



**ESTUDO EXPERIMENTAL DOS ESFORÇOS SOLICITANTES EM UM
EDIFÍCIO ALTO DEVIDOS À AÇÃO DO VENTO CONSIDERANDO A
INFLUÊNCIA DE EDIFICAÇÕES VIZINHAS**

GREGORIO SANDRO VIEIRA

**TESE DE DOUTORADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTUDO EXPERIMENTAL DOS ESFORÇOS SOLICITANTES EM UM
EDIFÍCIO ALTO DEVIDOS À AÇÃO DO VENTO CONSIDERANDO A
INFLUÊNCIA DE EDIFICAÇÕES VIZINHAS**

GREGORIO SANDRO VIEIRA

ORIENTADOR: JOSÉ LUIS VITAL DE BRITO

CO-ORIENTADOR: ACIR MÉRCIO LOREDO-SOUZA

TESE DE DOUTORADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

PUBLICAÇÃO: E.TD – 10A/16

BRASÍLIA/DF: 29 DE NOVEMBRO – 2016

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTUDO EXPERIMENTAL DOS ESFORÇOS SOLICITANTES EM UM
EDIFÍCIO ALTO DEVIDOS À AÇÃO DO VENTO CONSIDERANDO A
INFLUÊNCIA DE EDIFICAÇÕES VIZINHAS**

GREGORIO SANDRO VIEIRA

**TESE SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE
DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ESTRUTURAS E
CONSTRUÇÃO CIVIL.**

APROVADA POR:

**Prof. José Luis Vital de Brito, Dr. (UnB – ENC)
(Orientador)**

**Prof. Zenón Guzmán Nuñez del Prado, Dr. (UFG)
(Examinador Externo)**

**Eng. Mário Gustavo Klaus Oliveira, Dr.
(Vento-S Consultoria em Engenharia do Vento LTDA)
(Examinador Externo)**

**Prof.^a Graciela Nora Doz de Carvalho, Dr.^a (UnB – ENC)
(Examinadora Interna)**

**Prof. Lineu José Pedroso, D.Sc. (UnB – ENC)
(Examinador Interno)**

BRASÍLIA/DF, 29 DE NOVEMBRO DE 2016

FICHA CATALOGRÁFICA

VIEIRA, GREGORIO SANDRO

Estudo Experimental dos Esforços Solicitantes em um Edifício Alto Devidos à Ação do Vento Considerando a Influência de Edificações Vizinhas [Distrito Federal] 2016.

xxvii, 205 p, 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Estruturas e Construção Civil, 2016)

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília.

Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Estruturas
 2. Vento
 3. Estabilidade
- I. ENC/FT/UnB
 - II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

VIEIRA, G. S. (2016). Estudo Experimental dos Esforços Solicitantes em um Edifício Alto Devidos à Ação do Vento Considerando a Influência de Edificações Vizinhas, Publicação E.TD-10A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 205p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Gregório Sandro Vieira

TÍTULO: Estudo Experimental dos Esforços Solicitantes em um Edifício Alto Devidos à Ação do Vento Considerando a Influência de Edificações Vizinhas

GRAU: Doutor

ANO: 2016

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Gregorio Sandro Vieira

Av. João Naves de Ávila, 2121, Campus Santa Mônica – Bloco 1Y

CEP 38400-902

Uberlândia – MG – Brasil

gregorio.eng@gmail.com

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meu pai a quem devo minha vida a minha amada esposa Gabriella, por todo amor e compreensão e aos meus filhos Gregorio, Gustavo e Gabriel por me motivarem a finalizar esta jornada.

“Não precisa correr tanto;
o que tiver de ser seu,
às mãos lhe há de ir”
(Machado de Assis)

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, único digno de toda honra, toda glória e todo louvor, por ter me dado a capacidade de superar minhas limitações para atingir meus objetivos.

Aos meus orientadores professor José Luis Vital de Britto e professor Acir Mércio Loredo-Souza pelas orientações e ponderações que me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

A minha esposa Gabriella que pelo seu amor, carinho, compreensão e incentivo, tornou essa jornada suportável.

Aos meus filhos Gregório, Gustavo e Gabriel que foram o motivo de superar os dias mais difíceis durante este percurso.

A meu pai Durvalino por me servir de exemplo de integridade e caráter, fundamental para alcançar o sucesso.

A minha irmã Priscila e demais familiares e amigos, por torcerem por mim, me colocarem em suas orações e que de forma direta ou indireta participaram deste processo.

Ao LAC-UFRGS e à empresa Vento-S, na pessoa do Eng. Franco, por me ajudarem na realização dos ensaios deste trabalho.

Aos funcionários e todos os colegas que fiz no PECC nesses anos de pesquisa. Obrigado pelo companheirismo e amizade nesta etapa de minha vida.

À UnB e ao PECC por proporcionarem a realização deste trabalho.

