XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Influência do Adensamento Urbano na Ventilação Natural: Simulações CFD em Cidades Médias do Rio Grande do Sul

Influencia de la Densidad Urbana en la Ventilación Natural: Simulaciones CFD en Ciudades Medianas de Rio Grande do Sul

Influence of Urban Density on Natural Ventilation: CFD Simulations in Medium-sized Cities in Rio Grande do Sul

Clima e Planejamento Urbano / Clima y Planificación Urbana / Climate and Urban

Oliviera, Daiana Fauro
Doutoranda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil,
daianafauro@gmail.com

Borges, Jamille Brito
Mestranda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil,
jamillebborges@gmail.com

Grigoletti, Giane de Campos
Professora Associada, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil,
giane.c.grigoletti@ufsm.br

Resumo

A densificação e a verticalização das cidades comprometem a ventilação natural devido às barreiras físicas criadas pelas construções. Estratégias de planejamento urbano são essenciais para mitigar esses impactos. Este estudo analisa o comportamento do vento em um recorte do contexto urbano de quatro cidades médias do RS, caracterizadas pelo clima subtropical úmido. O método envolveu a escolha das áreas para avaliação, modelagem e simulações CFD com o *software* Ansys CFX. O estudo identificou padrões comuns na interação entre o escoamento do ar e a morfologia urbana nos diferentes contextos. A orientação oblíqua do vento (45°) favorece a distribuição dos fluxos de ar, enquanto edifícios mais altos podem gerar zonas de recirculação e estagnação e impactar a disponibilidade de ventilação natural. Os resultados destacam a importância de considerar o efeito do adensamento construtivo sobre a ventilação natural no planejamento urbano, sugerindo a ampliação de pesquisas nessa área.

Palavras-chave: Ventilação natural. Planejamento urbano. Simulação CFD. Cidades médias. Clima subtropical úmido.

Resumen

La densificación y verticalización de las ciudades compromete la ventilación natural debido a las barreras físicas creadas por los edificios. Las estrategias de planificación urbana son esenciales para mitigar estos impactos. Este estudio analiza el comportamiento del viento en una sección transversal del contexto urbano de cuatro ciudades de tamaño medio del estado de Rio Grande do Sul, caracterizadas por un clima subtropical húmedo. El método consistió en la elección de áreas para la evaluación, modelización y simulaciones CFD utilizando el software Ansys CFX. El estudio identificó patrones comunes en la interacción entre el flujo de aire y la morfología urbana en los diferentes contextos. La orientación oblicua del viento (45°) favorece la distribución de los flujos de aire, mientras que los edificios más altos pueden generar zonas de recirculación y estancamiento e incidir en la disponibilidad de ventilación natural. Los resultados subrayan la importancia de tener en cuenta el efecto de la densidad de los edificios en la ventilación natural en la planificación urbana, lo que sugiere seguir investigando en este ámbito.

Palabras clave: Ventilación natural. Planificación urbana. Simulación CFD. Ciudades medias. Subtropical húmedo.

Abstract

The densification and verticalization of cities compromises natural ventilation due to the physical barriers created by buildings. Urban planning strategies are essential to mitigate these impacts. This study analyses wind behaviour in the urban context of four medium-sized cities in the state of Rio Grande do Sul, characterized by a humid subtropical climate. The method involved choosing areas for evaluation, modeling and CFD simulations using Ansys CFX software. The study identified common patterns in the interaction between air flow and urban morphology in the different contexts. The oblique orientation of the wind (45°) favors the distribution of air flows, while taller buildings can generate recirculation and stagnation zones and impact the availability of natural ventilation. The results highlight the importance of considering the effect of building density on natural ventilation in urban planning, suggesting further research in this area.

Keywords: Natural ventilation. Urban planning. CFD simulation. Medium cities. Humid subtropical climate.

1 - Introdução

O crescimento populacional acelerado e a urbanização têm gerado desafios para a qualidade do ambiente construído. A densificação e o aumento da verticalização das edificações têm um impacto direto no escoamento do vento em ambientes urbanos e na disponibilidade da ventilação natural no interior das edificações, devido à criação de barreiras físicas que dificultam o fluxo de ar, tornando essencial um planejamento integrado para mitigar seus impactos negativos (Yang *et al*. 2020; Qin *et al*. 2020). Estratégias como a definição de gabaritos de vias, afastamento entre edificações, geometria, disposição e tamanho adequados de janelas, dentre outros fatores, podem minimizar os efeitos adversos e melhorar a circulação do ar em áreas densamente ocupadas.

A Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) tem se consolidado como uma ferramenta para a análise de fluxos de ar tanto em ambientes internos como em ambientes urbanos. Estudos demonstram o uso do CFD para compreender o microclima urbano e propor intervenções baseadas em dados para melhorar a qualidade urbana das cidades e no interior das edificações (Toja-Silva *et al.* 2018; Mirzaei, 2021). Dentre os vários tipos de CFD's, o Ansys CFX vem sendo uma ferramenta amplamente aceita no meio científico para aplicações em fenômenos que envolvem o escoamento de fluidos, tanto para análise no meio urbano (Liu *et al*., 2018; Araújo e Morais, 2020; Gülten e Öztop, 2020), como no interior de edificações (Labaki, 2017; Cheng *et al*., 2022; Saadatjoo, Badamchizadeh e Mahdavinejad, 2023). Sua aplicabilidade se justifica pela qualidade e precisão dos resultados. Neste contexto, o estudo de morfologias urbanas reais por meio de simulações com o *software* pode trazer importantes reflexões e orientações para o planejamento urbano, consequentemente melhora na qualidade ambiental.

2 - Objetivo

Por meio de simulações CFD com o s*oftware* Ansys CFX, o objetivo deste estudo é apresentar uma análise preliminar do comportamento do vento em um recorte do contexto urbano de quatro cidades de médio porte e caracterizadas como capitais regionais do RS, sendo elas: Caxias do Sul, Passo Fundo, Pelotas e Santa Maria

3 - Metodologia

A metodologia foi estruturada em 3 etapas: (1) definição e descrição das áreas de estudo; (2) definição dos parâmetros de simulação; e (3) simulação computacional dos modelos e resultados. A definição da área de estudo baseou-se na importância regional de quatro cidades do RS, Caxias do Sul, Passo Fundo, Pelotas e Santa Maria, caracterizadas como cidades médias e se destacando por se classificarem como capitais regionais do estado (Governo do Estado do Rio Grande Do Sul, 2018). Para a descrição das áreas, foram coletados dados demográficos e territoriais a partir da base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2023), enquanto as informações climáticas foram extraídas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023). A Tabela 1 sintetiza características do clima das quatro cidades estudadas e sua localização.

Tabela 1: Clima (Köppen), temp. e UR médias, direção e velocidade do vento para as quatro cidades estudadas

