USO DE COEFICIENTES DE VENTILAÇÃO MÉDIOS NA PREVISÃO DA VELOCIDADE MÉDIA HORÁRIA DO AR INTERNO

Iuri Araújo (1); Leonardo Bittencourt (2)
(1) Me, Professor do Curso de Arquitetura e Urbanismo – Campus Arapiraca, iuriavila@arapiraca.ufal.br, Universidade Federal de Alagoas – Campus Arapiraca, Rua Dep. José Lages, 345, Ponta Verde, Maceió-AL, CEP: 57035-330. Ed Classic, apto. 201. +55 82 99308 5395
(2) Dr, Professor do PPGAU-FAU-UFAL, lsb54@hotmail.com, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal de Alagoas, Rua Jerônimo de Albuquerque, 431, Ponta Verde, Maceió-AL, CEP: 57035-020. Ed. Arunachala, apto. 601. +55 82 99919 8009

RESUMO
O objetivo do presente trabalho foi testar a hipótese de que o coeficiente de ventilação médio tem variação desprezível, em função da velocidade do vento. O método consiste em uma análise paramétrica, que testou o efeito de diferentes combinações de direção e velocidade do vento em um modelo. Os dados de velocidade do ar no interior do modelo foram obtidos por simulação com a ferramenta computacional *ANSYS CFX* e usados para calcular coeficientes de ventilação médios. Esses dados mostraram que o coeficiente de ventilação médio, para uma direção do vento e geometria de edifício específicas, pode ser considerado invariável na precisão de um décimo de metro por segundo (0,0 m/s) e para velocidades do vento entre 1 m/s e 5 m/s. Os coeficientes de ventilação se mostraram eficazes na estimativa da velocidade média do ar interno, a partir de dados de direção e velocidade do vento. Isso contribui para maior eficiência em estudos sobre frequência anual de conforto térmico passivo, em ambientes ventilados naturalmente, com base em modelos de conforto adaptativo e simulação computacional.

Palavras-Chave: Ventilação natural, Conforto adaptativo, Coeficientes de ventilação.

ABSTRACT
The present work aims to test the hypothesis that the average ventilation coefficient has an irrelevant variation, depending on the wind speed. The method consists of a parametric analysis, which tested the effect of different combinations of direction and wind speed on a building model. The indoor air velocity data were obtained by computer simulation with ANSYS CFX tool and used to calculate average ventilation coefficients. These data showed that the average ventilation coefficient, for a specific wind direction and building geometry, can be considered invariable, in the accuracy of one tenth of a meter per second (0.0 m/s) and for wind speeds between 1 m / s 5 m/s. The ventilation coefficients proved to be effective in estimating the average indoor air speed based on wind speed and direction data. This contributes to greater efficiency in studies on the annual frequency of passive thermal comfort, in naturally ventilated buildings, based on models of adaptive comfort and computational simulation.

Key-Words: Natural ventilation, Adaptive comfort, Ventilation coefficient.

1. INTRODUÇÃO

A ventilação natural tem um papel relevante para o conforto térmico no edifício, em climas quentes e úmidos. A norma norte-americana *ASHRAE Standard* 55 (ASHRAE, 2017) contém uma Carta de Conforto Adaptativo para ambientes ventilados naturalmente. Essa carta foi incorporada ao projeto de revisão da norma brasileira NBR 16401-2, do comitê CB-55 (ABNT, 2017). A zona de conforto contida nessa carta é representada por um intervalo de temperaturas operativas internas, que varia em função da temperatura média externa e da velocidade média do ar no ambiente. Ela deriva da proposta de DeDear e Brager (2002). As previsões de conforto térmico dessa proposta estiveram entre as mais bem sucedidas em pesquisas de campo no território brasileiro, que compararam diferentes propostas (PEREIRA; ASSIS, 2010; FERREIRA; SOUZA, 2013; LAMBERTS et al 2013). A Carta de Conforto Adaptativo da *ASHRAE* permite prever a frequência anual de conforto térmico no projeto arquitetônico, a partir do arquivo climático do local e de dados de temperatura e velocidade do ar no ambiente, simulados por computador. No Brasil atualmente, a contribuição do resfriamento fisiológico por ventilação natural para a frequência anual de conforto térmico no edifício é estimada a partir de dados climáticos de temperatura e umidade do ar, usando a Zona de Ventilação da Carta Bioclimática de Givoni (1992) ou de sua versão adaptada ao Brasil, na norma NBR15220-3 (ABNT, 2005). Essa estimativa significa que o conforto térmico com resfriamento fisiológico por ventilação natural é provável no interior do edifício, mas apenas se uma velocidade do ar contínua de 2m/s for mantida (GIVONI, 1992). No entanto, a velocidade do ar no interior é uma variável inconstante, pois depende da geometria do edifício, da velocidade e direção do vento. A zona de conforto da *ASHRAE* considera três intervalos de velocidade média do ar no interior. Isso permite estimar com menor incerteza a contribuição efetiva da velocidade média do ar na frequência de conforto térmico.

