UMA REVISÃO PRELIMINAR SOBRE A INFLUÊNCIA DOS MUROS NO COMPORTAMENTO DA VENTILAÇÃO NATURAL EM EDIFICAÇÕES

Isabely Penina C. da Costa (1); Lucila Chebel Labaki (2)
(1) Doutoranda, Professora do Instituto Federal de Alagoas - IFAL, isabelypenina@gmail.com
(2) Doutora, Professora da Universidade Estadual de Campinas, lucila@fec.unicamp.br
Universidade Estadual de Campinas, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade, Campinas/SP, CEP 13084971, Tel.: (19) 3521-2307

RESUMO
Em climas tropicais, a ventilação natural é uma estratégia importante para obtenção de conforto térmico, além de proporcionar melhor qualidade do ar. Entretanto, a presença de anteparos, como muros, no entorno das edificações pode prejudicar o aproveitamento desse recurso. Portanto, o objetivo desse estudo foi investigar os efeitos dos muros no comportamento da ventilação natural em edificações. A metodologia consistiu em uma revisão sistemática da literatura, em que foram selecionados 23 trabalhos em um período pré-definido de 20 anos (2000-2020). Os resultados preliminares indicam que as pesquisas focam no estudo dos padrões do fluxo de ar, sendo as implicações no conforto térmico pouco analisadas. As pesquisas foram realizadas em diferentes localidades e contextos climáticos e verificou-se que análises paramétricas com simulação computacional foram as abordagens metodológicas mais recorrentes. Os principais parâmetros investigados foram a porosidade do muro e o recuo frontal. Os diferentes casos foram comparados utilizando métricas como a velocidade do vento e a visualização do fluxo de ar. Com a finalização dos resultados será possível obter um panorama geral do estado da arte e identificar lacunas que direcionem pesquisas futuras na formulação de estratégias para melhor construção/adequação de muros em projetos arquitetônicos.

Palavras-chave: ventilação natural, muro, revisão sistemática da literatura.

ABSTRACT
In tropical regions, natural ventilation is an essential strategy for obtaining thermal comfort conditions and improving air quality. However, external components near the building, such as boundary walls, limit the natural ventilation incidence. This study aimed to investigate the effect of boundary walls on natural ventilation behavior in buildings. A Systematic Literature Review was applied, and 23 studies were selected undertaken in the last 20 years (2000-2020). The preliminary results indicate that the airflow pattern represents the main scope of works. In contrast, thermal comfort was less analyzed. The studies were realized in different locates and climates, and most of the researchers used parametric analysis by computational simulation. The main parameters investigated were the boundary wall porosity and the front setback, and the comparative analysis used as main metrics the wind velocity and airflow visualization. The final results will be possible to obtain a general panorama of state of the art and identify gaps that direct future research on the formulation of strategy for improving building/adequation of boundary wall in architecture projects.

Keywords: natural ventilation, boundary wall, systematic literature review.

1. INTRODUÇÃO

A ventilação natural é considerada uma importante estratégia passiva para obtenção do conforto térmico nas edificações, sobretudo em regiões tropicais. E no contexto atual da pandemia do COVID-19, aumentar a ventilação do ar externo tem sido um recurso recomendado para manutenção da qualidade do ar nos ambientes internos (SCHOEN, 2020).

Contudo, a presença de anteparos no entorno das edificações pode prejudicar o potencial de uso da ventilação natural, visto que estes elementos alteram o fluxo de ar que incide nas aberturas (ROMERO, 2013; CÓSTOLA et al., 2010). O muro é um exemplo de anteparo comumente presente nas edificações brasileiras, devido a busca por segurança e privacidade. Contudo, em climas quentes com alta umidade do ar, a presença de muros fechados pode se constituir em obstáculo à circulação dos ventos (BITTENCOURT; CÂNDIDO; 2015).

Apesar do entendimento dos possíveis impactos advindos da presença dos muros nas edificações, estes não foram mensurados de forma sistematizada, de modo que possibilitasse o estabelecimento de estratégias projetuais adequadas de incorporação desses elementos. Nesse sentido, o foco do presente trabalho é investigar o estado da arte sobre o efeito de muros no comportamento da ventilação natural em edificações.

