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

ANÁLISE DO DESEMPENHO DA VENTILAÇÃO NATURAL EM UMA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL ATRAVÉS DE SIMULAÇÕES CFD

Ana Clara de Almeida Xavier (1); Marieli Azoia Lukiantchuki (2)
(1) Acadêmica do curso de Arquitetura e Urbanismo, anaclaraxavier48@gmail.com, Universidade Estadual de Maringá, av. Colombo, 5700
(2) Professora doutora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, malukiantchuki2@uem.br, Universidade Estadual de Maringá, av. Colombo, 5700, (44) 3011-4145

RESUMO
A ventilação natural é uma das estratégias passivas mais eficientes para o condicionamento térmico passivo de edificações, devendo ser utilizada sempre que possível em países de clima quente e úmido como a maior parte do Brasil. No entanto, muitas vezes esse recurso é subutilizado, principalmente em habitações de interesse social (HIS), em virtude do desenvolvimento de projetos de baixo custo. Dessa forma, o objetivo deste artigo é analisar o desempenho da ventilação natural por ação dos ventos nos ambientes internos de uma HIS. O método de pesquisa utilizado foi simulação com base em Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) através do *software* Ansys CFX. A pesquisa toma como estudo de caso uma tipologia padrão de HIS na cidade de Maringá-PR. Analisou-se o desempenho da ventilação, considerando a direção dos ventos predominantes da cidade. São apresentados resultados quantitativos (velocidade média do vento nos ambientes internos) e qualitativos (imagens do fluxo de ar interno), analisados com base nos parâmetros da NBR 15575 e da pesquisa de Cândido *et al* (2010). Os resultados indicaram que o muro muito próximo à edificação, bem como o tamanho reduzido das aberturas formam um grande impacto na quantidade e velocidade do fluxo de ar interno, provocando desconforto térmico dos usuários, embora estejam de acordo com o tamanho das aberturas exigidos pela norma.
Palavras-chave: ventilação natural, simulações CFD, habitações de interesse social, desempenho térmico.

ABSTRACT
Natural ventilation is one of the most efficient passives strategies for the passive thermal conditioning of buildings and should be used in countries with a hot and humid climate such as most of Brazil. However this resource is often underutilized specially in social housing (HIS) because of low-cost projects. Therefore the aim of this article is to analyse the performance of natural ventilation by wind action in a HIS. The research method used was CFD simulation using the *software* Ansys CFX. The case study of this research is a standard typology of social housing in Maringá – PR. The performance of natural ventilation was analysed considering the wind prevalent direction of the city. The research presents quantitative (wind average velocity in indoor environments) and qualitative (internal airflow) results, based on NBR 15575 parameters and Cândido *et al.* (2010) research. The results indicated that the wall very close to the building as well as the reduced size of windows have significant impact on the amount and velocity internal airflow, causing thermal discomfort of the users, although they are in agreement with the size of the openings required by the standard.
Keywords: natural ventilation, CFD simulations, social housing, thermal performance.

1. INTRODUÇÃO

Diversas pesquisas ressaltam a baixa qualidade ambiental das Habitações de Interesse Social (HIS) na realidade brasileira (REIS e LAY, 2010; MORAES e LABAKI, 2017; CARVALHO e SPOSTO, 2012). No entanto, estas só passaram a ser vistas como um problema a partir de 1880 devido ao surto de crescimento da indústria, a vinda dos imigrantes e a afirmação do capital como centro integrador regional (FAUSTO, 1977). Ademais, a habitação popular surge simultaneamente aos primeiros indícios de segregação espacial, uma vez que a produção dessas habitações ocorre em locais mais afastados e sem infraestrutura, visto que eram habitações destinadas a classe de menor renda. Com isso, no período Vargas, a questão da moradia ganha força total devido a sua influência direta no âmbito econômico e político do país, que no momento estava enfrentando a crise da moradia. Diante disso, ganha destaque o auto empreendimento da casa própria, a habitação social provida pelo Estado, além da racionalização da produção da moradia (REIS e LAY, 2010; BONDUKI, 1955).

Nessa perspectiva, percebe-se que no Brasil o número de HIS vem crescendo consideravelmente e aliado à especulação fundiária e as leis urbanas restritivas, nota-se como consequência a baixa qualidade da habitação. Além disso, o contexto em que essas habitações estão inseridas caracteriza-se por políticas públicas que não consideram os aspectos de conforto ambiental das edificações, reproduzindo-as em larga escala sem analisar as diversidades regionais dos locais onde estas edificações são implantadas. Dessa forma, têm-se edificações com baixo desempenho térmico e, consequentemente, usuários em desconforto térmico (MARAFON *et al*, 2014).

Atualmente existem normativas brasileiras que visam melhorar o desempenho térmico das HIS, como a NBR 15.220 (ABNT, 2005) e a NBR 15.575 (ABNT, 2013). No entanto, mesmo com o auxílio desses documentos, os projetos arquitetônicos das moradias ainda se configuram com aberturas mínimas para uma efetiva ventilação natural, a implantação muitas vezes não é adequada com relação à insolação e à ventilação, a especificação dos sistemas construtivos assim como das cores destes não considera os aspectos térmicos, entre outros, decretando que a problemática da moradia em relação ao conforto térmico ainda se mantém. Diante disso, o desenvolvimento de pesquisas que visem melhorar o conforto térmico nas HIS é de grande importância para a nossa realidade, devendo ser realizado ainda no momento de concepção de projeto buscando a redução de problemas no desempenho térmico das edificações e, assim, no conforto térmico dos usuários (MORAES e LABAKI, 2017).