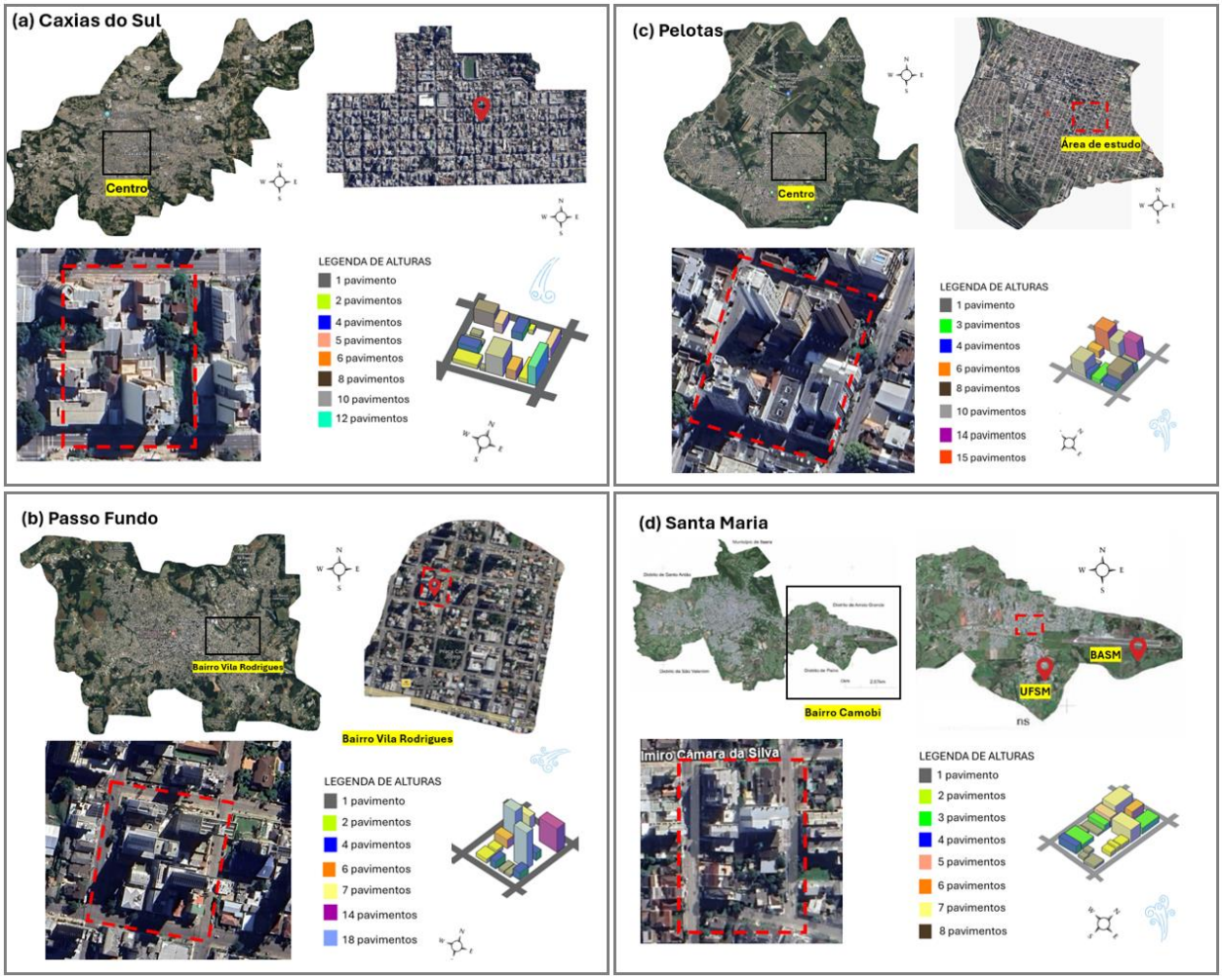
Cidade	Clima	Temp. (°C)	UR (%)	Direção	Velocidade (m/s)
Caxias do Sul	Cfb	16,8°C	78,1	Norte	1,8
Passo Fundo	Cfa	17,7 °C	77,0	Nordeste	3,6
Pelotas	Cfa	18°C	80,7	Nordeste	3,4
Santa Maria	Cfa	19,3°C	83,2	Sudeste	2,0



Fonte: Adaptado de INMET, 2023.

No que se refere a localização, para Caxias do Sul (Figura 1a) foi definida uma área no Bairro Centro, caracterizada por um adensamento médio, com edificações de ocupação mista, dividindo-se entre residenciais e comerciais, porém respeitando os limites do Centro Histórico, onde intervenções devem respeitar o patrimônio histórico local. Para Passo Fundo (Figura 1b), a área de estudo situa-se no Bairro Vila Rodrigues, sendo região que apresenta um aumento substancial de edifícios multipavimentos e a adoção de recuos construtivos crescentes (Ferretto, 2021). A área do estudo na cidade de Pelotas (Figura 1c) situa-se no Bairro Centro. Essa área também é caracterizada pelo aumento de construções multipavimentos, tanto residenciais, quanto comerciais, como resposta à necessidade de otimizar o espaço em uma área de significativo valor histórico e econômico (Silva *et al*. 2003). A região escolhida para Santa Maria (Figura 1d) localiza-se no bairro Camobi, o qual é caracterizado pela presença da Base Aérea de Santa Maria, o que limita o crescimento em altura, criando uma paisagem com gabarito relativamente homogêneo.

Figura 1: Localização das áreas de estudo em seu contexto urbano.



Fonte: Autores. Adaptado de Google Earth (2024).

