



A: XXXIX-0000

## ANÁLISE EXPERIMENTAL EM TÚNEL DE VENTO DOS EFEITOS DE INTERFERÊNCIA DA VIZINHANÇA

## EXPERIMENTAL ANALYSIS IN WIND TUNNEL OF NEIGHBORHOOD INTERFERENCE EFFECTS

P. H. Fontes-Silva (P) (1); A. M. Loredou-Souza (2); M. M. Rocha (3)

(1) Eng. Civil, MSc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, Brasil.

(2) (3) Dr. Prof., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, Brasil.

Endereço para correspondência: engpedro.fontes@gmail.com; acir@ufrgs.br; marcelo.maiarochoa@gmail.com

**Área temática:** Métodos Experimentais.

### Resumo

Devido à grande quantidade de variáveis que influenciam a ação do vento em edificações, relacionadas com a presença de diferentes densidades de vizinhança no entorno que alteram o comportamento do escoamento do vento e refletem em efeitos de interferência entre as edificações, teve-se no decorrer dos anos o desenvolvimento de diversas pesquisas. A importância dessa área se dá em virtude da complexidade da natureza do fenômeno, ainda que, diante de diversos estudos, a escassez de dados experimentais adequados considerando diferentes densidades de vizinhança é algo recorrente e que carece de uma constante renovação. Esta pesquisa consiste na realização de uma caracterização aerodinâmica no modelo do edifício CAARC, através de um extenso estudo desenvolvido no Túnel de Vento Prof<sup>o</sup> Joaquim Blessmann do LAC/UFRGS. Realizado com a inserção de distintas densidades de vizinhança através de três configurações, denominadas Configuração I (um modelo interferente), Configuração II (dois modelos) e Configuração III (três modelos), com diferentes posições relativas, D e 2D, onde D é a menor dimensão do modelo. Com base nos resultados, tem-se que para os fatores de vizinhança (FV), a grande maioria das forças no eixo x foram majoradas (96,2%), em contrapartida no eixo y, a maioria das ações foram reduzidas (65,4%). Os resultados indicam que os valores de FV são dados principalmente em função da proximidade e do tamanho das edificações diretamente no entorno. A adição de outros modelos interferentes não altera significativamente os resultados para os fatores de vizinhança, estando em conformidade com as preconizações do Anexo G da NBR6123:1988.

*Palavras-chave:* aerodinâmica; edifícios altos; efeitos de vizinhança; fator de vizinhança.

### Abstract

Due to the large amount of variables that influence the wind action in buildings, related to the presence of different neighborhood densities in the surroundings that change the behavior of wind flow and reflect in interference effects between buildings, it was had in the course of the years the development of several researches. The importance of this area is due to the complexity of the nature of the phenomenon, although, in the face of several studies, the scarcity of adequate experimental data considering different neighborhood densities is something recurrent and that needs constant renewal. This research consists in carrying out an aerodynamic characterization in the CAARC building model, through an extensive study developed in the Wind Tunnel Prof<sup>o</sup> Joaquim Blessmann from LAC/UFRGS. Performed with the insertion of different neighborhood densities through three configurations, called Configuration I (one interfering model), Configuration II (two models) and Configuration III (three models), with different relative positions, D and 2D, where D is the smallest dimension of the model. Based on the results, for the vicinity factors (FV), the vast majority of forces on the x axis were increased (96.2%), on the other hand, on the y axis, most actions were reduced (65.4%). The results indicate that the FV values are mainly given as a function of the proximity and size of the buildings directly in the surroundings. The addition of other interfering models does not significantly alter the results for the vicinity factors, being in accordance with the recommendations of Annex G of NBR6123:1988.

*Keywords:* aerodynamics; neighborhood effects; tall buildings; vicinity factor.



## 1. INTRODUÇÃO

Na análise da ação do vento considerando a presença de edificações na vizinhança com edifícios agrupados em grande proximidade, cada componente presente nesse espaço pode afetar o campo aerodinâmico dos outros, influenciando os carregamentos devidos ao vento. Tais alterações na ação do vento, causadas pela presença de edificações vizinhas, podem tanto proteger a edificação quanto gerar uma ação desfavorável, devido à grande quantidade de variáveis que envolvem o processo, como o tamanho, posicionamento e formato das edificações, direções de incidência do vento e fatores topográficos (Khanduri *et al.*, 1998).