A estimativa da frequência anual de conforto térmico no interior do edifício deve usar dados simulados de temperatura e velocidade do ar nas 8760 horas do ano. Ferramentas computacionais de simulação como o *EnergyPlus* (USDOE, 2016) podem simular as variações horárias de temperatura ao longo do ano em um único processamento. Mas ferramentas computacionais de simulação das velocidades do ar, como *Ansys CFX* (ANSYS, 2019), só podem fazer isso para uma única combinação de direção e velocidade do vento por processamento. Assim, a ferramenta precisa realizar um processamento para cada combinação em um ano climático de referência, a fim de simular a ventilação natural em todas as horas do ano. Isso torna esse procedimento demorado na maioria dos casos, devido ao tempo necessário para completar as simulações requeridas. Uma proposta de solução para esse problema é usar coeficientes de ventilação médios, para estimar a velocidade média do ar nos ambientes a partir de dados de velocidade e direção do vento, em cada hora de um arquivo climático. Coeficiente de ventilação médio é definido como a razão entre a velocidade média do ar no interior e a velocidade simultânea do vento na altura das aberturas, considerando uma combinação específica de direção do vento e geometria de edifício. Coeficientes de ventilação médios são usados para representar o efeito da geometria e da direção do vento nas velocidades do ar em espaços internos (GIVONI, 1998). A eficácia dessa proposta depende da magnitude da variação do coeficiente de ventilação médio em um intervalo significativo de velocidades do vento. Se essa variação for desprezível para fins de avaliação de conforto térmico, então esses coeficientes podem ser usados para dar agilidade e viabilizar pesquisas sobre conforto em edifícios naturalmente ventilados, baseadas em simulação computacional e na Carta de Conforto Adaptativo da ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2017).

2. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é testar a hipótese de que o coeficiente de ventilação médio tem variação desprezível no intervalo entre 1m/s e 5m/s, para fins de estimativa da velocidade média do ar no interior do edifício.

3. MÉTODO

O método consiste em uma análise paramétrica, que testou o efeito de diferentes combinações de direção e velocidade do vento em um modelo. Os dados de velocidade do ar no interior do modelo foram obtidos por simulação computacional e usados para calcular coeficientes de ventilação médios. A aplicação de coeficientes de ventilação médios para a previsão das velocidades médias horárias foi testada na última etapa.

3.1. Modelo-base

As simulações usaram um modelo com planta retangular, de dimensões 10,45 m por 5,3 m e 2,6 m de altura. As paredes com 0,15m e a laje com 0,1 m de espessura.Uma parede interna divide a planta em dois ambientes de 5 m por 5 m. Há duas aberturas de 1 m por 1 m, e 1 m de peitoril, uma em cada extremo do eixo longitudinal do modelo, nas fachadas barlavento e sotavento. Há ainda uma porta de 1m por 2,1m, no canto direito da parede interna que separa os dois ambientes. O modelo-base é mostrado na Figura 1.

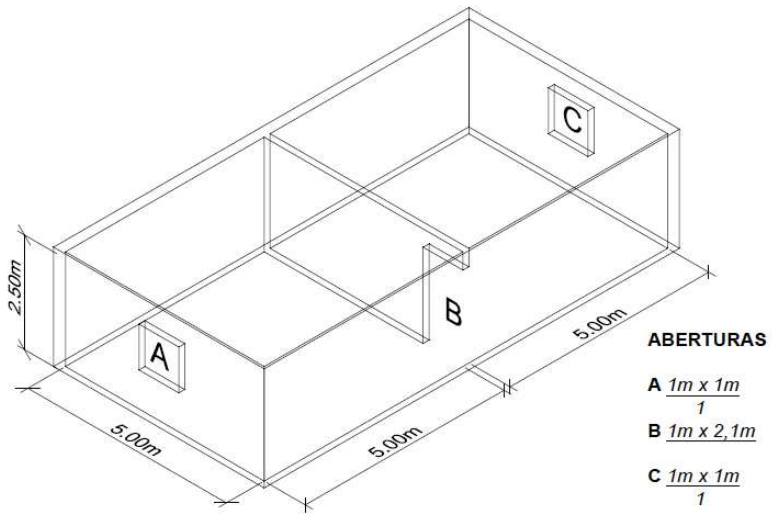


Figura 1 - Modelo-base da análise paramétrica.

3.2. Simulações computacionais

As simulações computacionais de velocidades do ar foram feitas com a ferramenta *Ansys CFX* versão acadêmica 19.2 (ANSYS, 2019), que é um programa de simulação baseado em Dinâmica dos Fluidos Computacional (KOHNKE, 1999).

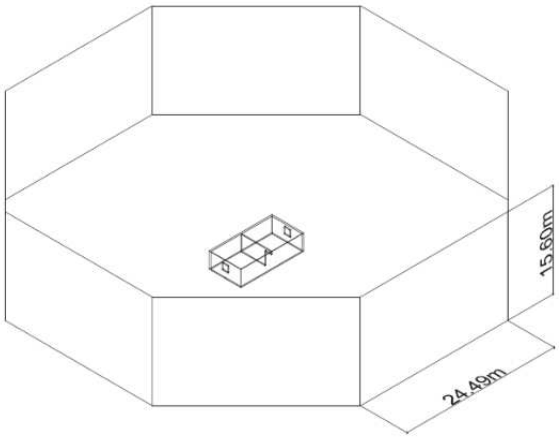


Figura 2 - Dimensões do domínio fluido da simulação computacional.

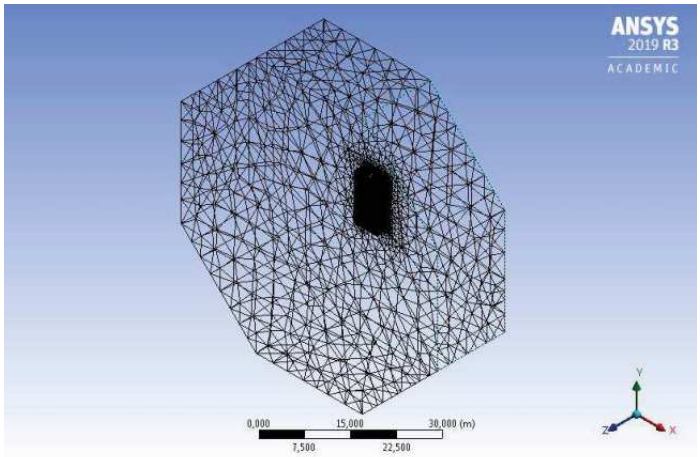


Figura 3 - Malha do domínio fluido.