Após a definição do modelo urbano, as áreas de estudo foram modeladas no *software* AutoCad3D. Os modelos 3D gerados foram importados no programa Ansys CFX para a simulação do escoamento do ar. Para o domínio, o qual se refere ao espaço tridimensional onde o fluxo do ar será analisado, assumiu-se a forma retangular, seguindo as diretrizes de Leite (2015). Suas dimensões foram determinadas de acordo com a altura máxima de cada cenário, garantindo que as fronteiras não influenciem de forma perceptível o modelo, conforme o que orienta Tominaga *et al*. (2008), Brandão (2010) e Leite (2010). Foi definido o modelo de turbulência *k-Épsilon*, em

um regime estacionário e sem trocas térmicas, baseando-se em outras pesquisas de simulações de ventilação, como Silva (2015), Liu *et al.* (2018) e Gülten e Öztop (2020). As condições de contorno adotadas nas simulações incluíram a definição da direção e velocidade do vento predominante em cada cidade, com base em dados climáticos locais, além da modelagem tridimensional da malha urbana. Foram consideradas duas alturas de referência para análise do escoamento sendo 4,20m, correspondente à zona de respiração humana no segundo pavimento, e 13,2m, relativa à mesma zona, porém no quinto pavimento. Como variáveis de entrada no programa, foram utilizados os dados meteorológicos de velocidade e direção do vento, a geometria tridimensional da cidade e a rugosidade das superfícies urbanas, que influenciam a resistência aerodinâmica do escoamento. Já as variáveis de saída incluíram a distribuição da velocidade do vento nos espaços urbanos e ao longo das fachadas, a formação de zonas de recirculação e áreas de estagnação do fluxo de ar, além dos coeficientes de pressão sobre as edificações, que indicam diferenças na carga aerodinâmica das fachadas.

Os dados obtidos foram tratados por meio da análise comparativa entre os diferentes cenários urbanos, possibilitando a identificação de padrões de escoamento conforme a orientação e a configuração das edificações. Foram gerados mapas de velocidade do vento e distribuições de pressão, permitindo a observação de corredores de vento, zonas de baixa ventilação e gradientes de pressão entre fachadas a barlavento e sotavento.

4 - Resultados

Os resultados obtidos para o cenário de Caxias do Sul (Figura 2a), onde o vento sopra da direção norte, incidindo a 90° nas edificações com velocidade de 2,24 m/s, observa-se que as zonas de menor velocidade do vento ocorrem a barlavento, onde o fluxo é desacelerado pelo impacto nas fachadas das edificações. A diferença entre os planos de 4,20 m e 13,20 m de altura evidencia um padrão característico de escoamento: próximo ao solo, há maior bloqueio do fluxo devido à presença dos edifícios, enquanto em alturas superiores, o vento se reorganiza e acelera nos espaços entre as edificações. Também se nota que as áreas de maior velocidade se concentram nas fachadas voltadas a norte e entre os edifícios, com melhor circulação do ar nos vazios centrais da geometria urbana. Isso sugere que a configuração das edificações permite a formação de corredores de vento, promovendo uma ventilação mais eficiente. Além disso, observa-se que as velocidades são mais elevadas nas regiões periféricas da geometria urbana, onde há menor

interferência de obstáculos, indicando que o escoamento se intensifica ao contornar as edificações.

