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

Mesa d'água: caracterização do perfil transversal e superficial de velocidades do escoamento na base de ensaio

Mesa de agua: caracterización del perfil transversal y superficial de velocidades del flujo en la base de ensayo

Water table: characterization of the cross-sectional and surface velocity profile of the flow at the test base

Conforto térmico / *Confort térmico /Thermal comfort*

Gonçalves, Emanuel Kallyohan Soares

Graduando, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, emanuel.kallyohan@usp.br

Marguti, André Luiz

Professor Doutor, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, andre.marguti@usp.br

Lofrano, Fábio Cunha

Professor Doutor, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, fabio.lofrano@usp.br

Rossi, Michele Marta

Professora Doutora, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, michele.rossi@usp.br

Resumo

A mesa d'água é um canal hidráulico onde obstruções (modelos bidimensionais em escala reduzida) representam ambientes internos e externos, permitindo, com traçadores, a análise analógica de fenômenos da ventilação natural. Apesar de seu potencial didático, seu uso é limitado frente a métodos como túnel de vento e simulações computacionais, possivelmente devido à ausência de metodologia consolidada para aplicação e interpretação de resultados. Este artigo propõe ensaios para caracterizar o perfil de velocidades no eixo transversal da base ensaio, sendo um passo inicial na modelagem analítica da mesa d'água. Os resultados versam sobre as principais variáveis deste ensaio (perfil superficial de velocidades, tipologia do corpo de prova, altura da lâmina d'água e quantidade de *outliers* e variância dos dados medidos) e suas consequências diretas à avaliação da ventilação natural no processo de projeto do ambiente construído por meio de ensaios em mesa d'água.

Palavras-chave: Ventilação natural. Mesa d'água. Modelagem analítica. Perfil de velocidades.

Resumen

La mesa de agua es un canal hidráulico donde obstrucciones (modelos bidimensionales a escala reducida) representan ambientes interiores y exteriores, permitiendo, con trazadores, el análisis análogo de fenómenos de ventilación natural. Apesar de su potencial didáctico, su uso es limitado frente a métodos como el túnel de viento y las simulaciones computacionales, posiblemente debido a la falta de una metodología consolidada para su aplicación e interpretación de resultados. Este artículo propone ensayos para caracterizar el perfil de velocidades en el eje transversal de la base de ensayo, siendo un paso inicial en la modelización analítica de la mesa de agua. Los resultados abordan las principales variables de este ensayo (perfil superficial de velocidades, tipología del cuerpo de prueba, altura de la lámina de agua, cantidad de valores atípicos y varianza de los datos medidos) y sus consecuencias directas en la evaluación de la ventilación natural en el proceso de diseño del ambiente construido mediante ensayos en mesa de agua.

Palabras clave: Ventilación natural. Mesa de agua. Modelado analítico. Perfil de velocidades.

Abstract

The water table is a hydraulic channel where obstructions (two-dimensional scale models) represent indoor and outdoor environments, allowing, with the use of tracers, the analog analysis of natural ventilation phenomena. Despite its didactic potential, its use is limited compared to methods such as wind tunnels and computational simulations, possibly due to the lack of a consolidated methodology for application and result interpretation. This article proposes experiments to characterize the velocity profile along the transverse axis of the test base, representing an initial step in the analytical modeling of the water table. The results address the main variables of this experiment (surface velocity profile, type of test body, water sheet height, number of outliers, and variance of measured data) and their direct consequences for evaluating natural ventilation in the design process of the built environment through water table experiments.

Keywords: Natural ventilation. Water table. Analytical modeling. Velocity profile.

Introdução

A relação entre o setor da construção civil e as mudanças climáticas pode ser descrita como um ciclo auto-reforçante (Duan et. al, 2025), em face da expressividade do impacto ambiental gerado em escala global (cerca de 37%). Ações de mitigação e adaptação a essas mudanças têm se intensificado nos últimos anos (Sharifi, 2020). Neste contexto de crescente conscientização quanto à sustentabilidade, qualidade interna dos espaços e energias renováveis, Sakiyama et al. (2020) reforçam o papel crucial da ventilação natural nas edificações, especialmente em populações expostas a climas amenos e quentes, habituadas à sensação provocada pelas trocas térmicas (trocas convectivas e perda de calor). Contudo, os autores alertam para o fato que sua efetividade pode não ser facilmente alcançada, pois depende da adequada integração entre o projeto de edificação e o clima local. Essa ressalva reforça a importância fundamental do estudo desse tema.