RESUMO

Estudo Experimental dos Esforços Solicitantes em um Edifício Alto Devidos à Ação do Vento Considerando a Influência de Edificações Vizinhas

Autor: Gregorio Sandro Vieira

Orientador: José Luis Vital de Brito

Co - orientador: Acir Mércio Loredou-Souza

Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, 29 de novembro de 2016

A atual expansão urbana aliada a especulação imobiliária tem levado muitos municípios a alterar seu zoneamento urbano juntamente com a liberação do gabarito das edificações. Isto tem promovido a construção de edifícios em zonas mais distantes dos centros urbanos onde, geralmente, há poucos ou nenhum edifício de grande altura. No caso da existência de edificações vizinhas, estas podem alterar significativamente os esforços do vento, por isso a *Norma Brasileira de Forças Devidas ao Vento em Edificações – NBR 6123:1988*, estabelece os coeficientes a serem utilizados de maneira a se considerar esses efeitos. Tais coeficientes perduram por um bom tempo sem nenhuma revisão. Assim, para estudar a intensidade da influência das edificações vizinhas a determinadas distâncias sobre os esforços de cisalhamento na base, momento de tombamento e torção em um edifício, foram propostas oito configurações de vizinhanças e quatro diferentes contornos, onde a distância entre esses contornos e o centro da edificação em estudo, estava diretamente relacionada com a altura desta, totalizando trinta e duas diferentes vizinhanças. De maneira a ser possível uma comparação com outros trabalhos, optou-se por utilizar a edificação padronizada pelo *Commonwealth Advisory Aeronautical Research Concl* (CAARC). Para cada vizinhança em cada contorno foram estudados vinte e quatro ângulos com variações de quinze graus a partir da direção zero grau. Os resultados mostraram que a presença das edificações vizinhas alterou os resultados de todos os esforços estudados em uma quantidade significativa de direções consideradas. Observou-se que os parâmetros atuais estabelecidos pela norma para se majorar os esforços considerando os efeitos de vizinhança assim como a distância em que uma edificação deve estar posicionada para ser considerada vizinha, não englobam a grande maioria dos resultados obtidos nos ensaios. O valor de um fator de segurança a ser utilizado de forma a englobar uma quantidade tecnicamente aceitável de resultados, dentro das distâncias propostas neste trabalho, deveria majorar os esforços em pelo menos 60% os valores praticados em uma edificação considerada isoladamente. Assim, propõe-se uma revisão tanto da distância em que uma edificação deve estar para que os esforços na edificação de estudo sejam considerados utilizando-se um fator específico de influência de vizinhança, como a alteração do valor de fator de vizinhança proposto pela norma atualmente.

Palavras chave: Efeito de vizinhança; ação do vento; aerodinâmica das construções

ABSTRACT

Experimental Study of Applicants efforts in a High Building Due to Wind Action Considering the Influence of Neighboring Buildings

Author: Gregorio Sandro Vieira

Supervisor Professor: José Luis Vital de Brito

Co – Supervisor Professor: Acir Mércio Loredo-Souza

Graduation Program in Structural and Civil Construction

Brasília, November 29, 2016

The current urban sprawl combined with real estate speculation has led many municipalities to change its urban zoning along with the release of the building templates. This has promoted the construction of buildings in more remote areas of the urban centers where generally there are few or no buildings of great height. In the case of the existence of neighboring buildings, these can significantly change the wind efforts, so the *Brazilian Standard Building Construction – Bases for design of structures – Wind Loads – NBR 6123:1988* sets out the coefficients to be used in order to consider these effects. Such coefficients linger for a long time without any review. Thus, to study the intensity of the influence of neighboring buildings at certain distances on shear efforts at the base, tip over and torsion moment in a building, it was proposed eight neighborhood settings and four different contours, where the distance between these contours and center of the building under study, was directly related to the height of this, totaling thirty-two different neighborhoods. In order to be possible to compare with other studies, it was decided to use the standardized building by the Commonwealth Advisory Aeronautical Research Council (CAARC). For each neighborhood in each contour were studied twenty-four angles with variations of fifteen degrees from the zero degree direction. The results showed that the presence of surrounding buildings affect the results of all efforts studied in a significant number of considered directions. It was observed that the current parameters set by the standard major efforts to consider the neighborhood effects as well as the distance at which a building must be positioned neighboring to be considered, does not include the vast majority of test results obtained. The value of the safety factor to be used in order to encompass a number of technically acceptable results, within the distances proposed in this paper should major efforts at least 60% values practiced in a building considered separately. It is therefore proposed a revision of both the distance that a building should be so that the efforts in the study building are considered using a specific factor of neighborhood influence, such as changing the neighborhood factor value proposed by the currently standard.

Keywords: neighborhood effect; wind action; Aerodynamics of buildings.

SUMÁRIO

RESUMO.....	VIII
ABSTRACT	IX
SUMÁRIO.....	X
LISTA DE FIGURAS.....	XIII
LISTA DE TABELAS.....	XVIII
LISTA DE QUADROS.....	XX
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES.....	XXII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO DA PESQUISA	3
1.2 OBJETIVO DO TRABALHO.....	3
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 PERFIL DE VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO	7
2.2 EFEITOS DO VENTO EM EDIFÍCIOS	9
2.2.1 Regimes de escoamento.....	9
2.2.2 Efeito Venturi.....	15
2.2.3 Deflexão do vento na direção vertical.....	15
2.2.4 Efeito de esteira turbulenta.....	16
2.2.5 Turbulência.....	16
2.2.6 Martelamento.....	17
2.2.7 Interferência de Vizinhança	18
2.3 COEFICIENTES AERODINÂMICOS	19
2.3.1 Coeficiente de pressão.....	19
2.3.2 Coeficiente de força resultante	19
2.3.3 Coeficiente de torção.....	21
2.3.4 Coeficiente de momento fletor.....	22
2.4 CONSIDERAÇÕES DOS EFEITOS DE VIZINHANÇA PELA NORMA BRASILEIRA DE VENTO NBR 6123:1988	23
2.5 ESTUDOS SOBRE VIZINHANÇA.....	25
2.6 ESTUDOS SOBRE VIZINHANÇA NO BRASIL	35
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL	40
3.1 TÚNEL DE VENTO PROFESSOR JOAQUIM BLESSMANN	40
3.2 SIMULAÇÃO DO VENTO.....	42
3.3 CAARC STANDARD TALL BUILDING	45
3.4 VIZINHANÇAS PROPOSTAS	47
3.5 INSTRUMENTAÇÃO E PROCEDIMENTOS DOS ENSAIOS	53
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	59