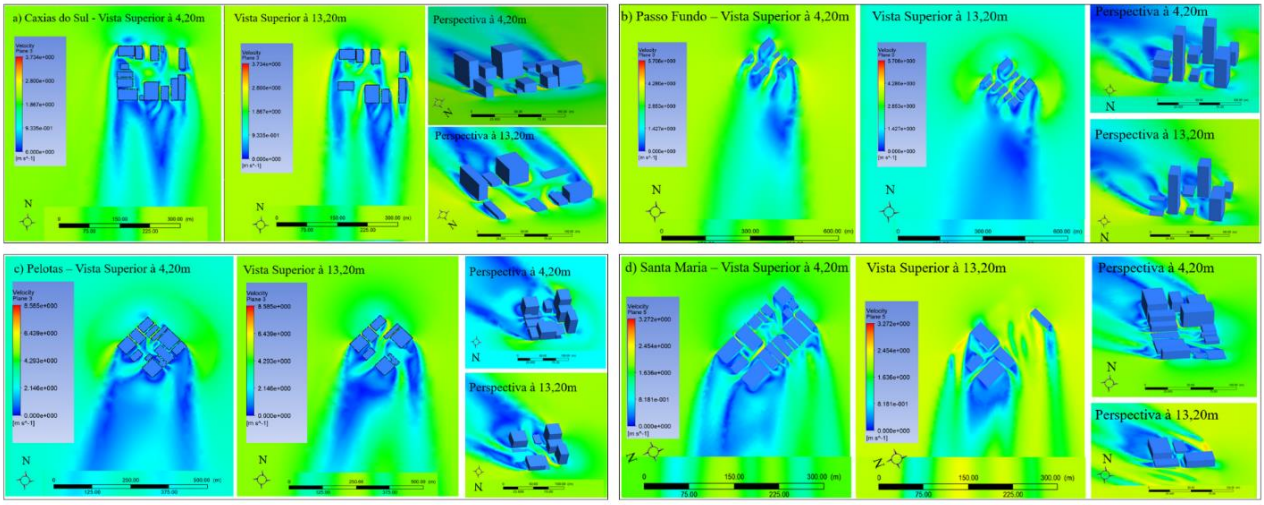
Para Passo Fundo, a incidência predominante dos ventos é 45° em relação ao quarteirão selecionado, com velocidade de 4,48 m/s, direção nordeste. Observa-se que essa incidência oblíqua favorece a circulação dos ventos entre os edifícios, pois o fluxo não encontra uma barreira totalmente perpendicular, mas sim planos em diagonal, o que favorece o escoamento do ar. Passo Fundo apresenta os edifícios mais altos dentre as quatro cidades analisadas, sendo que essa verticalização pode resultar em dois efeitos principais. O primeiro deles é a criação de corredores de vento, onde, devido às alturas variadas e aos afastamentos entre os edifícios, a ventilação se intensifica nos espaços livres, promovendo uma maior circulação do ar. Isso é visível na Figura 2b, onde as velocidades aumentam entre as edificações, especialmente a partir de 13,20 m de altura. O outro efeito é o cânion urbano, onde a disposição das edificações altas em uma configuração mais adensada pode levar à formação de zonas de recirculação e turbulência em níveis mais baixos. Esse efeito pode impactar o conforto térmico e a qualidade do ar no nível do pedestre, dependendo da densidade e do espaçamento entre os edifícios. Apesar do maior potencial de ventilação, o adensamento pode criar zonas de baixa velocidade nos níveis inferiores. Esse fenômeno ocorre porque as edificações funcionam como barreiras que bloqueiam e redirecionam o fluxo de ar. Portanto, o planejamento urbano deve considerar a relação entre alturas, afastamentos e orientação das edificações em relação aos ventos predominantes para maximizar os benefícios da ventilação natural, evitando a formação de zonas de ar estagnado.

Pelotas (Figura 2c) possui direção predominante de ventos nordeste. Neste caso, foi atingida a maior velocidade do ar dentre as quatro cidades, 8,58m/s, o que é esperado uma vez que apresenta a maior velocidade média, conforme Tabela 1. Nota-se a formação de esteiras de baixa velocidade na parte posterior dos edifícios, indicando regiões de recirculação e redução da intensidade do vento. Também é possível observar a influência da morfologia urbana na canalização do fluxo de ar. O vento acelera nos interstícios entre as construções, atingindo valores próximos ao máximo identificado na simulação (8,58 m/s). Esse comportamento sugere a presença de corredores de vento, que podem, devido à alta velocidade, causar desconforto e mesmo a impossibilidade de seu aproveitamento para a ventilação natural.

Para Santa Maria (Figura 2d), a velocidade do vento ficou estimada em 2,74m/s e a direção predominante é a sudeste. A incidência dos ventos foi oblíqua às fachadas (45°). A análise das

diferentes alturas simuladas revela variações na intensidade do vento ao longo das edificações. Nos planos de corte a 4,20 m e 13,20 m de altura, observa-se como o escoamento se distribui, destacando a influência das construções na redução da velocidade do vento. Além disso, verifica-se a formação de regiões de baixa velocidade na área posterior às edificações, evidenciando o impacto da configuração urbana no comportamento do fluxo de ar. Nota-se que o efeito de canalização do vento ocorre principalmente entre os edifícios, enquanto áreas de sombra de vento se formam logo após as edificações mais altas, confirmando a influência das alturas na distribuição do fluxo de ar.

Figura 2: Resultados das simulações para as quatro cidades.



Fonte: Autores (2024).