Segundo Lamberts *et al* (2014) o Brasil, devido ao seu imenso território e por se localizar entre dois trópicos, possui um clima bastante variado, sendo que grande parte do território brasileiro é classificado como tendo um clima quente e úmido. Nestas regiões a combinação de estratégias de ventilação natural e de sombreamento das aberturas pode contribuir significativamente para a redução do condicionamento artificial e, consequentemente, do consumo energético nas edificações. Segundo a NBR 15.220 (ABNT, 2005) o uso da ventilação natural como estratégia de condicionamento passivo de edificações no verão é recomendada em sete das oito zonas bioclimáticas brasileiras. Já o sombreamento das aberturas no verão, é recomendado para cinco dessas oito zonas bioclimáticas.

No caso específico da ventilação natural, existem diversos métodos para predição do desempenho da ventilação natural durante a concepção do projeto, tais como: 1) experimentos em túnel de vento; 2) experimentos em mesas d'água; 3) experimentos em tamanho real; 4) simulação computacional por dinâmica dos fluidos computacional – CFD e 5) fórmulas analíticas e semi-empíricas (CHEN, 2009). Cada um desses métodos apresenta vantagens e desvantagens indicando qual o melhor para cada caso específico. Dentre estes, as simulações CFD tem sido muito utilizadas, ressaltando que no Brasil, diversas pesquisas relevantes têm sido efetuadas utilizando essa técnica tanto em meio urbano (COSTA, 2001; PRATA-SHIMOMURA, 2005; LEITE, 2010) como nas edificações (CÓSTOLA, 2006; LUKIANTCHUKI, 2015; ANDRADE, 2013), o que comprova a eficiência do método.

2. OBJETIVO

Este artigo tem por objetivo analisar o desempenho da ventilação natural por ação dos ventos em uma habitação de interesse social (HIS) na cidade de Maringá – PR.

3. MÉTODO

O método adotado para esta pesquisa está dividido em quatro etapas principais:

(1) Caracterização climática de Maringá;

(2) Seleção e caracterização do estudo de caso em Maringá;

(3) Simulações computacionais, utilizando o *software* Ansys CFX; e
(4) Parâmetros de análise.

3.1. Caracterização climática de Maringá

A cidade de Maringá está localizada no norte do Paraná, na latitude -23° 25’ 31”, longitude -51° 56’ 19” e altitude de 596m. Segundo a classificação de Koppen (1948) a cidade possui clima tipo Cfa, subtropical úmido de altitude, com verões quentes e geadas pouco frequentes, concentração das chuvas nos meses de verão e sem estação de seca definida e um alto nível de radiação solar durante o ano todo (TAMANINI, 2002), conforme a Figura 1. Além disso, de acordo com o INMET (2018), as temperaturas médias variam de 28,4ºC a 18ºC e com umidade relativa de 68,4%. Com relação aos ventos de Maringá, têm-se a direção predominante entre leste e nordeste com velocidades entre 0 e 4m,/s, com maior predominância de 2,0m/s, (Figura 2).

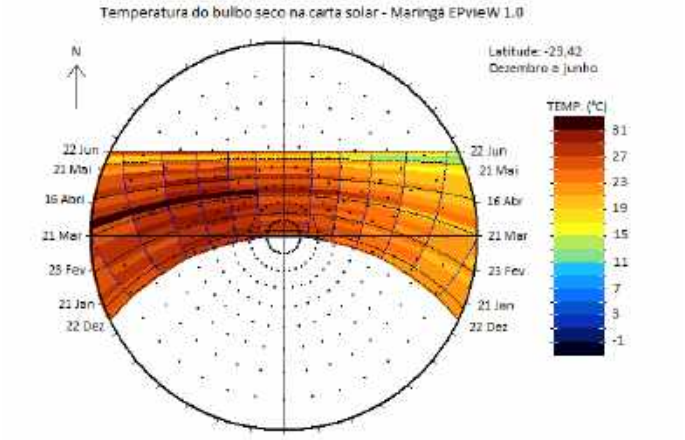

Figura 1 – Carta solar com temperaturas para Maringá (Fonte: *software* Epview, com base nos Epw. Editado pelas autoras, 2019)

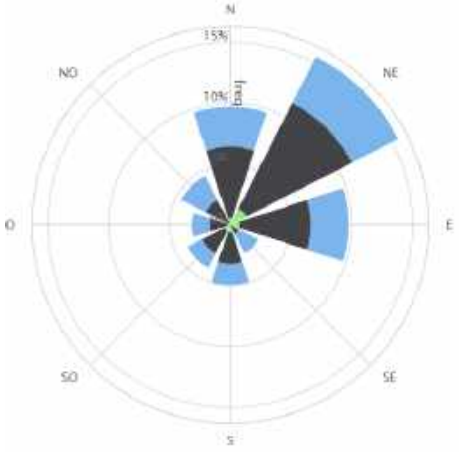

Figura 2 – Rosa dos ventos de Maringá (Fonte: ProjetEEE, 2018)