2. OBJETIVO

O objetivo principal do trabalho foi investigar os efeitos dos muros presentes no entorno das edificações no comportamento da ventilação natural.

3. MÉTODO

A metodologia utilizada consistiu na realização de uma revisão sistemática de literatura (JESSON; MATHESON; LACEY, 2011). A revisão foi realizada em 6 etapas principais: (1) Definição do problema pesquisado; (2) Definição do *String* de busca (palavras-chaves); (3) Busca nas bases de dados; (4) Seleção dos estudos; (5) Avaliação da qualidade dos estudos; (6) Extração dos dados. Estas estão detalhadas na tabela a seguir (Tabela 1):

Tabela 1 - Síntese das etapas realizadas na revisão sistemática da literatura.

ETAPA		DESCRIÇÃO	
1	**Problema pesquisado**	Qual o efeito dos muros no aproveitamento da ventilação natural nas edificações?	
2	***String* de busca**	*(windbreak* OR fence* OR hedge* OR "boundary wall*") AND ("natural ventilation" OR "cross ventilation" OR wind) AND (building OR house OR urban)*	
3	**Base de dados**	Scopus, Web of Science, Science Direct, Engineering Village, Scielo, Banco de Teses e Dissertações (BDTD), Anais de eventos recentes (ENCAC, ENTAC and PLEA 2020)	
4	**Seleção dos Estudos (Critérios)**	**[INCLUSÃO]**	**[EXCLUSÃO]**
		Idioma: inglês e português. Período: 2000-2020.	Período: antes de 2000
		Escopo: (1) Fluxo de ar (interno e externo); (2); Conforto térmico (interno e externo); (3) Conforto do vento em pedestre; (4) Cargas de vento; (5) Desempenho energético	Escopo: (1) Produção agrícola; (2) Produção de energia; (3) Qualidade do ar; (4) Controle da erosão; (5) Controle da neve; (6) Redução da vibração ou ruído; (7) Segurança no transporte
			Método: (1) bibliográfico
		Tipo de barreira: muro artificial ou cercas vivas	Tipo de barreira: floresta como quebra-vento
		Análise: (1) Arquitetura (ambiente construído); (2) Muro + edificação ou conjunto de edificações	Análise: (1) Escala urbana; (2) Muro ou barreira isolada
5	**Avaliação da qualidade**	(1) Avaliação interna: fundamentação, método, resultados/contribuições e generalizações; (2) Avaliação externa: características da publicação e fator de impacto (se aplicável)	
6	**Extração de dados**	Período, área de pesquisa, localização, clima, objetivo, método, parâmetros, métricas, principais resultados e contribuições.	

3.1. Detalhamento da etapa de seleção dos estudos

Foram encontrados inicialmente 245 trabalhos nas bases de dados. A partir da leitura do título e resumo desses artigos foram retirados 113 que não tinham relação com a temática e o objeto de estudo (muro).

Depois foram selecionados apenas os estudos que estavam condizentes com os escopos definidos nos critérios de inclusão. E por fim, foram aplicados todos os critérios de inclusão e exclusão, principalmente a escolha de apenas trabalhos que consideravam o muro e uma edificação ou conjunto de edificações. Além disso foi aplicada a técnica de amostragem bola de neve, buscando outras referências dentro dos trabalhos selecionados (Figura 1).

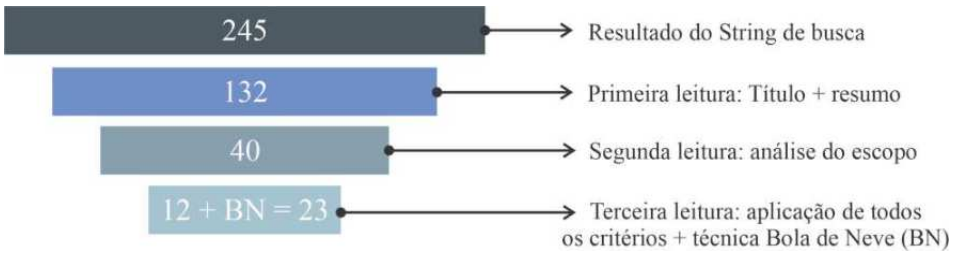

Figura 1 - Síntese da etapa de seleção dos estudos revisados.

