

Estudo do efeito de vizinhança em edificações sujeitas à ação do vento

Study of the neighborhood effect on buildings subject to wind action

Gabriela Porfírio Luiz^{a*}, Graziela Akassaka Rabachini^a,
Tiago Santos de Araújo^a, Gabriel Borelli Martins^b, Gilder Nader^b

Resumo

A norma brasileira de vento, no tema efeito de vizinhança, é bastante limitada, pois considera apenas os efeitos de aumento nos coeficientes de pressão externa, entre edificações vizinhas, até um limite de 30 % e somente para efeitos de edificações com baixa altura. Situações diferenciadas, com edifícios de grande porte ou em um cenário urbano densamente construído, necessitam de ensaio em túnel de vento para determinação com exatidão das alterações da carga de vento e, assim, permite um melhor dimensionamento das estruturas e dos sistemas construtivos. Este artigo apresenta resultados da análise de modelos reduzidos, na escala 1:40, de galpões vizinhos, com as mesmas dimensões, ensaiados em diversas configurações em túnel de vento. Verificou-se que o aumento dos coeficientes de pressão externa da edificação, submetida ao efeito de vizinhança, aumentou no geral, em 30 %, conforme prescrito na norma, mas também se observaram aumentos de até 159 % na sucção, em pontos localizados, o que afeta diretamente o dimensionamento de fachadas. Além disso, obtiveram-se minorações de até 85 % dos coeficientes de forma de sobrepressão. Esses resultados indicam que há necessidade de ampliar os estudos em túnel de vento de efeito de vizinhança para fornecer dados mais abrangentes para a revisão da norma.

Abstract

When dealing with neighborhood effects, the Brazilian wind standard just considers the increase in external pressure coefficients up to a limit of 30 % and only for low-rise buildings. For tall buildings, which are present in many big centers, as well as for densely built urban areas, wind tunnel studies are required in order to make better predictions of wind loads on buildings. This paper presents the results

a Faculdade de Tecnologia Victor Civita.
São Paulo-SP, Brasil.

*E-mail:
gabriela-porfirio@hotmail.com

b Instituto de Pesquisas Tecnológicas.
São Paulo-SP, Brasil.

Palavras-chave:

ação do vento; efeito de vizinhança; coeficientes aerodinâmicos; túnel de vento; ABNT NBR 6123.

Keywords:

wind action; neighborhood effect; aerodynamic coefficient; wind tunnel; ABNT NBR 6123.

of wind tunnel tests done with 1:40 models of neighboring sheds for several configurations. It was observed that, in general, the external pressure coefficients increased about 30 %, as described by the Brazilian wind standard. However, locally, suction increased even further, up to 159 %, while for some wind directions, when one shed is located downstream to the other, there was actually a decrease in the pressure coefficients. The results show the importance of wind tunnel studies for both specific projects and standard reviews.

1 Introdução

De acordo com os fundamentos estabelecidos na norma NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988), a ação do vento provoca, predominantemente, um carregamento estático nas edificações, porém, resulta em efeitos dinâmicos consideráveis, principalmente em edificações esbeltas e flexíveis. Esses efeitos não podem ser desprezados, pois podem aumentar as solicitações e levar a estrutura à ruína.

O carregamento estático é condicionado ao regime de escoamento nos corpos que, nas edificações, por serem consideradas corpos rombudos angulosos (não aerodinâmicos), apresentam linhas de correntes não aderentes à superfície do corpo, mas que se desprendem em pontos definidos, invariáveis: nas arestas vivas, formando uma esteira turbulenta e larga, sujeita à interferência de edificações adjacentes. Esse princípio de separação do escoamento norteia a distribuição dos coeficientes aerodinâmicos ao longo da edificação, que exercem esforços em sobrepressão, assumindo uma pressão efetiva superior à pressão atmosférica, sinal positivo; e esforços em sucção, quando a pressão admitida é inferior à pressão atmosférica de referência, sinal negativo (BLESSMANN, 1990).

A constante transformação do ambiente urbano altera de maneira arbitrária o comportamento e o padrão de escoamento do vento e, conseqüentemente, a sua influência na resposta estrutural das edificações. Fenômenos de interferência ocasionados pela interação das edificações podem afetar, parcial ou completamente, o campo aerodinâmico da estrutura em estudo, com conseqüente variação dos coeficientes aerodinâmicos e desconforto aos usuários e transeuntes (ALBERTI, 2015).