Devido à importância desses efeitos de interferência causados pelas edificações vizinhas, na NBR6123:1988 consta o Anexo G – Efeitos de vizinhança, que trata especificamente dessas interações através do cálculo do fator de vizinhança, que é um parâmetro fundamental para definição, via procedimentos normativos, da força que o vento irá exercer sobre uma edificação considerando tais obstáculos que o vento deve transpor até atingir a estrutura. O fator de vizinhança indicado pela norma é resultado de um extenso e sistemático estudo de interação entre uma ou duas edificações prismáticas em diversas posições relativas de afastamento. No entanto, diferentes estudos indicam uma alteração nesses fatores quando realizada a inserção de outras edificações interferentes. Nesse sentido, tem-se a relevância de uma análise da relação entre diferentes densidades de vizinhança e espaçamentos, influenciando nos efeitos de interferência da vizinhança e na determinação dos fatores de vizinhança.

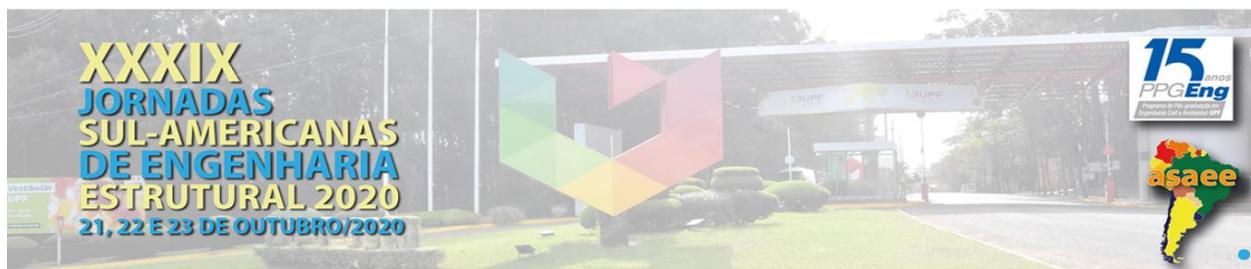
Diversos estudos foram realizados em outros países considerando as modificações na carga de vento através dos efeitos de interferência, causados pela presença de edificações vizinhas. No entanto, devido ao fato de que existem milhares de situações de vizinhança totalmente distintas, ainda são necessários novos trabalhos e diretrizes que abranjam um maior número de situações. Essas necessidades são explicadas por razões como a natureza complexa desses problemas, mesmo para uma única edificação interferente, pela escassez de dados experimentais adequados às diversas situações, e ainda, a noção amplamente aceita de que as cargas de vento devem ser geralmente menos severas se cercadas por outras estruturas do que quando isoladas, embora observados efeitos bastante adversos (Cho *et al.*, 2004).

Portanto, esta pesquisa consiste na realização de uma caracterização aerodinâmica no modelo reduzido do edifício CAARC, em um extenso estudo desenvolvido no LAC/UFRGS, realizado com a inserção de distintas densidades de vizinhança a barlavento desse modelo aerodinâmico, com diferentes posições relativas entre os modelos. Visando compreender a relação de interação entre tais parâmetros na caracterização dos efeitos de interferência da vizinhança.

## 2. METODOLOGIA: PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para o estudo, utilizou-se o modelo aerodinâmico reduzido do *CAARC Standard Tall Building*, sendo adotado um modelo rígido devido a suas características e ao tipo de aquisição de dados necessária, confeccionado em acrílico e instrumentado com tomadas de pressão que realizam medidas instantâneas de pressões devidas a ação do vento, adequadamente distribuídas pelas faces externas do modelo. Os modelos mudos, não instrumentados, são elaborados em chapas de madeira compensada com a mesma configuração prismática, servindo apenas como barreira de interferência à passagem do escoamento, conforme cada densidade de vizinhança.