Com base nessa caracterização climática e segundo a plataforma digital ProjetEEE (2018), o clima de Maringá proporciona 41% das horas do ano de conforto térmico, sendo que do restante 29% do ano está em desconforto por frio e 30% do ano em desconforto por calor, demonstrando um clima temperado e em equilíbrio entre verão e inverno. Diante disso, as estratégias bioclimáticas recomendadas são: inércia térmica para aquecimento, ventilação natural e sombreamento das aberturas. O aquecimento solar passivo apresenta apenas 4% de aplicabilidade ao longo do ano. Diante dessas análises, conclui-se que para o clima de Maringá devemos adotar soluções projetuais flexíveis, de forma a atender o conforto térmico no verão e no inverno. Para o verão recomenda-se localizar as aberturas de forma a permitir a ventilação natural dos ambientes internos e o uso de protetores solares para o sombreamento das aberturas no verão, em orientações solares críticas. No entanto, as aberturas devem ser flexíveis de modo a possibilitarem no inverno ventilação natural para fins de renovação do ar dos espaços internos por questões de salubridade. Além disso, o cálculo dos dispositivos de proteção deve ser realizado de forma que no inverno, cuja altura do sol é mais baixa permita a entrada da radiação solar direta nos ambientes internos permitindo o aquecimento solar passivo, enquanto no verão, cuja posição do sol em relação a superfície terrestre é mais alta, seja bloqueada.

3.2. Seleção e caracterização do estudo de caso em Maringá

A unidade habitacional analisada é pertencente ao Programa Minha Casa Minha Vida devido a sua abrangência social e sua característica de reprodução de projetos padrões sem considerar aspectos climáticos do local de implantação da edificação, implicando em diversos problemas de conforto térmico (MORAIS; GALVÃO; LABAKI, 2017 e MORAIS; LABAKI, 2017). Além disso, escolheu-se uma habitação térrea, devido a maior interferência da cobertura, por ser a principal responsável pelo ganho de carga térmica, e do muro, devido a interferência que exerce na captação dos ventos externos para os ambientes internos.

Nesse sentido, dentre os conjuntos habitacionais presentes na cidade de Maringá – PR, escolheu-se um de tipologia horizontal sendo o lote da habitação analisada de geometria retangular com 10m de testada e 20m de profundidade, totalizando 200m² de área. A casa de formato também retangular apresenta dimensões de 5,46m por 7,86m e está implantada de maneira centralizada com a menor medida paralela a testada do terreno. O lote e a casa têm 23º de inclinação a oeste em relação ao norte. O programa da habitação é

composto de dois dormitórios, um banheiro, sala de estar e a cozinha/jantar, sendo o entorno de baixa influência na incidência dos ventos dominantes, por não apresentar edificações de alto gabarito ou arborização urbana próxima. Na divisa do lote, tem-se um muro distante da edificação em 0,60m e com 1,50m de altura. Todos os cômodos apresentam uma abertura cujas dimensões padronizadas são, em geral, de 1,50m de largura e 1,20m de altura, com a manobra de abertura de correr (Figuras 3 e 4).

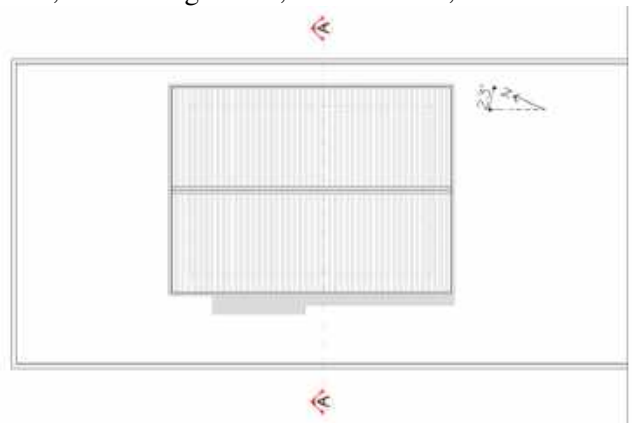

Figura 3 – Planta do lote com a edificação (Fonte: acervo da Prefeitura Estadual de Maringá, 2012; adaptado pela autora, 2019)

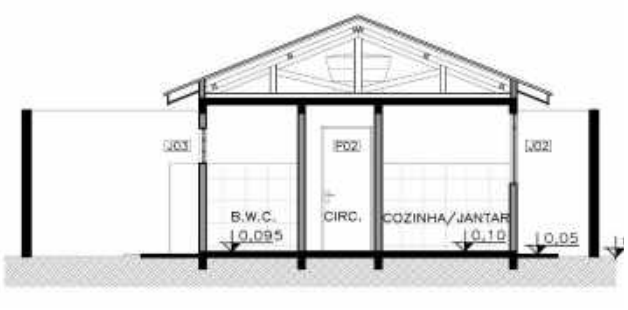

Figura 4 – Corte transversal AA (Fonte: acervo da Prefeitura Estadual de Maringá, 2012; adaptado pela autora, 2019)

3.3. Simulação da ventilação natural usando CFD

Para analisar o desempenho da ventilação natural na habitação selecionada, foi utilizado o *software* Ansys na versão 19.1, que consiste nas seguintes etapas: 1) confecção da geometria da edificação; 2) geração da malha computacional; 3) determinação das condições de contorno do domínio e da edificação e 4) simulação computacional.