Segundo diretrizes normativas, os esforços provenientes da ação do vento em edificações sob a interferência da vizinhança são majorados por três razões distintas, dentre elas: o Efeito Venturi, que causa o aumento da velocidade do vento nas paredes confrontantes das edificações, em decorrência da proximidade das construções; a deflexão vertical do vento, onde há um aumento da velocidade do vento em regiões próximas ao solo, devido à presença de obstáculos e outras edificações, de menor porte, na região a barlavento da estrutura analisada; e a turbulência da esteira, com edificações de maior porte gerando uma região de turbulência na sua esteira a sotavento e efeitos dinâmicos na edificação em estudo, de menor porte.

Há ainda as alterações nos coeficientes aerodinâmicos das edificações alinhadas na direção do vento, que são provenientes do fenômeno de escoamento do fluido na estrutura, dentre os quais, destaca-se o regime de escoamento de corpo isolado, quando a distância entre as edificações permite a reestruturação do padrão do fluxo, causando, na edificação adjacente, efeitos desprezíveis; o regime de escoamento de interferência de esteira, que gera impactos consideráveis na edificação em estudo, provenientes da proximidade das edificações, constituindo um escoamento turbulento e vórtices instáveis; e o regime de escoamento deslizante, que atribui à vizinhança o efeito protetor, pois, atenua a ação do vento na edificação em estudo (COOK, 1990).

A análise do efeito de vizinhança em edificações sujeitas à ação do vento está embasada no ANEXO G da norma NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988). Essa diretriz normativa é incapaz de estabelecer critérios padronizados por ser condicionado por diversos fatores, como as dimensões e geometrias das edificações, as configurações de vizinhança, o afastamento entre as estruturas, a orientação da incidência do fluxo, a topografia do terreno e outros aspectos (KHANDURY; STATHOPOULOS; BÉRDARD, 1998).

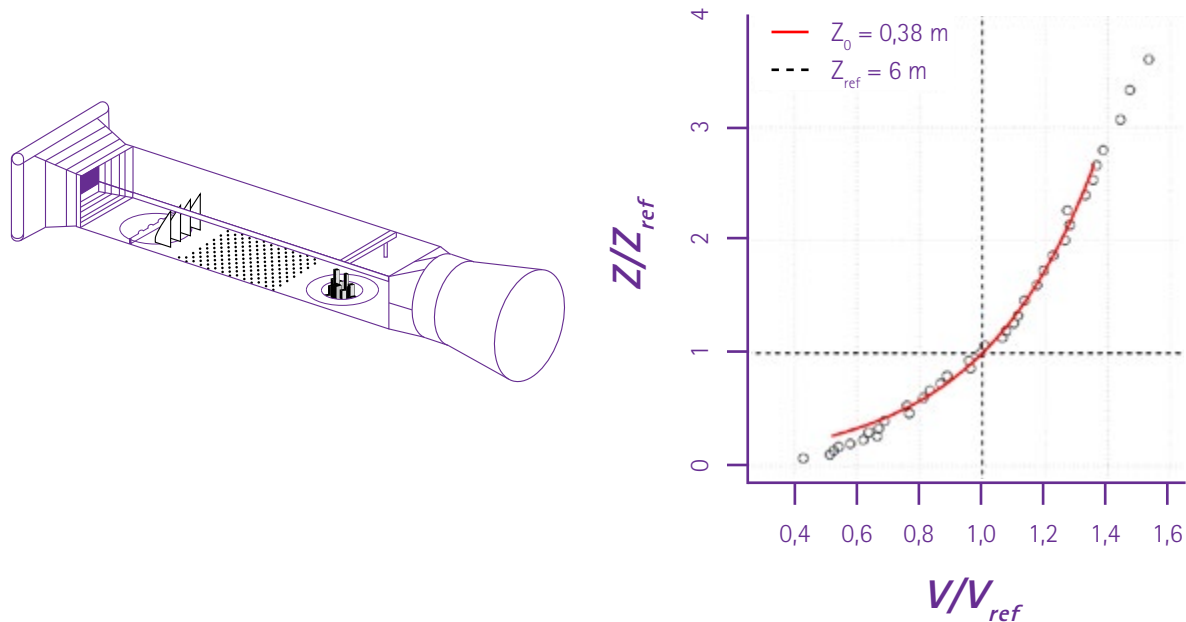
É evidente, portanto, a necessidade de analisar as interações entre as edificações, imersas no atual contexto urbano, tendo como base as diretrizes normativas e os ensaios experimentais em túnel de vento. Assim, é possível simular e reproduzir o escoamento do vento natural e obter dados mais precisos e fidedignos, a fim de garantir a segurança, possíveis reduções orçamentárias nos projetos estruturais, a estabilidade e a resistência no dimensionamento dos elementos de vedação e suas fixações e dos componentes da fachada e cobertura.