As dimensões do domínio fluido foram definidas como múltiplos da altura do modelo (H=2,6 m). O domínio tem forma prismática de base octogonal (Ver Figura 2), com 24,5 m de lado e 15,6 m de altura (6H), proporcional a um círculo circunscrito de 32 m de raio e mantendo uma distância mínima de 26 m (10H) entre as extremidades do modelo no centro e os limites do domínio.

O domínio foi preenchido com uma malha tetraédrica gerada pelo método *Patch Independent*, respeitando o número máximo de nós permitido pela versão acadêmica do programa: 512.000 nós. Foram usadas *inflations* (refinamento) de cinco camadas em todas as superfícies da malha. Ver Figura 3. Os limites do domínio foram configurados como *Opening* (espaço aberto, onde o ar pode entrar e sair), com exceção das faces que representam o terreno e as superfícies do modelo. Estas foram configuradas como *Wall, no slip* (sólida, com atrito). A opção por manter os limites do domínio como *Opening* impede que as dimensões do mes-

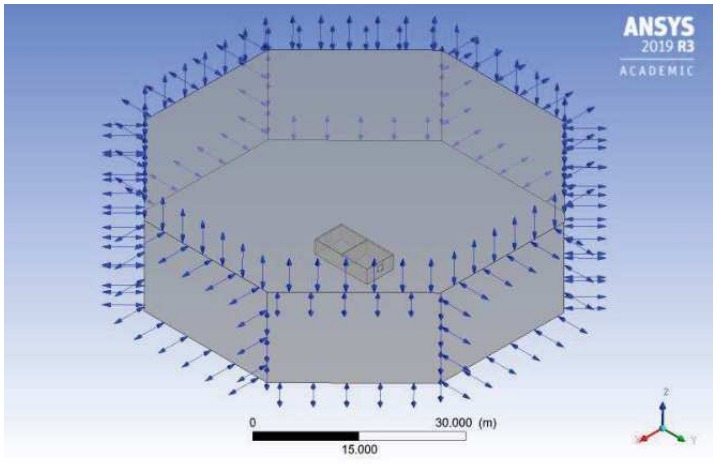


Figura 4 - Configuração dos limites do domínio fluido.

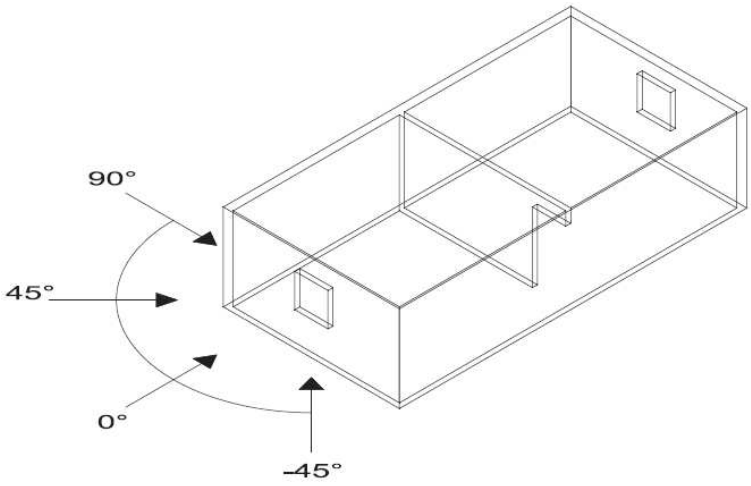


Figura 5 - Direções do vento simuladas, incidências: -45°, 0°, 45°, 90°.

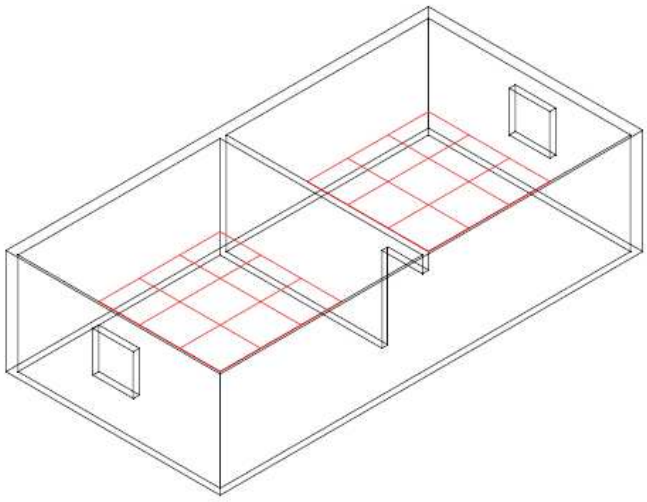


Figura 6 – Malhas de pontos 4mx4m (16 pontos), uma em cada ambiente.