Para a confecção do modelo 3D (geometria) do modelo, foi utilizado as ferramentas de modelagem 3D do *software* AutoCAD da Autodesk. Para a definição das aberturas, foi considerada a dimensão da área efetiva de ventilação, de acordo com a tipologia da janela. Para as portas, todas foram consideradas abertas, com exceção das portas do banheiro e a externa de acesso à habitação, que por questões de privacidade e segurança foram modeladas fechadas. A habitação foi modelada de maneira fidedigna, considerando todos os elementos do projeto padrão, como cobertura, laje e o muro externo (Figura 5).

Além da habitação, foi modelado um volume externo sem aberturas que representa o meio onde o fluido irá escoar, ou seja, o domínio da simulação. Ademais, realizou-se a subtração da habitação com o domínio, a fim de gerar um negativo volumétrico da área de estudo, configurando-se como um bloco único. As dimensões do domínio seguiram a recomendação de Harries (2005), sendo a distância à barlavento e das laterais de 5H (20m), a altura de 6H (24m) e à sotavento de 10H (40m), onde H = 4m que corresponde à altura da habitação (Figura 5).

Posteriormente, definiu-se a malha computacional no *software* Ansys 19.1, que influencia diretamente na precisão dos resultados da simulação. A geração da malha do domínio apresentou um refinamento nas arestas do chão e nas arestas das laterais, apresentando menor precisão conforme ia se distanciando do solo. Para as arestas da habitação, da mesma forma que para o domínio, foi preciso um maior cuidado nas proximidades das aberturas, por ser o meio por onde ocorre o escoamento do fluxo de ar, a fim de possibilitar uma maior qualidade nos resultados (Figura 6).

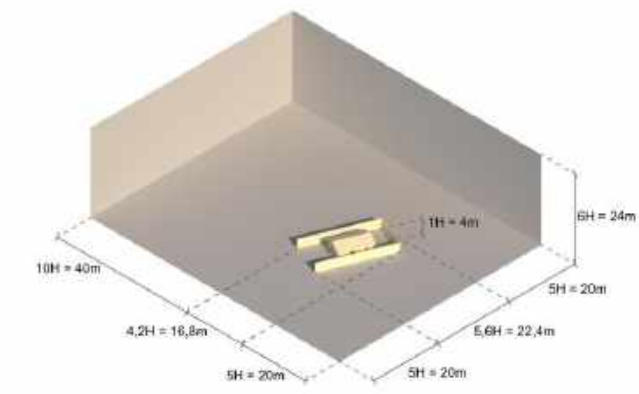

Figura 5 – Habitação analisada com o domínio computacional

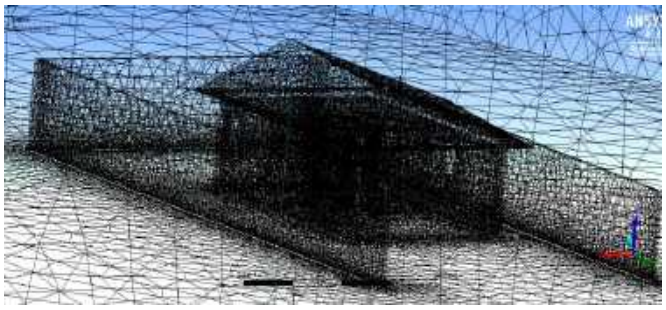

Figura 6 – Malha computacional do modelo

As condições do domínio foram definidas como: entrada como *INLET* e saída como *OUTLET*, as laterais e o topo como *WALL free slip wall* (sem atrito, pois estão longe da edificação e não provocam interferência na mesma), o chão como *GROUND no slip wall* (com atrito *smooth wall*) e a edificação *no slip* wall (com atrito *rough wall*). O fluido utilizado foi o ar nas condições isotérmicas de 25°C e o modelo de turbulência utilizado foi o K-epsilon, que é comum e bem estabelecido em diversas pesquisas de ventilação natural (CALAUTIT e HUGHES, 2014 e HARGREAVES, MORVAN e WRIGHT, 2014). Na condição de entrada, a velocidade do fluxo de ar estabelecida foi de 2m/s, que é o padrão para a cidade de Maringá (ProjetEEE, 2018). Os parâmetros de controle de convergência foram de 600 interações e nível de convergência MÁX de 10^{-4}.

3.4. Parâmetros de análise

Para avaliar o desempenho qualitativo da ventilação natural em planta, foi gerado um plano horizontal com a altura de 1,60m, passando pelo ponto médio das aberturas, e planos verticais (cortes 1, 2, 3 e 4), passando pelas aberturas e pelo muro de divisa (Figura 7). Nesses planos, vetores de intensidade e direção do fluxo de ar foram plotados, sendo utilizada uma escala em que cada cor representa um valor de velocidade correspondente.