2 Materiais e Métodos

Tendo como objetivo analisar o efeito de vizinhança em uma edificação para fins industriais, foram determinados coeficientes de forma (C_e) e de pressão (c_{pe}) externos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988), obtidos experimentalmente por meio de ensaios em túnel de vento.

Os ensaios experimentais foram executados no túnel de vento de camada limite atmosférica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, ilustrado na **Figura 1**, que possui seção de teste de 28 m de comprimento, 3 m de largura e 2 m de altura. Esse é um túnel de vento de circuito aberto, com ventilador axial operando em sucção. O vento natural é modelado de acordo com o método de Counihan (1969), utilizando a montante do modelo reduzido uma barreira castelada, geradores de vórtices e rugosidade no piso, composta por blocos de 80 mm x 80 mm x 15 mm (altura x largura x espessura, respectivamente) e espaçadas 300 mm na transversal e na longitudinal ao túnel, em configuração diamante. Para esse estudo foi modelado um terreno da Categoria III (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988), com perfil de velocidade do vento ilustrado na **Figura 1**, para o qual se obteve comprimento de rugosidade $z_0 = 0,38$ m.

Figura 1 - Representação 3D do túnel de vento e perfil de velocidades com comprimento de rugosidade $z_0 = 0,38$ m



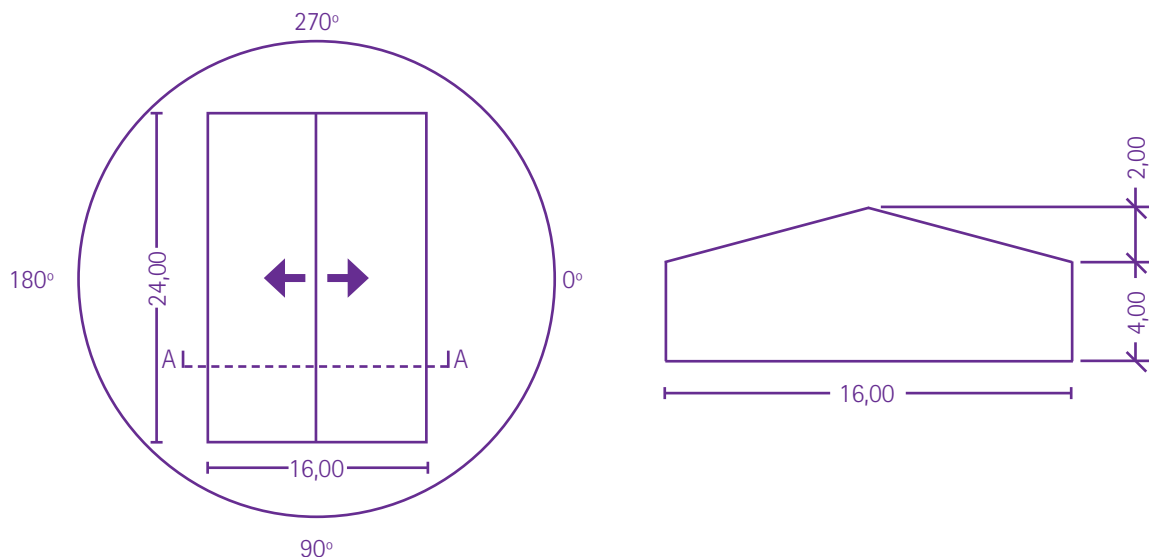
Fonte: elaborado pelo autores

As análises foram realizadas com dois modelos de galpões com cobertura em duas águas, planta retangular de 24 m x 16 m e altura de 6 m (**Figura 2**), que foi utilizada com altura de referência no ensaio (Z_{ref}). Um dos modelos era mudo e o outro estava instrumentado com 206 sensores da *Pressure Systems*. A escala reduzida utilizada foi 1:40. Os ensaios foram realizados, inicialmente, com o galpão isolado e, posteriormente, com duas condições de vizinhança em distintas disposições (frontal e lateral), ilustradas na **Figura 3**, e espaçamentos (4,2 m e 8,0 m) entre os galpões. Todos os dados obtidos foram processados através de uma rotina no software livre R versão 2.4.4¹ e analisados no software livre *Visit* versão 2.7.1².