Em resposta a isso, a mesa d'água é um equipamento potencialmente útil no processo de sensibilizar os estudantes acerca dos fenômenos complexos vinculados à ventilação natural no ambiente construído. Dotada de dois tanques de água interligados por uma base de ensaio, na qual o modelo físico bidimensional (em corte ou em planta) é disposto; a passagem do fluido (água acrescida de um indicador, usualmente o detergente lava-louças) de um tanque ao outro e pelo modelo físico, permite investigações, por analogia, de ventilação natural de forma instantânea, visual e didática.

Segundo Fortuna (2000), historicamente, o estudo do movimento dos fluidos foi inicialmente explorado por meio de experimentos, antes mesmo de ser investigado a partir de ferramentas matemáticas e numéricas. Kowaltowski e Neves (2023) apontam a oportunidade do uso de equipamentos e/ou modelos na ampliação da visualização e da compreensão do alunado acerca dos fenômenos físicos, contribuindo para o aprimoramento do seu repertório, sua formação e do produto do seu processo projetual.

Custódio (2022), ao revisar bases de dados e revistas especializadas, constatou a crescente bibliografia sobre a mesa d'água e sua aplicação em projeto (Toledo; Pereira, 2003; Pereira; Toledo, 2004; Royan; Vaidya; Mundhe, 2018; Rossi et al., 2019; Mundhe; Damle, 2020; Royan; Vaidya, 2020; Xavier et al., 2020; Custódio; Shimomura; Lukiantchuki, 2021). Embora a maioria das publicações confirmem o potencial didático da mesa d'água, as análises geralmente se restringem ao comportamento e à distribuição do escoamento ao redor ou no interior dos ambientes, ou seja, baseiam-se em avaliações qualitativas. São poucas as referências que

mensuram as variáveis aerodinâmicas relacionadas ao fenômeno da ventilação natural e seu impacto no processo de projeto do ambiente construído.

Toledo e Pereira (2003) apontam como principais limitações da mesa d'água no estudo de ventilação natural em edificações a análise bidimensional de um fenômeno estritamente tridimensional, a impossibilidade de aferições quantitativas ou de analogias de ventilação natural por ação térmica. Além disso, pode-se acrescentar às razões enumeradas pelos autores a questão sobre a utilização de fluidos (água e ar) de diferentes propriedades físicas. Este último item elucida uma condição importante que deve ser assegurada ao analisar fenômenos que regem a ventilação natural em edificações a partir de modelos reduzidos: as condições de semelhança entre os sistemas analisados (o real e o experimental). Essas condições são: (i) semelhança geométrica (forma geométrica e orientação em relação ao fluxo); (ii) semelhança cinemática (padrões de velocidades médias) e (iii) semelhança dinâmica (padrões de forças). Da adimensionalização das equações de *Navier-Stokes*, conclui-se que a garantia de semelhança cinemática e dinâmica ocorre quando observadas as igualdades, entre protótipo e modelo, de dois números adimensionais, respectivamente: número de Froude (Fr) e número de Reynolds (Re).

O número de Reynolds relaciona as forças inerciais e viscosas atuantes em um dado escoamento e, por conseguinte, caracteriza a difusão da quantidade de movimento da massa fluida. Por isso, esse adimensional é tradicionalmente empregado na caracterização do desenvolvimento de tensões no sistema e, do mesmo modo, no do perfil de velocidades — ambos determinantes na atribuição de um regime de escoamento: laminar, de transição ou turbulento.

Para escoamentos internos de fluidos viscosos entre placas paralelas (um modelo representativo do funcionamento de uma mesa d'água vista em planta), o perfil de velocidades para regime laminar é analiticamente determinado e apresenta formato parabólico, sendo a velocidade máxima, localizada no eixo de simetria, o dobro da velocidade média na seção transversal. Trata-se de um resultado clássico e amplamente difundido em livros introdutórios de mecânica dos fluidos (Prandtl, 1925; von Kármán, 1930). Por outro lado, a determinação do perfil de velocidades nos regimes de transição ou turbulento depende do grau de turbulência e, portanto, do valor de Re. Contudo, dado que o aumento da turbulência implica uma maior difusividade da quantidade de movimento, verifica-se uma homogeneização das velocidades médias das partículas fluidas. Isso faz com que, quanto

maior a agitação do escoamento, mais uniforme o perfil de velocidades passe a ser — partindo do eixo de simetria em direção às paredes (Pai, 1953; Barsanti et al., 1973).