No que se refere aos coeficientes de pressão em Caxias do Sul (Figura 3a), nota-se uma variação de pressão 3,95 Pa (vermelho) a -12,78 Pa (azul escuro). Como já era esperado, as maiores zonas de pressão concentram-se à barlavento, onde o vento incide diretamente nas fachadas. Os edifícios maiores interceptam o fluxo, criando zonas de baixa pressão nas laterais e no centro. Além disso, nota-se que os edifícios mais altos apresentam variações mais acentuadas de pressão, com distribuição heterogênea das zonas de baixa pressão.

Em relação às pressões exercidas nas fachadas no cenário de Passo Fundo, identificou-se que os coeficientes são menores, atribuíveis ao ângulo de incidência dos ventos (Figura 3b). A pressão varia de 10,54 Pa a -26,10 Pa, apresentando uma distribuição característica de fluxos urbanos em

áreas de maior verticalização. Nota-se que os edifícios altos geram zonas de escoamento acelerado, provocando gradientes mais intensos de pressão nas fachadas expostas ao vento. Para o cenário de Pelotas (Figura 3c), os resultados se assemelham às demais cidades, com zonas de alta pressão que chegam a 17,18 Pa e zonas de baixa pressão com -6,74 Pa.

Os contornos de pressão nas fachadas no cenário de Santa Maria (Figura 3d) variam de 2,91 Pa (vermelho), representando as áreas de alta pressão, até -10,6 Pa (azul escuro), que indica as zonas de baixa pressão. Para esse cenário, com alturas menores e com certa homogeneidade, observa-se que, ao contrário das demais cidades, a distribuição das pressões não apresenta grandes variações entre fachadas. De maneira geral, a análise dos coeficientes de pressão nas fachadas revela como a morfologia urbana e sua relação com a direção do vento influenciam significativamente a distribuição das zonas de alta e baixa pressão. Observa-se que cidades com maior verticalização, como Passo Fundo, apresentam gradientes mais intensos de pressão devido ao escoamento acelerado entre os edifícios, enquanto em contextos com edificações de alturas variadas, como Pelotas, os padrões de pressão são mais heterogêneos. Já para Santa Maria, com edificações mais baixas, as pressões não apresentaram tanta variação como nas outras cidades analisadas.

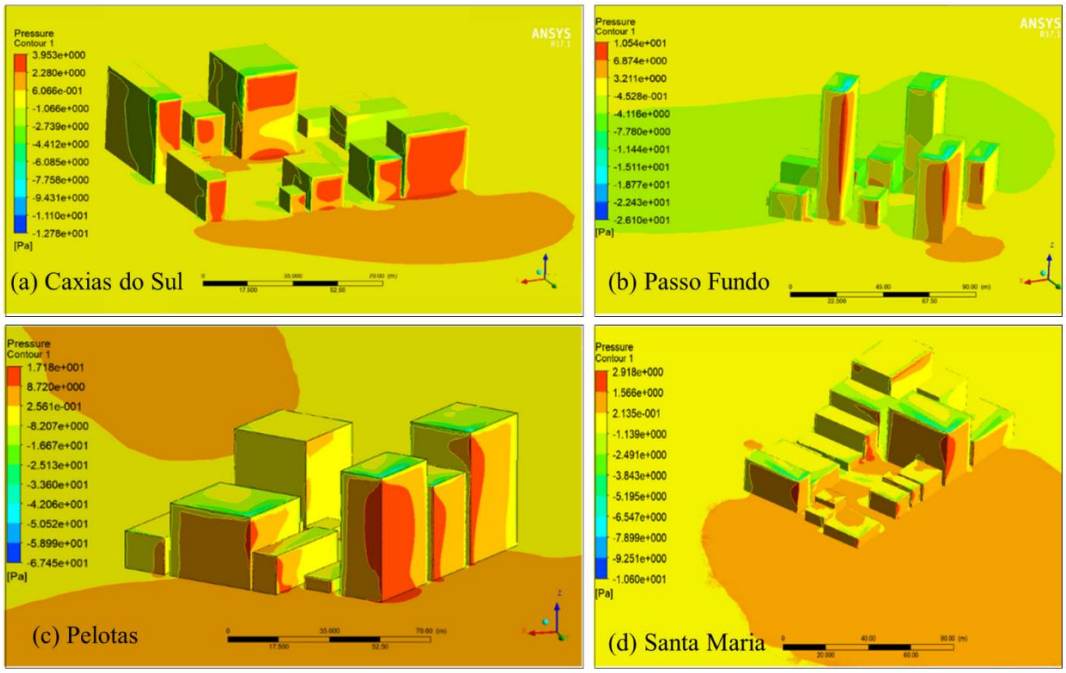
A análise dos cenários com ângulo de incidência de 45° (Passo Fundo, Pelotas e Santa Maria) indica uma distribuição mais eficiente do vento em comparação ao cenário de Caxias do Sul, cuja orientação é de 90°. Nesses casos, o fluxo de ar consegue se infiltrar com maior facilidade nos espaços vazios entre as edificações, mantendo velocidades mais elevadas mesmo em áreas de maior adensamento construtivo. Esse comportamento sugere que a disposição das edificações e a orientação do vento desempenham um papel crucial na ventilação urbana, influenciando diretamente a renovação do ar e o conforto ambiental.