mo afetem a circulação do ar, pois ele pode entrar e sair, vindo de qualquer direção. Ver Figura 4. O número de interações máximo nas simulações foi sempre definido como igual ou maior que 100, conforme a necessidade da convergência para massa e momento. O critério de convergência foi *RMS* (da sigla em inglês para valor quadrático médio) de tamanho máximo 10^{-4}. As demais opções usaram o padrão do programa. As simulações usaram quatro direções do vento, representadas pelos ângulos de incidência: 0°, 45°, 90° e -45°. Ver Figura 5. As simulações também usaram três velocidades do vento: 1 m/s, 2 m/s e 5 m/s. Esses valores aproximam-se da média anual brasileira e da maior e menor média anual municipal no Brasil (INMET, 2018). As velocidades internas foram simuladas em duas malhas regulares de 16 pontos cada (4mx4m), sendo uma em cada ambiente do modelo. As malhas estavam na altura de 1,5 m do piso (altura do centro das aberturas), a 1 m de distâncias das paredes e com espaçamento de 1 m entre os pontos, como pode ser visto na Figura 6. As velocidades simuladas permitiram o cálculo da velocidade média em cada ambiente. Posteriormente, a razão entre a velocidade média e a velocidade do vento definiu o coeficiente de ventilação médio do ambiente, para a mesma direção e velocidade do vento adotada na simulação. Os coeficientes de ventilação médios para as quatro direções e três velocidades geraram a amostra de dados usada na análise. Esta observou a variação do coeficiente de ventilação médio, na precisão de um centésimo de metro por segundo (0,01m/s) e um décimo de metro por segundo (0,1m/s). A *ASHRAE Standard 55* (ASHRAE, 2017) adota a precisão 0,1 m/s.

3.3. Teste da previsão de velocidade média no interior

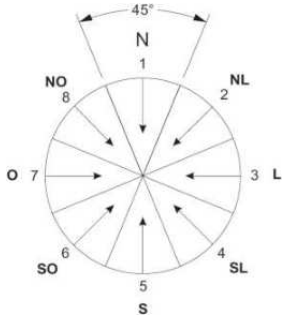
A última etapa do método testou a aplicação dos coeficientes médios de ventilação na previsão das velocidades médias internas, a partir de dados horários de direção e velocidade do vento, em uma amostra de

arquivos climáticos. O teste fez uso de três arquivos climáticos da base INMET 2018 (LABEEE, 2021), representando os municípios de Fortaleza-CE, Recife-PE e Salvador-BA. Ver Tabela 1. O clima desses municípios foi selecionado por eles estarem localizados no litoral da região Nordeste. Essa localização está entre as de maior velocidade média do vento, no Brasil (NEIVA et al, 2017).

Tabela 1 - Municípios integrantes da amostra usada nas simulações.

Município-UF	Lat.	Long.	Alt.	Arquivo Climático INMET 2018
Fortaleza-CE	4°S	38°O	41m	BRA_CE_Fortaleza-Pinto.Martins.AP.823980_TMYx.2003-2017
Recife-PE	8°S	35°O	10m	BRA_PE_Recife-Guararapes-Freyre.Intl. AP.828990_TMYx.2003-2017
Salvador-BA	13°S	38°O	51m	BRA_BA_Salvador-Magalhaes.Intl. AP.832480_TMYx.2003-2017

As direções do vento consideradas no teste representam agrupamentos de direções contidas em setores de 45°, que são representados pela bissetriz do ângulo. As oito direções do vento consideradas frequentemente coincidem com os pontos cardeais e colaterais, como mostrado na Figura 7.



Direções do vento no arquivo climático	Ângulo de incidência na abertura
Nordeste NL (2)	-45°
Leste L (3)	0°
Sudeste SL (4)	44°
Sul S (5)	90°

Figura 7 – As oito direções do vento consideradas frequentemente em análise das frequências de velocidade e direção. Também a correspondência entre os quatro ângulos de incidência do vento simulados e quatro direções de vento.

No entanto, foram simuladas apenas quatro direções do vento no presente trabalho, então foi feita uma correspondência. As quatro direções do vento usadas na simulação do modelo corresponderam, no teste, às direções nordeste (2), leste (3), sudeste (4) e sul (5). A opção pela correspondência com essas direções deve-se ao fato delas reunirem as maiores frequências de vento em Fortaleza-CE, Recife-PE e Salvador-BA: 97%, 87% e 91%, respectivamente. Ver Figura 8.

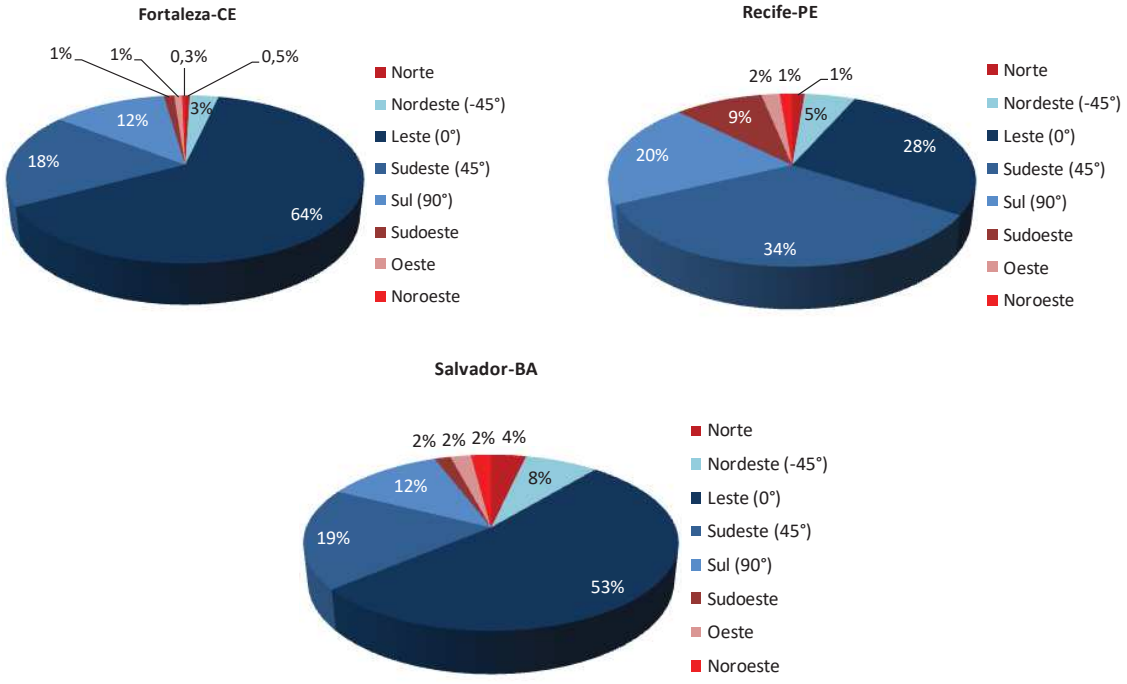


Figura 8 – Frequências anuais nas oito direções do vento em Fortaleza-CE, Recife-PE e Salvador-BA.