¹ <https://www.r-project.org/>

² <https://visit.llnl.gov/>

Figura 2 – Planta baixa e corte AA (dimensões em metros)

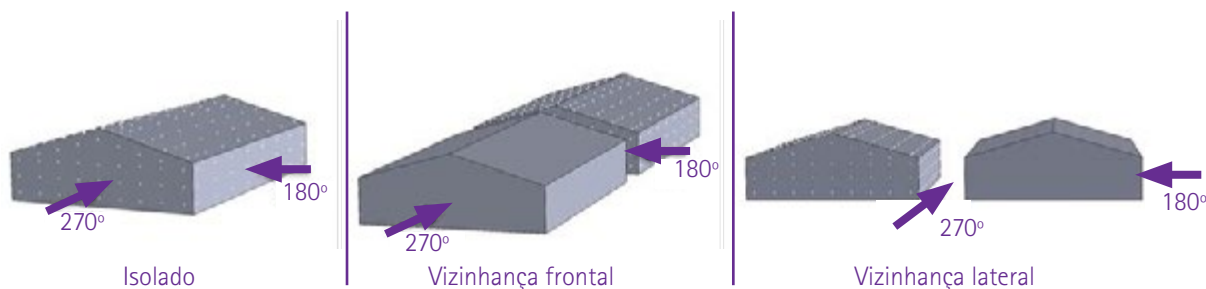


Fonte: elaborado pelo autores

As diretrizes normativas orientaram a determinação dos coeficientes aerodinâmicos na edificação e na sua cobertura, a partir de relações entre suas dimensões e o ângulo de inclinação do telhado. Além disso, ela prescreve as zonas de influência de cada um desses coeficientes, que são subdivididas quando há consideráveis variações de pressão.

Os valores percentuais que representam as alterações, majoração e minoração, dos coeficientes aerodinâmicos (C) são denominados fatores de vizinhança, obtidos a partir da razão $Fv = C$ edificação com vizinhança C edificação isolada, para cada face sob a influência de ambas as configurações de vizinhança e das distintas orientações do escoamento.

Figura 3 – Configurações de vizinhança



Fonte: elaborado pelo autores

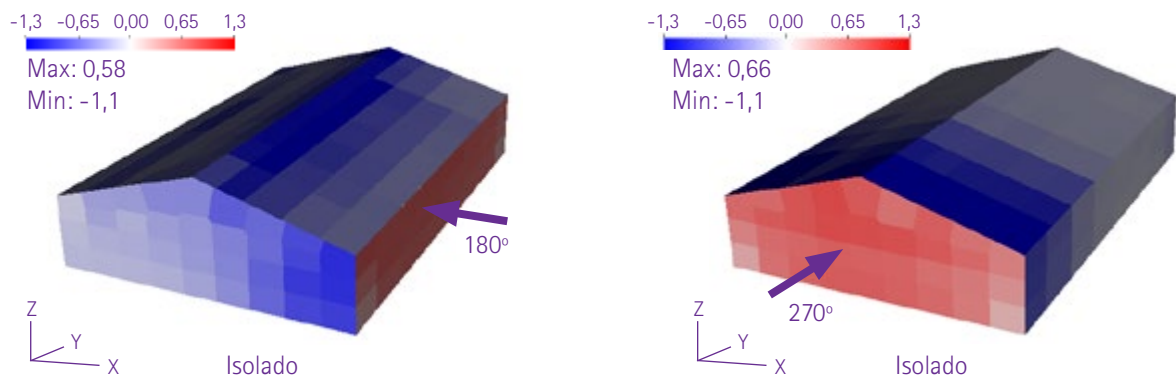
3 Resultado

Nessa seção, são apresentados os resultados e análises comparativas dos dados obtidos experimentalmente em termos de coeficientes aerodinâmicos de forma (C_e) e de pressão (c_{pe}) externos, para a condição isolada e com vizinhança, sob as distintas orientações ortogonais do vento.

3.1 Isolado

No galpão isolado, os coeficientes aerodinâmicos, ilustrados na **Figura 4**, distribuíram-se em cada uma das faces da edificação em estudo de acordo com a orientação de incidência do vento e do fenômeno de escoamento ao longo da estrutura. Notou-se a predominância de maiores valores de C_e em sobrepressão, representados pelas tonalidades da cor vermelha, nas regiões centrais da face barlavento, que foram minorados ao decorrer de sua extensão. Nos cantos vivos da edificação, houve descolamento do vento, ocasionando sucção na fachada e cobertura. Os coeficientes aerodinâmicos em sucção foram representados pela variação na tonalidade da cor azul (**Figura 4**). As análises do efeito de vizinhança e a determinação dos fatores de vizinhança (F_v) foram realizadas em relação às medições experimentais com o galpão isolado.