Por outro lado, no cenário com incidência de 90°, observa-se um aumento das áreas de estagnação do ar, onde a velocidade do vento é significativamente reduzida, especialmente a barlavento das edificações. Esse efeito pode comprometer a qualidade do ambiente urbano ao favorecer o acúmulo de poluentes e reduzir a sensação de conforto térmico.

Além disso, a análise em plano vertical revela que a velocidade do vento tende a aumentar acima da malha urbana, enquanto a turbulência se reduz. Esse comportamento já era esperado, uma vez que, em altitudes superiores, há menor interferência dos edifícios no escoamento do ar,

permitindo uma maior reorganização do fluxo. Esses resultados reforçam a importância de considerar a orientação das edificações e o espaçamento entre elas como estratégias para otimizar a ventilação natural e melhorar as condições ambientais nas cidades.

Figura 3: Contornos de pressão nas fachadas nas quatro cidades analisadas.



Fonte: Autores (2024).

A velocidade do vento mostra-se reduzida até uma altura de 10m, que corresponde aproximadamente à altura média dessas construções. Comparando-se o cenário norte de Caxias do Sul com os cenários nordeste e sudeste, percebe-se que estes últimos favorecem uma melhor ventilação natural, devido ao ângulo não tangencial às fachadas de incidência dos ventos. Construções muito próximas afetam o fluxo de vento. Essa interferência poderia ser atenuada implementando-se maiores distâncias entre as edificações, tanto maiores, quanto maior for sua altura. A definição desses afastamentos depende de estudos específicos, sendo importante analisar se os afastamentos previstos em leis municipais atendem o requisito da ventilação natural.

5 - Conclusões

Este estudo analisou a interação entre o escoamento do vento em um recorte da malha urbana para quatro cidades do RS, Caxias do Sul, Passo Fundo, Pelotas e Santa Maria. Observou-se que, para a amostra estudada, a incidência oblíqua (45°) tende a favorecer uma melhor distribuição dos fluxos de ar em comparação a orientações ortogonais (0°). Além disso, verificou-se que a presença de edificações mais altas pode tanto intensificar os gradientes de pressão e acelerar os ventos em corredores urbanos quanto gerar zonas de recirculação e baixa velocidade em nível do pedestre, impactando diretamente o conforto ambiental. Também se observou que há semelhanças na distribuição dos coeficientes de pressão entre as cidades, apesar das diferenças na rugosidade urbana e nos padrões de verticalização. Em todas as simulações, notou-se que os edifícios mais altos interferem na ventilação dos níveis inferiores, mas a magnitude desse efeito varia conforme a disposição do conjunto construído. Em Santa Maria, por exemplo, com edificações mais baixas, houve uma distribuição mais homogênea das pressões, enquanto em Passo Fundo, a alta densidade vertical intensificou gradientes de pressão e a formação de corredores de vento.

Este estudo apresenta uma análise qualitativa de recortes urbanos reais. É necessário aprofundar o estudo, realizando análises paramétricas, para compreender melhor quais configurações morfológicas urbanas, levando em conta gabaritos, afastamentos e posição em relação ao vento dominante, proporcionam melhor ventilação interna e externa das edificações, bem como, as características próprias destas últimas, como materiais, fenestração, dentre outras.

Agradecimentos

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS), Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) e ao Fundo de Incentivo à Pesquisa (FIPE).