Tabela 2 - Correspondência entre direções do vento e ângulo de incidência na fachada do modelo a barlavento.

Tipo de terreno	k	a
Área plana (água)	0,68	0,17
Campo com obstáculos esparsos	0,52	0,2
Área suburbana	0,35	0,25
Centro urbano	0,21	0,33

As velocidades médias do ar no ambiente foram obtidas, multiplicando a velocidade do vento em cada hora do arquivo climático do município pelo coeficiente de ventilação médio referente à respectiva direção do vento. O coeficiente para as direções norte, noroeste, oeste e sudoeste, foram considerados 0,0, pois essas direções não foram simuladas.

As velocidades no arquivo climático são aferidas em estações a 10m de altura. O atrito devido à rugosidade do terreno provoca redução da velocidade do vento em função da proximidade com o chão. Assim, as velocidades contidas no arquivo climático precisaram ser corrigidas para a altura das aberturas (1,5m), usando a Equação 1 (BRE, 1978).

$$V/V_m = k * z^a \qquad \text{Equação 1}$$

"V" é a velocidade média do vento em m/s, na altura da abertura de entrada do ar. "Vm" é a velocidade média do vento em m/s, medida em estação meteorológica. A variável "z" é a altura da abertura de entrada do vento. As variáveis "k" e "a" são coeficientes que variam de acordo com a rugosidade do terreno, segundo a Tabela 2 (BRE, 1978). A rugosidade do terreno foi considerada suburbana no teste, que é mais favorável à ventilação que a opção "Centro Urbano".

A tabela 3 mostra dados de vento dos três municípios selecionados para o teste, tanto na altura de 10m do solo, quanto na altura do centro das aberturas do modelo: 1,5 m do solo.

Tabela 3 - Dados do vento nos municípios selecionados a 10m e 1,5m de altura do solo.

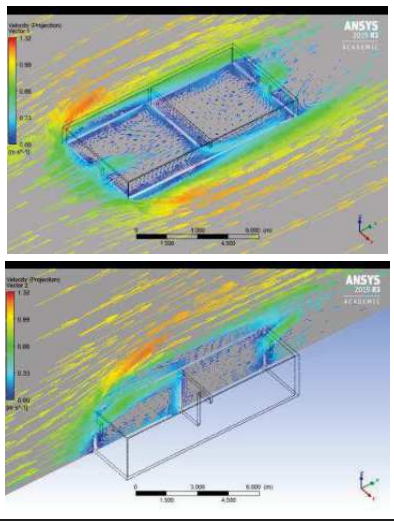
		Fortaleza CE	Recife PE	Salvador BA
Velocidade média anual do vento na altura:	**10m**	4,8 m/s	4,3 m/s	4,3 m/s
	1,5m	1,9 m/s	1,7 m/s	1,7 m/s
Velocidade máxima anual do vento na altura:	**10m**	17,5 m/s	28,3 m/s	13,4 m/s
	1,5m	6,8 m/s	11 m/s	5,2 m/s
Frequência anual de calmarias (velocidade < 0,5m/s)	**10m**	1,84%	3,7%	0,9%

4. RESULTADOS

A primeira etapa da análise usou os dados de velocidade do ar para incidência do vento a 0°. Esses dados mostraram que a variação do coeficiente de ventilação chegou a 0,03 no valor Máximo, para o ambiente a barlavento, e a 0,02 m/s, no Desvio Padrão para o ambiente a sotavento. A tabela 4 mostra esses dados em dois níveis de precisão. Os coeficientes médios apresentaram-se constantes, na precisão de um décimo de metro por segundo (0,0 m/s).

Tabela 4 - Coeficientes de ventilação médio, mínimo, máximo e desvio padrão, para vento incidente a 0°.

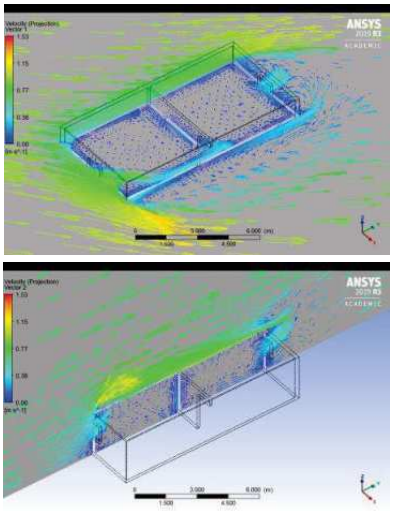
Precisão 0,00	**Ambiente a Barlavento**			**Ambiente a Sotavento**		
	1 m/s	**2 m/s**	**5 m/s**	**1 m/s**	**2 m/s**	**5 m/s**
Médio	0.22	0.22	0.21	0.19	0.19	0.20
Mínimo	0.05	0.06	0.05	0.02	0.02	0.03
Máximo	0.39	0.40	0.42	0.48	0.47	0.47
Desvio Padrão	0.13	0.13	0.13	0.15	0.15	0.17
Precisão 0,0	**Ambiente a Barlavento**			**Ambiente a Sotavento**		
	1 m/s	**2 m/s**	**5 m/s**	**1 m/s**	**2 m/s**	**5 m/s**
Médio	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Mínimo	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
Máximo	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
Desvio Padrão	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2



A segunda etapa de análise enfocou os dados de velocidade do ar para incidência do vento a 45°. Esses dados também mostraram uma variação dos coeficientes de ventilação de 0,03, no valor Máximo para o ambiente a barlavento, e 0,02 m/s no valor Máximo, para o ambiente a sotavento. A tabela 5 mostra esses dados em dois níveis de precisão. Os coeficientes apresentaram-se constantes na precisão de um décimo de metro por segundo (0,0 m/s), também para essa incidência.