4. RESULTADOS PRELIMINARES

Os resultados apresentados nesse trabalho consistem em uma síntese dos principais dados extraídos dos estudos revisados até o presente momento: (1) Escopo; (2) Localização e clima; (3) Abordagem metodológica; (4) Parâmetros; e (5) Métricas.

4.1 Escopo

Os efeitos da construção de muros e barreiras foram investigados a partir de diferentes enfoques. Considerando a totalidade de 245 trabalhos coletados inicialmente, foram encontradas 11 temáticas diferentes, sendo as principais a qualidade do ar e o controle da erosão. Entretanto, como verifica-se na Figura 2, quando se aplicou os critérios de inclusão e exclusão, as análises se restringiram a três escopos principais. Destaca-se o estudo dos padrões do escoamento do vento como o principal foco dos estudos (65%). Em contrapartida, apenas 9% das pesquisas analisaram as condições de conforto térmico das habitações.

4.2 Localização e clima

As pesquisas analisadas foram realizadas em diferentes países e contextos climáticos. O hemisfério norte concentra a maioria dos países (82%), mas o número de estudos é similar entre eles, pois o Brasil reúne 39% das pesquisas. Em relação ao clima, percebe-se a predominância de climas temperados (52%), sendo recorrente a classificação subtropical úmida (Cfa e Cwa), que em geral possui verões quentes e invernos razoavelmente frios. Em segundo, tem-se as regiões tropicais (30%), com temperaturas mais quentes (entre 24 e 27 °C) e pequena amplitude anual e diária, onde destaca-se o tropical de monções (Am) e o tropical úmido e seco (Aw/As) (PEEL et al., 2007).

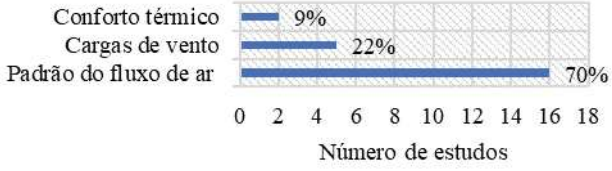

Figura 2 - Escopos dos estudos revisados.

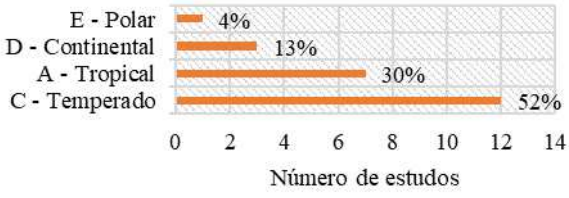

Figura 3 - Climas dos estudos revisados.

4.3 Abordagem metodológica

Os estudos revisados utilizaram principalmente três abordagens metodológicas, que são comuns no estudo de ventilação natural. Como ilustrado da Figura 4, existiram trabalhos que utilizaram mais de uma abordagem. Considerando aqueles que utilizaram simulação computacional (65%), o uso de modelos CFD (Computational Fluid Dynamics) foi o mais recorrente. Os autores utilizaram tanto *softwares* comerciais (COSTA; BARBOSA; BARBIRATO, 2019; COSTA; BARBOSA; BARBIRATO, 2018; XAVIER; LUKIANTCHUKI, 2019; BAETU; BAETU; BUDESCU, 2016; HAWENDI; GAO, 2017; KLEMM; JABLONSKI, 2003; ZHANG; JIN; DONG, 2015; AMOS-ABANYIE; KORANTENG, 2014; OLIVEIRA;

LABAKI; VATAVUK, 2009), destacando-se o *Ansys CFX* e o *Fluent*, como programas não comerciais com aplicação de modelos específicos baseados na literatura (LI; WANG; BELL, 2007; WANG et al., 2017; CHANG; CHENG, 2009, CHANG, 2006). Além do CFD, alguns estudos empregaram modelos multizonas, com o uso do software *EnergyPlus* (CASTAÑO, 2017; COSTA; NEVES; LABAKI, 2020) e seu módulo *AirflowNetwork* (AFN), que calcula o fluxo de ar entre as zonas térmicas da edificação e o exterior.