4.1	RESULTADOS PARA O CAARC STANDARD TALL BUILDING ISOLADO	59
4.2	RESULTADOS PARA A VIZINHANÇA V1	60
4.2.1	<i>Resultante da força na direção dos eixos ordenados</i>	61
4.2.2	<i>Resultados dos coeficientes de torção</i>	65
4.2.3	<i>Resultados dos coeficientes de flexão em torno dos eixos ordenados</i> ..	67
4.3	RESULTADO DA VIZINHANÇA V2.....	69
4.3.1	<i>Resultante da força na direção dos eixos ordenados</i>	69
4.3.2	<i>Resultados dos coeficientes de torção</i>	71
4.3.3	<i>Resultados dos coeficientes de flexão em torno dos eixos ordenados</i> ..	72
4.4	RESULTADO DA VIZINHANÇA V3.....	74
4.4.1	<i>Resultante da força na direção dos eixos ordenados</i>	75
4.4.2	<i>Resultados dos coeficientes de torção</i>	77
4.4.3	<i>Resultados dos coeficientes de flexão em torno dos eixos ordenados</i> ..	78
4.5	RESULTADOS DA VIZINHANÇA V4	81
4.5.1	<i>Resultante da força na direção dos eixos ordenados</i>	81
4.5.2	<i>Resultados dos coeficientes de torção</i>	83
4.5.3	<i>Resultados dos coeficientes de flexão em torno dos eixos ordenados</i> ..	84
4.6	RESULTADOS DA VIZINHANÇA V5.....	87
4.6.1	<i>Resultante da força na direção dos eixos ordenados</i>	87
4.6.2	<i>Resultados dos coeficientes de torção</i>	90
4.6.3	<i>Resultados dos coeficientes de flexão em torno dos eixos ordenados</i> ..	91
4.7	ÇA RESULTADOS DA VIZINHANÇA V6	93
4.7.1	<i>Resultante da força na direção dos eixos ordenados</i>	94
4.7.2	<i>Resultados dos coeficientes de torção</i>	96
4.7.3	<i>Resultados dos coeficientes de flexão em torno dos eixos ordenados</i> ..	97
4.8	RESULTADOS DA VIZINHANÇA V7	99
4.8.1	<i>Resultante da força na direção dos eixos ordenados</i>	99
4.8.2	<i>Resultados dos coeficientes de torção</i>	102
4.8.3	<i>Resultados dos coeficientes de flexão em torno dos eixos ordenados</i>	103
4.9	RESULTADOS DA VIZINHANÇA V8.....	106
4.9.1	<i>Resultante da força na direção dos eixos ordenados</i>	106
4.9.2	<i>Resultados dos coeficientes de torção</i>	109
4.9.3	<i>Resultados dos coeficientes de flexão em torno dos eixos ordenados</i>	110
4.10	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS ANALISADOS DE ACORDO COM CADA CONTORNO	112
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	119
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
	APENDICE A – COEFICIENTES DE FORÇA RESULTANTE	129
	APENDICE B – COEFICIENTES DE TORÇÃO	137
	APENDICE C – COEFICIENTES DE FLEXÃO EM TORNO DOS EIXOS	144
	APENDICE D – FV DAS FORÇAS RESULTANTES.....	153
	APENDICE E – FV DA TORÇÃO	161
	APENDICE F – FV DA FLEXÃO EM TORNO DOS EIXOS.....	169
	APENDICE G – GRÁFICOS DO FV DAS FORÇAS RESULTANTES	177

APENDICE H – GRÁFICOS DO FV DA TORÇÃO.....	185
APENDICE I – GRÁFICOS DO FV DA FLEXÃO EM TORNO DOS EIXOS	193
APENDICE J – DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE PRESSÃO AERODINÂMICOS	201
ANEXO A – ANEXO G DA NORMA BRASILEIRA DE VENTO NBR6123:1988...	205