Tabela 5 - Coeficientes de ventilação médio, mínimo, máximo e desvio padrão, para vento incidente a 45°.

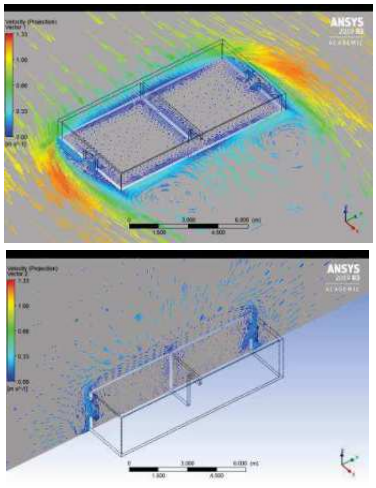
Precisão 0,00	**Ambiente a Barlavento**			**Ambiente a Sotavento**		
	1 m/s	**2 m/s**	**5 m/s**	**1 m/s**	**2 m/s**	**5 m/s**
Médio	0.25	0.25	0.25	0.14	0.14	0.14
Mínimo	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
Máximo	0.75	0.77	0.78	0.33	0.35	0.35
Desvio Padrão	0.24	0.24	0.24	0.11	0.11	0.12
Precisão 0,0	**Ambiente a Barlavento**			**Ambiente a Sotavento**		
	1m/s	**2m/s**	**5m/s**	**1m/s**	**2m/s**	**5m/s**
Médio	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Máximo	0.8	0.8	0.8	0.3	0.3	0.3
Desvio Padrão	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1



A terceira etapa analisou dados para vento na incidência 90°. A tabela 6 mostra que a variação dos coeficientes chegou a 0,01 m/s no Desvio Padrão, a barlavento, e no valor Máximo a sotavento. O valor do coeficiente de ventilação médio apresentou-se constante novamente, na precisão 0,0. Isso ocorreu mesmo nessa condição, onde a diferença de pressão nas aberturas é praticamente nula, para qualquer velocidade de vento.

Tabela 6 - Coeficientes de ventilação médio, mínimo, máximo e desvio padrão, para vento incidente a 90°.

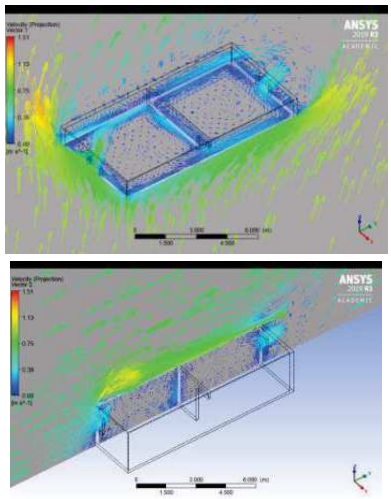
Precisão 0,00	**Ambiente a Barlavento**			**Ambiente a Sotavento**		
	1 m/s	**2 m/s**	**5 m/s**	**1 m/s**	**2 m/s**	**5 m/s**
Médio	0.07	0.07	0.07	0.03	0.03	0.03
Mínimo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Máximo	0.26	0.26	0.26	0.12	0.11	0.11
Desvio Padrão	0.08	0.08	0.09	0.03	0.03	0.03
Precisão 0,0	**Ambiente a Barlavento**			**Ambiente a Sotavento**		
	1 m/s	**2 m/s**	**5 m/s**	**1 m/s**	**2 m/s**	**5 m/s**
Médio	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Máximo	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1
Desvio Padrão	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0



A quarta etapa analisou os dados de vento na incidência a -45°. A tabela 7 mostra que a variação do coeficiente de ventilação chegou a 0,03 m/s no valor Máximo, para ambiente a barlavento e a sotavento. Os coeficientes apresentaram-se constantes mais uma vez, na precisão de um décimo de metro por segundo (0,0 m/s).

Tabela 7 - Coeficientes de ventilação médio, mínimo, máximo e desvio padrão, para vento incidente a -45°.

Precisão 0,00	**Ambiente a Barlavento**			**Ambiente a Sotavento**		
	1 m/s	**2 m/s**	**5 m/s**	**1 m/s**	**2 m/s**	**5 m/s**
Médio	0.26	0.26	0.26	0.16	0.16	0.17
Mínimo	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04
Máximo	0.75	0.76	0.78	0.38	0.39	0.41
Desvio Padrão	0.24	0.24	0.25	0.12	0.13	0.13
Precisão 0,0	**Ambiente a Barlavento**			**Ambiente a Sotavento**		
	1 m/s	**2 m/s**	**5 m/s**	**1 m/s**	**2 m/s**	**5 m/s**
Médio	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Máximo	0.8	0.8	0.8	0.4	0.4	0.4
Desvio Padrão	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1



As quatro etapas de análise mostraram que o valor do coeficiente de ventilação médio, na precisão de centésimos de m/s (0,00 m/s), variou um máximo de 0,03 m/s para as diferentes velocidades e direções de vento. Isso ocorreu mesmo considerando valor Mínimo, Máximo e Desvio Padrão, da malha de pontos. Assim, na precisão de décimos de m/s (0,0 m/s), a variação do valor do coeficiente médio de ventilação pode ser considerada nula, para velocidades do vento entre 1 m/s e 5 m/s, a 1,5 m acima do terreno. Isso significa que, nessa precisão e nessas condições, o coeficiente de ventilação médio para uma direção do vento e geometria de edifício específicas pode ser considerado invariável em função de velocidade do vento. Essa é então a magnitude da incerteza na previsão da velocidade média do ar no ambiente, por meio de coeficientes médios de ventilação e a partir de dados horários de velocidade e direção do vento.

