

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL EM TÚNEL DE VENTO DOS EFEITOS ESTÁTICOS DE PROTEÇÃO CAUSADOS POR EDIFICAÇÕES VIZINHAS

Franco A. Alberti, MSc.^{1*}, Acir M. Loredou-Souza, Ph.D.²

Resumo: Efeitos de interferência aerodinâmica por vizinhança ocorrem inevitavelmente em edificações imersas em centros urbanos. Com base nas características da vizinhança que envolvem o entorno de uma edificação, estes efeitos podem reduzir ou majorar as ações do vento sobre a mesma. Tendo em vista a complexidade do problema em estimar o real ambiente em que um edifício está situado e conseqüentemente a influência da vizinhança no comportamento do vento, torna-se muito difícil a codificação destes efeitos em documentos normativos específicos para cada situação de projeto. Neste trabalho são analisados quatro modelos reduzidos de edifícios e suas vizinhanças adjacentes. Os modelos foram testados em túnel de vento, no Laboratório de Aerodinâmica das Construções da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob duas configurações de ensaios, uma com a edificação de projeto isolada e outra na presença da vizinhança na qual estará imersa. A partir dos resultados obtidos no túnel, foram calculados coeficientes de força para cada modelo em relação a dois eixos ortogonais com origem próxima ao centro de torção da seção transversal correspondente ao pavimento tipo dos modelos. Nos quatro casos estudados, todos apresentaram variações significativas dos coeficientes de força quando na presença de edificações vizinhas. Para estes edifícios, foram calculados fatores de vizinhança respectivos aos ângulos de vento mais influentes ao dimensionamento estrutural dos mesmos. Notou-se que, sob vizinhança densa, houve uma grande redução das ações do vento, enquanto que brechas entre as estruturas de interferência, conduziram ao aumento das ações do vento sobre as edificações estudadas. O trabalho apresenta diversos valores de fatores de vizinhança para os casos estudados.

Palavras-chave: ação do vento; efeitos de vizinhança; efeitos de proteção; carregamentos estáticos; **Pessoa para contato.*

¹Aluno, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, UFRGS. franco.alberti@me.com

²Professor, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, UFRGS. acir@ufrgs.br

<http://dx.doi.org/10535/rsace.v14i2.6696>

1. Introdução

A incerteza no que diz respeito à ação do vento em estruturas tem sido motivo para diversas pesquisas sobre o tema. Este problema é agravado quando estas se encontram na presença de edificações vizinhas, que alteram o comportamento dos ventos devido à efeitos de interferência. O ambiente urbano, em constante transformação, modifica de maneira aleatória o comportamento dos ventos, e conseqüentemente, a maneira como estes influenciam na resposta estrutural das edificações. Fenômenos de interferência gerados na presença de obstáculos ao escoamento do ar afetam ora positivamente, ora negativamente as edificações imersas em vizinhança. (Hui et al. 2013).

Khanduri et al. (1998), citam as principais razões que fomentam a necessidade de compreendermos as modificações nas ações do vento causadas pela presença de edificações adjacentes, mesmo que para apenas uma edificação de interferência presente na vizinhança. Isto devido a grande complexidade das variáveis que envolvem o processo de análise, as quais podem ser desde o tamanho e formato das estruturas, suas possíveis posições de interferência, assim como as direções de incidência do vento e também fatores topográficos. A falta de dados experimentais adequados leva a uma concepção distorcida de que as cargas devidas a ação do vento sobre as edificações inseridas em vizinhança, são obrigatoriamente menores do que aquelas desenvolvidas em edificações isoladas, o que também se traduz em uma razão do ponto de vista cultural, que precisa ser revisada, com a adoção do túnel de vento como uma ferramenta de projeto.

Ao longo dos anos em que a Engenharia do Vento tem sido desenvolvida, diversos foram os autores que estudaram os efeitos de interferência causados pela proximidade de estruturas vizinhas. A grande maioria dos estudos são formados por ensaios realizados em túneis de vento, onde a distribuição dos coeficientes de pressão nas fachadas dos modelos foram o foco das análises. Efeitos como o Venturi, de proteção, de martelamento e desprendimento de vórtices foram estudados. Blessmann (1992) analisou o caso do efeito de vizinhança em duas edificações existentes, o edifício do Citibank, em São Paulo, e ao edifício Manhattan, no Rio de Janeiro. A análise do comportamento dessas edificações foi efetuada por meio de ensaios em túnel de vento sob escoamento deslizando, realizados com os modelos isolados e também na presença das estruturas vizinhas. O intuito dos ensaios era coletar dados dos coeficientes de pressão (C_p), para o cálculo dos coeficientes de força (C_x , C_y) e de torção (C_t) dos modelos nos dois casos de análise. Os resultados demonstraram que para os dois edifícios ensaiados, os coeficientes de força sofreram um pequeno aumento na presença de suas vizinhanças, em relação a edificação isolada. No caso do

Citibank, os resultados foram fortemente influenciados pelos modelos vizinhos, já no edifício Manhattan foi observado uma redução das ações do vento sobre a estrutura. Segundo Blessmann, as ações de interferência dos ventos dependeram do número de edificações vizinhas e de seu posicionamento em relação aos modelos.

Esforços devidos ao vento causados por fenômenos de interferência por vizinhança entre modelos de edifícios altos foram estudados por Xie e Gu (2004). O objetivo do trabalho era quantificar a intensidade de interferência através da razão dos momentos médios na base dos edifícios em situação de vizinhança, pelo momento médio na base dos edifícios no ensaio isolado. Os autores apresentaram resultados em valores médios, calculados pela parcela estática das forças devidas ao vento sobre as edificações, e também valores dinâmicos de interferência, calculados pela ação flutuante do vento aos modelos. Xi e Gu (2004), salientam que os principais efeitos causados pela presença da vizinhança nos modelos foram efeitos de proteção e Venturi. Ainda, concluíram que os principais fatores que regem o tipo de interferência e sua intensidade, são a dimensões e proximidade das estruturas vizinhas em relação ao modelo principal.