No entanto, a mesa d'água, antes de ser um modelo analógico voltado ao estudo do escoamento de ar no ambiente construído, é um canal hidráulico operando sob escoamento livre e, portanto, totalmente dependente da ação gravitacional. Assim, embora tipicamente negligenciado nos estudos em mesas d'água, o número de Froude, que relaciona forças inerciais e gravitacionais atuantes sobre o escoamento, também deve ser observado. A negligência vigente torna-se ainda mais grave ao se considerar que a garantia de semelhança cinemática entre modelo e protótipo está atrelada à igualdade de Fr e que, atualmente, o apelo da mesa d'água se centra na analogia que estabelece com relação às velocidades ("padrões de escoamento"), e não com relação às forças (estas, sim, dependentes da semelhança dinâmica estabelecida pela igualdade de Re). Logo, a negligência quanto à caracterização de Fr em mesas d'água pode levar a visualizações equivocadas e, consequentemente, a explicações ou tomadas de decisões não realistas.

Portanto, a mesa d'água como qualquer método de análise, apresenta tanto potencialidades quanto limitações, mas é evidente que carece de abordagens que promovam o aprimoramento e a investigação de resultados quali e quantitativos. Avanços nesse sentido requerem definições quanto ao dimensionamento do aparato, à instrumentação acessória e ao protocolo de ensaio e de tratamento de dados. Assim, parte-se da hipótese de que, com o estabelecimento de uma metodologia adequada, a mesa d'água se torne uma ferramenta valiosa para ensino, pesquisa e projeto, legitimando-a como instrumento para o avanço e a democratização do conhecimento acerca da ventilação natural aplicada ao projeto do ambiente construído. Essa hipótese embasa um projeto maior que compreende a modelagem analítica, experimental e numérica da mesa d'água.

Neste artigo, apresenta-se um recorte inicial da sua modelagem analítica, investigando o perfil superficial de velocidades no eixo transversal da base de ensaio. Esses ensaios fazem parte de uma série cujo objetivo é analisar parâmetros quantitativos e qualitativos da caracterização do fluido (tipo de traçador, concentração de traçador por volume de água, viscosidade da solução resultante), do escoamento (velocidade, altura da lâmina da água em canal desobstruído, área ideal de obstrução), do modelo físico (materialidade, cor, escala). Os resultados dos ensaios subsidiarão um emprego mais rigoroso de análise dimensional que, por sua vez, informarão a prática experimental assim como auxiliarão na explicação dos resultados.

Método

O método exploratório experimental tem como objetivo aprimorar as condições de contorno para ensaios em mesa d'água, utilizados como meio de exploração do fenômeno da ventilação natural e, posteriormente, na aplicação dos conceitos adquiridos à prática projetual do ambiente construído. Neste trabalho, entre as condições de contorno, inicia-se pela investigação da caracterização do perfil superficial de velocidades no eixo transversal da base de ensaio, sendo este processo estruturado em quatro etapas, descritas a seguir: 1. Preparação para os ensaios; 2. Pré-testes; 3. Ensaios no canal desobstruído; e 4. Pós-processamento dos dados.

1. Preparação para os ensaios: Na primeira etapa, o objetivo foi definir a forma de registro dos ensaios (criação de nomenclatura para os ensaios que compuseram a matriz e elaboração de uma planilha para registros dos dados) e preparar o equipamento.

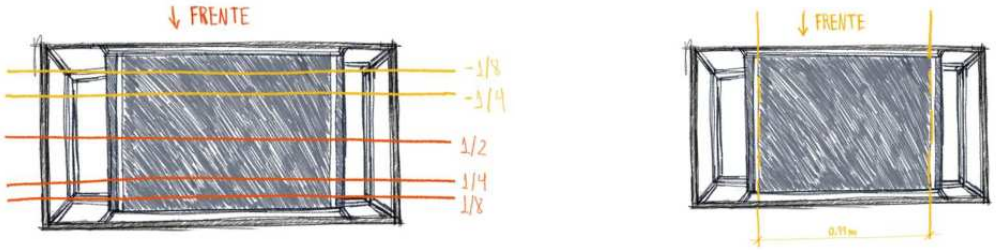
Quanto à **forma de registro dos ensaios**, a nomenclatura (MA_U_Cd(t)_2040_20_NHD, por exemplo) buscou sintetizar o objetivo do ensaio (matriz de ensaios (MA) para aferição de velocidade (U) no canal desobstruído (Cd) a partir de capturas de tempo (t)), no intervalo de frequências ensaiadas (de 20 a 40 Hz), e frequência sob análise (20 Hz, por exemplo) e, por fim, a característica do corpo de prova (não hidrodinâmico, NHD, ou hidrodinâmico, HD).