4.1. Previsão de velocidade média no interior por meio de coeficientes de ventilação médio

O teste da previsão das velocidades médias no interior, por meio dos coeficientes de ventilação médios, mostrou que o método é útil para dar agilidade a determinação dessas velocidades. As velocidades médias do ar no ambiente foram obtidas, multiplicando a velocidade do vento em cada hora do arquivo climático do município pelo coeficiente de ventilação médio referente à respectiva direção do vento. O coeficiente para as direções norte, noroeste, oeste e sudoeste, não foi obtido nas simulações e, por isso, considerado 0,0. A Figura 9 mostra os coeficientes médios obtidos com os dados gerados nas simulações.

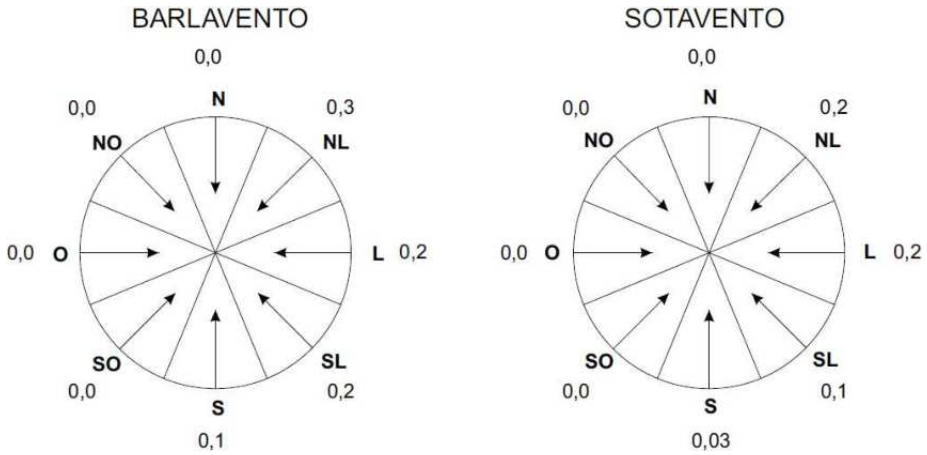


Figura 9 – Coeficientes de ventilação médios calculados a partir das velocidades simuladas para as quatro direções e três velocidades.

O maior coeficiente de ventilação encontrado foi 0,03. A área da abertura externa e unilateral, tanto no recinto a barlavento quanto a sotavento, equivale a 4% da área útil. Uma abertura relativamente pequena, que oferecem maior resistência e provoca má distribuição interna do fluxo de ar. Isso tende a gerar médias de velocidade mais baixas e maiores desvios padrão. O maior desvio padrão nos testes foi 0,2 m/s. A abertura na parede interna que divide os dois recintos equivale a 8% da área útil. Apesar de ser uma abertura ainda reduzida, a diferença na velocidade média do ar entre os recintos a barlavento e a sotavento foi de no máxi-

mo 0,1 m/s. A previsão das velocidades médias horárias no interior dos dois ambientes indicou maior frequência anual no intervalo de velocidades abaixo de 0,6 m/s. Isso significa uma baixa contribuição do resfriamento fisiológico para a frequência anual de conforto térmico dos ocupantes, já que a norma norte-americana *ANSI/ASHRAE Standard 55* (ASHRAE, 2017) desconsidera a ocorrência de resfriamento fisiológico com velocidade abaixo de 0,6 m/s. É provável que uma maior porosidade levasse a valores mais elevados.

