AL, CEP 57072-900, Tel.: (82) 3214 1309

RESUMO
A ventilação natural é uma das principais estratégias para o resfriamento passivo de edificações. Seu aproveitamento é relevante para a obtenção das condições de conforto térmico em regiões de clima quente e úmido. Contudo, observa-se que alguns componentes construtivos presentes nas edificações acabam por limitar o uso da ventilação natural, a exemplo do muro. Este é um elemento recorrente nas habitações brasileiras, associado à necessidade de segurança e privacidade. Nesse contexto, a utilização de muros vazados pode se configurar como um interessante recurso para reduzir o efeito negativo proporcionado por esse componente. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a influência do posicionamento e direcionamento de componentes laminados no desempenho de muros vazados em relação ao potencial de aproveitamento da ventilação natural em habitações térreas de interesse social. A metodologia foi composta de análises paramétricas realizadas por meio de simulações baseadas na Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD), utilizando o *software ANSYS CFX* 18.1. Foram aplicadas cinco configurações de muros em um exemplar de habitação de interesse social, uma sem aberturas e quatro com componentes vazados laminados. Os resultados indicaram que a configuração com lâminas posicionadas na horizontal e direcionadas para baixo foi a que apresentou melhores ganhos nos padrões de circulação do vento e nos valores de velocidade do ar na região a sotavento do muro, comparados aos valores do modelo sem aberturas. No entanto, constatou-se que esses ganhos não se refletiram em melhorias das condições de ventilação natural no espaço interno da edificação. Assim, evidenciou-se a necessidade de inserção dos muros vazados aliados às outras estratégias projetuais de aproveitamento da ventilação natural.
Palavras-chave: ventilação natural, ação do vento, muros permeáveis, CFD.

ABSTRACT
Natural ventilation is one of the main strategies for the passive cooling of buildings. Its use is relevant for obtaining the conditions of thermal comfort in the regions of the hot and humid tropical climate. But some building components limit the use of natural ventilation, e.g., the wall. The wall is a recurring element in the Brazilian housing, it is related to the need for security and privacy. Therefore, the insertion of porous elements can be configured as an interesting resource to reduce the negative effect provided by this component. This paper aim is to evaluate the influence of the position and direction of the laminated component in the performance of the porous walls for the use of natural ventilation in ground floor social housing. For such, parametric analyses were used through simulations based on the Computational Fluid Dynamic simulation (CFD), using the ANSYS CFX 18.1 software. Five wall configurations were used in a social housing model, one without opening and four with laminated porous components. The results indicate that the configuration with horizontal lamina directed downwards was showed better values in the wind circulation patterns and in the air velocity in the leeward region of the wall than the without openings model. However, these results were not reflected in improvements to the natural ventilation conditions in the internal space of the building. Thus, it is found that the need for insertion of the porous walls allied to other strategies of natural ventilation.
Keywords: natural ventilation, wind action, permeable wall, CFD.

1. INTRODUÇÃO

As regiões de clima tropical quente e úmido são caracterizadas por pequenas flutuações diárias e sazonais da temperatura do ar, além de elevados níveis de umidade. Como o padrão do céu é parcialmente nublado, é gerada uma quantidade significativa de radiação difusa e luminosidade. Com isso, recomenda-se que as edificações, nessas regiões, evitem ganhos de calor advindos da radiação solar, na medida que dissipam o calor produzido internamente. Nesse sentido, o resfriamento é o principal foco do projeto arquitetônico, sendo a ventilação natural um fator relevante no estabelecimento do conforto térmico humano (GIVONI, 1994; ABNT, 2005).

Entretanto o conforto térmico muitas vezes fica suplantado diante de outras demandas que surgem na elaboração do projeto arquitetônico ou durante a vida útil da edificação. Como por exemplo a busca por segurança e privacidade, que tem transformado edificações e os bairros, criando dinâmicas e elementos construtivos, como os muros (MOREIRA, 2007). Kowaltowski et al. (2006) afirmam que culturalmente a população deposita mais confiança nos muros altos em detrimento ao controle do seu espaço, através da visualização plena da área.

Dentro da perspectiva do conforto térmico, a existência de anteparos no entorno de edificações deve ser levada em consideração, pois modifica substancialmente o fluxo de ar que incide na edificação estudada (TOLEDO, 1999). Na literatura estudos como o de Oliveira (2009) e Marín (2017) constataram o impacto do muro impermeável no aumento do desconforto nas habitações, sobretudo associado com a redução da velocidade dos ventos e das taxas de renovação de ar. Outras pesquisas, como exemplo as de Chang (2006) e Chang e Cheng (2009), demostraram que diferentes configurações e formas de inserção do muro, resultaram em modificações nas condições da ventilação natural nas edificações.

Nesse sentido, o presente trabalho investigou a influência da configuração geométrica de muros vazados nos padrões de comportamento do escoamento dos ventos. O estudo foi realizado com foco em habitações térreas de interesse social, visto que estas são frequentemente caracterizadas pelas fragilidades em relação ao conforto e segurança (SANTOS; BARROS; AMORIM, 2013).

2. OBJETIVO

O objetivo da pesquisa foi avaliar a influência do posicionamento e direcionamento de componentes laminados no desempenho de muros vazados em relação ao potencial de aproveitamento da ventilação natural em habitações térreas de interesse social.

3. MÉTODO

A metodologia da pesquisa foi dividida em duas etapas principais: (1) a definição dos modelos avaliados e (2) a simulação por Dinâmicas dos Fluídos Computacional (CFD).

3.1. Definição dos modelos avaliados

Foram definidos dois modelos de muros: um sem aberturas, que foi escolhido como o Modelo de Referência (MR), e um modelo vazado constituído de componentes laminados inclinados (MLI) (Figura 1). A opção de utilizar componentes laminados foi motivada pelo seu potencial em gerar arranjos favoráveis à privacidade, além da estimativa de baixo custo para execução, sendo mais acessível para às habitações de interesse social.