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, R. R. P. M.; MORAIS, J. M. S. C. Análise da Ventilação Natural através de CFD: Estudo de caso no Bairro Bancários, João Pessoa/PB. **Anais**. Encontro Nacional De Tecnologia do Ambiente Construído, v. 18, n. 1, p. 1-8, 2020. DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v18i.1008

BRANDÃO, R. S. Urban microclimate. *In*: GONCALVES, J. C. S. UMAKOSHI, E. M. **The environmental performance of tall buildings**. London: Earthscan, 2010.

CHENG, P., CHEN, W., XIAO, S., XUE, F., WANG, Q., CHANN, P. W., LI, Y. Probable cross-corridor transmission of SARS-CoV-2 due to cross airflows and its control. 2022. **Building and Environment**, 218, 109137. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109137

FERRETTO, D. Produção imobiliária e reestruturação intraurbana em Passo Fundo-RS. **GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n. 21, p. 263, 2021.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. 2018. Rede e hierarquia urbana. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Acesso em 21 dezembro 2023. Disponível em: https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/rede-e-hierarquia-urbana

GÜLTEN, A.; ÖZTOP, H. F. Analysis of the natural ventilation performance of residential areas considering different urban configurations in Elazığ, Turkey. **Urban Climate**, v. 34, 1 dez. 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100709

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2022**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/ . Acesso em 28 janeiro 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Normais climatológicas do Brasil. **Brasília**. 2020. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/normais . Acesso em 28 janeiro 2023.

LEITE, R. C. 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. 2010. 296 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

LEITE, R. C. V. **Cidade, vento, energia:** limites de aplicação da ventilação natural para o conforto térmico face à densificação urbana em clima tropical úmido. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, 2015.

LIU, S. PAN, W., ZHAO, X., ZHANG, H., CHENG, X., LONG, Z., CHEN, Q. Influence of surrounding buildings on wind flow around a building predicted by CFD simulations. **Building and Environment**, v. 140, p. 1–10, 1 ago. 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.011

MIRZAEI, P. A. CFD modeling of micro and urban climates: Problems to be solved in the new decade. **Sustainable Cities and Society**, v. 69, p. 102839, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102839

MORAIS, J. M. S. C.; LABAKI, L. C. CFD como ferramenta para simular ventilação natural interna por ação dos ventos: estudos de caso em tipologias verticais do "Programa Minha Casa, Minha Vida". **Ambiente Construído**, 17(1), 223-244. 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000100133

QIN, H., LIN, P., LAU, S. S. Y., SONG, G, D. Influence of site and tower types on urban natural ventilation performance in high-rise high-density urban environment. **Building and Environment**, v. 179, p. 106960, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106960

SAADATJOO, P., BADAMCHIZADEH, P., MAHDAVINEJAD, M. Towards the new generation of courtyard buildings as a healthy living concept for post-pandemic era. **Sustainable Cities and Society**, p. 104726, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104726

SILVA, J. G. D., ZECHLINSKY, A. P. P., BREY, H. G., ESTRELLA, R. C., MEDEIROS, R. H. D. **Morfologia urbana e história da cidade: o caso da área urbana de Pelotas, RS**. Salão de iniciação Científica (15.: 2003: Porto Alegre, RS). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2003.

SILVA, L. D´ARC T. Investigação do uso e aplicação das técnicas CFD para estudo e análise de ventilação natural por ação dos ventos em espaços urbanos. **Dissertação** (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015.

TOJA-SILVA, F., KONO, T., PERALTA, C., LOPEZ-GARCIA, O., CHEN, J. A review of computational fluid dynamics (CFD) simulations of the wind flow around buildings for urban wind energy exploitation. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 180, p. 66-87, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.07.010

TOMINAGA, Y., MOCHIDA, A., YOSHIE, R., KATAOKA, H., NOZU, T., YOSHIKAWA, M., SHIRASAWA, T. **AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings**. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics, 96 (10-11), 1749-1761, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jweia.2008.02.058

YANG, X., ZHANG, Y., HANG, J., LIN, Y., MATTSSON, M., SANDBERG, M., WANG, K. Integrated assessment of indoor and outdoor ventilation in street canyons with naturally-ventilated buildings by various ventilation indexes. **Building and Environment**, v. 169, p. 106528, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106528