Figura 7 – Planta da HIS com os cortes estabelecidos para as análises (Fonte: acervo da Prefeitura Municipal de Maringá, 2012; adaptado pela autora, 2019).

Primeiramente, a porcentagem da área efetiva de ventilação das aberturas da HIS foi analisada com base nas recomendações da NBR 15575 (2013), a fim de verificar se estavam compatíveis com as recomendações propostas pela normativa. Em seguida, foi realizada uma análise visando o conforto dos usuários para regiões do Brasil de clima quente e úmido, pela maior parte do território brasileiro ser classificada dessa forma e por serem os locais que mais necessitam da ventilação natural para o alcance do conforto térmico. Geralmente, os limites aceitáveis da velocidade do ar são fornecidos por normas internacionais como ASHRAE 55 (2004), ISO 7730 (2005) e EN15251 (2007). No entanto, esses e outros documentos especificam valores para a velocidade do ar inferiores aos desejados pelos usuários dessas regiões do Brasil, que demandam por maior movimento do ar. Diante disso, os valores de velocidade média do ar no ambiente interno foram analisados com base nos limites propostos no trabalho de Cândido *et al.* (2010), onde os autores questionaram os limites de aceitabilidade do movimento do ar previsto pelas referidas normas. Experimentos práticos realizados no Brasil, pelos referidos autores (CÂNDIDO et al, 2010) demonstraram que nossos limites são diferentes dos praticados em países europeus, uma vez que em climas quentes, ou até mesmo moderadamente quentes, o mesmo movimento de ar que é considerado como desconfortável em climas frios e temperados, pode ser tido como extremamente bem-vindo pelos usuários para fins de conforto térmico. Através da pesquisa desses autores, notou-se que velocidades maiores podem ser não apenas bem aceitas como até desejadas pelos usuários. A Tabela 1 apresenta a escala elaborada com

base no trabalho de Cândido *et al*. (2010), que amplia os limites máximos da velocidade média do ar nos espaços internos.

Tabela 1 – Limites de aceitabilidade da velocidade do ar nos ambientes internos. Fonte: Adaptado de Cândido *et al.* (2010).

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)

4. RESULTADOS

Ao analisar as aberturas, a norma NBR 15575 (2013) indica que para a zona bioclimática 3, a área efetiva de ventilação deve ser maior ou igual a 7% da área do piso desse ambiente. Dessa forma, as aberturas apresentam as dimensões de acordo com o estabelecido pela norma, com exceção do banheiro, cujo valor está abaixo (4,96%). É importante ressaltar que apesar de estar dentro do padrão esperado, isso não implica em uma ventilação adequada para os aspectos de conforto térmico dos usuários (Tabela 2).

Tabela 2 – Análise das aberturas segundo a ABNT NBR 15575. Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Ambientes	**Cód.**	**Área da abertura (m²)**	**Tipo de abertura**	**Percentual de redução (%)**	**Área efetiva de ventilação (m²)**	**Área de piso (m²)**	**Área de ventilação em relação a área do piso (%)**
Sala/Estar	J01	2,40	Correr e Fixa	62,5	0,90	8,88	10,14
	P01	0,96	Abrir	0	0,96		-
Quarto 1	J02	1,80	Correr e Fixa	62,5	0,68	7,25	9,31
	P02	0,96	Abrir	0	0,96		-
Quarto 2	J02	1,80	Correr e Fixa	62,5	0,68	7,79	8,66
	P02	0,96	Abrir	0	0,96		-
Cozinha/Janta	J02	1,80	Correr e Fixa	62,5	0,68	8,67	7,79
Banheiro	J03	0,60	Basculante (45°)	70	0,18	3,63	4,96
	P02	0,96	Abrir	0	0,96		-

Isso fica muito evidente com base nas simulações computacionais, visto que a velocidade do fluxo de ar interno é reduzida, mesmo com as dimensões das aberturas estando de acordo com o disposto pela NBR 15575 (2013). As Figuras 8 e 9 mostram a trajetória do fluxo de ar ao redor da edificação em planta e corte, respectivamente. Nota-se que o muro é um elemento que reduz significativamente a ventilação natural dos ambientes internos da edificação, sendo responsável pela redução da velocidade e também na quantidade de ar que atinge os ambientes internos. Além disso, fica evidente pelo corte que as extremidades do muro de divisa provocam um aumento da velocidade da corrente de ar, ocasionando uma grande sombra de vento sobre a cobertura da habitação, atingindo, em seguida, a região posterior do terreno com a formação de vórtices e velocidades significativamente reduzidas, conforme ressaltado na pesquisa de Da Costa (2018). Ademais, percebe-se que na lateral oposta aos ventos dominantes, forma-se uma área de recirculação com baixa velocidade do fluxo de ar. Da Costa (2018) ressalta que a utilização de muros vazados se configura como um interessante recurso para reduzir o efeito negativo proporcionado por esses componentes, podendo apresentar potencialidades favoráveis a um melhor aproveitamento da ventilação natural, sem afetar a sensação de privacidade e a segurança dos usuários.