As densidades de vizinhança são representadas através de 3 (três) diferentes configurações de ensaio, com 2 (duas) posições relativas entre os modelos para cada configuração, totalizando 6 (seis) configurações de vizinhança. As posições relativas foram denominadas com o parâmetro  $D$ , que é a dimensão do menor lado da seção transversal do CAARC,  $D = 75,00$  mm.



Na Fig. 1, Fig. 2 e Fig.3, tem-se as projeções em planta baixa com a representação de todas as posições relativas entre os modelos, adotadas em cada configuração, bem como a representação das perspectivas dos modelos e a referência dos ângulos de incidência do vento.

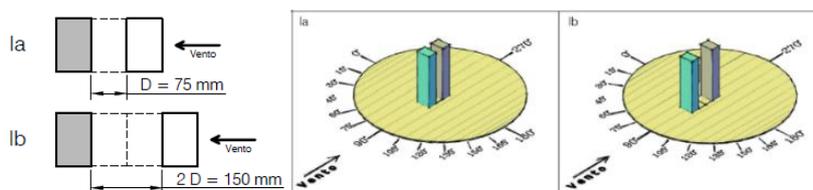


Figura 1. Representação da Configuração I, dimensões de referência e perspectivas dos ensaios  
Fonte: elaborado pelo autor

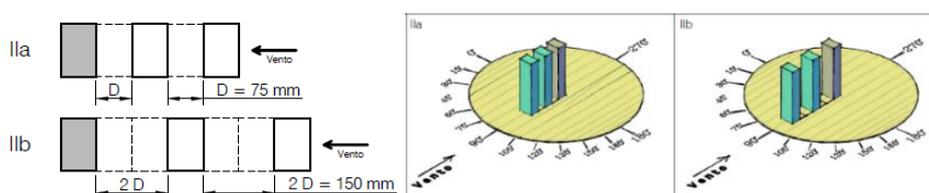


Figura 2. Representação da Configuração II, dimensões de referência e perspectivas dos ensaios  
Fonte: elaborado pelo autor

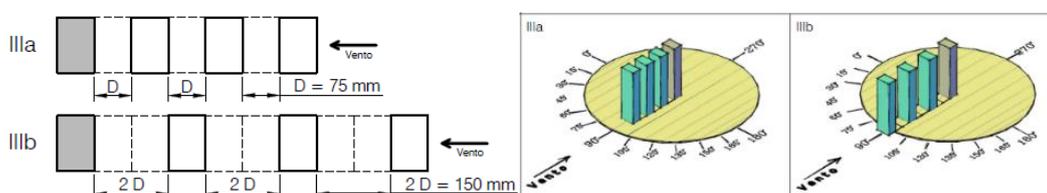


Figura 3. Representação da Configuração III, dimensões de referência e perspectivas dos ensaios  
Fonte: elaborado pelo autor

Para a análise dos efeitos de vizinhança com diferentes incidências do vento, através do fator de vizinhança, todas as configurações, Ia, Ib, IIa, IIb, IIIa e IIIb, foram medidas em 19 ângulos de incidência do vento, girando a mesa de ensaios de 0 a 270°, com medidas a cada 15° de incidência do vento. Para isto, tem-se a utilização de uma mesa giratória com o modelo em análise posicionado em seu centro, sendo os modelos mudos, representantes das densidades de vizinhança, posicionados a barlavento desse modelo na direção de incidência do vento a 90°.

A Tabela 1 apresenta as características e informações necessárias para os ensaios e cálculos, como o expoente  $p$  da lei potencial do perfil de velocidades médias do vento, simulado para caracterizar o escoamento do vento, a classe e categoria segundo a NBR6123:1988, o coeficiente  $k_o$ , fator de calibração do túnel de vento, a velocidade básica do vento ( $V_0$ ) e a pressão dinâmica de projeto ( $q_k$ ), entre outros parâmetros necessários.