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Representação de z_d	8
Figura 2.2: Linhas de escoamento do vento em uma edificação (SALES <i>et al.</i> , 1994, p. 11).....	10
Figura 2.3: Indicação da região de esteira (adaptado de TREIN, 2005, pg 22)	11
Figura 2.4: Perfil de velocidade média sobre terrenos com diferentes rugosidades indicadas pelo expoente da curva de potência (CARPEGIANI, 2004, pg 52)	11
Figura 2.5: Fluxo do vento em torno de um edifício alto (adaptado de HOLMES, 2004, pg186).....	12
Figura 2.6: Escoamento de corpo isolado (CARPEGIANI, 2004, p. 7)	14
Figura 2.7: Escoamento deslizante (CARPEGIANI, 2004, p. 8)	14
Figura 2.8: Escoamento de interferência de esteira (CARPEGIANI, 2004, p. 8)	15
Figura 2.9: Efeito Venturi (adaptado de CARPEGIANI, 2004, p. 5).....	15
Figura 2.10: Deflexão vertical (WISE, 1971, p. 471)	16
Figura 2.11: Esteira turbulenta, Cook (1985 apud BENIA, 2013, p. 22)	16
Figura 2.12: Diâmetro de consideração para efeito de vizinhança para o cálculo da excentricidade da força de arrasto	23
Figura 2.13: Indicação do afastamento entre a edificação em estudo e uma edificação vizinha	24
Figura 2.14: Estudo sobre o Empire State Building (HARRIS, 1934, p. 106-108).....	25
Figura 2.15: Pesquisa de Wise (adaptada de WISE, 1971, p. 471-473)	27
Figura 2.16: Um dos resultados apresentados por Dalgliesh (1975, adaptada, p. 60)	27
Figura 2.17: Interferência na resposta transversal da edificação (MELBOURNE, 1977 apud BENIA, 2013, p. 28)	28
Figura 2.18: Considerações dos estudos de English (adaptado, 1990, p. 30)	30
Figura 2.19: Posicionamento dos edifícios (adaptado de LAM <i>et al.</i> , 2008, p. 564; 2011, p. 574).....	33
Figura 2.20: Visualizações de pressão (adaptado de HUI <i>et al.</i> , 2013, p. 155).....	33
Figura 2.21: Linhas de fluxo do vento em diferentes direções (adaptado JANA <i>et al.</i> , 2015)	35
Figura 2.22: Posicionamento dos modelos (BLESSMANN, 1985, p. 107)	36
Figura 2.23: Variação das distâncias (adaptado de FONTES, 2003, p. 32).....	37
Figura 2.24: Situações estudadas por Bênia (adaptado de BENIA, 2013, p. 76)	38
Figura 2.25: Configurações estudadas por Fontoura (adaptado de FONTOURA, 2014)	39
Figura 2.26: Configurações estudadas por Alberti (adaptado de ALBERTI, 2015) ...	39
Figura 3.1: Túnel de Vento Professor Joaquim Blessmann	41
Figura 3.2: Circuito aerodinâmico do Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann (Medidas em cm).....	41
Figura 3.3: Grelhas para geração de diferentes camadas limite. (a) grelha; (b) $p = 0,11$; (c) $p = 0,23$; (d) $p = 0,34$	44
Figura 3.4: Blocos fixos ao piso para auxiliar na representação do vento natural.....	44
Figura 3.5: CAARC Standard Tall Building.....	46

Figura 3.6: Afastamentos de vizinhança para o <i>CAARC Standard Tall Building</i> seguindo os parâmetros da NBR 6123:1988.....	47
Figura 3.7: Distâncias de vizinhança da pesquisa.....	49
Figura 3.8: Vizinhança V1 em planta e em perspectiva respectivamente	49
Figura 3.9: Vizinhança V2 em planta e em perspectiva respectivamente	50
Figura 3.10: Vizinhança V3 em planta e em perspectiva respectivamente	50
Figura 3.11: Vizinhança V4 em planta e em perspectiva respectivamente	51
Figura 3.12: Vizinhança V5 em planta e em perspectiva respectivamente	51
Figura 3.13: Vizinhança V6 em planta e em perspectiva respectivamente	52
Figura 3.14: Vizinhança V7 em planta e em perspectiva respectivamente	52
Figura 3.15: Vizinhança V8 em planta e em perspectiva respectivamente	53
Figura 3.16: Características do vento deslizante e turbulento simulado com expoente $p = 0,23$	54
Figura 3.17: Blocos de piso utilizados para simulação da rugosidade do terreno durante os ensaios	54
Figura 3.18: Grelhas utilizadas para simulação do perfil do vento durante os ensaios	54
Figura 3.19: <i>CAARC Standard Tall Building</i> e modelos mudos utilizados nos ensaios	55
Figura 3.20: Distância em nível dos pontos de tomada de pressão	56
Figura 3.21: Distância vertical dos pontos de tomada de pressão	56
Figura 3.22: Posicionamento das faces em relação a direção dos eixos coordenados	57
Figura 3.23: Modelo de tomadas de pressões do <i>CAARC Standard Tall Building</i> utilizado nos ensaios	57
Figura 3.24: Equipamentos de leitura de dados: (a) Scanivalve com os 64 canais de medida de pressão por módulo; (b) Manoair e mangueiras de conexão aos anéis piezométricos.	58
Figura 4.1: Coeficiente de força na direção dos eixos "x" e "y"	59
Figura 4.2: Coeficiente de torção em torno do eixo da edificação.....	60
Figura 4.3: Coeficientes de momento fletor em torno dos eixos X e Y	60
Figura 4.4: Direções do vento para a vizinhança V1	61
Figura 4.5: Coeficiente de força na direção do eixo X – V1	62
Figura 4.6: Coeficiente de força na direção do eixo Y - V1	62
Figura 4.7: Fator de vizinhança não ajustado para força resultante na direção X e Y - V1D1	64
Figura 4.8: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V1D1	64
Figura 4.9: Coeficiente de torção – V1	66
Figura 4.10: Coeficiente de flexão em torno do eixo X - V1	67
Figura 4.11: Coeficiente de flexão em torno do eixo Y - V1	68
Figura 4.12: Direções do vento para a vizinhança V2	69
Figura 4.13: Coeficiente de força na direção do eixo X – V2	70
Figura 4.14: Coeficiente de força na direção do eixo Y – V2	70
Figura 4.15: Coeficiente de torção – V2.....	72
Figura 4.16: Coeficiente de flexão em torno do eixo X - V2	73
Figura 4.17: Coeficiente de flexão em torno do eixo Y - V2	74