Dois anos depois, Li et al. (2006) realizaram um detalhado estudo sobre o efeito de ventos fortes no edifício Jin Mao Building, na época o maior já construído em território chinês. Através de ensaios em túnel de vento utilizando o método da balança de força em alta frequência, sigla HFFB em inglês, o modelo foi exposto a ensaios isolado e em vizinhança, onde foram registrados diversos efeitos causados pelo vento, e assim, determinadas as respostas médias e flutuantes do edifício no que diz respeito a esforços estruturais solicitantes, deslocamentos, acelerações e coeficientes aerodinâmicos. Além disso, um estudo em escala real através do monitoramento local da edificação, foi realizado após a construção do edifício durante a passagem do furacão Rananin, ocorrida em agosto de 2004. Este estudo teve por objetivo registrar o comportamento real da edificação à passagem de um furacão e compara-lo aos ensaios realizados na fase de projeto, o que se mostrou em boa concordância às previsões obtidas no túnel de vento.

Lam et al. (2008), investigaram os efeitos de interferência gerados por cinco edificações muito próximas uma da outra, dispostas em fila. Carregamentos médios e flutuantes do vento foram medidos. Um forte efeito de proteção foi observado para a maioria dos ângulos de vento paralelos e semiparalelos a formação das edificações. Outros efeitos de interferência foram notados principalmente para a última edificação do alinhamento, na qual vislumbraram-se resultados ainda maiores que os ocorridos em ensaios com a edificação isolada. Os autores constataram que devido a proximidade dos modelos, um grande efeito de canalização do vento no espaço entre os edifícios

fora registrado, ocasionando aumento nos coeficientes de pressão negativos nas faces confrontantes entre os modelos. Para incidências de vento normais ao alinhamento das edificações, não houveram mudanças significativas nos esforços gerados pela velocidade média do vento. Já a parcela flutuante do carregamento nestes casos de vento, obteve forte alteração devido ao desaparecimento quase total dos vórtices de von Kármán.

Este trabalho tem por objetivo determinar os efeitos de interferência por vizinhança em termos de coeficientes de força (C_x e C_y) e fatores de vizinhança (FV_x e FV_y) de quatro modelos de edificações reais em escala reduzida, submetidos a escoamentos não uniformes e turbulentos ensaiados em túnel de vento.

2. Programa Experimental

2.1 Ensaio em Túnel de Vento

O padrão de escoamento do ar foi formado com auxílio de mecanismos de simulação para modelagem da camada limite atmosférica. Os ensaios foram realizados no túnel de vento Professor Joaquim Blessmann do Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em Porto Alegre, Brasil.

O perfil de velocidades médias foi descrito pela equação da lei potencial, onde o valor do expoente relaciona as categorias de terrenos indicados pela norma brasileira de vento, NBR-6123 (1988). Os registros de velocidades médias do vento no túnel, foram obtidos através da diferença entre as medidas de pressões estáticas (Δp_a), lidas em dois anéis piezométricos, conectados a um micromanômetro tipo ManoAir 500 para leitura das medições. Neste equipamento também foram medidas as temperaturas (T) dos ensaios. A pressão atmosférica (P_{atm}), para o cálculo da massa específica do ar (ρ_{ar}), foi medida por um barômetro digital modelo N1500/691, tornando viável o cálculo da pressão dinâmica e da velocidade média do vento em qualquer ponto do escoamento no túnel.

Os modelos reduzidos das edificações estudadas foram instrumentados com a instalação de tomadas de pressão estrategicamente fixadas às fachadas dos edifícios. As leituras de pressão nas faces dos modelos foram realizadas por um equipamento de aquisição simultânea de pressões flutuantes, Scanivalve, de 6 módulos com 64 canais por módulo e frequência de aquisição de até 20 kHz. A partir deste ponto, os dados adquiridos pelo equipamento foram processados em rotinas computacionais desenvolvidas no próprio LAC, onde foram calculados os coeficientes de pressão que serviram de referência para a determinação dos esforços cortantes na base dos edifícios.

2.2 Definições

A recomposição das forças horizontais resultantes $F_{x,\alpha}$ e $F_{y,\alpha}$ desenvolvidas na base das edificações e concorrentes ao eixo transversal X e Y dos edifícios, foi determinada pelo somatório dos coeficientes de pressão e suas respectivas áreas de influência no modelo, desenvolvidas para cada ângulos de incidência de vento, respeitando os senos e cossenos diretores, conforme equação 1.

$$F_{x,y,\alpha} = \sum_n^i C_{p,i,\alpha} q A_{TOM,i} \cos \beta \sin \varphi \quad (\text{Equação 1})$$

Onde α é o ângulo de incidência do vento ensaiado no túnel, β e φ são os ângulos que dão a orientação da tomada em relação aos eixos de referência X, Y e Z do modelo, $C_{p,MED}$ é o coeficiente de pressão médio lido na tomada do modelo para o ângulo de vento ensaiado, i é o número da tomada de pressão medida, q é a pressão dinâmica de referência e A_{TOM} é a área de atuação da tomada de pressão no modelo do edifício. Os coeficientes de força $C_{x,\alpha}$ e $C_{y,\alpha}$ foram definidos através das equações 2 e 3.