Figura 4 – Distribuição de C_e e c_{pe} experimentais sob as distintas incidências do vento



Fonte: elaborado pelo autores

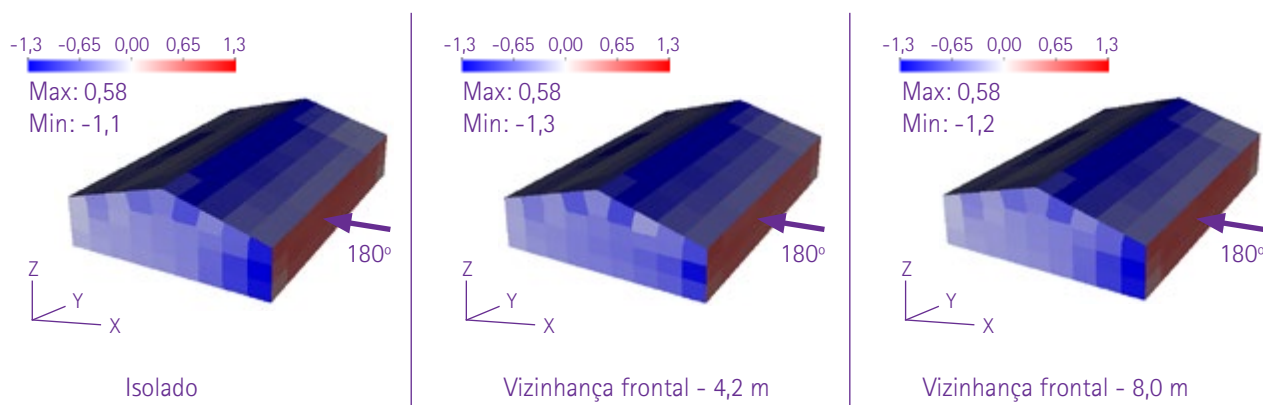
3.2 Vizinhança frontal

No galpão submetido à condição de vizinhança frontal, sob a incidência do vento a 180° notou-se a ocorrência do efeito Venturi, especificado na ABNT 6123, que resultou em um aumento da velocidade do vento e na formação de regiões instáveis e turbulentas, com altas sucções (**Figura 5**). Observou-se, contudo, variações dos coeficientes de pressão externa na sucção (c_{pe}), representados pelas tonalidades da cor azul, em todas as paredes do galpão e na sua cobertura. Para essa condição de vizinhança, em comparação à condição isolada, as majorações significativas se concentraram na face confrontante ao vizinho, adjacente à esquerda de barlavento.

Para a vizinhança distante 4,2 m do galpão analisado (**Figura 5**), as significativas majorações foram encontradas nas regiões à esquerda e central dessa face com um valor médio de $Fv=1,62$. Uma estreita faixa da região central apresentou $Fv=1,25$. Nos trechos iniciais, à direita dessa face, foi verificada uma minoração dos cpe na sucção, com $Fv=0,85$. Nas proximidades da cumeeira e nas extremidades da cobertura, os cpe na sucção foram majorados e apresentaram $Fv=1,18$ e $Fv=1,27$, respectivamente.

Para o espaçamento da vizinhança a 8,0 m (**Figura 5**), nas regiões à esquerda e central atestaram-se consideráveis majorações, com $Fv=1,40$. Uma faixa estreita na região central dessa face apresentou $Fv=1,10$. Uma pequena região inicial, à direita dessa face, apresentou um valor médio de $Fv=1,23$. Em um curto trecho inicial, à direita da face analisada, os cpe na sucção foram minorados e verificou-se um $Fv=0,88$. Foram geradas zonas de altas sucções na região da cumeeira, que apresentou um valor médio de $Fv=1,15$. Além disso, atestou-se um $Fv=1,18$ nas extremidades da cobertura.