Tabela 1. Características e informações necessárias

| $p$  | Classe | Categoria | $k_o$ | $V_0$ (m/s) | $S_2$ | $V_k$ (m/s) | $q_k$ (N/m <sup>2</sup> ) |
|------|--------|-----------|-------|-------------|-------|-------------|---------------------------|
| 0,23 | C      | III e IV  | 1,185 | 42,0        | 1,209 | 50,78       | 1580,65                   |

Fonte: elaborado pelo autor



### 3. RESULTADOS

Os resultados desse estudo correspondem a uma análise da influência de diferentes densidades de vizinhança na caracterização dos efeitos de interferência em um modelo aerodinâmico, diferenciadas pela adição e o aumento do espaçamento entre os modelos interferentes. Para tal, realizou-se o cálculo dos coeficientes de pressão média ( $\bar{c}_p$ ) através da integração dos registros das séries temporais das pressões para cada configuração ensaiada no túnel. Em seguida, foram encontrados os esforços cortantes na base do edifício para cada configuração, determinado através do somatório das forças em x e y de cada tomada instalada na superfície do modelo, considerando os senos e cossenos diretores dos vetores normais junto às tomadas de pressão. Por fim, para cada ângulo de incidência calculou-se os coeficientes de força em termos das respostas transversais e longitudinais médias, conforme as configurações de ensaio realizadas, isolado ( $C_{x,iso}$  e  $C_{y,iso}$ ) e com vizinhança ( $C_{x,cv}$  e  $C_{y,cv}$ ), determinados a partir dos esforços cortantes totais na base.

Através desses coeficientes de força na direção dos eixos x e y, tem-se o cálculo do coeficiente máximo de força horizontal, utilizado para a determinação dos fatores de vizinhança ( $FV$ ) nesse estudo, conforme as seguintes equações, respectivamente:

$$C = \sqrt{C_x^2 + C_y^2} \quad FV = \frac{C_{máx,cv}}{C_{máx,iso}} \quad (1)$$

Na Fig. 4, os resultados obtidos para a Configuração Ia, apresentando a comparação da variação dos coeficientes de força em x e y, na configuração isolada e com a presença da vizinhança,  $C_{x,iso}$  e  $C_{x,cv}$ ,  $C_{y,iso}$  e  $C_{y,cv}$ , em função do ângulo de incidência de 0 a 270°.

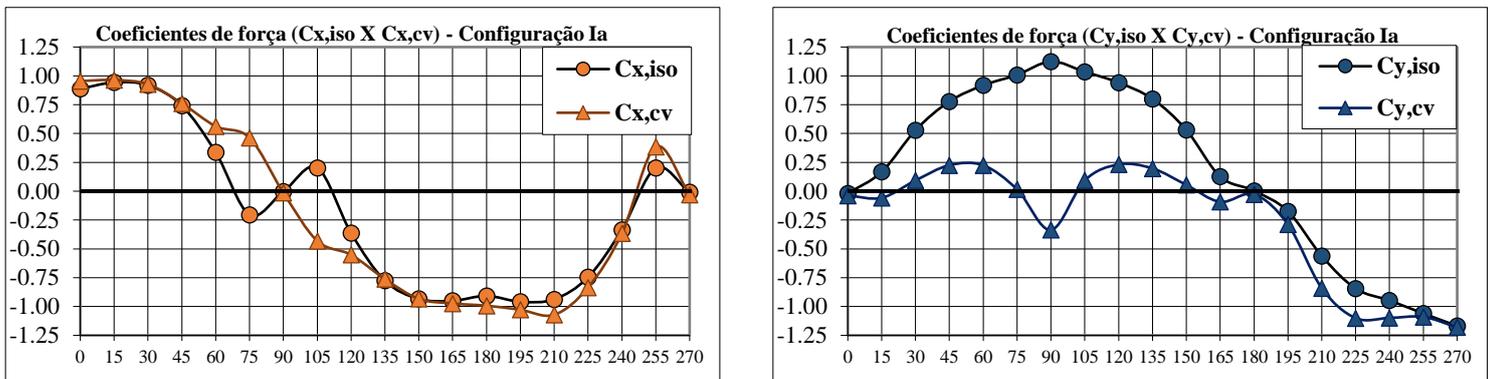


Figura 4. Coeficientes de força ( $C_{x,iso}$  e  $C_{x,cv}$ ,  $C_{y,iso}$  e  $C_{y,cv}$ ) na Configuração Ia  
Fonte: elaborado pelo autor