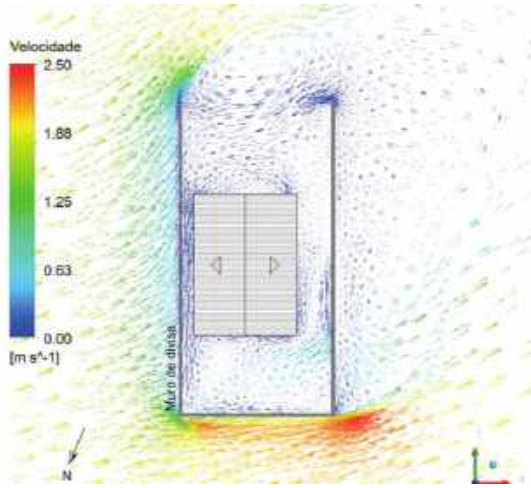

Figura 8 – Distribuição do fluxo de ar ao redor da edificação

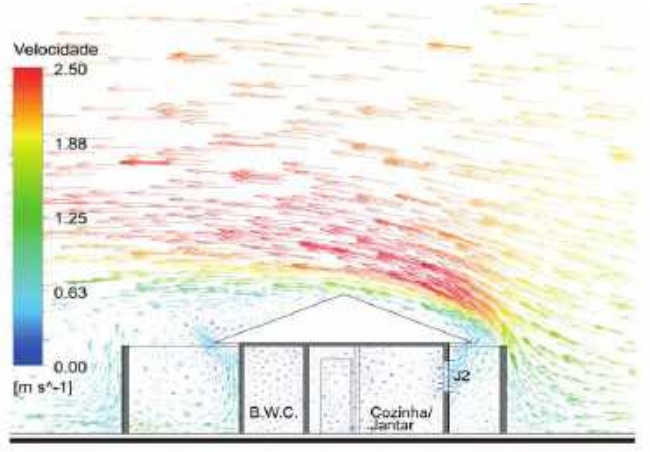

Figura 9 – Influência do muro da divisa na distribuição do fluxo de ar, no corte 4

Internamente, nota-se que a ventilação natural não ocorre de maneira satisfatória. Devido ao muro estar muito próximo e o tamanho efetivo das aberturas ser reduzido, embora esteja de acordo com a recomendação da NBR 15575, nota-se que há uma entrada reduzida do fluxo de ar, atingindo valores reduzidos nos ambientes internos. Na sala/estar podemos notar o movimento do ar um pouco melhor do que nos outros ambientes, principalmente pela presença do beiral que, assim como as extremidades do muro de divisa, provoca um aumento da velocidade do ar que entra pela janela. Além disso, esse elemento faz com qu parte do fluxo que seria desviado para cima da edificação seja direcionado para o interior da habitação. No entanto, esse fluxo de ar com velocidades maiores, não consegue penetrar nos ambientes de forma satisfatória (Figuras 10 e 11).

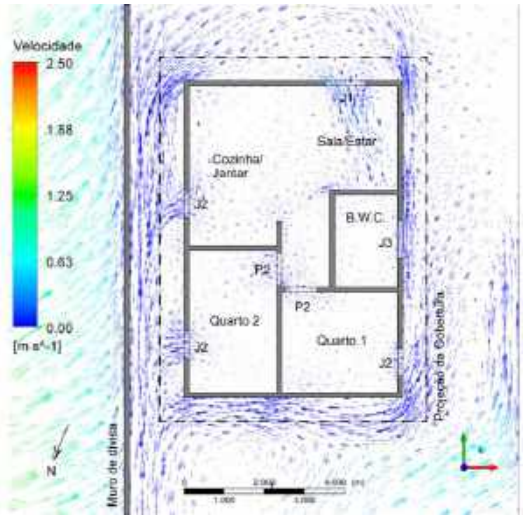

Figura 10 – Distribuição do fluxo de ar no interior da edificação, em planta

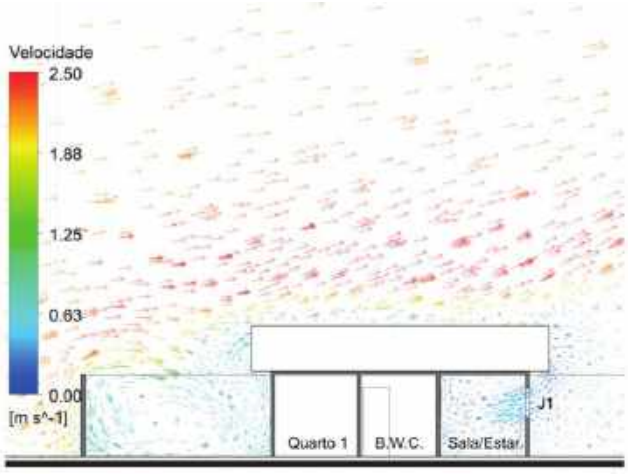

Figura 11 – Distribuição do fluxo de ar no interior da edificação, no corte 1

De acordo com Cândido *et al*. (2010) os limites de velocidade média do ar nos espaços internos para a realidade de climas quentes e úmidos são: 0m/s – 0,2m/s ventilação natural imperceptível; 0,2m/s – 0,4m/s ventilação natural perceptível; 0,4m/s – 0,8m/s ventilação natural satisfatória (há redução de carga térmica e contribui para o conforto); acima de 0,8m/s, controle necessário (causa incômodos como levantamento de papéis, desordem de cabelos, roupas e objetos). Assim, nota-se claramente que os valores internos são imperceptíveis, não contribuindo significativamente na redução da carga térmica e no conforto dos usuários.