$$C_{x,\alpha} = \frac{F_{x,\alpha}}{q B_Y h} \quad (\text{Equação 2})$$

$$C_{y,\alpha} = \frac{F_{y,\alpha}}{q B_X h} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde, $F_{x,\alpha}$ e $F_{y,\alpha}$ são as componente horizontais resultantes das forças, q é a pressão dinâmica de referência, B_x é a dimensão do retângulo envolvente dado pela fachada da edificação em X, B_y é a dimensão do retângulo envolvente dado pela fachada da edificação em Y e h a altura da edificação. Através das equações 4 e 5, também foram determinados fatores de vizinhança (FV) obtidos pela divisão dos coeficientes de força dos ensaios em vizinhança (CV) pelos ensaios isolados (ISO), para os eixos X e Y das edificações.

$$FV_X = \frac{C_{x,\alpha,CV}}{C_{x,\alpha,ISO}} \quad (\text{Equação 4})$$

$$FV_Y = \frac{C_{y,\alpha,CV}}{C_{y,\alpha,ISO}} \quad (\text{Equação 5})$$

3. Resultados Experimentais e Análise

Os resultados dos ensaios obtidos para os modelos, estão em termos de coeficientes de força $C_{x,\alpha,ISO}$, $C_{x,\alpha,CV}$, $C_{y,\alpha,ISO}$ e $C_{y,\alpha,CV}$, para 24 direções de incidência do vento (α).

3.1 Modelo A

O modelo A representa uma edificação com altura de 59,74m inserida em contexto urbano

denso, situada em topográfica com inclinação suave. A seção transversal da edificação apresenta formato em “L” e constante ao longo de sua altura, o modelo possui dimensões máximas de 34,73m por 21m. A vizinhança, é composta por edifícios com alturas que variam pouco em relação ao modelo, cuja interferência afeta ventos provindos de todas as direções. Na mesa de ensaio, é possível observar a formação de um corredor de edificações para os ventos que sopram a 90° e 270°, conforme ilustrado na figura 1.

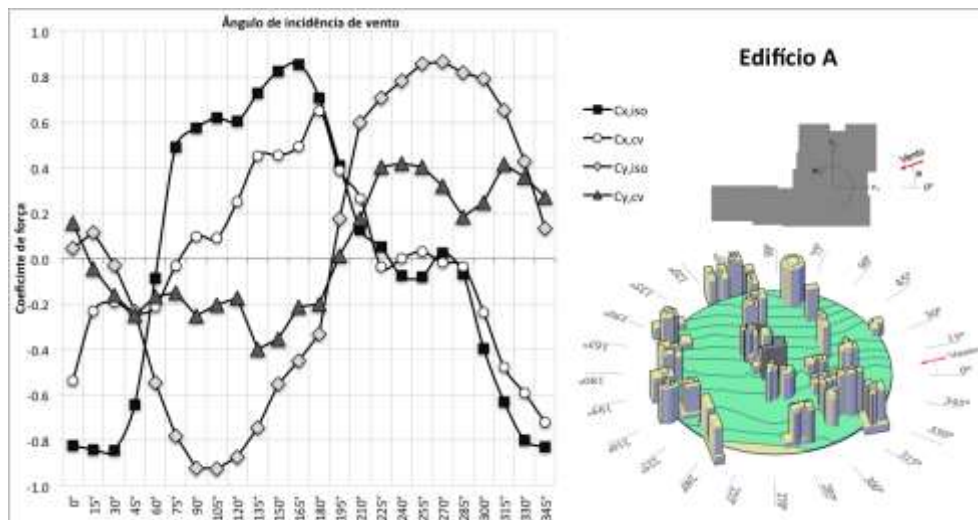


Figura 1: Coeficientes de força Cx e Cy em função do vento no Edifício A

Analisando a figura 1, para os coeficientes de força desenvolvidos sobre o eixo X da edificação, é possível observar que o modelo encontra-se parcialmente protegido pela vizinhança adjacente, fenômeno ocorrido principalmente para os ângulos de vento de 0° a 165°. Para os ângulos de 180° a 345°, nota-se uma aproximação dos valores dos coeficientes de força Cx,cv aos valores de Cx,iso, demonstrando pouca influência da vizinhança sob o modelo em relação ao ensaio isolado. Tanto para o caso isolado como em vizinhança, os maiores valores de Cx ocorreram para as direções de ventos próximas ao eixo longitudinal da edificação, com valores máximos a 30° e 165°. Para os coeficientes de forças em relação ao eixo Y, no ensaio em vizinhança nota-se que de um modo geral houve uma redução acentuada destes valores. Esta diminuição deve-se ao fato da estrutura encontrar-se em sua maioria, protegida pela vizinhança adjacente. Os maiores valores de Cy, ocorram no caso isolado, para ângulos de vento de 90° e 270°. Uma pequena inversão de esforços pode ser observada para o ângulo de vento a 15°. Aumentos sutis de Cy,cv em relação a Cy,iso são notados nos ventos a 0° e 345°.

3.2 Modelo B

O modelo B representa uma edificação com altura de 48,30m inserida em contexto urbano

denso, situada em topográfica com inclinação suave. A seção transversal da edificação é predominantemente quadrada e constante ao longo de sua altura, o modelo possui dimensões máximas de 15,43m por 14,76m. A vizinhança, é formada por edificações cujas alturas são predominantemente maiores à do modelo. Na mesa de ensaio, nota-se que o mesmo está protegido da incidência direta de ventos provindos da maioria das direções, a não ser para ventos que sopram da direção 180°, onde é possível observar uma brecha para a passagem do mesmo devido a baixa altura das edificações vizinhas presentes nessa direção conforme ilustrado na figura 2.