Os coeficientes de força no eixo x encontram-se próximos para ambas as configurações, ocorrendo uma alteração mais significativa entre os ângulos de 60° a 120°, com inversão de valores nos ângulos de 75° e 105°, atenuando um indicativo de ocorrência de um fenômeno dinâmico descrito no “Critério de Den Hartog”, quando uma estrutura sem amortecimento é submetida a uma excitação harmônica senoidal (Den hartog, 1947; Pacheco Huacho, 2014). Os resultados para o eixo x, na Configuração Ia, mostram pouca influência da única edificação presente na vizinhança, os maiores valores observados para  $C_{x,iso}$  (-0,96) e para  $C_{x,cv}$  (-1,07) ocorreram para ângulos de incidência próximos, 195° e 210°, respectivamente.

Os coeficientes de força no eixo y, ao contrário, apresentaram uma redução acentuada na maioria dos ângulos de incidência analisados, destacando a expressiva mudança entre os ângulos



de 15° a 165°, com uma grande inversão de valores no ângulo de 90°, caracterizando um intenso efeito de proteção nessas incidências do vento. Os maiores valores de  $C_{y,iso}$  (1,12 e -1,17) ocorreram nos ângulos de 90° e 270°, respectivamente. No entanto, para  $C_{y,cv}$ , ocorreram nos ângulos entre 225° e 270°, variando entre -1,10 a -1,18.

Assim, através dos resultados dos fatores de vizinhança com relação aos eixos x e y para a Configuração Ia, pode-se elaborar a Tabela 2, representando os resultados obtidos em túnel de vento através da porcentagem de ocorrência. Destaca-se que devido a valores dos coeficientes de força muito pequenos para o numerador e o denominador, alguns fatores são descartados por apresentarem um fator de vizinhança muito alto. Com relação aos resultados tem-se que a maioria das forças no eixo x foram majoradas, correspondendo a 88,2% das ações. Em contrapartida no eixo y, houve uma maior redução das ações, embora mais balanceado, correspondendo a 61,1%.

Tabela 2. Resultados (FVx e FVy) em porcentagem na Configuração Ia

| FV              | Resultados |         |             | Redução  |       | Majoração |       |
|-----------------|------------|---------|-------------|----------|-------|-----------|-------|
|                 | Totais     | Válidos | Descartados | (FV < 1) |       | (FV > 1)  |       |
| FV <sub>x</sub> | 19         | 17      | 2           | 2        | 1,8%  | 15        | 88,2% |
| FV <sub>y</sub> |            | 18      | 1           | 11       | 61,1% | 7         | 38,9% |

Fonte: elaborado pelo autor

Na sequência, através dos coeficientes de força em x e y, tem-se a determinação dos coeficientes de força horizontais para cada ângulo de incidência e configuração, isolada e com vizinhança, possibilitando determinar os fatores de vizinhança (FV) para a Configuração Ia. Assim, é possível a comparação dos valores encontrados com as preconizações da NBR6123:1988 em seu Anexo G, que indicam valores de FV variando de 1,0 a 1,3. Os resultados foram divididos entre aqueles que estão abaixo do limite inferior de 1,0 da norma brasileira, aqueles que estão de acordo com os limites e aqueles que ultrapassaram o limite superior de 1,3.

Com relação aos resultados, na Configuração Ia (Tabela 3), a maioria dos fatores estão entre os limites preconizados pela norma, correspondendo a 52,6% dos valores. No entanto, muitos valores ficaram abaixo do limite inferior, indicando um efeito de proteção nas ações, 47,4%, e ainda, nenhum fator ultrapassou o limite superior, atendendo às indicações da norma.