A planilha permitiu a tabulação de dados de tempo (s), deslocamento (m), velocidade (m/s) do corpo de prova para cada frequência observada, além da altura da lâmina (m). Também foram previstos espaços para identificar os operadores responsáveis pelos ensaios, datas e observações sobre ajustes nos procedimentos e ou alterações nos padrões de comportamento constatados durante os ensaios, que poderiam contribuir para a análise de resultados.

Quanto à **preparação do equipamento**, utilizou-se a mesa d'água do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo (LABAUT/ FAU-USP). O equipamento é caracterizado por dois tanques de água com capacidade de 92,5 l (0,74 m x 0,25 m x 0,50 m) cada. A área de ensaio apresenta aproximadamente 0,81 m^2 (1,10 m de comprimento e 0,74 m de largura). O sistema elétrico e hidráulico é composto por uma bomba trifásica de 0,95 cv e 60 Hz e um inversor de frequência, modelo CFW08 da WEG, atrelado à bomba.

Como o objetivo central dos ensaios era caracterizar o perfil superficial de velocidades no eixo transversal da base de ensaio do equipamento, a dimensão total (Dy= 0,74) foi segmentada em cinco eixos de interesse (1/8Dy, 1/4Dy, 1/2Dy, -1/4Dy, -1/8Dy). A escolha por um espaçamento de eixos que fosse mais densa próximo às paredes do que em relação ao eixo central se deve ao fato de que as variações de velocidade são mais intensas nessa região. Assim, um arranjo com medidas mais próximas às paredes conduz a uma otimização da matriz de experimentos. Além disso, demarcaram-se, com fita adesiva, dois eixos internos à dimensão longitudinal total da base de ensaio (Dx=1,10m), a fim de reduzir o comprimento do eixo de deslocamento analisado (Dx'= 0,99m), minimizando os efeitos da interação do escoamento com a borda do tanque a montante (Figura 1).

Figura 1: Demarcação dos eixos de interesse para os ensaios



2. Pré-testes: A etapa de pré-testes, fundamental para análises experimentais, caracterizou a segunda etapa metodológica e englobou três sequências de ensaios, realizadas em dias distintos. A partir deste conjunto de ensaios definiram-se: o tipo e a quantidade de detergente lava-louças; a forma de captura do tempo; a quantidade de medições por eixo; e a geometria dos corpos de prova a serem utilizados.

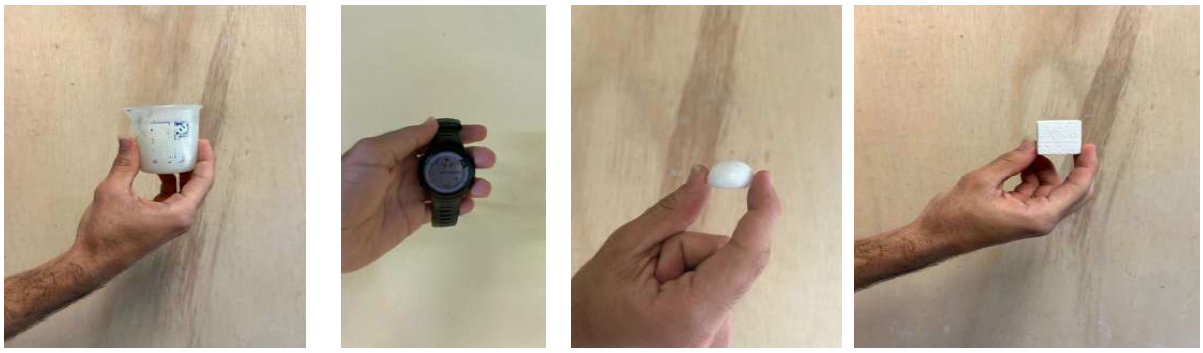
Quanto **ao tipo e a quantidade do detergente lava-louças**, adotou-se o detergente lava-louças Ypê Coco, com base nos resultados de Custódio (2022). A quantidade foi de 200 ml para um volume de água equivalente ao tanque montante com sua máxima capacidade e a jusante com ⅓ de sua capacidade preenchida (Custódio, 2022 e Toledo, Pereira, 2003) (Figura 2).