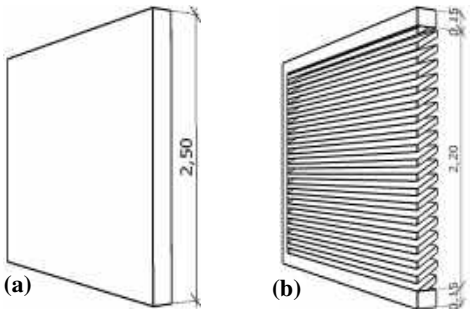


Figura 1 - Tipologias de muros avaliadas: (a) Modelo de Referência (MR); (b) Modelo Vazado (MLI). Fonte: Os autores, 2018.

Para compor a geometria dos modelos de muros avaliados, foi escolhido um exemplar de edificação térrea de um conjunto habitacional de interesse social existente na cidade de Maceió - AL. O exemplar foi selecionado devido as várias intervenções realizadas pelos usuários após a entrega da edificação pela construtora, sobretudo, a inserção de muros altos e fechados (Figura 2).



Figura 2 - Exemplar de edificação escolhido em diferentes períodos: (A) perspectiva do projeto, (B) final da execução e (C) depois da entrega aos moradores. Fonte: Contrato Engenharia, 2012; Os autores, 2017.

A partir da escolha das tipologias de muros e do modelo de habitação de interesse social, foram definidos os parâmetros fixos e variáveis para elaboração da matriz de referência com todas as simulações possíveis. Para esta pesquisa foram escolhidos oito parâmetros fixos e dois parâmetros variáveis, como descritos a seguir (Quadros 1 e 2 e Figura 3). Considerando estes parâmetros, gerou-se uma matriz com 5 casos.

Quadro 1 - Parâmetros fixos escolhidos para as simulações

	Parâmetro Fixo	Definições/Valores	Descrição
1	Recuo para construção	5,45 m	Baseado no exemplar de habitação
2	Altura do Muro	2,50 m	Valor médio estimado das alturas encontradas no conjunto habitacional
3	Espessura do muro	20 cm	Baseado nos elementos vazados comercializados
4	Localização da área destinada ao componente	Central (plano vertical) e Esquerda (plano horizontal)	Em observância de exemplares existentes no conjunto habitacional, sobretudo em relação a posição do portão da garagem
5	Inclinação da lâmina	30º	Inclinação escolhida a partir de teste preliminares, em que se avaliou os aspectos: privacidade e distribuição do fluxo de vento
6	Velocidade do vento	3 m/s[1]	Baseado na análise das velocidades médias mensais e anuais do vento para a cidade de Maceió
7	Porosidade do componente vazado	75%	Tentou-se considerar a maior porosidade possível, priorizando o critério de privacidade.
8	Ângulo de incidência dos ventos	90º	O objetivo foi avaliar o desempenho do muro com o vento incidindo perpendicularmente às configurações estudadas.

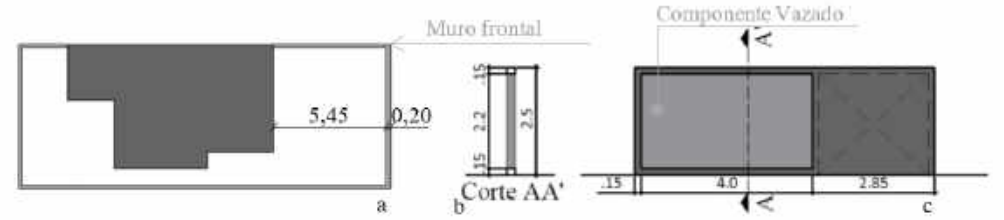


Figura 3 - Ilustrações esquemáticas demonstrando os parâmetros fixos definidos: (a) planta baixa de locação; (b) corte do muro; (c) vista muro frontal. Fonte: Os autores, 2018.

Quadro 2 - Parâmetros variáveis escolhidos para as simulações

	Parâmetro Variável	Definições/Valores	Descrição
1	Posição da lâmina	Horizontal e Vertical	A lâmina na vertical é mais recorrente em muros vazados. Optou-se por compará-la com a posição na horizontal, já que esta pode proporcionar melhores condições de privacidade.
2	Direção da lâmina	Para cima (posição horizontal) Para baixo (posição horizontal) Para direita (posição vertical) Para esquerda (posição vertical)	Considerando o parâmetro anterior, variou-se as lâminas em distintas direções, com intuito de investigar os diferentes padrões de escoamento.

3.2. Simulação por Dinâmicas dos Fluídos Computacional (CFD)

As simulações foram realizadas utilizando o software *Ansys CFX* 18.1 (ANSYS, 2017). Este é um *software* CFD que simula o escoamento de fluidos a partir de métodos numéricos como os elementos e os volumes finitos (CUNHA, 2010). O software é amplamente utilizado em pesquisas internacionais e nacionais envolvendo ventilação natural na arquitetura (ANDRADE, 2013; LUKIANTCHUKI, 2015).

Nas simulações optou-se por priorizar o detalhamento do componente vazado por conta da capacidade computacional, assim a modelagem da edificação considerou apenas a envoltória. Os modelos analisados não foram simulados de forma isolada, optou-se por colocar em suas laterais (direita e esquerda) réplicas

[1] Velocidade foi corrigida para o valor correspondente à altura de referência das aberturas da edificação, utilizando a equação estabelecida em *Building Research Establisment* – BRE (1978) *apud* Bittencourt; Cândido (2015).

simplificadas da edificação. O intuito foi simular considerando o escoamento do fluxo em condições mais próximas da realidade (Figura 4a).