Figura 4.18: Direções do vento para a vizinhança V3	75
Figura 4.19: Coeficiente de força na direção do eixo X – V3	76
Figura 4.20: Coeficiente de força na direção do eixo Y – V3	76
Figura 4.21: Coeficiente de torção – V3	78
Figura 4.22: Coeficiente de flexão em torno do eixo X - V3	79
Figura 4.23: Coeficiente de flexão em torno do eixo Y - V3	80
Figura 4.24: Direções do vento para a vizinhança V4	81
Figura 4.25: Coeficiente de força na direção do eixo X – V4	82
Figura 4.26: Coeficiente de força na direção do eixo Y – V4	82
Figura 4.27: Coeficiente de torção – V4	84
Figura 4.28: Coeficiente de flexão em torno do eixo X - V4	85
Figura 4.29: Coeficiente de flexão em torno do eixo Y - V4	86
Figura 4.30: Direções do vento para a vizinhança V5	87
Figura 4.31: Coeficiente de força na direção do eixo X – V5	88
Figura 4.32: Coeficiente de força na direção do eixo Y – V5	89
Figura 4.33: Coeficiente de torção – V5	90
Figura 4.34: Coeficiente de flexão em torno do eixo X - V5	92
Figura 4.35: Coeficiente de flexão em torno do eixo Y - V5	92
Figura 4.36: Direções do vento para a vizinhança V6	93
Figura 4.37: Coeficiente de força na direção do eixo X – V6	94
Figura 4.38: Coeficiente de força na direção do eixo Y – V6	95
Figura 4.39: Coeficiente de torção – V6	96
Figura 4.40: Coeficiente de flexão em torno do eixo X - V6	98
Figura 4.41: Coeficiente de flexão em torno do eixo Y - V6	98
Figura 4.42: Direções do vento para a vizinhança V7	99
Figura 4.43: Coeficiente de força na direção do eixo X – V7	101
Figura 4.44: Coeficiente de força na direção do eixo Y – V7	101
Figura 4.45: Coeficiente de torção – V7	103
Figura 4.46: Coeficiente de flexão em torno do eixo X - V7	104
Figura 4.47: Coeficiente de flexão em torno do eixo Y - V7	105
Figura 4.48: Direções do vento para a vizinhança V8	106
Figura 4.49: Coeficiente de força na direção do eixo X – V8	107
Figura 4.50: Coeficiente de força na direção do eixo Y – V8	108
Figura 4.51: Coeficiente de torção – V8	109
Figura 4.52: Coeficiente de flexão em torno do eixo X - V8	111
Figura 4.53: Coeficiente de flexão em torno do eixo Y - V8	111
Figura G. 1: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V1D1	177
Figura G. 2: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V1D2	177
Figura G. 3: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V1D3	177
Figura G. 4: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V1D4	177
Figura G. 5: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V2D1	178
Figura G. 6: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V2D2	178
Figura G. 7: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V2D3	178
Figura G. 8: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V2D4	178
Figura G. 9: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V3D1	179
Figura G. 10: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V3D2 ..	179

Figura G. 11: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V3D3 ..	179
Figura G. 12: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V3D4 ..	179
Figura G. 13: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V4D1 ..	180
Figura G. 14: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V4D2 ..	180
Figura G. 15: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V4D3 ..	180
Figura G. 16: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V4D4 ..	180
Figura G. 17: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V5D1 ..	181
Figura G. 18: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V5D2 ..	181
Figura G. 19: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V5D3 ..	181
Figura G. 20: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V5D4 ..	181
Figura G. 21: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V6D1 ..	182
Figura G. 22: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V6D2 ..	182
Figura G. 23: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V6D3 ..	182
Figura G. 24: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V6D4 ..	182
Figura G. 25: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V7D1 ..	183
Figura G. 26: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V7D2 ..	183
Figura G. 27: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V7D3 ..	183
Figura G. 28: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V7D4 ..	183
Figura G. 29: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V8D1 ..	184
Figura G. 30: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V8D2 ..	184
Figura G. 31: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V8D3 ..	184
Figura G. 32: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V8D4 ..	184
Figura H. 1: Fator de vizinhança para a torção - V1D1	185
Figura H. 2: Fator de vizinhança para a torção - V1D2	185
Figura H. 3: Fator de vizinhança para a torção - V1D3	185
Figura H. 4: Fator de vizinhança para a torção - V1D4	185
Figura H. 5: Fator de vizinhança para a torção - V2D1	186
Figura H. 6: Fator de vizinhança para a torção - V2D2	186
Figura H. 7: Fator de vizinhança para a torção - V2D3	186
Figura H. 8: Fator de vizinhança para a torção - V2D4	186
Figura H. 9: Fator de vizinhança para a torção - V3D1	187
Figura H. 10: Fator de vizinhança para a torção - V3D2	187
Figura H. 11: Fator de vizinhança para a torção - V3D3	187
Figura H. 12: Fator de vizinhança para a torção - V3D4	187
Figura H. 13: Fator de vizinhança para a torção - V4D1	188
Figura H. 14: Fator de vizinhança para a torção - V4D2	188
Figura H. 15: Fator de vizinhança para a torção - V4D3	188
Figura H. 16: Fator de vizinhança para a torção - V4D4	188
Figura H. 17: Fator de vizinhança para a torção - V5D1	189
Figura H. 18: Fator de vizinhança para a torção - V5D2	189
Figura H. 19: Fator de vizinhança para a torção - V5D3	189
Figura H. 20: Fator de vizinhança para a torção - V5D4	189
Figura H. 21: Fator de vizinhança para a torção - V6D1	190
Figura H. 22: Fator de vizinhança para a torção - V6D2	190
Figura H. 23: Fator de vizinhança para a torção - V6D3	190
Figura H. 24: Fator de vizinhança para a torção - V6D4	190