Quanto à forma de **mensuração do tempo**, utilizou-se um cronômetro digital ao invés do cronômetro disponível em *smartphones*. Este segundo não garante uma resposta imediata ou apresenta respostas diferentes frente à alteração de aparelho. Além disso, para minimizar o efeito de paralaxe, o responsável pela captura do tempo, disparava e travava o cronômetro,

locomovendo-se entre as fitas que demarcavam o início e o fim do percurso para cada medição (Figura 2).

Por fim, quanto à **geometria do corpo de prova**, os pré-testes indicaram a necessidade de utilizar ao menos dois tipos de corpos: um não hidrodinâmico e outro hidrodinâmico. O primeiro foi caracterizado por um cubo de isopor (EPS-Poliestireno) de alta densidade, com 3 cm de aresta, e o segundo por uma semiesfera de 2,5 cm de diâmetro (Figura 2).

Figura 2: Tipo e quantidade do detergente lava-louças, mensuração do tempo, geometrias dos corpos de prova



3. Ensaios no canal desobstruído: Após definidos os parâmetros, ocorreram os ensaios propriamente ditos no canal desobstruído. A mesa d'água teve seus tanques enchidos com aproximadamente 130 l de água. Na sequência, adicionou-se a quantidade de 200 ml de detergente lava-louças Ypê Coco ao volume de água. Após dois minutos de turbilhonamento do sistema (a uma frequência de 45Hz), a mistura água e detergente lava-louças atingiu o contraste desejado.

A matriz de ensaio foi desenhada com 250 medições para cada tipologia de corpo de prova (sendo 50 medições para cada frequência e 10 capturas para cada eixo de interesse). A faixa de frequência analisada foi de 20Hz a 40Hz, com intervalos de 5Hz, totalizando cinco cenários: 20, 25, 30, 35 e 40Hz.

As capturas de tempo em cada eixo de interesse (1/8Dy, 1/4Dy, 1/2Dy, -1/4Dy, -1/8Dy) foram realizadas com auxílio de corpos de prova (cubo e semiesfera de isopor, corpos não hidrodinâmico e hidrodinâmico, respectivamente). As tomadas capturaram o tempo de deslocamento do corpo no eixo longitudinal da base de ensaio. Mesmo se tratando de uma forma retangular e, consequentemente, simétrica, optou-se por aferir nos eixos

diametralmente opostos para mapear e investigar possíveis alterações na caracterização do escoamento.

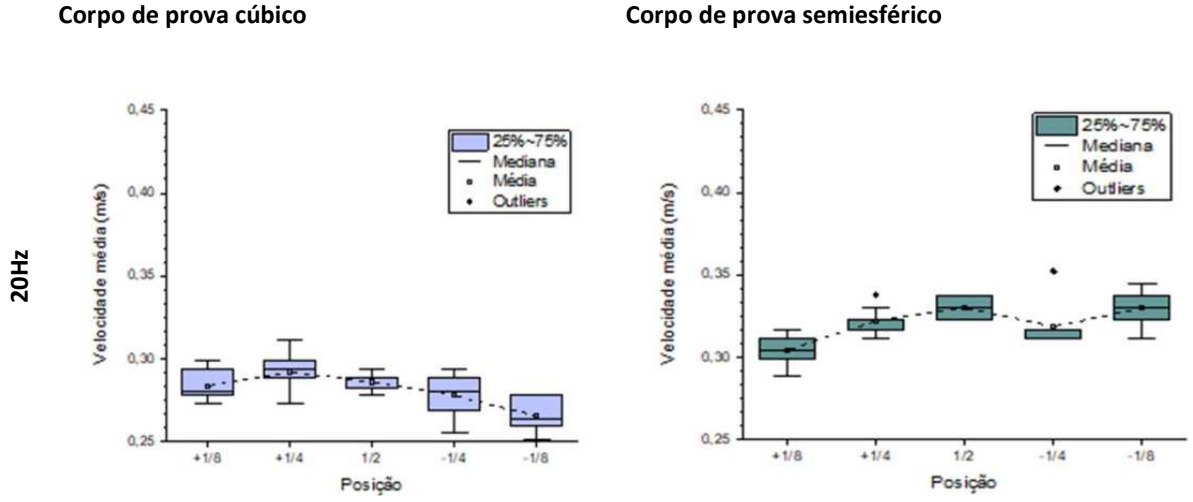
4. Pós-processamento dos dados: Com domínio dos valores de tempo que cada tipologia de corpo de prova levou para percorrer o comprimento no eixo longitudinal da base de ensaio pré-estabelecido, as velocidades médias foram calculadas (Velocidade média (m/s) = ΔS, deslocamento (m) /Δt, tempo (s)). As velocidades médias correspondentes embasaram o desenvolvimento de gráficos tipo *boxplot*, que compilaram valores máximos, mínimos, médios e medianos por ponto de interesse.