Foi escolhido um domínio fluído retangular (Figura 4b) com as dimensões baseadas na altura da edificação estudada (H = 4,60 m) conforme as recomendações de COST C14[2] : a distância da entrada (barlavento) e laterais para qualquer obstáculo = 5H (23 m), a distância da saída (sotavento) para qualquer obstáculo = 15H (69 m) e altura do domínio = 6H (27,6 m).

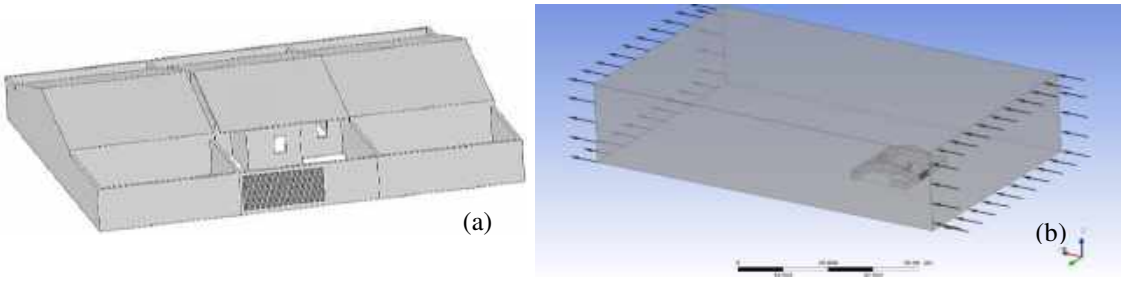


Figura 4 – Modelagem da geometria da edificação (a) e do domínio fluido (b). Fonte: Os autores, 2018.

Optou-se por uma malha tetraédrica não estruturada levando em consideração a capacidade de processamento computacional, já que ela é gerada com mais facilidade e possui melhor adaptação em geometrias mais complexas (LEITE; FROTA, 2013). Nas áreas do modelo que tinham maior importância na pesquisa, como os elementos vazados, foi necessário refinar a malha (Figura 5). Após as definições do modelo e da malha, foram inseridos parâmetros gerais da simulação e configurações específicas para cada componente do modelo, conforme sintetizado no quadro a seguir (Quadro 3).

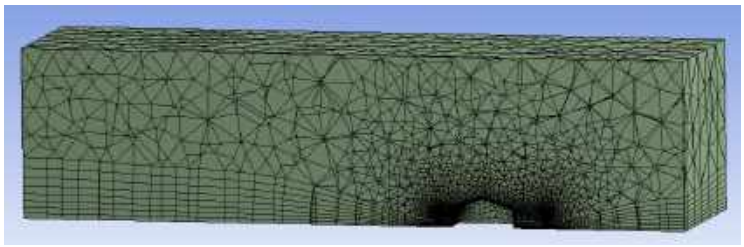


Figura 5 – Ilustração da malha gerada para os modelos analisados. Fonte: Os autores, 2018.

Quadro 3 – Síntese dos parâmetros para as condições iniciais e de contorno

Condições iniciais e de contorno	**Definição**
Regime da simulação	Permanente – condições de contorno se mantêm constantes
Domínio como fluido	Gás ideal e pressão atmosférica local como referência
Regime térmico escolhido	Isotérmico – desprezam-se as variações de temperatura e mistura efetiva do ar
Modelo de turbulência	k-ε (*k-Épsilon*) – custo-benefício entre o tempo de processamento e a precisão
Funções turbulentas de superfície	*Scalable* – funções ajustadas com as interações entre o fluido e as superfícies sólidas
Controle da solução matemática (confiabilidade)	Critério de convergência RMS[3] = 10^{-4}
	O número máximo de iterações = 250
	y^+ (y_{plus}[4]) = 20 < y+ < 300

Na análise da qualidade da malha verificou-se que todos os modelos alcançaram o valor estabelecido como critério de convergência RMS. Para y+, os valores obtidos ficaram dentro do limite proposto, com ressalvas para algumas regiões do modelo, a exemplo da região vazada do muro, que obtive valores inferiores a 20. A dificuldade de alcance do limite proposto relaciona-se a necessidade de aumentar a espessura da primeira camada de prisma para obter um melhor resultado de y+, em oposição a tendência de diminuir os elementos de malha para representar melhor as pequenas dimensões da geometria do componente vazado. Problemas semelhantes também foram encontrados nos trabalhos de Leite e Frota (2013) e Lukiantchuki (2015). Com base nestas pesquisas, decidiu-se priorizar o nível de convergência e a

[2] *European Cooperation in Science & Technology (COST) - Cost Action 14: recommendations on the use of CFD in predicting pedestrian wind environment* (COST, 2004 *apud* CÓSTOLA, 2006).

[3] RMS é definido como o "desvio padrão das leituras das quantidades" (LUKIANTCHUKI, 2015, p. 97).

[4] O y+ fornece um valor quantitativo para a qualidade da malha em relação a sua capacidade de capturar bem o fenômeno do escoamento próximo à parede (CÓSTOLA, 2006).

definição da malha com valores satisfatórios de qualidade. Estes foram escolhidos a partir dos vários testes realizados.

Por fim, foram realizadas as etapas de processamento das simulações e tratamento dos resultados. Foi possível obter diferentes informações qualitativas e quantitativas do escoamento. Para visualização dos resultados qualitativos, foram determinados dois planos de corte (Figura 6), um horizontal (altura = 0,85 m) e um vertical longitudinal (no sentido do fluxo)[5] . Para a análise quantitativa foram distribuídos pontos de medição no modelo, com eles foi possível monitorar a velocidade do vento. Definiu-se uma malha com o total de 16 pontos de medição (Figura 7), sendo 3 pontos externos ao modelo (a barlavento do muro); 9 pontos distribuídos no recuo frontal (a sotavento do muro); e 4 pontos localizados no espaço interno da edificação (próximos às aberturas da fachada frontal).