Com relação à cozinha e ao quarto 2, é possível notar no corte que a presença do muro e a proximidade dele faz com que a habitação fique na área de sombra de vento, o que maximiza a reduzida ventilação desses ambientes. Dessa forma, vê-se que a pequena quantidade de ar que entra na edificação apresenta baixa velocidade e não atinge uma região significativa do ambiente interno, ficando próxima da abertura. Ressalta-se ainda que, o quarto consegue ter uma distribuição melhor do ar devido a porta do ambiente estar aberta (Figuras 9, 10 e 12).

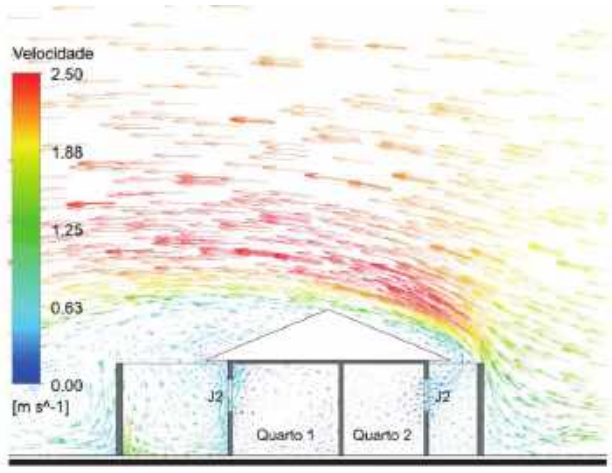

Figura 12 – Distribuição do fluxo de ar no interior da edificação, no corte 2

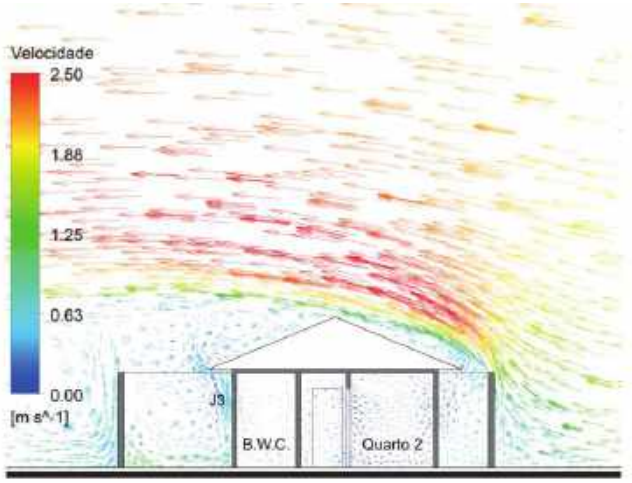

Figura 13 – Distribuição do fluxo de ar no interior da edificação, no corte 3

Por fim, nota-se que o banheiro se configura como a pior condição de ventilação da habitação, devido a menor área efetiva de ventilação e a porta do ambiente estar fechada por conta da privacidade, o que dificulta o diferencial de pressão e, consequentemente, a circulação do ar. Assim, por mais que o ar chegue na abertura com uma velocidade um pouco maior, devido ao beiral, ele não consegue adentrar no ambiente. Já o quarto 1 apresenta um comportamento semelhante ao quarto 2, mas com uma velocidade um pouco maior na abertura de entrada de ar e próximo a ela. Ressalta-se que apesar do ar ter penetrado no interior da habitação da melhor forma, a movimentação do ar ainda não acontece de maneira satisfatória (Figuras 10, 12 e 13).

5. CONCLUSÕES

A partir das simulações, é possível notar que o muro se configura como um obstáculo para o fluxo de ar, reduzindo a velocidade e a quantidade de ar que chega aos ambientes internos, além de formar áreas de recirculação de ar próximas a algumas aberturas, influenciando no desempenho térmico do ambiente e, consequentemente, da edificação. O muro é um elemento presente nas habitações brasileiras, principalmente por questões de privacidade e segurança. No entanto, na perspectiva do conforto ambiental, esses elementos se constituem em obstáculos à livre circulação dos ventos, com impactos significativos na ventilação natural de construções térreas, principalmente quando se trata de edificações em lotes pequenos, a exemplo das habitações de interesse social. No entanto, é possível que mesmo com a ausência desse elemento construtivo, a pequena dimensão dos lotes e a proximidade entre as habitações, também podem ser obstáculos para a circulação do ar. No entanto, para essa comprovação, novas pesquisas devem ser realizadas, sendo sugestões para trabalhos futuros.