Resultados e discussão

Na Figura 3 os gráficos que compilam as 500 medições de velocidade média (m/s) do escoamento são organizados em uma única matriz com a finalidade de potencializar a análise comparativa dos resultados. As colunas indicam a tipologia do corpo de prova (cúbico e semiesfera, não hidrodinâmico e hidrodinâmico, respectivamente), enquanto as linhas, a frequência do inversor (20Hz, 25Hz, 30Hz, 35Hz e 40Hz). Individualmente, cada gráfico, a partir do recurso de *boxplot*, compila a totalidade das velocidades médias (m/s, no eixo Y) calculadas a partir das capturas de tempo e de deslocamento nos eixos de interesse ao longo da largura da base de ensaio (1/8Dy, 1/4Dy, 1/2Dy, -1/4Dy, -1,8Dy, no eixo X).

As principais variáveis e consequências diretas à avaliação da ventilação natural no processo de projeto do ambiente construído são sintetizadas na tabela-resumo (Tabela 1).

Figura 1: *Boxplots* das velocidades médias para cada frequência e eixo de interesse



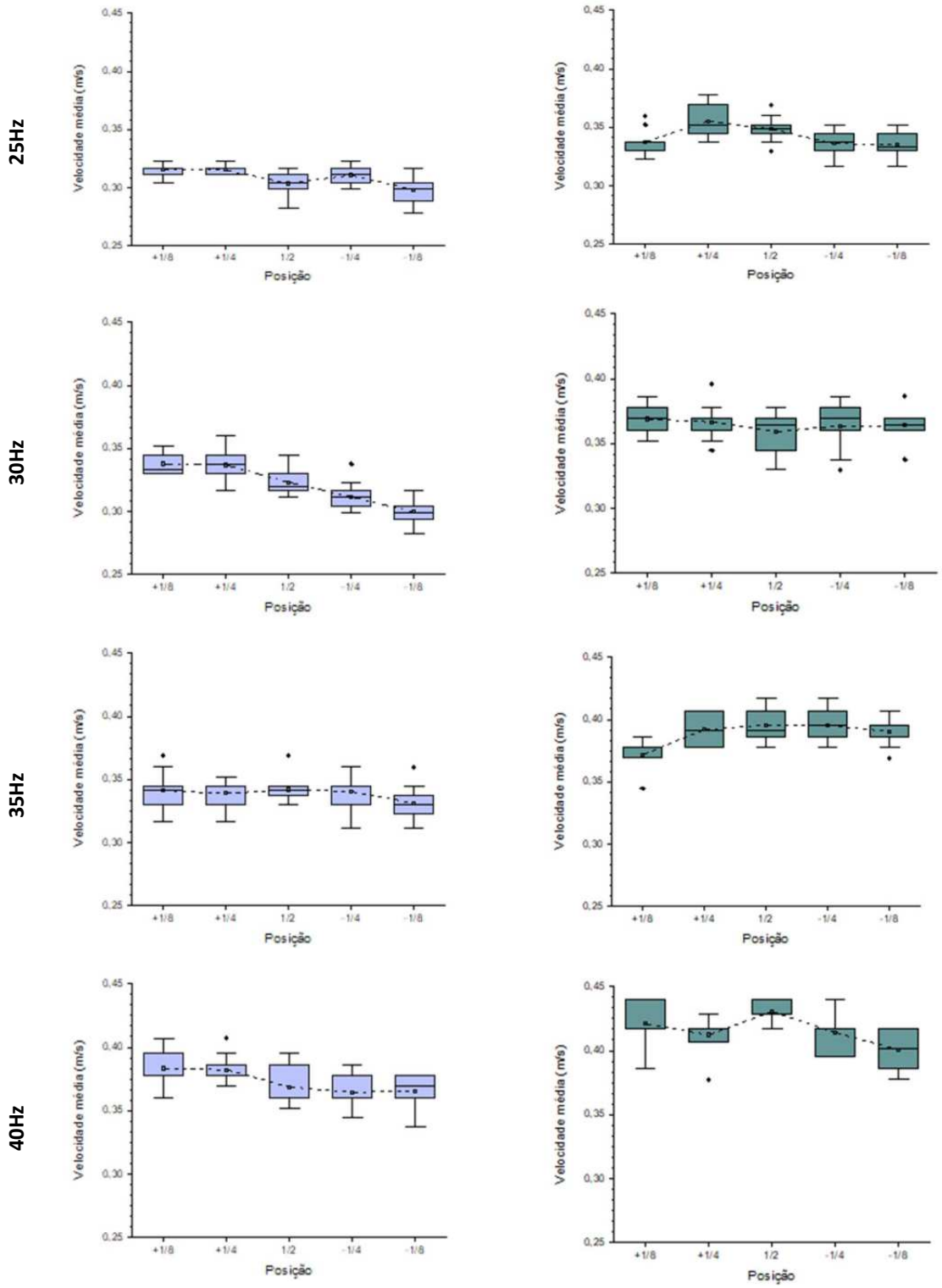

25Hz
30Hz
35Hz
40Hz
Velocidade média (m/s)
0,45
0,40
0,35
0,30
0,25
+1/8
+1/4
1/2
-1/4
-1/8
Posição

Tabela 1: Principais variáveis e consequências diretas à avaliação da ventilação natural no processo de projeto do ambiente construído

Perfil superficial de velocidades	A partir da comprovação da variação de velocidades entre os pontos, concluímos que há formação de um perfil. Isso implica na necessidade de estabelecer, assim como em túneis de vento, um limite de taxa de obstrução, no caso do canal, a fim de garantir que os fenômenos observados sejam reproduzidos de forma fidedigna ao real, ou seja, sem interferência do efeito de parede. Seria de se esperar que o perfil de escoamento fosse simétrico com relação ao eixo central da mesa. Contudo, isso não foi observado. Essa assimetria pode ser atribuída a possíveis desníveis na base de ensaio ou à insuficiente regularização do fluxo recalcado pela bomba. De todo modo, a presença de um componente transversal de escoamento pode alterar significativamente os resultados e, portanto, a interpretação dos fenômenos estudados na mesa d'água.