A partir dos resultados quantitativos e qualitativos de cada modelo foi realizada a avaliação comparativa entre o caso de referência e os casos com a tipologia vazada. Os dados de velocidade dos ventos foram caracterizados como base na escala cromática desenvolvida por Morais (2013)[6] A escala se divide em quatro níveis de velocidades médias (Figura 8), sendo o intervalo de 0,41 a 0,80 m/s em que é possível perceber uma redução de carga térmica.

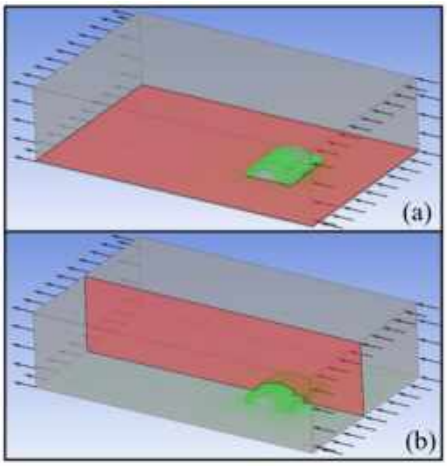


Figura 6 – Planos de corte horizontal (a) e vertical (b) elaborados na etapa de visualização dos resultados.

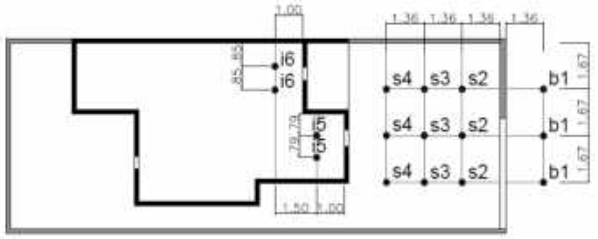


Figura 7 – Localização dos pontos de medição da velocidade do vento.

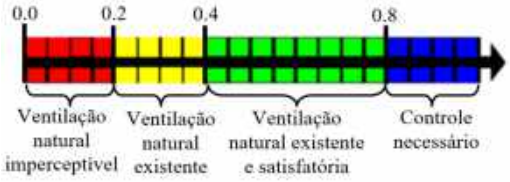


Figura 8 – Escala cromática de velocidades médias aplicadas ao conforto térmico. Fonte: adaptada de Morais (2013).

4. RESULTADOS

Os resultados foram divididos em duas seções: (1) uma para análise dos resultados qualitativos, em que foram avaliados os padrões de distribuição do fluxo de vento, e (2) outra seção para análise dos resultados quantitativos, em que os casos foram avaliados a partir dos dados obtidos para velocidade do vento.

4.1. Análise Qualitativa

Os resultados demostraram que no modelo de referência (MR) o escoamento do vento ao encontrar a barreira sofreu um desvio para cima do muro. O fluxo ao ultrapassar o muro se desloca para a cobertura da edificação, esta redireciona parte do escoamento para região frontal (Figuras 9 e 10). Assim, nesta área gerou-se uma zona de turbulência, onde houve recirculação do fluxo de ar. Como consequência desse padrão de distribuição, observa-se a ocorrência de fluxos reversos através das aberturas da habitação, ou seja, independentemente da localização das aberturas, seja a barlavento ou a sotavento, estas funcionaram como entrada e saída de vento. Isso indicou o impacto que o muro provoca na distribuição das pressões nas superfícies do modelo, fato que converge com outros estudos, com o de Chang (2006).

Nos muros vazados o padrão de circulação do fluxo de vento foi significativamente distinto do MR, pois parte do fluxo incidiu no lote através do componente vazado. Como consequência, percebe-se o incremento da velocidade do vento nas regiões a barlavento e a sotavento do muro. Comparando as tipologias de muros vazados entre si, percebe-se a ocorrência de distintos comportamentos na distribuição do fluxo de vento (Figura 9).

[5] A altura do plano horizontal foi definida conforme as recomendações da norma ISO 7726:1998 (ISO, 1998). O plano vertical foi posicionado de forma que seccionasse o componente vazado.

[6] Elaborada com base nas pesquisas de Bedford (1948), Allard (1998) e Cândido et al. (2010).