Além disso, percebe-se que o tamanho das aberturas também impacta na velocidade e quantidade de fluxo de ar que adentra na HIS, configurando-se como insuficientes para atingir o conforto térmico dos usuários, por mais que, com exceção do banheiro, todas as aberturas estejam de acordo com a NBR 15575 (ABNT 2013). Com isso, a partir dos dados da simulação, é possível notar que a velocidade do ar no interior da edificação não ultrapassa os 0,2m/s que, segundo Cândido *et al.* (2010), corresponde a uma ventilação natural imperceptível.

Dessa forma, podemos concluir que a norma traz parâmetros de ventilação que não consideram os aspectos de conforto térmico, configurando-se como uma problemática para o usuário. Além disso, a intensa racionalização dos custos desse tipo de empreendimento faz com que se opte por sistemas mais baratos e que, muitas vezes, não consideram a melhor qualidade das habitações e, assim, o conforto térmico dos usuários. Por fim, ressalta-se que a adoção de estratégias de projetos, ainda na fase de concepção da edificação que podem contribuir para um melhor desempenho térmico da edificação sem, necessariamente, aumentar o custo do empreendimento, tais como: adequada orientação solar da edificação, muros de divisa permeáveis que permitem a passagem do ar, uso de materiais adequados às características climáticas da região, aumento do pé direito efetivo, entre outras, que podem ser o foco de futuras pesquisas sobre o tema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE handbook: fundamentals.** Atlanta: ASHRAE, 2005.

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**. Campinas, 2013. Tese (Doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220: **Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575**: Edificações habitacionais: Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2013.

BONDUKI, Nabil G. **Origens da habitação social no Brasil**. São Paulo: Estação Liberdade, 2017.

CALAUTIT, J. K.; HUGHES, B. R. **Wind tunnel and CFD study of the natural ventilation performance of a commercial multi-directional wind tower**. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics 2014; 125: 189-194.

CÂNDIDO, C.; DEAR, R. J. de; LAMBERTS, R.; BITTENCOURT, L. Air movement acceptability limits and thermal comfort in Brazil's hot humid climate zone. **Building and environment**, v. 45, p. 222-229. 2010.

CARVALHO, M. T. M.; SPOSTO, R. M. **Metodologia para avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social com foco no projeto.** Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 207-225, jan./mar. 2012.

CHEN, Q. **Ventilation Performance Prediction for Buildings: a method overview and recente applications**. Building and Environment, v. 44, n. 4, p. 848-858, 2009.

COSTA, F. J. de M. **Ventilação e Prescrições Urbanísticas: uma aplicação simulada no bairro de Petrópolis em Natal/RN**. Natal, 2001. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2001.

CÓSTOLA, D. **Ventilação Por Ação do Vento no Edifício: procedimentos para quantificação**. São Paulo, 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

DA COSTA, I. P. C. **Influência de muros vazados laminados no desempenho da ventilação natural em habitações de interesse social**. Maceió, 2018. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Alagoas, Maceió, 2018.

EUROCODE Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: **General actions – wind actions**. The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC, 2010.

Instituto Nacional de Meteorologia (**INMET**). Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: dez. 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Geneva. ISO 7730; **moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.** Geneva, 2005.

KOPPEN, W. **Climatologia: com um estúdio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Economia, 1948. 478p.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 2014.

LEITE, R. V. **Fortaleza, Terra do Vento: a influência da mudança nos padrões de ocupação do solo sobre a ventilação natural em cidade de clima tropical úmido**. São Paulo, 2010. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

LUKIANTCHUKI, M. A. **Sheds Extratores e Captadores de Ar Para Indução da Ventilação Natural em Edificações**. São Carlos, 2015. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

FAUSTO, Boris. **Trabalho urbano e conflito social**. São Paulo: Difel, 1977.

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 2014; 1 (2): 136-146.

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

MARAFON, Cristiane; LACO, Mirian; SANCHES, João Carlos M.; LEÃO, Marlon; LEÃO, Érika F. T. B. **Estratégias bioclimáticas em avaliação de desempenho térmico nas habitações de interesse social em Sinop/MT**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 18, p. 1008-1021, 2014.

MORAIS, J. S. C.; GALVÃO, C. O.; LABAKI, L. C. **Velho edifício, novas aberturas: simulação de ventilação natural por meio de CFD**. Anais do XIV ENCAC e X ELACAC. Balneário Camboriú-SC, 2017.

MORAIS, Juliana M. da S. C.; LABAKI Lucila 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"**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 223-244, jan./mar. 2017.

PRATA-SHIMOMURA, A. R. **Impacto da Altura de Edifícios nas Condições de Ventilação Natural do Meio Urbano**. São Paulo, 2005. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PREFEITURA MUNICIAPL DE MARINGÁ. Disponível em: < http://www2.maringa.pr.gov.br/site/> Acesso em 21 de Julho de 2018.

PROJETANDO EDIFICAÇÕES ENERGETICAMENTE EFICIENTES **- PROJETEEE**. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/>. Acesso em: dez. 2018.

REIS, A. T. da L.; LAY, M. C. D. **O projeto da habitação de interesse social e a sustentabilidade social.** Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 99-119, jul.;set. 2010.

Software EPVIEW.

TAMANINI, C. A. M. **Avaliação de desempenho térmico de três sistemas construtivos de edificações escolares na cidade de Maringá – PR.** Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.