Tipologia do corpo de prova	De maneira geral, padrões de velocidades médias mais elevados foram observados no corpo hidrodinâmico (semiesfera) quando comparados às situações correspondentes para o corpo não hidrodinâmico (cubo). Os efeitos decorrentes são ocasionados pela própria geometria do corpo de prova, diferenciando-os na interação fluido-sólido, com áreas de separação e de esteira mais pronunciadas no corpo não hidrodinâmico. No caso da semiesfera, constatou-se, durante os ensaios, uma maior tendência à rotação, o que pode ter incrementado o deslocamento real percorrido pelo corpo ("efeito Magnus").
Altura da lâmina d' água	A altura da lâmina aumentou progressivamente com o incremento dos valores no inversor de frequência (0,003m a 0,0045m em 20 e 40Hz, respectivamente). No entanto, possivelmente, em razão do seu valor diminuto, as ações de camada-limite desenvolvida no seu eixo vertical são desprezíveis para este tipo e escala de análise. Entretanto, a depender da declividade da mesa, esse aumento de vazão pode levar a regimes não uniformes de escoamento — isto é, a escoamentos sujeitos a variação espacial da velocidade ("aceleração"). Esse fenômeno deve ser investigado por meio do número de Froude (e não pelo número de *Reynolds*), corroborando a sua importância para o tipo de investigação desejada.
Quantidade de *outliers* e variância dos dados medidos	Além da influência das variáveis já mencionadas, a maior quantidade de *outliers* e a maior variância nos dados de velocidade média para os diversos cenários do corpo hidrodinâmico, em comparação ao cúbico, indicam a necessidade de aprimoramentos no ensaio proposto antes de chegar a conclusões finais. Percursos maiores percorridos pela semiesfera, devido à sua evidente tendência de rotação, percursos parabólicos ou inclinados observados em ambos os casos, e as inconstâncias na captura do tempo real de cruzamento da geometria nas extremidades, sugerem a necessidade de um ambiente mais controlado. Dentre as medidas vislumbradas, estão o emprego de sensores para a captura de tempo e a redução de graus de liberdade disponíveis aos flutuantes (fixação física do eixo e restrição de rotação), forçando-os a percorrer o trajeto ao longo de um eixo balizador, por exemplo.

Conclusão

Conforme mencionado, conclusões finais não podem ser asseguradas devido à necessidade de aprimoramentos no ensaio proposto, indicados pelos padrões observados nos dados pós-

processados. Assim, próximos ensaios contarão com controle automatizado de tempo, corpo hidrodinâmico forçado a percorrer o percurso em um eixo balizador, a fim de restringir graus de liberdade à variável de velocidade aferida.