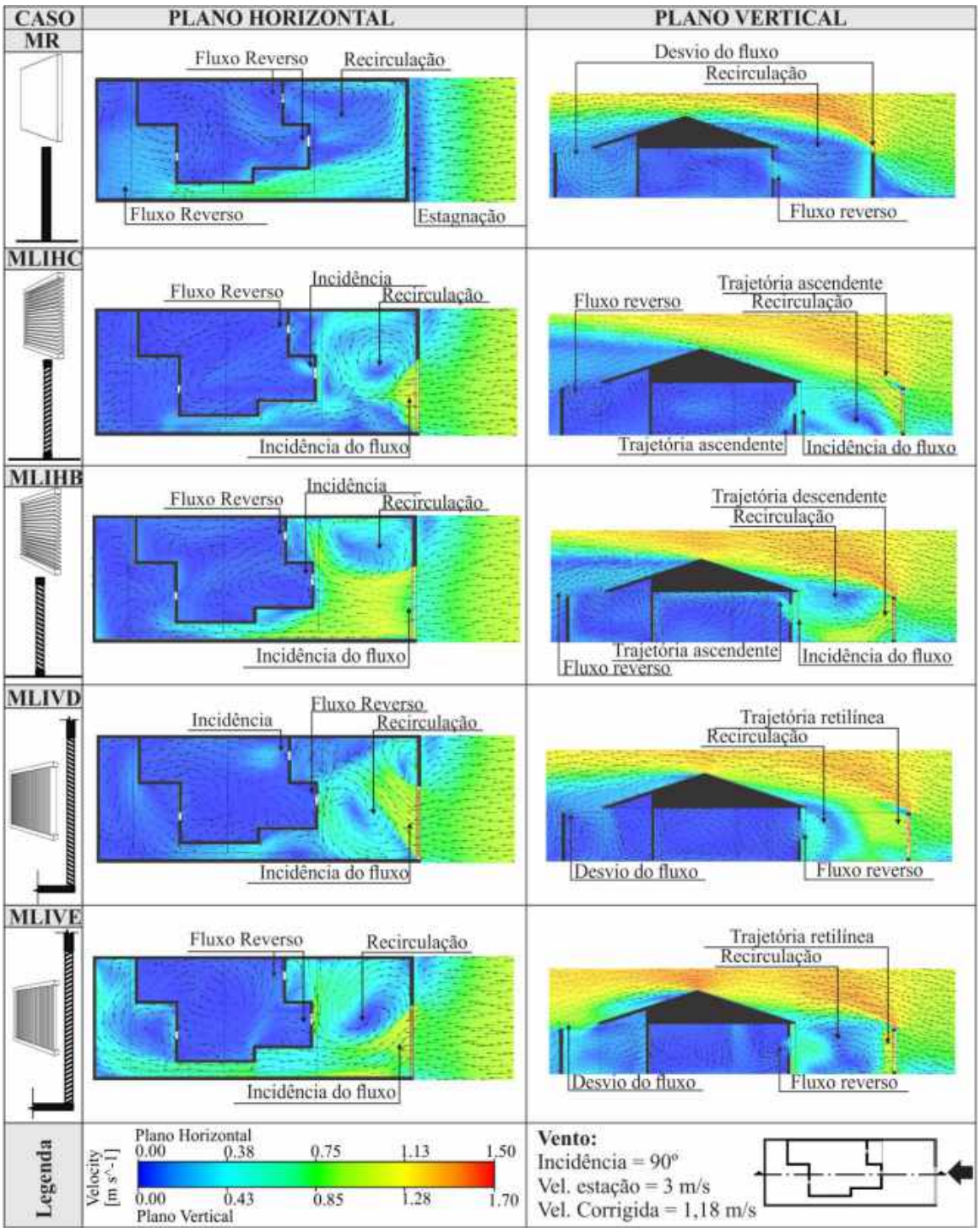


Figura 9 - Planos de corte vertical e horizontal dos casos analisados, evidenciando a distribuição do escoamento do fluxo de vento.

Nos casos da tipologia de Muro com Lâminas Inclinadas Horizontais direcionadas para Cima (MLIHC), o fluxo ao incidir no muro seguiu uma trajetória ascendente. Quando o escoamento se aproximou da cobertura da edificação retornou para região frontal, gerando zonas de turbulência e reduzindo a abrangência do escoamento (Figuras 10b). Ao analisar os casos com Muro de Lâminas Inclinadas Horizontais direcionadas para Baixo (MLIHB), verificou-se que parte do fluxo de ar ao ultrapassar o elemento vazado seguiu uma trajetória descendente. Após tocar no solo do modelo, o escoamento ascendeu na direção da edificação, gerando uma zona de turbulência (Figura 10c). Percebe-se nas Figura 10c que a distribuição do escoamento ocorreu de forma mais ampla do que nos modelos anteriores (MR e MLIHC). O fluxo de ar incidiu no lote alcançando maiores velocidades, o que consequentemente promoveu uma redução considerável das zonas de estagnação a barlavento da edificação. Contudo, esse padrão não se refletiu no interior da edificação, visto que o fluxo que entrou pela abertura assumiu uma trajetória ascendente, se

concentrando no nível do teto (Figura 10c). Assim, ainda predominou um padrão de circulação com baixas velocidades do vento.

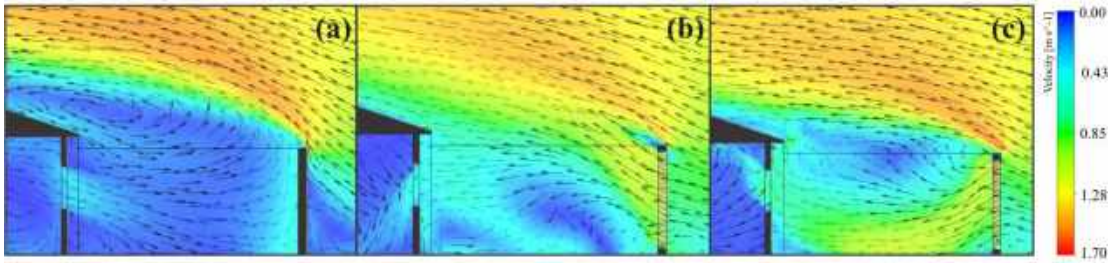


Figura 10 - Ampliação do plano de corte vertical para os casos: (a) MR, (b) MLIHC e (c) MLIHB, evidenciando a distribuição do escoamento do fluxo de vento.

Nos modelos de Muro com Lâminas Inclinadas Verticais (MLIV) o fluxo se deslocou no sentido de direção da lâmina. Nos casos com Lâminas direcionadas para Direita (MLIVD), o escoamento foi conduzido para a fachada frontal da edificação, incidindo na abertura próxima à lateral direita. Pela outra abertura frontal, ocorreu o predomínio do fluxo reverso, ou seja, ela funcionou mais como saída do que entrada de vento (Figura 11b).