43% das pesquisas utilizaram modelos experimentais em pequena escala; dentre as ferramentas destaca-se o uso do túnel de vento (80%). Além de ser utilizado como recurso principal, o túnel de vento foi uma ferramenta importante para coletar dados de entrada e validar dados de simulações computacionais (HAWENDI; GAO, 2017; CASTAÑO, 2017; LABAKI et al., 2011, JOHN et al., 2011; JOHN; GAIROLA; MUKHERJEE, 2009a; JOHN; GAIROLA; MUKHERJEE, 2009b; JOHN; GAIROLA; KRISHNA, 2008; LI; WANG; BELL, 2007). Outros recursos utilizados foram a mesa d'água (COSTA; BITTENCOURT; BARBOSA, 2017) e um ventilador solar (IDOWU; JUNAID; HUMPHREY, 2018). Em apenas um trabalho foi notada a aplicação de métodos simplificados baseados em modelos analíticos ou empíricos de Givoni e Boutet, cuja finalidade foi calcular a porcentagem de fluxo de ar que incide através das janelas da edificação (OLIVEIRA et al., 2005).

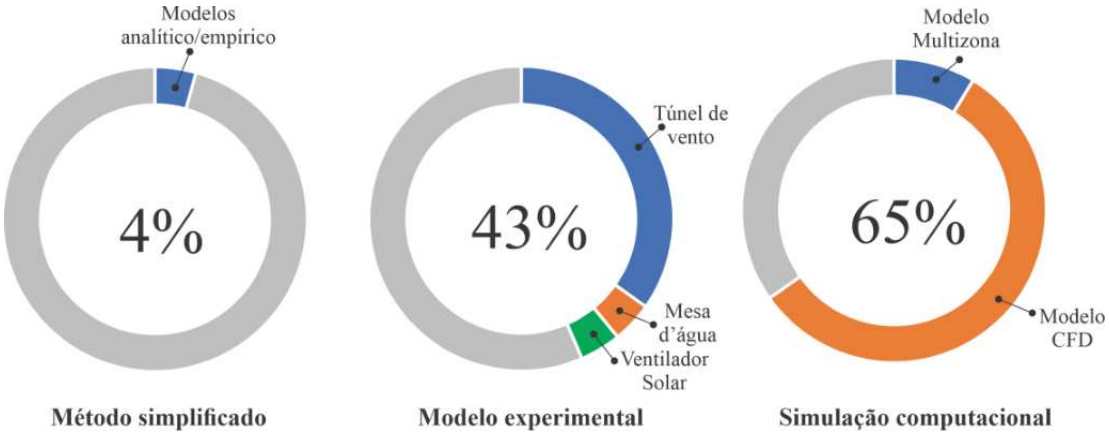

Figura 4 - Síntese das abordagens metodológicas aplicadas nos estudos revisados.

4.4 Parâmetros

A utilização de análises paramétricas foi recorrente nos estudos revisados. Os autores analisaram o efeito de diferentes parâmetros de configuração do muro, entre eles destacam-se a porosidade, a altura, a localização do muro em relação a edificação (recuos) e aspectos da geometria (Figura 5). Além disso, alguns estudos investigaram a variação de características da edificação e as condições do vento. Em geral o foco era avaliar o efeito dos diferentes parâmetros no comportamento do fluxo de ar.

A maioria dos estudos investigou diretamente ou indiretamente a porosidade (91%), que é calculado pelo valor do volume aberto do muro (ou componente vazado) em relação ao volume total. Os trabalhos que investigaram diretamente compararam diferentes níveis, sendo os mais recorrentes: 0% (parede sólida), 50% (porosidade média), 75% (porosidade alta). Entretanto alguns trabalhos se limitaram à investigação de dois cenários diferentes: 100% de porosidade (sem muro) e com 0% de porosidade (com muro sólido).