Mesmo que, após extensivas investigações, venha a ser constatado que a mesa d'água seja, essencialmente, uma ferramenta voltada para análises qualitativas, é essencial a determinação de uma metodologia de instrumentação, ensaio e análise de dados, principalmente pelo seu potencial didático, amplamente comprovado pela literatura científica especializada. Ao possibilitar a visualização de conceitos abstratos, como a ventilação natural, a mesa d'água contribui para ampliar o repertório aos futuros projetistas, além de aprofundar o conhecimento e o entendimento dos efeitos aerodinâmicos. Portanto, é imprescindível que os efeitos observados, repertoriados e aplicados na prática projetual traduzam de forma fiel os fenômenos envolvidos. Uma fundamentação teórica e prática projetual consistente são ações para mitigar os impactos no contexto das mudanças climáticas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao LABAUT / FAU-USP, ao apoio técnico de Ranieri Higa e ao auxílio dos discentes Gustavo Goia e Marcos Nascimento e da docente Dra. Luciana Alves na condução dos ensaios. Ademais, ao Programa Unificado de Bolsas (PUB-USP) e ao Programa de Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC - CNPq) pelo apoio financeiro.

Referências bibliográficas

Barsanti, G., Ciampi, M., Faggiani, S. et al. On velocity and temperature distribution in turbulent flow between parallel plates**. Meccanica** 8, 96–101 (1973).

Custódio, M. I. P.; Shimomura, AL. R. P.; Lukiantchuki, M. A. Visualização analógica da ventilação natural na mesa d' água: avaliação do desempenho por injeção direta. In: XVI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído / XII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...**Palmas: ANTAC, 2021.

Custódio, M.I.P. **O potencial da mesa d'água como ferramenta qualitativa para avaliação da ventilação natural em edificações**. Dissertação de mestrado. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2021.

Duan, Z.; Wilde, P.; Attia, S; Zuo, J. Challenges in predicting the impact of climate change on thermal building performance through simulation: A systematic review. **Applied Energy**, v.382, 2025.

Fortuna, A. O. **Técnicas computacionais para dinâmica dos fluidos**. 2a.ed. São Paulo: EDUSP, 2012.

PAI, S.I. On Turbulent Flow Between Parallel Plates. J. **Appl. Mech.** Mar 1953, 20(1): 109-114.

Pereira, F. O. R.; Toledo, A. M. Analogical Visualization of Natural Ventilation in Buildings due to Wind Action. **Conference on Passive and Low Energy Architecture**., n. September, p. 19–22, 2004.

Prandtl, L. 7. Bericht über Untersuchungen zur ausgebildeten Turbulenz. **Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik**, v. 5, n. 2, p. 136-139, 1925.

Ribeiro, P. V. S.; Bittencourt, L. S. Contribuição da mesa d'água na análise da geometria de sheds extratores e captadores de ar para ventilação natural. XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído- ENTAC. **Anais...**São Paulo: ANTAC, 2016.

Rossi, M. M. et al. A mesa d'água como ferramenta de apoio para a caracterização deum modelo genérico a ser ensaiado em túnel de vento. **Revista IPT: Tecnologia e Inovação**, p.70–80, 2019.

Royan, M. E.; Vaidya, P.; Mundhe, P. Teaching natural ventilation using water table apparatus: a classroom teaching, simulation and design tool. PLEA 2018 - Smart and Healthy within the Two-Degree Limit: **Proceedings**…v. 1, p. 898–903, 2018.

Royan, M.; Vaidya, P. Construction, validation and testing of a water table for natural ventilation analysis. **Energy and Buildings**, v. 226, p. 110356, 2020.

Sakiyama, N.R.M; Carlo, J.C.; Frick, J.; Garrecht, H. Perspectives of naturally ventilated buildings: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.130, p.1, 2020.

Sharifi, A. Trade-offs and conflicts between urban climate change mitigation and adaptation measures: A literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 276, 2020.

Toledo, A. M.; Pereira, F. O. R. O potencial da mesa d'água para a visualização analógica da ventilação natural em edifícios. **Repositório USP**, n. 1, p. 1383–1390, 2003.

Von Karman, T. Mechanische Ähnlichkeit und Turbulenz, Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Fachgruppe, 1 (Mathematik), 5, 58–76. 1930.

Xavier, A. C. de A. et al. Visualização da ventilação natural em ensaios na mesa d'água comparado a simulações computacionais. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. e020020-1, p. 1–16, 2020.