Tabela 3. Resultados (FV) em porcentagem na Configuração Ia

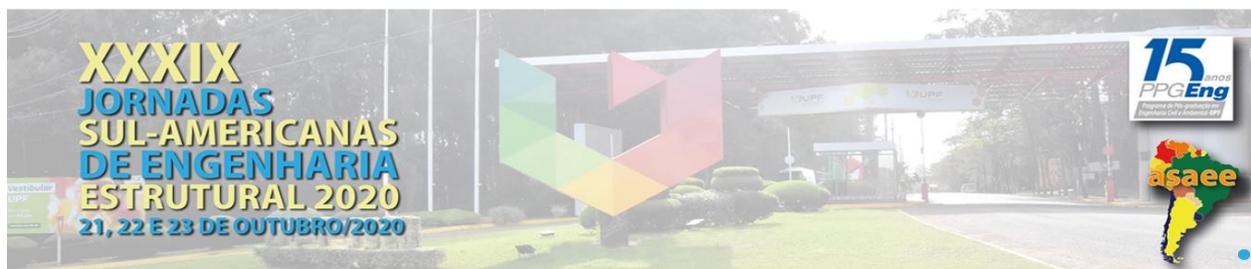
| FV | Resultados válidos | FV < 1 |       | 1 ≤ FV ≤ 1,3 |       | FV > 1,3 |    |
|----|--------------------|--------|-------|--------------|-------|----------|----|
|    |                    |        |       |              |       |          |    |
|    | 19                 | 9      | 47,4% | 10           | 52,6% | 0        | 0% |

Fonte: elaborado pelo autor

O procedimento de análise dos resultados apresentado anteriormente, também foi desenvolvido com as configurações Ib, IIa, IIb, IIIa e IIIb, apresentados na Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 4. Resultados (FVx e FVy) em porcentagem nas Configurações Ib, IIa, IIb, IIIa e IIIb

| FV                      | Resultados |         |             | Redução  |       | Majoração |       |
|-------------------------|------------|---------|-------------|----------|-------|-----------|-------|
|                         | Totais     | Válidos | Descartados | (FV < 1) |       | (FV > 1)  |       |
| <b>Configuração Ib</b>  |            |         |             |          |       |           |       |
| FV <sub>x</sub>         | 19         | 18      | 1           | 0        | 0%    | 18        | 100%  |
| FV <sub>y</sub>         |            | 18      | 1           | 12       | 66,7% | 6         | 33,3% |
| <b>Configuração IIa</b> |            |         |             |          |       |           |       |
| FV <sub>x</sub>         | 19         | 17      | 2           | 1        | 5,9%  | 16        | 94,1% |
| FV <sub>y</sub>         |            | 18      | 1           | 12       | 66,7% | 6         | 33,3% |



| FV                       | Resultados |         | Redução (FV < 1) | Majoração (FV > 1) |
|--------------------------|------------|---------|------------------|--------------------|
|                          | Totais     | Válidos |                  |                    |
| <b>Configuração Ib</b>   |            |         |                  |                    |
| FV <sub>x</sub>          | 19         | 19      | 0                | 1 5,3%             |
| FV <sub>y</sub>          |            | 18      | 1                | 11 61,1%           |
| <b>Configuração IIIa</b> |            |         |                  |                    |
| FV <sub>x</sub>          | 19         | 17      | 2                | 0 0%               |
| FV <sub>y</sub>          |            | 17      | 2                | 13 76,5%           |
| <b>Configuração IIIb</b> |            |         |                  |                    |
| FV <sub>x</sub>          | 19         | 18      | 1                | 0 0%               |
| FV <sub>y</sub>          |            | 18      | 1                | 11 61,1%           |

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 5. Resultados (FV) em porcentagem nas Configurações Ib, IIa, IIb, IIIa e IIIb

| FV                       | Resultados válidos | FV < 1   | 1 ≤ FV ≤ 1,3 | FV > 1,3 |
|--------------------------|--------------------|----------|--------------|----------|
| <b>Configuração Ib</b>   |                    |          |              |          |
| FV                       | 19                 | 11 57,9% | 8 42,1%      | 0 0%     |
| <b>Configuração IIa</b>  |                    |          |              |          |
| FV                       | 19                 | 10 52,6% | 9 47,4%      | 0 0%     |
| <b>Configuração IIb</b>  |                    |          |              |          |
| FV                       | 19                 | 11 57,9% | 8 42,1%      | 0 0%     |
| <b>Configuração IIIa</b> |                    |          |              |          |
| FV                       | 19                 | 10 52,6% | 8 42,1%      | 1 5,3%   |
| <b>Configuração IIIb</b> |                    |          |              |          |
| FV                       | 19                 | 10 52,6% | 9 47,4%      | 0 0%     |

Fonte: elaborado pelo autor

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo dos fatores de vizinhança nesse trabalho, em relação às direções x e y, seguiu as preconizações da literatura referentes a majoração e redução das ações do vento no modelo em estudo: valores acima de 1 representam o aumento dos carregamentos do vento e valores abaixo de 1 indicam uma redução nas ações do vento sobre a edificação. Ao longo da análise dos resultados foram observadas as configurações e incidências do vento mais influentes no dimensionamento estrutural, apresentando casos tanto de majoração quanto de redução nos carregamentos. A Fig. 5 apresenta as relações entre majoração e redução nos eixos x e y, respectivamente, comparando a mudança nesses fatores conforme cada configuração.