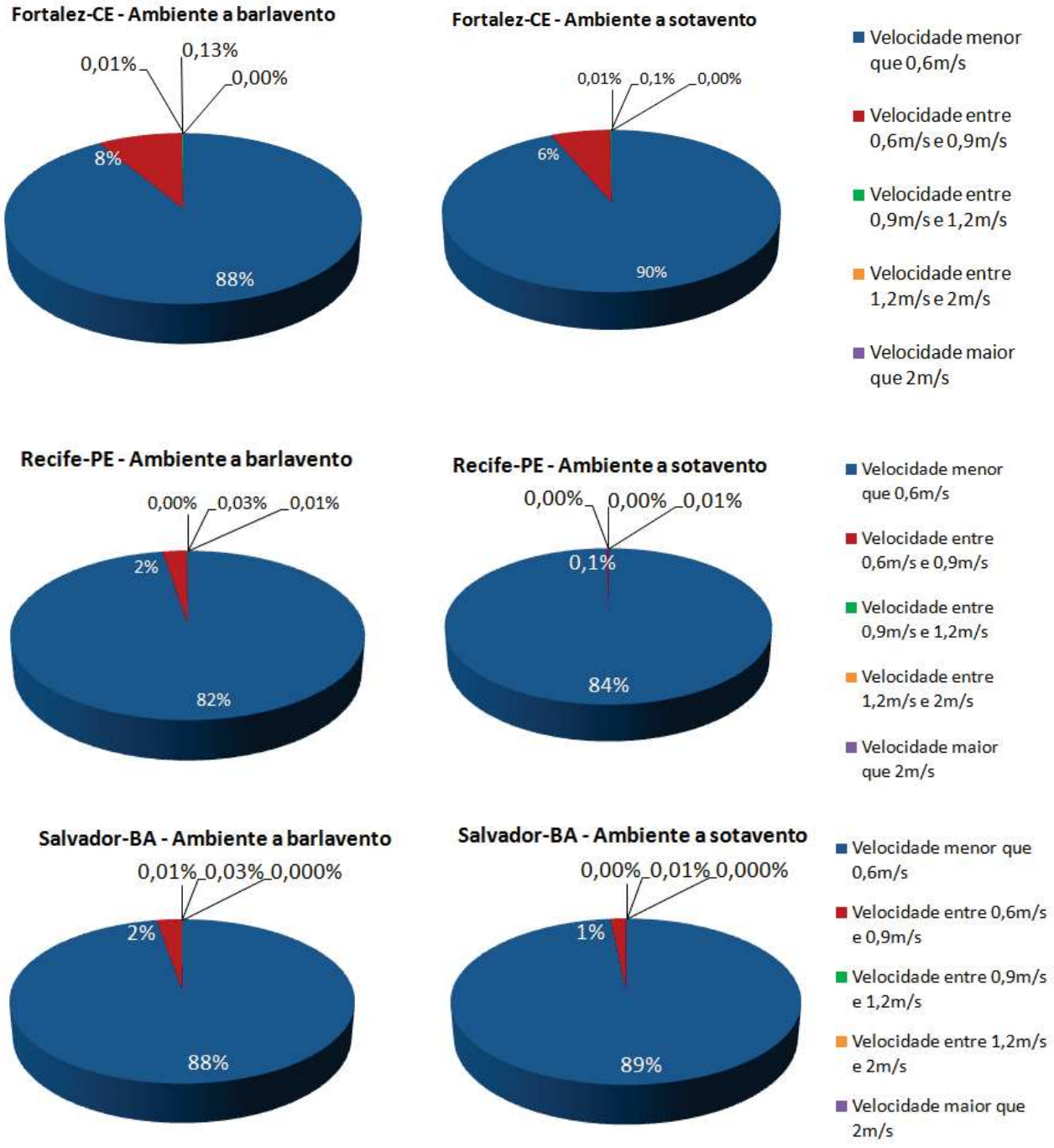


Figura 10 – Frequência de velocidades médias no interior, a barlavento e a sotavento, em Fortaleza-CE, Recife-PE e Salvador-BA.

5. CONCLUSÕES

O objetivo do presente trabalho foi testar a hipótese de que o coeficiente de ventilação médio pode ser considerado invariável, para fins de estimativa da velocidade média do ar no interior do edifício. O método consistiu em uma análise paramétrica, que testou o efeito de diferentes combinações de direção e velocidade do vento. Os dados de velocidade do ar no modelo foram obtidos por simulação, com a ferramenta computacional *ANSYS CFX*. Os resultados mostraram que os coeficientes de ventilação para uma dada direção e geome-

tria de edifício podem ser considerados invariáveis, no intervalo de velocidade do vento entre 1 m/s e 5 m/s, a 1,5 m acima do terreno e na precisão de um décimo de metro por segundo (0,0 m/s). Essa precisão é a mesma usada para definir os intervalos de velocidade média do ar, no método de avaliação do conforto térmico da *ANSI/ASHRAE Standard 55* (ANSI; ASHRAE, 2017).

O presente estudo fez testes com apenas uma geometria e três velocidades. Trabalhos futuros podem testar outros padrões de geometria e vento. Mas a solução proposta para prever a velocidade média do ar, a partir de dados horários de velocidade e direção do vento, mostrou-se eficaz, comprovando a hipótese que motivou a presente investigação. Essa solução pode ser útil em estudos sobre frequência de conforto térmico, em ambientes ventilados naturalmente, com base em Conforto Adaptativo. Especialmente, naqueles que usam simulação computacional com ano climático de referência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 15220-3**. Desempenho térmico de edificações - Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **3º Projeto revisão ABNT NBR 16401-2**. Instalações de ar-condicionado - sistemas centrais e unitários: Parte 2-parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2017.

ANSI; ASHRAE. **Standard 55**. Thermal environmental conditions for human occupancy Atlanta, 2017.

BRE. Principles of natural ventilation. **BRE Digest**, n. 210, 1978.

DEDEAR, R. D.; BRAGER, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings. **Energy and Buildings**, v. 34, p. 12, 2002.

USDOE. **EnergyPlus**. disponível em < https://energyplus.net//> acesso em: jun, 2020.

FERREIRA, C. C.; SOUZA, H. A. D. Avaliação da aplicabilidade de índices de conforto adaptativo para o caso brasileiro In: Encontro Nacional / Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC/ELACAC, 25 a 27 set. **Anais**. Brasília, ANTAC, 2013.

GIVONI, B. Confort climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 12, 1992.

INMET, INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil:** Intensidade do vento NCB 1981-2010, 2018. disponível em <https://portal.inmet.gov.br/normais/> acesso em: jun, 2020.

LABEEE. **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações**. 2021. disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/> acesso em: jun, 2020.

ANSYS. **Ansys Workbench-Academic Student 2019 R3**. 2019. disponível em <https://www.ansys.com/academic/students/ansys-student> acesso em: jun, 2019.

KOHNKE, P. ANSYS **Theory reference:** release 5.6. ANSYS, Inc, 1999.

LAMBERTS, R. et al. **Toward a brazilian standard on thermal confort**. CNPQ. Florianópolis: 2013.

NEIVA, A. C. D. B. et al. **Atlas do potencial eólico brasileiro: simulações** 2013. Rio de Janeiro: CEPEL, CPTEC / Inpe, 2017.

PEREIRA, I. M.; ASSIS, E. S. D. Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 1, jan/mar 2010.