O segundo aspecto mais analisado foi a variação dos recuos (43%), especialmente o recuo frontal. Alguns estudos consideram a altura do muro (h) como referencial para determinar os valores dos recuos (Ex.: 2h, 3h) (WANG et al., 2017; LI; WANG; BELL, 2007). 26% dos trabalhos variaram aspectos da geometria do muro, como por exemplo a utilização de componentes laminados em diferentes arranjos (COSTA; NEVES; LABAKI, 2020; COSTA; BARBOSA; BARBIRATO, 2019; COSTA; BARBOSA; BARBIRATO, 2018; COSTA; BITTENCOURT; BARBOSA, 2017), a incorporação de um defletor no topo dos muros (BAETU; BAETU; BUDESCU, 2016) e a variação da altura do componente vazado no muro (IDOWU; JUNAID; HUMPHREY, 2018). A altura do muro não foi um aspecto recorrente, apenas 13% dos estudos investigaram o efeito de sua variação. Estes consideram valores fixos baseados em características locais (HAWENDI; GAO, 2017; ZHANG; JIN; DONG, 2015) ou uma proporção em relação à altura da edificação (CHANG, 2006).

Apenas 13% das pesquisas analisaram o efeito dos muros junto com a variação de características da edificação (Figura 5). Aspectos como o tamanho das janelas, a presença de varanda (CASTAÑO, 2017) e a altura da edificação foram analisados (LI; WANG; BELL, 2007). Variações nas condições climáticas se

restringiram à análise do impacto do muro considerando diferentes direções do vento em relação as fachadas e/ou a orientação da edificação em relação ao norte, que estiveram presentes em 30% dos estudos.

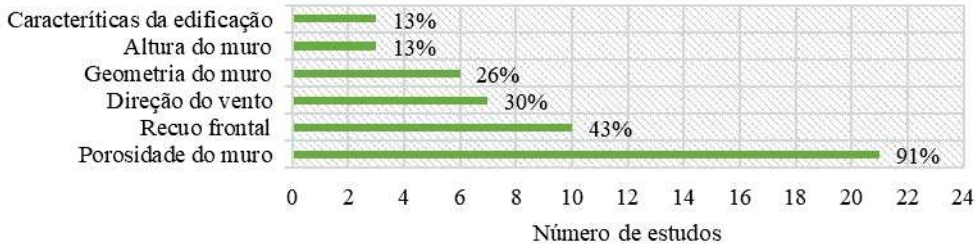

Figura 5 - Parâmetros investigados nos estudos revisados.

4.5 Métricas

Os parâmetros foram analisados tanto por uma abordagem qualitativa, com foco na visualização do fluxo de ar, como por uma abordagem quantitativa, com a geração de dados numéricos (Figura 6). Quase metade dos trabalhos analisados (48%) tiveram alguma análise de visualização do comportamento do fluxo de ar ao redor e/ou dentro da edificação. A visualização foi realizada por meio de vetores, linhas de fluxo e contornos, que foram plotados em planos de cortes verticais ou horizontais.

Dentre as métricas analisadas na abordagem quantitativa, a velocidade do vento foi a mais recorrente (61%), principalmente os trabalhos tendo como escopo o padrão do fluxo de ar. 43% dos trabalhos investigaram a distribuição da pressão ou dos coeficientes de pressão ao longo da direção do escoamento. A taxa de ventilação ou taxa de fluxo de ar foi observada em 22% dos estudos, principalmente aqueles envolvendo o conforto térmico ou padrão do fluxo de ar. Alguns trabalhos (13%) analisaram a distribuição e intensidade da turbulência através da análise da energia cinética turbulenta (k), que foi relacionada com taxa de fluxo de ar e ocorrência ou não de ventilação cruzada (HAWENDI; GAO, 2017; CHANG; CHENG, 2009, CHANG, 2006).

Como foram poucos estudos com o enfoque na análise de conforto térmico (CASTAÑO, 2017; COSTA; NEVES; LABAKI, 2020), não apareceram muitos trabalhos que investigaram métricas como temperatura do ar e graus hora de resfriamento (9%).