Figura H. 25: Fator de vizinhança para a torção - V7D1	191
Figura H. 26: Fator de vizinhança para a torção - V7D2	191
Figura H. 27: Fator de vizinhança para a torção - V7D3	191
Figura H. 28: Fator de vizinhança para a torção - V7D4	191
Figura H. 29: Fator de vizinhança para a torção - V8D1	192
Figura H. 30: Fator de vizinhança para a torção - V8D2	192
Figura H. 31: Fator de vizinhança para a torção - V8D3	192
Figura H. 32: Fator de vizinhança para a torção - V8D4	192
Figura I. 1: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V1D1	193
Figura I. 2: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V1D2	193
Figura I. 3: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V1D3	193
Figura I. 4: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V1D4	193
Figura I. 5: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V2D1	194
Figura I. 6: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V2D2	194
Figura I. 7: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V2D3	194
Figura I. 8: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V2D4	194
Figura I. 9: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V3D1	195
Figura I. 10: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V3D2	195
Figura I. 11: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V3D3	195
Figura I. 12: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V3D4	195
Figura I. 13: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V4D1	196
Figura I. 14: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V4D2	196
Figura I. 15: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V4D3	196
Figura I. 16: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V4D4	196
Figura I. 17: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V5D1	197
Figura I. 18: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V5D2	197
Figura I. 19: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V5D3	197
Figura I. 20: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V5D4	197
Figura I. 21: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V6D1	198
Figura I. 22: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V6D2	198
Figura I. 23: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V6D3	198
Figura I. 24: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V6D4	198
Figura I. 25: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V7D1	199
Figura I. 26: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V7D2	199
Figura I. 27: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V7D3	199
Figura I. 28: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V7D4	199
Figura I. 29: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V8D1	200
Figura I. 30: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V8D2	200
Figura I. 31: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V8D3	200
Figura I. 32: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V8D4	200

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Resultados dos fatores de vizinhança para a força resultante na vizinhança V1	65
Tabela 4.2: Resultados dos fatores de vizinhança para a torção na vizinhança V1 ..	66
Tabela 4.3: Resultados dos fatores de vizinhança para a flexão em torno dos eixos na vizinhança V1	68
Tabela 4.4: Resultados dos fatores de vizinhança para a força resultante na vizinhança V2	71
Tabela 4.5: Resultados dos fatores de vizinhança para a torção na vizinhança V2 ..	72
Tabela 4.6: Resultados dos fatores de vizinhança para a flexão em torno dos eixos na vizinhança V2	74
Tabela 4.7: Resultados dos fatores de vizinhança para a força resultante na vizinhança V3	77
Tabela 4.8: Resultados dos fatores de vizinhança para a torção na vizinhança V3 ..	78
Tabela 4.9: Resultados dos fatores de vizinhança para a flexão em torno dos eixos na vizinhança V3	80
Tabela 4.10: Resultados dos fatores de vizinhança para a força resultante na vizinhança V4	83
Tabela 4.11: Resultados dos fatores de vizinhança para a torção na vizinhança V4 ..	84
Tabela 4.12: Resultados dos fatores de vizinhança para a flexão em torno dos eixos na vizinhança V4	86
Tabela 4.13: Resultados dos fatores de vizinhança para a força resultante na vizinhança V5	89
Tabela 4.14: Resultados dos fatores de vizinhança para a torção na vizinhança V5 ..	91
Tabela 4.15: Resultados dos fatores de vizinhança para a flexão em torno dos eixos na vizinhança V5	93
Tabela 4.16: Resultados dos fatores de vizinhança para a força resultante na vizinhança V6	95
Tabela 4.17: Resultados dos fatores de vizinhança para a torção na vizinhança V6 ..	97
Tabela 4.18: Resultados dos fatores de vizinhança para a flexão em torno dos eixos na vizinhança V6	99
Tabela 4.19: Resultados dos fatores de vizinhança para a força resultante na vizinhança V7	102
Tabela 4.20: Resultados dos fatores de vizinhança para a torção na vizinhança V7	103
Tabela 4.21: Resultados dos fatores de vizinhança para a flexão em torno dos eixos na vizinhança V7	105
Tabela 4.22: Resultados dos fatores de vizinhança para a força resultante na vizinhança V8	108
Tabela 4.23: Resultados dos fatores de vizinhança para a torção na vizinhança V8	110
Tabela 4.24: Resultados dos fatores de vizinhança para a flexão em torno dos eixos na vizinhança V8	112
Tabela 4.25: Resultados para o contorno D1	117

Tabela 4.26: Resultados para o contorno D2.....	117
Tabela 4.27: Resultados para o contorno D3.....	118
Tabela 4.28: Resultados para o contorno D4.....	118