Figura 5 – Distribuição dos C_e e cpe , experimentais, sob a incidência a 180° e o efeito de vizinhança frontal



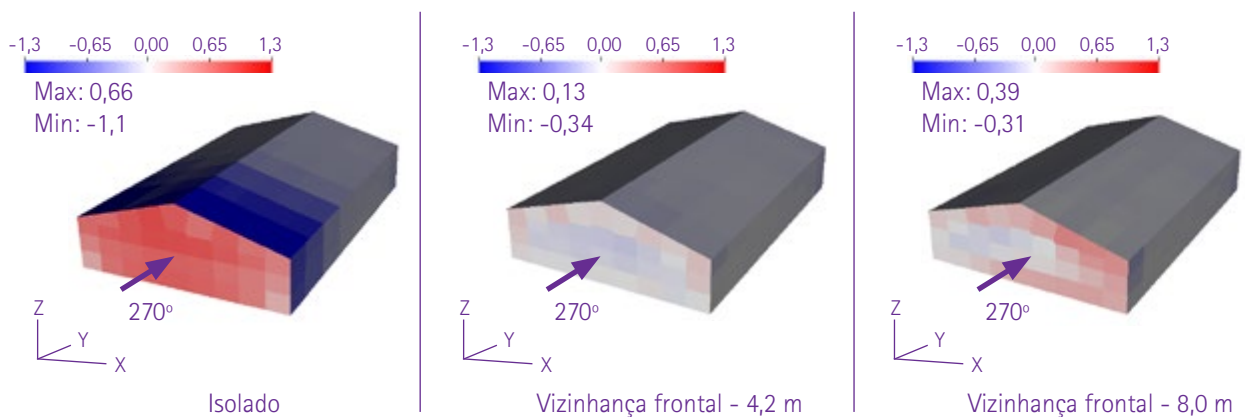
Fonte: elaborado pelo autores

O vento orientado a 270° (**Figura 6**) incidiu diretamente na edificação vizinha, que exerceu uma sombra de vento no galpão analisado, reduzindo os esforços solicitantes na estrutura em comparação à condição isolada. De modo geral, na face barlavento os coeficientes de forma em sobrepressão (C_e), representados nas tonalidades da cor vermelha, foram minorados e, em sua maioria, passaram a ser de sucção, ilustrados em tonalidades de azul. Nas demais faces e na cobertura os coeficientes de pressão (cpe) foram reduzidos.

Para a vizinhança distante 4,2 m do galpão analisado, ilustrada na **Figura 6**, observaram-se as seguintes variações: na face barlavento os C_e foram minorados e apresentaram $Fv=0,19$ e na região central dessa face predominaram os C_e em sucção. Na cobertura, obteve-se valores médios de $Fv=0,12$ nos trechos iniciais, de $Fv=0,43$ na região intermediária, e de $Fv=0,78$ nos trechos finais.

Na **Figura 6**, também são ilustradas as variações no galpão analisado sob a influência dessa vizinhança distante 8,0 m. Na face barlavento, observou-se um $Fv=0,29$ e, na região central, a concentração de C_e em sucção foi menor em comparação ao espaçamento da vizinhança a 4,2 m. Na região da cobertura houve uma redução no cpe com o $Fv=0,10$, $Fv=0,35$ e $Fv=0,64$, respectivamente, para as zonas inicial, intermediária e final.

Figura 6 – Distribuição dos C_e e cpe , experimentais, sob a incidência a 270° e o efeito de vizinhança frontal