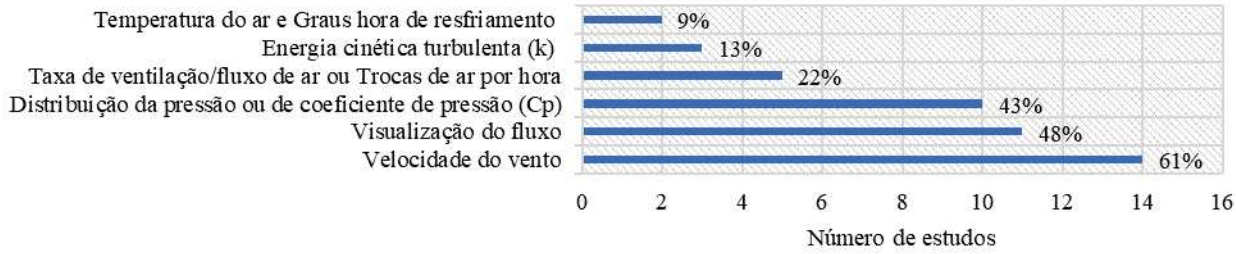

Figura 6 - Métricas utilizadas nos estudos revisados.

5. CONSIDERAÇÕES E ETAPAS FUTURAS

O estudo apresentou as principais características que definem as pesquisas que se propuseram a investigar os efeitos dos muros na ventilação natural do ambiente construído. Notou-se uma escassez de pesquisas que abordam a temática, principalmente no que se refere às implicações no conforto térmico das edificações. Os trabalhos revisados se localizam em distintos contextos climáticos, o que sugere diferentes interesses na investigação dos muros, inclusive proteção contra os efeitos indesejáveis dos ventos, o que deve ser considerado nas próximas etapas do estudo.

As próximas etapas consistem no cruzamento dos resultados com base nos parâmetros e métricas investigadas pelas pesquisas. Será considerada também a qualidade metodológica dessas pesquisas, principalmente a validação dos dados. Finalmente, com a síntese dos resultados será possível estabelecer um panorama geral do estado da arte dos efeitos dos muros no comportamento da ventilação natural em edificações. O intuito é também identificar lacunas que direcionem pesquisas futuras com relação ao estabelecimento de estratégias e diretrizes para a melhor construção/adequação de muros em projetos arquitetônicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMOS-ABANYIE, S.; KORANTENG, S. An evaluation of the effects of external landscaping elements on indoor airflow rate and patterns using computational fluid dynamics. In: **European Scientific Journal**, [S. l.], v. 10, n. 14, p. 286–299, 2014.

BAETU, Georgeta; BAETU, Sergiu-Andrei; BUDESCU, Mihai. Protection of Lightweight Steel Structures Against Extreme Winds. In: International Multidisciplinary Scientific Geo Conference-SGEM, Albena, Bulgaria, p. 515–522, 2016.

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

CASTAÑO, Hector Fabian Marin. **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.

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.

COSTA, Isabely Penina; NEVES, Leticia D. E. Oliveira; LABAKI, Lucila Chebel. Analysis of Different Wall Typologies: The thermal performance of a naturally ventilated social interest housing. In: **PLEA 2020**, Anais. A Coruña, 2020.

COSTA, Isabely; BARBOSA, Ricardo; BARBIRATO, Gianna. A influência da configuração geométrica de muros vazados nos padrões de comportamento dos ventos em habitações térreas. In: **XV ENCAC; XI ELACAC 2019**. Anais, p. 902–911. João Pessoa, 2019.

COSTA, Isabely; BARBOSA, Ricardo; BARBIRATO, Gianna. Desempenho da ventilação natural em diferentes configurações de muros vazados laminados. In: **XVII Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído**, Anais, p. 1027–1037. Foz do Iguaçu, 2018.

COSTA, Isabely; BITTENCOURT, Leonardo; BARBOSA, Ricardo. Influência de muros vazados no desempenho da ventilação natural em edificação térrea. In: **XIX ENCAC, X ELACAC 2017**, Anais, p. 1–10. Balneário Camboriú, 2017.

CÓSTOLA, D.; BLOCKEN, B.; OHBA, M.; HENSEN, J.L.M. Uncertainty in airflow rate calculations due to the use of surface-averaged pressure coefficients**. Energy and Buildings**, v. 42, n. 6, p. 881–888, 2010.