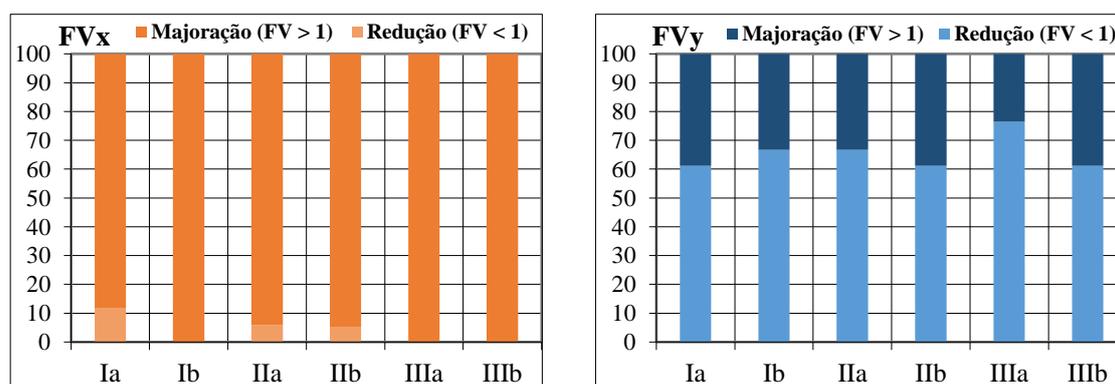


Figura 5. Resultados (FV<sub>x</sub> e FV<sub>y</sub>) em porcentagem conforme as configurações

Fonte: elaborado pelo autor



Para os FVx observa-se a absoluta predominância das ações de majoração do vento em todas as configurações ensaiadas. A Configuração Ia, com apenas uma edificação e menor afastamento, apresentou maior porcentagem nas ações de redução, embora significativamente pequena, sendo seguida da diminuição dessa ação conforme a adição de outros modelos interferentes e maiores afastamentos. Ou seja, no eixo x, a presença da vizinhança tende a aumentar os carregamentos do vento, seguindo o aumento da densidade da vizinhança. Em contrapartida, para os FVy observa-se um balanceamento nas ações do vento com maior predominância das ações de redução, conforme a adição de novos modelos interferentes e maiores afastamentos, destacando-se o aumento nas ações de redução nos carregamentos.

A Tabela 6 apresenta os resultados totais obtidos em túnel de vento nesse estudo através da porcentagem de ocorrência para os fatores de vizinhança calculados para ambos os eixos, FVx e FVy, somando-se os resultados de todas as configurações ensaiadas. Tem-se que a grande maioria das forças no eixo x foram majoradas, correspondendo a 96,2% das ações, contra 3,8% das ações reduzidas. Em contrapartida, no eixo y, a maioria das ações foram reduzidas, correspondendo a 65,4%, contra 34,6% das ações majoradas, apresentando maior balanceamento.

Tabela 6. Resultados totais (FVx e FVy) em porcentagem

| FV  | Resultados |         |             | Redução (FV < 1) | Majoração (FV > 1) |    |
|-----|------------|---------|-------------|------------------|--------------------|----|
|     | Totais     | Válidos | Descartados |                  |                    |    |
| FVx | 114        | 106     | 8           | 4                | 3,8%               |    |
| FVy |            | 107     | 7           | 70               | 65,4%              | 37 |

Fonte: elaborado pelo autor

Seguindo as análises dos fatores de vizinhança (FV), calculados através dos coeficientes de força horizontais para cada ângulo de incidência e cada configuração, tem-se as relações dos resultados na Fig. 6, apresentando a mudança nesses fatores conforme cada configuração. Dividido entre aqueles que estão abaixo do limite inferior de 1,0 da norma brasileira, aqueles que estão de acordo com os limites entre 1,0 e 1,3 e aqueles que ultrapassaram o limite superior de 1,3.