Fonte: elaborado pelo autores

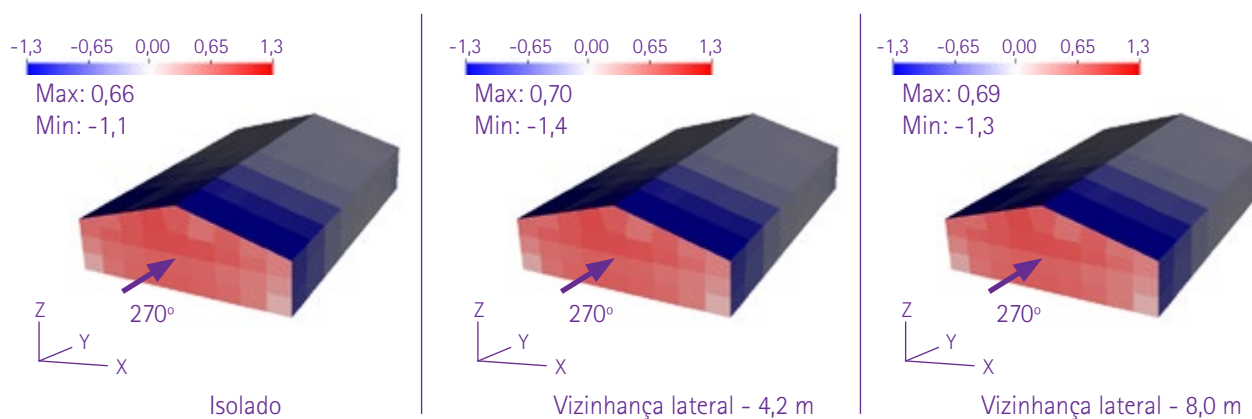
3.3 Vizinhança lateral

No galpão submetido à condição da vizinhança lateral sob a incidência do vento a 270°, notou-se a ocorrência do efeito Venturi, especificado na NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988), que ocorre devido à proximidade das edificações e o afunilamento da passagem para o escoamento, havendo assim um aumento da velocidade do vento e a formação de regiões instáveis e turbulentas, com altas sucções (**Figura 7**). Observaram-se, contudo, variações dos cpe em sucção, representados nas tonalidades da cor azul, sob a influência da vizinhança em comparação à condição isolada, em todas as paredes do galpão e na sua cobertura, porém, as majorações significativas concentraram-se na face confrontante ao vizinho, adjacente à direita de barlavento.

Para a vizinhança distante de 4,2 m do galpão analisado, ilustrado na **Figura 7**, nos trechos iniciais, à esquerda da face analisada, obteve-se $Fv=1,56$. As majorações significativas foram encontradas na região central e mais à direita dessa face, com um valor médio de $Fv=2,59$. Numa estreita faixa final, à direita dessa face, foi verificado $Fv=1,49$. Na cobertura, notou-se $Fv=1,29$ no trecho inicial, $Fv=1,42$ no trecho intermediário e $Fv=1,48$ no trecho final.

Para o espaçamento da vizinhança a 8,0 m, ilustrado na **Figura 7**, notaram-se: $Fv=1,32$ nos trechos iniciais, mais à esquerda dessa face; significativas majorações na região central e à direita dessa face, com um $Fv=2,26$; uma estreita faixa final à direita dessa face com um $Fv=1,35$. Na cobertura, nos trechos inicial, intermediário e final, obtiveram-se os respectivos valores de $Fv=1,22$, $Fv=1,34$ e $Fv=1,41$.

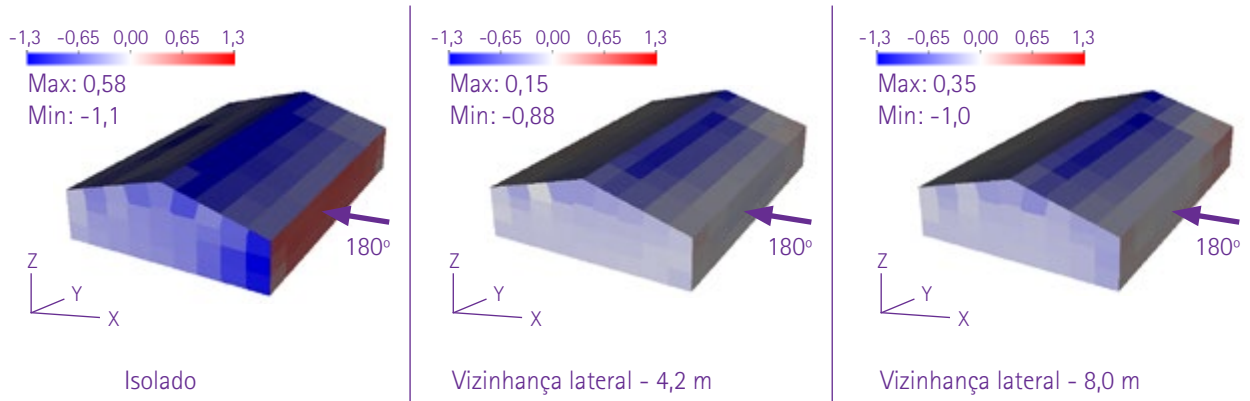
Figura 7 - C_e e c_{pe} , experimentais, na edificação sob a incidência de 270° e o efeito da vizinhança lateral



Fonte: elaborado pelo autores

Para o vento orientado a 180° (**Figura 8**), houve incidência diretamente na edificação vizinha, que exerceu um efeito de sombra de vento no galpão analisado, reduzindo os esforços solicitantes na estrutura. De modo geral, na face barlavento, os coeficientes de forma em sobrepressão (C_e), representados nas tonalidades da cor vermelha, foram minorados, e em sua maioria, transformados em sucção, ilustrados em tonalidades da cor azul. Nas demais faces e na cobertura, os coeficientes de pressão em sucção foram reduzidos.