Os resultados demonstraram que nos casos com Lâminas Verticais direcionadas para esquerda (MLIVE) o fluxo de ar ao ultrapassar o componente vazado tendeu a ser conduzido para o recuo lateral. Observa-se que o movimento de ar produzido pela configuração gerou um fluxo que incidiu paralelamente à fachada frontal (Figura 11c). Essa condição prejudicou o aproveitamento da ventilação na edificação. Nesse sentido, apesar do aumento na velocidade do ar na região a barlavento da edificação, nas aberturas predominaram um fluxo reverso, ou seja, as janelas frontais tenderam a funcionar mais como saída do que como entrada de vento, semelhante ao Modelo de Referência (MR).

Percebe-se que as Lâminas Inclinadas Verticais quando direcionadas para Direita (MLIVD) possibilitaram uma melhor distribuição do fluxo de vento na região a barlavento da edificação, do que as Lâminas Inclinadas Verticais direcionadas para Esquerda (MLIVE). Estas, no entanto, proporcionam condições mais adequadas de privacidade, visto que o direcionamento para direita deixou a habitação mais exposta à visão externa (Figura 11b e 11c).

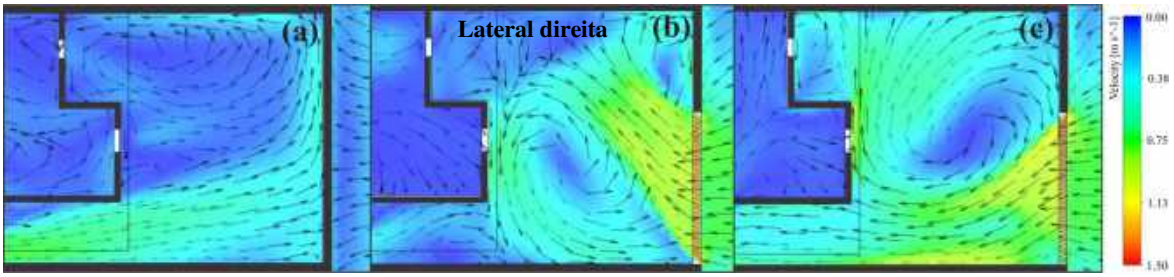


Figura 11 - Ampliação do plano de corte horizontal para os casos: (a) MR, (b) MLIVD e (c) MLIVE, evidenciando a distribuição do escoamento do fluxo de vento.

Comparando todos os modelos vazados no que se refere ao padrão de distribuição do fluxo de vento no recuo frontal e na sua incidência pelas aberturas da edificação, verificou-se que:

• Os melhores desempenhos foram para as tipologias de Muros com Lâminas Horizontais direcionadas para Baixo (MLIHB) e de Muros com Lâminas Verticais direcionadas para Direita (MLIVD). Visto que a posição e o direcionamento das lâminas conduziram de forma mais direta o fluxo para dentro da edificação.

• O MLIHB obteve maior abrangência e intensidade no recuo frontal do que o MLIVD. Contudo, sua incidência nas aberturas é prejudicada devido ao direcionamento do fluxo para o nível do teto, reduzindo o potencial de aproveitamento da ventilação.

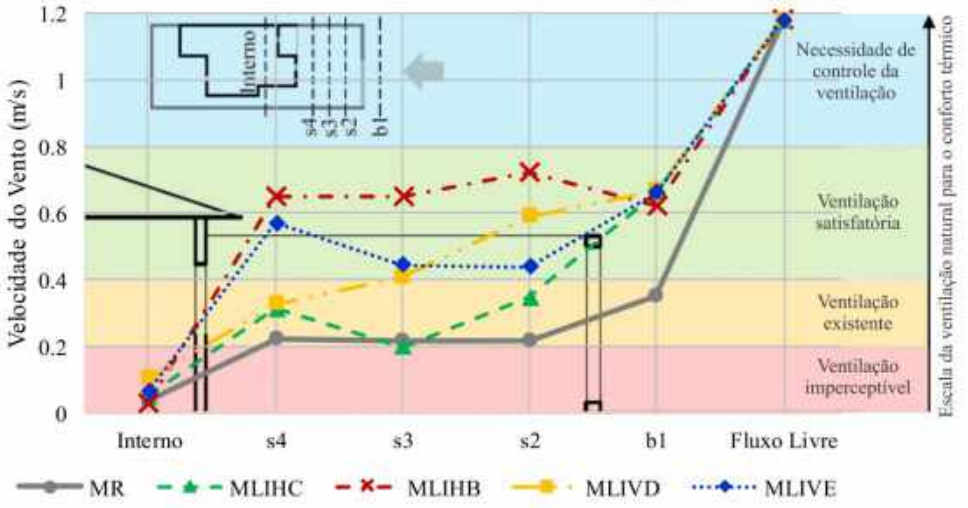
• No geral, o padrão de distribuição mais desfavorável foi percebido no caso com o Muro de Lâminas Horizontais direcionadas para Cima (MLIHC). Este se assemelhou com o Modelo de Referência (MR) no que se refere ao predomínio de zonas de estagnação.

4.2. Análise Quantitativa

Os valores de velocidade do vento obtidos para o Modelo de Referência (MR) demonstraram o impacto considerável do muro não permeável, pois considerando o fluxo do vento livre (1,18 m/s), onde não há influência das obstruções, a redução da velocidade do vento a barlavento do muro foi de aproximadamente 70%. Enquanto a redução a sotavento do muro chegou a ultrapassar 80%. Nas áreas internas da edificação as

velocidades médias foram menores do que 0,04 m/s, uma redução de cerca de 97%. Fato que convergiu com a literatura, principalmente com os estudos de Boutet (1987) *apud* Bittencourt e Cândido (2015). Os valores de velocidade do vento no recuo frontal (sotavento do muro) alcançaram uma média de 0,22 m/s (Figuras 12 e 13). Tomando como referência a escala cromática desenvolvida por Morais (2013), esse valor caracterizaria a ventilação natural como existente, porém muito próxima do limiar mínimo. No entanto, para as condições internas a ventilação foi classificada como imperceptível, ou seja, indicando o não favorecimento ao resfriamento fisiológico e da edificação (Figura 12).