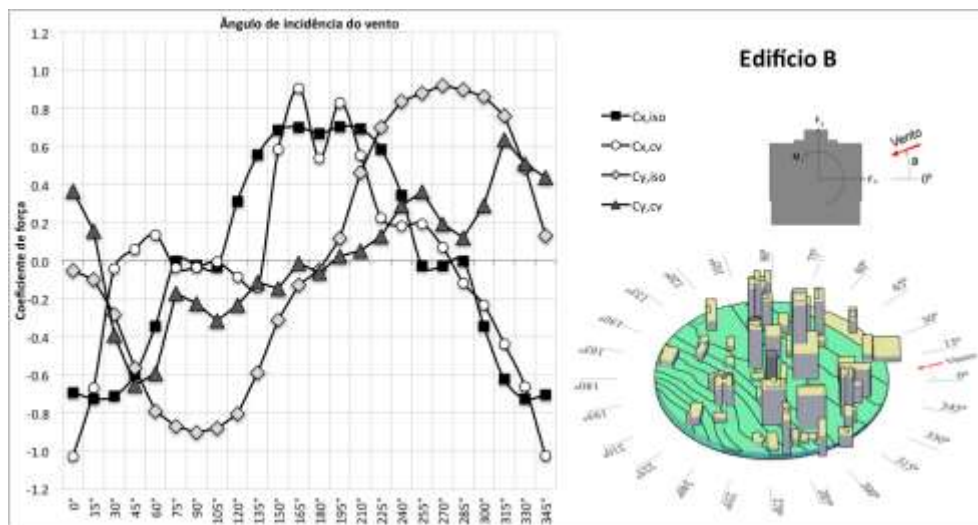


Figura 2: Coeficientes de força C_x e C_y em função do vento no Edifício B

Analisando a figura 2, para os coeficientes de força desenvolvidos sobre o eixo X da edificação, é possível observar que para os coeficientes de força em relação ao eixo X, houveram variações destes valores registrados no ensaio em vizinhança, sobre aqueles ocorridos no ensaio isolado. Os $C_{x,iso}$ apresentaram resultados bastante simétricos devido ao formato quasi-prismático do modelo que se comportou de maneira uniforme durante este ensaio. Já para os $C_{x,cv}$, nota-se a intensa interferência da vizinhança em diversos casos de ventos, como por exemplo à 45°, 60°, 120°, 135°, 255°, 270° e 285°, onde houveram inversões no sentidos dos esforços em relação aos ocorridos no ensaio isolado. Para os ventos 165° e 195°, observa-se um repentino aumento do $C_{x,cv}$ acompanhado de uma redução ocorrida no ângulo intermediário, à 180°, o que configura uma interferência abrupta da vizinhança ao modelo, possível causa de efeito Venturi gerado para estes ângulos de ventos, uma vez que alterada a direção de incidência do mesmo, os valores de $C_{x,cv}$ voltam a ficar menores do que $C_{x,iso}$. Maiores valores de $C_{x,iso}$ ocorreram para ventos no sentido do eixo analisado, o que também ocorreu para o caso isolado, porém de forma mais brusca. Para os coeficientes de forças em relação ao eixo Y, no ensaio em vizinhança nota-se que de um modo geral

houve uma redução acentuada dos coeficientes de força ocorridos em relação ao isolado. Esta redução nos valores de $C_{y,cv}$ deve-se a estrutura encontrar-se protegida pela vizinhança na maioria dos casos de vento (60° a 315°). Os ângulos de incidência de vento mais desprovidos de obstáculos são os ângulos 165° a 195° , nestas direções há uma clareira entre as edificações da vizinhança, onde o vento incide diretamente sobre o modelo, no entanto os valores de $C_{y,cv}$ ficaram próximos aos valores de $C_{y,iso}$. Os ventos oriundos das direções 0° e 15° apresentam uma inversão dos esforços em relação ao ensaio isolado. Observa-se um pequeno aumento dos C_y em 30° , 45° e 345° no ensaio em vizinhança.

3.3 Modelo C

O modelo C representa uma edificação com altura de 170,50m inserida em contexto urbano leve, situada em topográfica com inclinação suave. A forma da seção transversal predominantemente retangular e constante ao longo de sua altura possui dimensões máximas de 43,40 por 17,96m. Na mesa de ensaio, é possível observar duas configurações de vizinhança, as edificações a barlavento nas direções 225° a 330° , sentido horário, apresentam alturas próximas à edificação de estudo e dispostas afastadas uma da outra. No restante das direções de incidência do vento, ocorre a presença de modelos vizinhos de forma mais densa, porém com alturas muito menores a do modelo principal, conforme ilustrado na figura 3.