Figura 8 – Distribuição dos C_e e c_{pe} , experimentais, na edificação sob a incidência de 180° e o efeito da vizinhança lateral



Fonte: elaborado pelo autores

Para a vizinhança distante 4,2 m do galpão analisado, ilustrado na **Figura 8**, observou-se, na face barlavento, um $Fv=0,15$ e, na região central dessa face, há a concentração de C_e em sucção. Na região da cumeeira, obteve-se um valor médio de $Fv=0,67$, além disso, nas extremidades da cobertura, foi atestado $Fv=0,41$.

Para o espaçamento da vizinhança a 8,0 m, ilustrado na **Figura 8**, notou-se que a face barlavento apresentou uma maior concentração de C_e em sobrepessão ao longo de sua extensão, em comparação à mesma condição de vizinhança distante 4,2 m. Nesse caso, notou-se um $Fv=0,33$ na face barlavento, $Fv=0,69$ na região da cumeeira, e $Fv=0,44$ nas extremidades da cobertura.

4 Conclusões

A norma prescreve que o efeito de vizinhança nas edificações submetidas à ação do vento pode tanto provocar impactos desprezíveis na sua estrutura, quanto causar majoração em 30 % ($Fv=1,30$) nos seus coeficientes aerodinâmicos, em comparação à condição isolada. Entretanto, tratando-se do efeito protetor da vizinhança, esta menciona a possibilidade de minoração dos esforços do vento nas edificações, apenas em decorrência de uma zona altamente adensada, porém, não prescreve valores estimados para essa redução.

Atestaram-se consideráveis majorações nos coeficientes aerodinâmicos em sucção, que impactam no dimensionamento da fachada, principalmente na face confrontante ao vizinho, para as incidências de 180°, na vizinhança frontal, e de 270°, para a vizinhança lateral. Quanto às alterações dos *c_{pe}* foi constatado um aumento de até 62 % para vizinhança frontal, e de até 159 % para vizinhança lateral, ambas espaçadas em 4,2 m; para o espaçamento entre galpões de 8,0 m, essas majorações foram, respectivamente, de 40 % e 126 %. Nesses casos, as alterações são superiores às apresentadas no ANEXO G, da ABNT 6123.

A presença da vizinhança frontal e lateral exerce um efeito de sombra de vento na edificação em estudo. Quanto às alterações dos *C_e*, obteve-se redução de 81 % até 71 % para os espaçamentos de 4,2 m e de 8,0 m, respectivamente, ambos na vizinhança frontal. Para a vizinhança lateral, as minorações variaram de 85 %, para o espaçamento em 4,2 m, a 67 %, para o espaçamento de 8,0 m.

A ABNT 6123 prescreve orientações abrangentes às edificações sujeitas à ação do vento sob a condição isolada, mas insuficientes quando estas são submetidas ao efeito de vizinhança. Ademais, os seus parâmetros estão restritos às edificações com geometria paralelepípedicas e de baixa altura, que divergem do cenário atual da construção civil. Deste modo, é relevante a ampliação de estudos específicos e mais abrangentes desse efeito. Até ocorrer a revisão da norma, somente ensaios em túnel de vento podem determinar com exatidão os esforços solicitantes do vento e suas alterações em edificações sujeitas a esse efeito de vizinhança.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem ao pesquisador Paulo José Saiz Jabardo, do túnel de vento do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, pelo apoio no processamento dos dados dos ensaios, e agradecem também ao Centro Universitário FEI pela construção dos modelos reduzidos utilizados nesses ensaios.

6 Referências

ALBERTI, Franco. **Determinação experimental em túnel de vento dos efeitos estáticos de proteção causados por edificações vizinhas**: contribuição para a revisão dos fatores de vizinhança da NBR 6123. 2015. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Estrutura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas o vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

BLESSMANN, Joaquim. **Aerodinâmica das construções**. 2. ed. Porto Alegre: Editora Sagra, 1990.

COOK, N. J. **The designers guide to wind loading of building structures – Part 2**. London: Editora Butterworths, 1990.

COUNIHAN, J. An Improved Method of Simulating an Atmospheric Boundary Layer in a Wind Tunnel. **Atmospheric Environment**, v. 3, n. 2, p. 197-200, Mar. 1969.

KHANDURY, A. C.; STATHOPOULOS, T.; BÉRDARD, C. Wind-induced interference effects on buildings: a review of the state of the art. **Engineering Structures**, v. 20, n. 7, p. 613-670, July 1998.