HAWENDI, Sherzad; GAO, Shian. Impact of an external boundary wall on indoor flow field and natural cross-ventilation in an isolated family house using numerical simulations. In: **Journal of Building Engineering**, [S. l.], v. 10, p. 109–123, 2017.

IDOWU, O. M.; JUNAID, S. M.; HUMPHREY, S. Effect of Fence Design on Natural Ventilation in Residential Spaces: an Experimental Study. In: **Arid Zone Journal of Engineering**, [S. l.], v. 14, n. 3, p. 469–477, 2018.

JESSON, J., MATHESON, L., LACEY, F.M. **Doing your literature review: Traditional and systematic techniques**. London: Sage, 2011.

JOHN, A. D.; GAIROLA, A.; MUKHERJEE, M. Experimental study on wind load in roof and overhang of a gable building. In: **5th European And African Conference on Wind Engineering**, EACWE 5. Anais. Florence, 2009b.

JOHN, Alok David; GAIROLA, Ajay; KRISHNA, Prem. Wind Loads on Overhangs in a Low Gable Building in Presence of Free Standing Wall. In: **Journal of Wind and Engineering**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 39–46, 2008.

JOHN, Alok David; GAIROLA, Ajay; MUKHERJEE, Mahua. Effect of boundary wall on wind pressure coefficients on a low-rise building. In: **Journal of Wind and Engineering**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 10–18, 2009.

JOHN, Alok David; SINGLA, Gaurav; SHUKLA, Sumbul; DUA, Rohit. Interference effect on wind loads on gable roof building. In: **PROCEDIA ENGINEERING.** Anais, p. 1776–1783. Hong Kong, 2011.

KLEMM, K.; JABLONSKI, M. Effect of windbreak on the wind flow in a small existing urban structure. In**: Anais of theSsecond International Conference on Building Physics**, p. 973–980, Leuven, Belgium, 2003.

LABAKI, L. C.; MATSUMOTO, E.; MORAIS, J. M. S. C.; MEDINILHA, T. A.; OLIVEIRA, M. C. A. Ventilation in self-built houses - A study through wind tunnel measurements in Campinas, Brazil. In: **International Journal of Ventilation**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 115–123, 2011.

LI, W.; WANG, F.; BELL, S. Simulating the sheltering effects of windbreaks in urban outdoor open space. In: **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, [S. l.], v. 95, n. 7, p. 533–549, 2007.

OLIVEIRA, M. C. A.; LABAKI, L. C.; VATAVUK, P. The use of CFD applied to studies of ventilation in urban areas in Campinas, Brazil. In: **Eleventh International Building Performance Simulation Association** - IBPSA, p. 1930–1934. Glasgow, Scotland, 2009.

OLIVEIRA, Mariela; LABAKI, Lucila; KOWALTOWSKI, Doris; MONTEIRO, Evandro. Ventilation in Self-Built Houses in Brazil: Desirable but Undervalued Thermal Comfort Element. In: **PLEA 2005**, Anais. Beirut, 2005.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A.. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. In: **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 11, 1633–1644, 2007. https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007

SCHOEN, L.J. Guidance for Building Operations During the COVID-19 Pandemic. In: **ASHRAE J**, pp. 73-74, [online], 2020.

ROMERO, M. A. B**. Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2013.

WANG, Jang Woon; KIM, Jae Jin; CHOI, Wonsik; MUN, Da Som; KANG, Jung Eun; KWON, Hataek; KIM, Jin Soo; HAN, Kyung Soo. Effects of wind fences on the wind environment around Jang Bogo Antarctic Research Station. In: **Advances in Atmospheric Sciences**, [S. l.], v. 34, n. 12, p. 1404–1414, 2017.

XAVIER, ANA CLARA DE ALMEIDA; LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia. Análise do desempenho da ventilação natural em uma habitação de interesse social através de simulações CFD. In: **XV ENCAC; XI ELACAC 2019**. Anais, 1569–1577. João Pessoa, 2019.

ZHANG, X.; JIN, H.; DONG, X. Numerical simulation analysis on wind environment of traditional village courtyard in severe cold regions. In: **Renewable Energy in the Service of Mankind**, **Springer International Publishing**, v. 1. [S. l.], 2015.