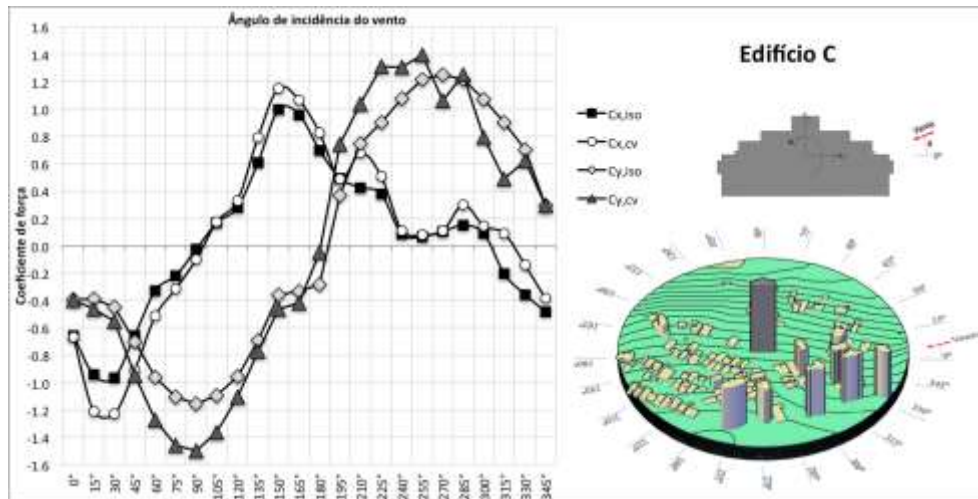


Figura 3: Coeficientes de força C_x e C_y em função do vento no Edifício C

Analisando a figura 3, é possível observar que para os coeficientes de força em relação ao eixo X da edificação, o modelo em análise comportou-se de forma bastante coerente, sem variações bruscas. Nota-se uma semelhança nos valores obtidos no ensaio em vizinhança ($C_{x,cv}$) aos valores do ensaio isolado ($C_{x,iso}$). No entanto estes foram maiores do que aqueles para a maioria dos ângulos de incidência de ventos. Os maiores resultados de C_x , ocorram para os ventos à 30° e 150° ,

tanto para o caso isolado como para o caso em vizinhança. A maior variação entre os dois ensaios também deu-se para estes ângulos de ventos. Alguma interferência é notada à 210° e 285°, elevando repentinamente a ação do vento sobre a edificação nesta direção. À 315° nota-se uma leve inversão nos valores de C_x . Em 330° e 345° observa-se uma proteção do modelo à ação do vento. Para os coeficientes de forças em relação ao eixo Y, analisando o caso em vizinhança, houve um aumento dos valores dos coeficientes de pressão, principalmente em relação aos ventos oblíquos. Os ângulos de ventos entre 45° a 120° apresentaram um aumento proporcional dos $C_{y,cv}$. Para os ventos que sopram das direções 270°, 300°, 315° e 330°, nota-se uma redução dos esforços sobre o modelo.

3.4 Modelo D

O modelo D representa uma edificação com altura de 47,43m inserida em contexto urbano denso, situada em topográfica plana. A forma da seção transversal plenamente retangular e constante ao longo de sua altura, possui dimensões de 42,91m por 14,30m. A vizinhança, é composta por edificações cujas alturas variam pouco com em relação ao modelo principal. Na mesa de ensaio, nota-se que o edifício estudado está protegido pelas edificações no seu entorno, da incidência direta de ventos provindos de todas as direções ensaiadas. É possível observar dois corredores para o escoamento dos ventos que sopram das direções a 0°, 90°, 180° e 270°, conforme ilustrado na figura 4.

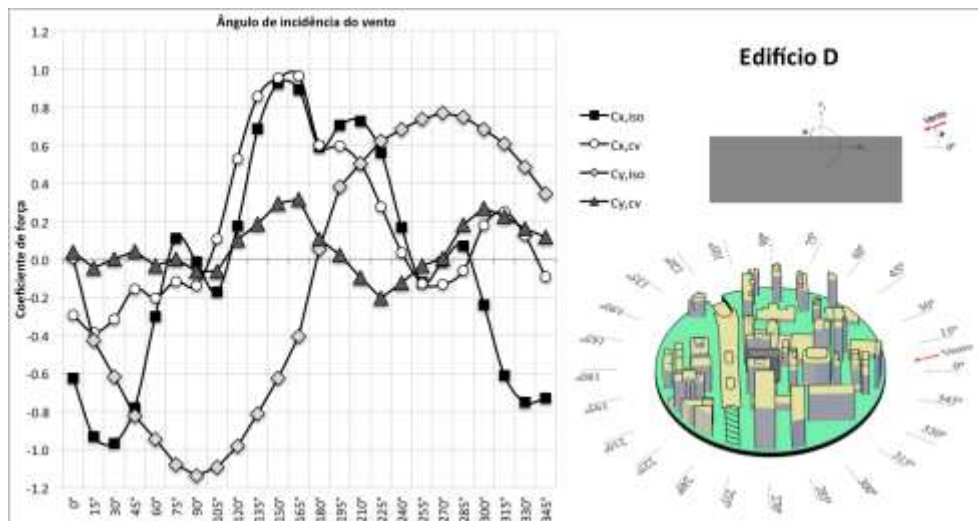


Figura 4: Coeficientes de força C_x e C_y em função do vento no Edifício D

Analisando a figura 4, para os coeficientes de força desenvolvidos sobre o eixo X da edificação, nota-se que a distribuição dos coeficientes de força em X, resultantes do ensaio isolado, apresentaram um comportamento simétrico da edificação à ação do vento, este comportamento se deve ao formato regular do modelo. Maiores valores de $C_{x,iso}$ ocorreram para os ângulos de ventos

oblíquos ao modelo à 30° , 150° , 210° , 330° . Analisando o ensaio em vizinhança, nota-se uma região de inversão dos esforços, observada nos ângulos de vento à 300° , 315° e 330° . À 90° e à 270° observa-se uma atuação praticamente nula dos esforços de vento sobre a edificação. Para os ângulos 105° à 180° , houve um aumento regular dos valores de $C_{x,cv}$, posteriormente seguidos de uma redução contínua das ações do vento para os ângulos 195° à 240° . À 345° , 0° , 15° , 30° nota-se uma considerável redução dos coeficientes de força $C_{x,cv}$ em relação aos $C_{x,iso}$, sem a ocorrência de inversões nos sentidos dos esforços. Para os coeficientes de forças em relação ao eixo Y, no caso isolado nota-se novamente a simetria dos resultados devido ao formato prismático regular da edificação. Os maiores valores de $C_{y,iso}$ ocorreram conforme esperado para os ângulos de 90° e 270° , os resultados dos ângulos 0° e 180° obtiveram os menores valores. Inserida a vizinhança, a edificação de um modo geral foi intensamente protegida na totalidade dos casos de ventos. Inversões nos esforços em relação ao eixo Y, são observadas para diversos ângulos, mais acentuadamente entre os ventos 120° à 240° .