LISTA DE QUADROS

Quadro A - 1: Coeficientes de força resultante nas direções dos eixos para vizinhança V1	129
Quadro A - 2: Coeficientes de força resultante nas direções dos eixos para vizinhança V2.....	130
Quadro A - 3: Coeficientes de força resultante nas direções dos eixos para vizinhança V3.....	131
Quadro A - 4: Coeficientes de força resultante nas direções dos eixos para vizinhança V4.....	132
Quadro A - 5: Coeficientes de força resultante nas direções dos eixos para vizinhança V5.....	133
Quadro A - 6: Coeficientes de força resultante nas direções dos eixos para vizinhança V6.....	134
Quadro A - 7: Coeficientes de força resultante nas direções dos eixos para vizinhança V7.....	135
Quadro A - 8: Coeficientes de força resultante nas direções dos eixos para vizinhança V8.....	136
Quadro B - 1: Coeficientes de torção para vizinhança V1	137
Quadro B - 2: Coeficientes de torção para vizinhança V2.....	138
Quadro B - 3: Coeficientes de torção para vizinhança V3.....	139
Quadro B - 4: Coeficientes de torção para vizinhança V4.....	140
Quadro B - 5: Coeficientes de torção para vizinhança V5.....	141
Quadro B - 6: Coeficientes de torção para vizinhança V6.....	142
Quadro B - 7: Coeficientes de torção para vizinhança V7	143
Quadro B - 8: Coeficientes de torção para vizinhança V8.....	144
Quadro C - 1: Coeficientes de flexão em torno dos eixos para vizinhança V1	144
Quadro C - 2: Coeficientes de flexão em torno dos eixos para vizinhança V2.....	146
Quadro C - 3: Coeficientes de flexão em torno dos eixos para vizinhança V3.....	147
Quadro C - 4: Coeficientes de flexão em torno dos eixos para vizinhança V4.....	148
Quadro C - 5: Coeficientes de flexão em torno dos eixos para vizinhança V5.....	149
Quadro C - 6: Coeficientes de flexão em torno dos eixos para vizinhança V6.....	150
Quadro C - 7: Coeficientes de flexão em torno dos eixos para vizinhança V7.....	151
Quadro C - 8: Coeficientes de flexão em torno dos eixos para vizinhança V8.....	152
Quadro D - 1: Fator de vizinhança das forças resultantes nos eixos para vizinhança V1.....	153
Quadro D - 2: Fator de vizinhança das forças resultantes nos eixos para vizinhança V2.....	154
Quadro D - 3: Fator de vizinhança das forças resultantes nos eixos para vizinhança V3.....	155
Quadro D - 4: Fator de vizinhança das forças resultantes nos eixos para vizinhança V4.....	156
Quadro D - 5: Fator de vizinhança das forças resultantes nos eixos para vizinhança V5.....	157

Quadro D - 6: Fator de vizinhança das forças resultantes nos eixos para vizinhança V6.....	158
Quadro D - 7: Fator de vizinhança das forças resultantes nos eixos para vizinhança V7.....	159
Quadro D - 8: Fator de vizinhança das forças resultantes nos eixos para vizinhança V8.....	160
Quadro E - 1: Fator de vizinhança da torção para vizinhança V1	161
Quadro E - 2: Fator de vizinhança da torção para vizinhança V2	162
Quadro E - 3: Fator de vizinhança da torção para vizinhança V3	163
Quadro E - 4: Fator de vizinhança da torção para vizinhança V4	164
Quadro E - 5: Fator de vizinhança da torção para vizinhança V5	165
Quadro E - 6: Fator de vizinhança da torção para vizinhança V6	166
Quadro E - 7: Fator de vizinhança da torção para vizinhança V7	167
Quadro E - 8: Fator de vizinhança da torção para vizinhança V8	168
Quadro F - 1: Fator de vizinhança da flexão em torno dos eixos para vizinhança V1	169
Quadro F - 2: Fator de vizinhança da flexão em torno dos eixos para vizinhança V2	170
Quadro F - 3: Fator de vizinhança da flexão em torno dos eixos para vizinhança V3	171
Quadro F - 4: Fator de vizinhança da flexão em torno dos eixos para vizinhança V4	172
Quadro F - 5: Fator de vizinhança da flexão em torno dos eixos para vizinhança V5	173
Quadro F - 6: Fator de vizinhança da flexão em torno dos eixos para vizinhança V6	174
Quadro F - 7: Fator de vizinhança da flexão em torno dos eixos para vizinhança V7	175
Quadro F - 8: Fator de vizinhança da flexão em torno dos eixos para vizinhança V8	176

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIações

a	maior dimensão lateral da edificação
b	menor dimensão lateral da edificação
c_{F_x}, c_{F_y}	coeficiente de força na direção do eixo considerado
c_{M_x}, c_{M_y}	coeficiente de flexão em torno do eixo considerado
c_t	coeficiente de torção
c_{pe}	coeficiente de pressão externa
c_{pi}	coeficiente de pressão interna
d^*	o menor dos valores entre o lado menor ou semidiagonal da base da edificação em estudo
k	constante de Kármán
k_0	fator de calibração do túnel de vento
p	expoente da curva de potência
q	pressão dinâmica do vento
s	afastamento entre as faces confrontantes de edificações
u_0^*	velocidade de fricção
z	cota vertical a partir do nível do terreno
z_0	altura da rugosidade
z_d	cota de deslocamento a partir do plano de referência
z_{ref}	cota de referência
A	área da face considerada no cálculo
B_x, B_y	dimensões nominais da seção transversal da edificação na direção considerada
D	diâmetro dos contornos de estudo 1, 2, 3 ou 4; longitude característica do obstáculo
F	força global na direção considerada, X ou Y; fachada da edificação na direção considerada 1, 2, 3 ou 4
FV	fator de vizinhança
H	altura da edificação
IC	intervalo de confiança
L	comprimento de referência para determinar o momento torçor