Nos casos com muros vazados, o comportamento a barlavento e a sotavento do muro variaram significativamente em comparação com o Modelo de Referência (MR). Contudo, quando se considera os valores obtidos na área interna da edificação, nota-se que as tipologias vazadas se assemelharam ao MR (Figuras 12 e 13).



Legenda Sigla	**MR =** Modelo de Referência	**MLIHC=** Muro com lâminas horizontais para cima	**MLIHB =** Muro com lâminas horizontais para baixo	**MLIVD=** Muro com lâminas verticais para direita	**MLIVE =** Muro com lâminas verticais para esquerda

Figura 12 - Gráfico demonstrando o comportamento da velocidade média do vento e o rebatimento nos níveis de ventilação natural para o conforto térmico.

No caso do muro vazado com lâminas horizontais direcionadas para cima (MLIHC), percebe-se que a velocidade a barlavento do muro alcançou valores acima de 0,55 m/s, um acréscimo de mais 60% em relação ao Modelo de Referência (MR). Enquanto a sotavento do muro os valores decaíram consideravelmente, alcançando níveis em torno de 0,29 m/s, um incremento de 30% em relação ao MR (Figura 14). Os níveis de velocidade do vento interno ficaram abaixo de 0,10 m/s, uma condição considerada, demasiadamente, desfavorável para o conforto térmico (Figuras 12 e 13).

O muro com lâminas direcionadas para baixo (MLIHB) obtive uma velocidade média no recuo frontal de aproximadamente 0,67 m/s, resultando em um acréscimo de mais de 200% em relação ao MR. Este nível caracterizaria a ventilação natural como satisfatória. Ressalta-se também que no caso MLIHB, a média da velocidade a sotavento do muro foi mais elevada do que a barlavento (Figuras 12 e 13). No entanto, quando se observa as condições internas da edificação a média da velocidade foi menor do que o MR (Figuras 13 e 14). Este comportamento se relaciona com o padrão de movimentação do ar, que concentra o fluxo no nível do teto, como observado na análise qualitativa.

Nota-se que as tipologias com Muros com Lâminas Inclinadas Verticais direcionadas para Direita (MLIVD) e direcionadas para Esquerda (MLIVE) apresentaram resultados semelhantes quanto a velocidade do vento a barlavento do muro. Comparando com o Modelo de Referência (MR), ambas tipologias obtiveram um incremento de aproximadamente 90%. Contudo, quando se observa a região de recuo frontal (sotavento do muro), verifica-se um comportamento distinto entre elas (Figura 14).

Como é possível visualizar na figura 12, no caso MLIVD, o fluxo de vento obteve maiores velocidades nas áreas mais próximas do muro (s2), enquanto no caso MLIVE, os níveis mais elevados foram na região mais próxima da edificação (s4). Para o caso MLIVD a média da velocidade do vento registrada foi de 0,44 m/s, um incremento de 100% em relação ao MR. Já o caso MLIVE obteve uma média de 0,48 m/s, resultando em um aumento de 120% (Figuras 13 e 14). Semelhante aos outros casos, a média registrada dentro da edificação não gerou condições satisfatórias de ventilação natural para o conforto térmico.

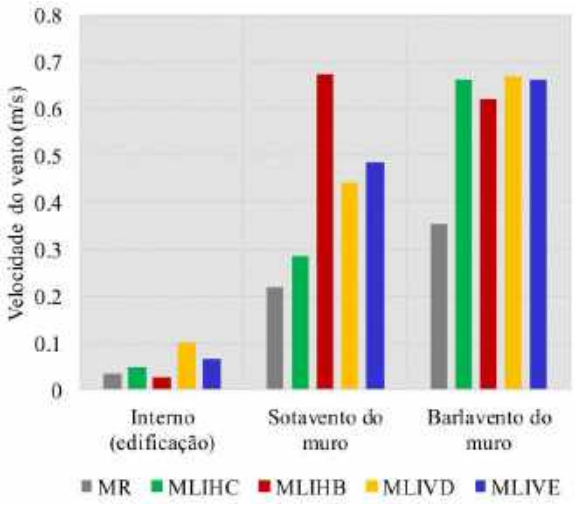


Figura 13 - Gráficos comparando os valores médios de velocidade do vento

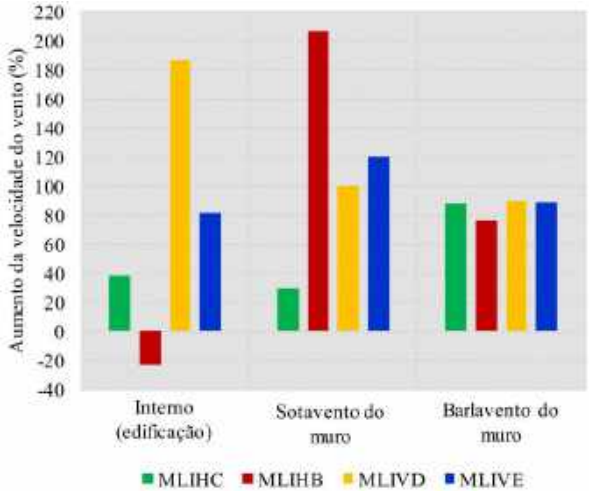


Figura 14 - Gráfico comparando as porcentagens de aumento/redução da velocidade média do vento das tipologias vazadas em relação ao Modelo de Referência – MR.

Comparando todos os modelos vazados em relação aos valores de velocidade do vento, verificou-se que quando o vento incide a 90º:

• O caso que apresentou melhor desempenho a sotavento do muro foi o com Lâminas Inclinadas Horizontais para Baixo (MLIHB).