4. Conclusões

Os coeficientes de força calculados a partir dos ensaios isolados apresentaram o comportamento esperado para todas edificações experimentadas no túnel. De um modo geral a distribuição dos C_{ISO} apresentaram-se bastante simétricos para as edificações B, C e D, salvo o Edifício A, que possui forma da seção transversal não simétrica.

Em contrapartida, os coeficientes de força calculados a partir dos ensaios com vizinhança demonstraram significativas dispersões nos valores destes em relação aos isolados. Em alguns ângulos de incidência de vento notaram-se grandes diminuições dos carregamentos, atingindo casos extremos de proteção ao modelo como por exemplo no edifício D, para os ventos à 75° e 270° , onde observa-se uma redução de aproximadamente 100% dos coeficiente de força, calculados em relação ao eixo Y da edificação para estes ângulos de incidência de vento. Em outros casos, houveram aumentos dos coeficientes de forças em diversas magnitudes. O maior caso observado foi no Edifício B, vento a 0° , com majoração de 49% do coeficiente de força, calculado em relação ao eixo X da edificação, quando em comparação ao ensaio isolado.

Inversões de esforços foram observadas para casos de ventos em todas edificações estudadas. Foram contabilizados 26 ângulos de incidência de vento que apresentaram inversões no sentido das forças nos ensaios em vizinhança quando comparado aos ensaios isolados. A maior inversão dos carregamentos sobre o modelo ocorreu no Edifício D, caso de vento 120° , de -0,98 (ISO) para 0,10 (CV) em valores de coeficiente de força, em relação ao eixo Y da edificação.

A tabela 1 apresenta os resultados de interferência em termos de fatores de vizinhança. Pela leitura da tabela, nota-se que os modelos cuja a distribuição dos edifícios de vizinhança apresentou a menor quantidade de aberturas (corredores) para o escoamento do vento e também os menores afastamentos em relação aos edifícios estudados, resultaram nos menores valores de FVs, conseqüentemente nos maiores índices de proteção dos modelos aos carregamentos de vento. É importante ressaltar que altos valores de FV, não necessariamente demonstram um grande aumento das ações do vento sobre a edificação (equações 4 e 5). Por esse motivo, a análise dos fatores de vizinhança para fins de projeto, deve ser feita em concordância com os resultados dos coeficientes de força dos ensaios isolados (ISO) e em vizinhança (CV), através da análise dos casos de ventos mais influentes para a edificação (maiores valores de $C_{x,ISO}$, $C_{x,CV}$, $C_{y,ISO}$ e $C_{y,CV}$).

Tabela 1: Fatores de vizinhança edifícios ensaiados

VENTO	EDIFÍCIO A		EDIFÍCIO B		EDIFÍCIO C		EDIFÍCIO D	
	FVx	FVy	FVx	FVy	FVx	FVy	FVx	FVy
0°	0.65	3.39	1.49	7.02	1.02	1.02	0.47	4.78
15°	0.27	0.38	0.92	1.56	1.28	1.20	0.41	0.11
30°	0.23	5.41	0.06	1.38	1.28	1.23	0.33	0.00
45°	0.37	1.07	0.10	1.16	1.39	1.34	0.20	0.05
60°	2.46	0.31	0.39	0.75	1.57	1.33	0.67	0.04
75°	0.06	0.19	17.40	0.20	1.45	1.32	1.08	0.00
90°	0.17	0.27	1.52	0.25	3.88	1.30	11.42	0.06
105°	0.15	0.22	0.23	0.36	1.05	1.24	0.61	0.06
120°	0.42	0.20	0.28	0.29	1.18	1.15	3.05	0.10
135°	0.62	0.54	0.25	0.19	1.30	1.11	1.25	0.23
150°	0.55	0.64	0.85	0.47	1.16	1.29	1.03	0.47
165°	0.58	0.47	1.30	0.11	1.11	1.26	1.08	0.77
180°	0.92	0.60	0.80	1.30	1.18	0.18	1.02	2.01
195°	0.95	0.07	1.18	0.19	0.99	2.01	0.84	0.06
210°	2.07	0.29	0.80	0.11	1.59	1.39	0.69	0.19
225°	0.67	0.57	0.38	0.18	1.34	1.45	0.49	0.33
240°	0.02	0.53	0.52	0.35	1.34	1.21	0.21	0.19
255°	0.38	0.47	7.04	0.41	1.20	1.15	1.03	0.05
270°	0.68	0.37	2.35	0.21	1.04	0.85	10.03	0.00
285°	0.52	0.22	81.03	0.13	2.02	1.03	0.90	0.24
300°	0.60	0.31	0.68	0.33	1.62	0.74	0.74	0.39
315°	0.76	0.64	0.71	0.83	0.43	0.54	0.41	0.37
330°	0.74	0.84	0.91	1.04	0.40	0.89	0.16	0.33
345°	0.87	2.04	1.46	3.33	0.80	1.01	0.13	0.34

Pode-se dizer que o valor de FV é função da proximidade e do tamanho (largura e altura) das edificações vizinhas, e assim determinar dois parâmetros de projeto com o objetivo de quantificar a proteção da vizinhança aos carregamentos de vento atuantes na edificação projetada. Esta análise é feita observando a correlação entre os FVs e as características de posicionamento e geometria das estruturas vizinhanças. O primeiro dos parâmetros, que rege a proximidade entre as edificações de vizinhança à edificação principal, é o afastamento (S), cujo valor é dado pela distância em planta das faces confrontantes entre os edifícios (NBR-6123). O outro parâmetro, é o índice de área exposta (ϕ) (NBR-6123), cujo valor é dado pela relação entre a área frontal efetiva da edificação de projeto, ou seja, a área desprotegida da fachada que recebe vento, pela área frontal da

mesma fachada limitada pelo contorno da edificação, conforme demonstrado na figura 5.