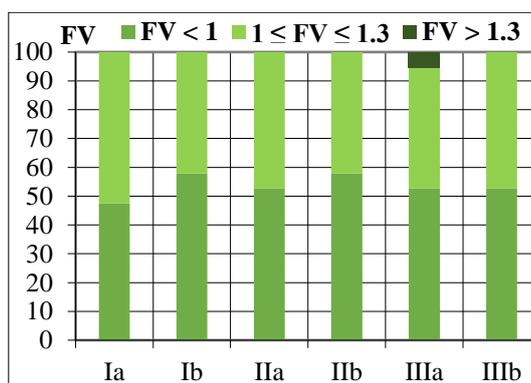


Figura 6. Resultados (FV) em porcentagem conforme as configurações

Fonte: elaborado pelo autor

A Tabela 7 apresenta os resultados totais através da porcentagem de ocorrência para os fatores de vizinhança (FV), somando-se os resultados de todas as configurações ensaiadas. Conforme observado anteriormente, a maioria dos fatores estão abaixo do limite inferior, correspondendo a 53,5% dos valores, os resultados entre os limites preconizados pela norma são 45,6%, sendo que apenas 0,9% representam um valor ultrapassando o limite superior.



Tabela 7. Resultados totais (FV) em porcentagem

| FV | Resultados válidos | FV < 1 |       | 1 ≤ FV ≤ 1,3 |       | FV > 1,3 |
|----|--------------------|--------|-------|--------------|-------|----------|
|    |                    | 61     | 53,5% | 52           | 45,6% | 0,9%     |
|    | 114                |        |       |              |       |          |

Fonte: elaborado pelo autor

Analisando os resultados dos fatores de vizinhança (*FV*) obtidos em túnel de vento através da porcentagem de ocorrência conforme as configurações adotadas, tem-se que a maioria dos fatores estão abaixo do limite inferior, indicando um efeito de proteção nas ações, relacionado com a quantidade e proximidade das edificações interferentes. Observa-se que as configurações de vizinhança com menores afastamentos entre os modelos resultaram em maiores fatores de vizinhança, casos das configurações Ia, IIa e IIIa. A maioria desses resultados estão entre os limites da norma, sendo observada apenas uma configuração, Configuração IIIa, com um fator ultrapassando o limite superior de 1,3 da NBR6123:1988, embora consideravelmente dentro dos limites, visto o valor de 1,31 encontrado nessa configuração.

Portanto, considerando os estudos que resultaram nos parâmetros adotados na norma, compostos por uma ou duas edificações interferentes, a adição de outros modelos no entorno do modelo em estudo com diferentes espaçamentos influenciam os resultados para os fatores de vizinhança. No entanto, estes não alteram significativamente os valores, estando em conformidade com as preconizações do Anexo G da NBR6123:1988, mostrando que os valores de *FV* são dados principalmente em função da proximidade e do tamanho das edificações diretamente no entorno. Esses estudos indicam a evidente necessidade de novos trabalhos, visando adequar as recomendações da norma brasileira quanto a utilização desse parâmetro.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC).

## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR6123 – Forças devidas ao vento em edificações. 66p. Edição 1988. Rio de Janeiro, 1988.
- Cho, K.; Hong, S.; Hwang, K. Effects of neighbouring building on wind loads. Council on Tall Buildings and Urban Habitat Seoul Conference, p. 516-523. Korea, 2004.
- Den Hartog, J. P. Mechanical Vibrations. Third Edition. McGraw-Hill Book Company. New York, 1947.
- Khanduri, A. C.; Stathopoulos, T.; Bédard, C. Wind-induced interference effects on buildings – a review of the state-of-the-art. Engineering Structures, v. 20, p. 617-630. Grã-Bretanha, 1998.
- Pacheco Huacho, C. A. Análise paramétrica de vibrações induzidas em pontes devido à cargas móveis. 127p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, 2014.