• O caso que apresentou pior desempenho a sotavento do muro foi o com Lâminas Inclinadas Horizontais para Cima (MLIHC).

• Verificou-se que não existiram variações significativas nos valores obtidos para a região interna da edificação. Os resultados demonstraram baixas velocidades do vento, sem que houvesse melhoras evidentes nas condições de ventilação. Relaciona-se este fato às interferências da tipologia e das características da edificação nos resultados, sobretudo em relação a certos aspectos como:

(1) a presença de apenas um recuo lateral, visto que o escoamento tende a se deslocar para essa região, prejudicando a abrangência do fluxo no recuo frontal.

(2) o tipo de cobertura, que interfere na separação e direcionamento do fluxo.

(3) a tipologia das aberturas, do tipo de correr, que possui uma área útil pequena, reduzindo o potencial de aproveitamento da ventilação natural.

5. CONCLUSÕES

De um modo geral, os resultados obtidos demonstraram vantagens na inclusão do componente vazado em habitações de interesse social. Pois observou-se o incremento no desempenho da ventilação natural promovido pela maioria dos casos de muros vazados no recuo frontal (sotavento do muro) em relação ao Modelo de Referência (MR). Entretanto, ao comparar as diferentes tipologias de muros vazados, constatou-se variações significativas nos resultados quantitativos e qualitativos.

Nesse sentido, o trabalho ressaltou a influência da tipologia e dos parâmetros de configuração do componente vazado no aproveitamento da ventilação natural. Sobretudo o posicionamento e direcionamento das lâminas, em que foi verificado o maior potencial nas lâminas horizontais direcionadas para baixo. Esta configuração possibilitou melhor padrão de escoamento e um maior incremento nos valores de velocidade do vento na região de recuo frontal. Além disso, pode proporcionar melhores condições de privacidade.

Foi evidenciado também que o incremento da velocidade do vento na região de recuo frontal nos casos vazados, não se refletiu em melhorias significativas no espaço interno da edificação. Pois todos os casos analisados apresentaram baixos desempenhos, o que ocasionou condições insatisfatórias de conforto térmico. Relaciona-se este fato às interferências da tipologia e das características da edificação nos resultados. Nesse sentido, ressalta-se a necessidade da inserção dos muros vazados aliados às outras estratégias projetuais de aproveitamento da ventilação natural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, N. C. **Estudo da ventilação natural em edificações com captadores de vento multidirecionais por meio de ensaios em túnel de vento e simulações computacionais.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ANSYS. ***Software ANSYS* 18.1**., 2017. [S.l], 2017. Disponível em: <http://www.ansys.com/ academic/free-student-products>. Acesso em: 30 de agosto de 2017.

BITTENCOURT, L.; CÂNDIDO, C.. **Introdução a Ventilação Natural**. 4ed. rev. Maceió: EDUFAL, 2015.

CHANG, W. R. Effect of porous hedge on cross ventilation of a residential building. In: **Building and Environment**, v. 41, n. 5, p. 549-556. Elsevier Ltd., 2006.

CHANG, W. R.; CHENG, C. L. Modulation of Cross Ventilation in a Residential Building Using a Porous Hedge. In: **Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers**, Vol.30, No.5, pp.409-417. J. CSME, 2009.

CÓSTOLA, D. **Ventilação por ação do vento no edifício**: procedimento para quantificação. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Construção) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

CONTRATO ENGENHARIA. **Residencial Jardim Royal**. Maceió, 2012. Disponível em: <http://www.contratoengenharia.com.br/obras_concluidas.php?id_obra=36>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

CUNHA, L. J. B. de F. **Análise de Métodos para Aplicação de Ventilação Natural em Projetos de Edificações em Natal-RN**. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2010.

GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: John Wiley & Sons, 1994.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7726:1988** – Ergonomics of the thermal environments: instruments for measuring physical quantities. Genebre: International Organization for Standardization, 1998.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. et al. Análise de parâmetros de implantação de conjuntos habitacionais de interesse social: ênfase nos aspectos de sustentabilidade ambiental e da qualidade de vida. In: SATTLER, Miguel A.; PEREIRA, Fernando Oscar R. (editores). **Construção e Meio ambiente**. Coleção Habitare, v. 7. Porto Alegre: ANTAC, 2006.

LUKIANTCHUKI, M. A. **Sheds extratores e captadores de ar para indução da ventilação natural em edificações**. Tese (doutorado) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia – Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

LEITE, R. C. V.; FROTA, A. B. Procedimentos para determinação de coeficientes de pressão em diferentes condições de adensamento urbano. In: **XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VIII Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído**. Anais... Brasília: ENCAC, 2013.

MARIN, H. F.C. **Impacto de dispositivos de sombreamento externos e muro na ventilação natural e no desempenho térmico de uma habitação de interesse social térrea**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: <http://www.teses. usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-04092017-125132/>. Acesso em: 04 de outubro de 2017.

MORAIS, J. **Ventilação Natural em Edifícios Multifamiliares do "Programa Minha Casa Minha Vida".** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2013.

MOREIRA, K. **Diretrizes para projeto de segurança patrimonial em edificações**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www. teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-17052010-090837/en.php>. Acesso em: 29 de julho de 2015.

OLIVEIRA, M. C. A. de. **Simulação Computacional para Avaliação dos Efeitos das Modificações em Casas Autoconstruídas sobre a Ventilação**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2009.

SANTOS, D.; BARROS, B.; AMORIM, J. A. Reforma na habitação de interesse social: diagnóstico de um conjunto residencial do semiárido nordestino. In: **Encontro Latinoamericano de Edificações e Comunidades Sustentáveis** – ELECS. Curitiba: UFPR, 2013. p. 1 – 10.

TOLEDO, E. **Ventilação natural das habitações**. Maceió: Edufal, 1999.