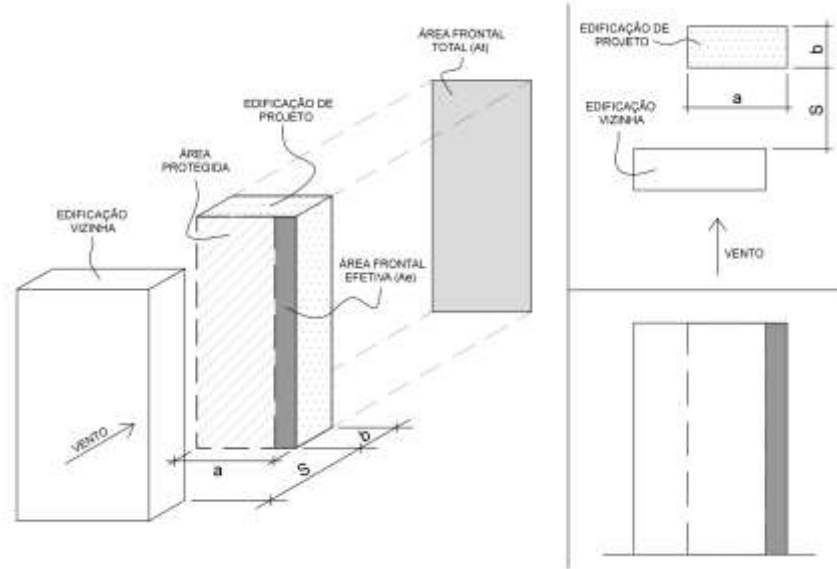


Figura 5: Parâmetros de projeto: Afastamento (S) e Índice de Área Exposta (ϕ)

O parâmetro de projeto, índice de área exposta é representado pela equação 7.

$$\phi = \frac{A_e}{A_t} \quad \text{(Equação 6)}$$

Onde, A_e representa a área frontal efetiva da fachada da edificação de projeto, área desprotegida do vento e A_t a área frontal total da fachada limitada pelo contorno da mesma edificação. A figura 6 relaciona graficamente os dois parâmetros de projeto apresentados anteriormente, com valores de FV associados a efeitos de proteção ($FV \leq 1,0$).

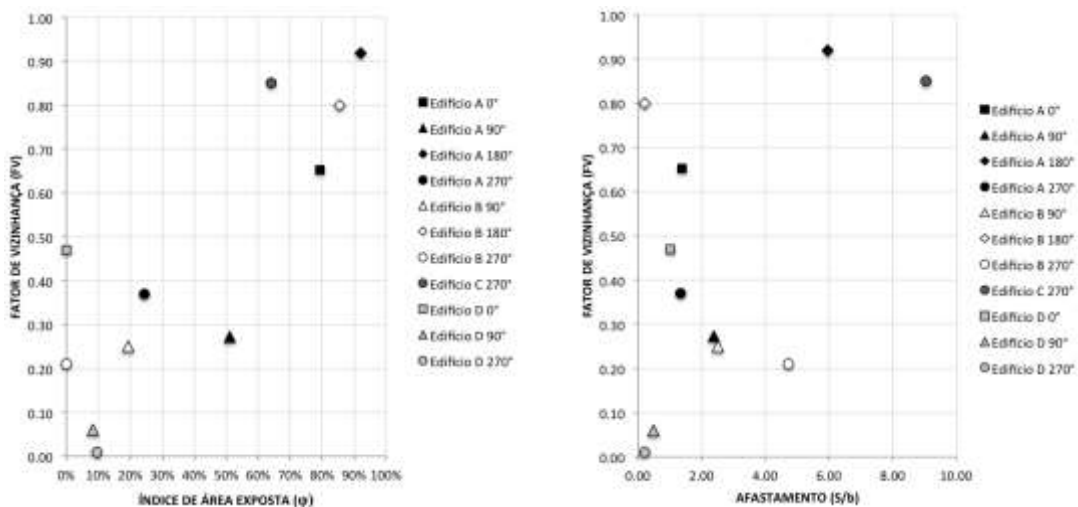


Figura 6: Relação entre FV e (a) Índice de Área Exposta; (b) Afastamento ao vizinho na direção do vento

Percebe-se a direta relação entre a área exposta e o fator de vizinhança, sendo os prédios

mais protegidos aqueles cuja exposição ao vento é menor. Já a análise isolada através do afastamento relativo é mais difícil de ser feita, o que corrobora estudos anteriores no sentido da complexidade da análise dos efeitos de vizinhança devidos ao vento para fins normativos.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, Rio de Janeiro. Norma Brasileira NBR-6123 (NB-599) Forças devidas ao vento em edificações. Edição 1988.
- BLESSMANN, J. Neighbouring wind effect on two tall buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Amsterdam, v. 41, p. 1041-1052, 1992.
- BLESSMANN, J. Buffeting effects on neighbouring tall buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Amsterdam, v. 18, p. 105-110, 1985.
- HUI, Y.; TAMURA, Y.; YOSHIDA, A.; KIKUCHI, H. Pressure and flow field investigation of interference effects on external pressures between high-rise buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Amsterdam, v. 115, p. 150-161, 2013a.
- KHANDURY A. C.; STATHOPOULOS T.; BÉDARD C. Wind-induced interference effects on buildings – a review of the state-of-the-art. *Engineering Structures*, Grã-Bretanha, v. 20, p 617-630, 1998.
- LAM, K. M.; LEUNG, M. Y. H.; ZHAO, J. G. Interference effects on wind loading of a row of closely spaced tall buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Amsterdam, v. 96, p. 562-583, 2008.
- LI, Q. S.; FU, J. Y.; XIAO, Y. Q.; LI, Z. N.; NI, Z. H.; XIE, Z. N.; GU, M. Wind tunnel an full-scale study of wind effects on China's tallest building. *Engineering Structures*, Grã-Bretanha, v. 28, p. 1745-1758, 2006.
- XIE, Z. N.; GU, M. Mean interference effects among tall buildings. *Engineering Structures*, Grã-Bretanha, v. 26, p. 1173-1183, 2004.

EXPERIMENTAL DETERMINATION IN WIND TUNNEL TESTS OF STATICS PROTECTION EFFECTS CAUSED BY NEIGHBORING BUILDINGS

Abstract: Neighborhood interference effects due to nearby structures, inevitably occur on buildings immersed in urban centers. Based on the characteristics of the neighborhood surrounding its vicinity, these effects therefore can reduce or increase wind actions on buildings. Given the complexity of the problem in estimate the real environment where a building is located and the influence of the vicinity in the wind behavior, it is extreme hard to encode these effects in regulation codes by specifying situations for each proposed project. This paper analyzes four scale models of tall buildings and its surrounding structures. The models were tested in a wind tunnel at the Laboratório de Aerodinâmica das Construções of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul, in two configurations tests, one with the building in isolated situation and the other with the building in the corresponding vicinity. The results obtained in the wind tunnel tests were used to determine strength coefficients for each model in relation to the both orthogonal axes, with its origin placed near the torsional center of the transversal section, correspondent to the standard floor of the buildings. For the four cases studied, all the test results showed significant variations at force coefficients in the presence of neighboring structures. For each case studied, interference factors were calculated due to surrounding structures for the most influential wind angles for the structural design. It was noticed that under dense neighborhood, there was a large reduction of the wind loads, while gaps between interference structures resulted in increases of wind actions over the studied buildings.

Key-words: wind action; interference effects; protection effects; static loads; tall buildings.

**Contact person.*

Conclusions

The strength coefficients calculated from the isolated tests showed the expected behavior for all buildings tested in the tunnel. In general, the distribution of the C_{ISO} were very symmetrical for the buildings, B, C and D, except for building A, which has a non-symmetrical cross-sectional shape.

On the other hand, the strength coefficients calculated from the neighborhood tests showed significant dispersions in values, when compared to the isolated cases. At some angles of wind incidence there were larges decreases in loading coefficients, reaching extreme cases of protection

to the model, such as in building D, for winds at 75° and 270° , where there is a reduction of approximately 100% of the coefficients, calculated in relation to the Y axis of the building. In other cases, have been increases in the strength coefficients at many cases. The largest observed was at the building B, wind at 0° , with an increase of 49% of the strength coefficient, calculated in relation to the X axis of the building, when compared to the isolated test.

Inversions of efforts were observed for wind cases in all buildings studied. Was recorded 26 angles of wind incidence that showed inversions towards the forces in the neighborhood tests when compared to the isolated tests. The greatest inversion of the loads on the model occurred in building D, wind at 120° , from -0.98 (ISO) to 0.10 (WV) in values of strength coefficient, in relation to the Y axis of the building.

Table 1 presents the interference results in terms of neighborhood factors. It can be observed that the models whose distribution of the neighborhood structures presented the least amount of openings (corridors) for the wind flow and also the smaller deviations in relation to the studied buildings, resulted in the lower values of vicinity factors (VFs), consequently the highest indexes of protection to the models against the wind loads. It is important to emphasize that high values of VF do not necessarily show a great increase of the wind actions on the building (equations 4 and 5). For this reason, the analysis of neighborhood factors for the design, should be made in agreement with the results of the strengths coefficients of the isolated (ISO) and neighborhood (CV) tests, by analyzing the most influential winds on the building (higher values of $C_{x,ISO}$, $C_{x,CV}$, $C_{y,ISO}$ e $C_{y,CV}$).

It can be said that the value of VF is a function of the proximity and size (width and height) of neighboring buildings, and thus, determine two design parameters in order to quantify neighborhood protection against wind loads in the designed building. This analysis can be done by observing the correlation between the VFs and the positioning and geometry characteristics of the neighborhood structures. The first parameter, which claims the proximity between the neighboring buildings to the main building, is the distance (S), which value is given by the distance in plant of the confronting faces between the buildings (NBR-6123). The other parameter is the exposed area index (ϕ) (NBR-6123), which value is given by the relation between the effective frontal area of the project building, also said as the unprotected area of the front receiving wind, by the frontal area of the same facade bounded by the outline of the building, as shown in figure 5.

Where, A_e represents the effective frontal area of the project building facade, or also non as unprotected wind area and A_t that is the total frontal area of the facade bounded by the contour of

the same building. Figure 6 shows graphically the two project parameters defined previously, associated with the protection cases of VF values ($VF \leq 1,0$).

Can be noticed that the the most protected buildings is those whose is less exposed to the wind, showing the direct relation between the exposed area and the vicinities factors. On the other hand, isolated analysis through relative spacing is more difficult to do, which corroborates previous studies in the sense of the complexity of analysis of neighborhood effects due to wind for normative purposes.