M	momento fletor
M_t	momento torçor
R_e	número de Reynolds
\bar{V}, V	velocidade média do vento; velocidade média do fluido; tipo de vizinhança de estudo 1 a 8
V_{ref}	velocidade média de referência na uma cota de referência
Δp_a	diferença de pressão estática
Δp_e	pressão efetiva externa
Δp_i	pressão efetiva interna
ρ	massa específica do ar; densidade do fluido
μ	viscosidade dinâmica do fluido

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização mundial teve um crescimento vertiginoso nas últimas décadas. De acordo com o relatório apresentado pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2008, a população urbana da América Latina saiu de pouco mais de 40% na década de 1950 para ficar próximo a 80% na década de 2010. Segundo os dados do censo realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no Brasil a taxa de urbanização já ultrapassou os 80% desde os anos 2000.

Todo este processo de urbanização tem um grande impacto na forma como os centros urbanos são planejados tanto do ponto de vista econômico quanto do ponto de vista político. Um dos aspectos mais evidentes é o processo de verticalização das construções não só comerciais como também residenciais. Tais edifícios tem em suas dimensões a personificação da riqueza e desenvolvimento tecnológico da região onde os mesmos estão inseridos, como pode ser constatado ao longo da história através de exemplos icônicos como as pirâmides egípcias, os castelos e catedrais medievais e, contemporaneamente, os arranha-céus.

Ao final do século XIX a maioria das edificações não possuía mais do que 15m de altura. Isto ocorria devido a fatores como a ausência de elevadores, uma vez que os usuários não se dispunham a subir muitos andares, falta de pressão na rede de distribuição de água, limitando a altura que poderia ser possível o fornecimento de água, dentre outras questões. Do ponto de vista estrutural, à medida que a edificação ficasse com maior altura, a espessura das alvenarias, que trabalhavam como elementos estruturais dos edifícios, também aumentava de maneira significativa para suportar as solicitações advindas, quase que essencialmente, de carregamentos gravitacionais. A dificuldade de projeto e execução deste tipo de estrutura também eram fatores relevantes na limitação da altura dos edifícios.

Já no final do século XIX e começo do século XX houve um significativo desenvolvimento tecnológico, podendo-se observar, por exemplo, a criação de materiais de construção com maiores resistências. Os novos materiais também produziram uma evolução nas considerações de cálculo conduzindo a elementos estruturais mais esbeltos e flexíveis.

O crescimento das cidades também foi um dos fatores que incentivou a construção de edifícios altos. Um edifício alto é caracterizado, segundo Gonçalves (2004), tanto pelos fatores tecnológicos que o tornam uma edificação especial, quanto pelo destaque que sua dimensão física apresenta sobre as demais construções de uma cidade, podendo este se apresentar de maneira isolada ou em grupos de edificações com alturas semelhantes.

Uma vez que as edificações começam a atingir grandes alturas, os construtores se deparam com novos desafios. Os carregamentos horizontais oriundos da ação do vento passaram a ser considerados de maneira mais criteriosa, uma vez que poderiam se tornar um fator determinante no projeto estrutural.

A ação do vento em edificações é de natureza dinâmica promovendo uma interação entre fluido e estrutura. Apesar disto, boa parte das normas apresentam simplificações deste efeito devido a esta interação ser matematicamente complexa e de difícil implementação.

Nos casos em que a edificação tenha uma geometria complexa, ou mesmo para edificações que apresentam uma grande altura é de bom senso a procura por informações mais precisas a respeito de seu comportamento estrutural frente as ações do vento. Tais informações podem ser obtidas através da realização de ensaios de modelos reduzidos em túnel de vento. Apesar da possibilidade de simulação computacional destas situações, os resultados obtidos necessitariam de validação através de experimentos, devido ao comportamento complexo do escoamento do vento turbulento.

Além das ações diretas do vento sobre uma edificação, a interferência que a presença de edificações vizinhas pode induzir em uma edificação é outra questão que tem sido objeto de pesquisas desde meados do século XX, quando Harris (1934) estudou o efeito de duas novas construções sobre o *Empire State Building*. No Brasil os primeiros trabalhos a considerar a influência de edifícios vizinhos datam do início dos anos 80 do século XX elaborados por Blessmann e Riera (1980). Atualmente, com o aprimoramento dos meios de registro de dados, muitos trabalhos a respeito da influência de edificações vizinhas têm sido desenvolvidos em diferentes centros de pesquisa ao redor do mundo.

1.1 Motivação da pesquisa

A valorização do terreno, juntamente com as mudanças em relação às políticas de urbanização e zoneamento urbano tem permitido a construção de edificações com gabaritos cada vez mais elevados, tanto em grandes centros urbanos como em cidades de médio porte. Para grande parte destas edificações, os efeitos de vento são determinados exclusivamente a partir das recomendações da norma brasileira que trata das ações do vento em edifícios elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), *NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações*, dispensando-se uma avaliação mais minuciosa através de um ensaio em escala reduzida em túnel de vento. Sendo assim, é de fundamental importância que os parâmetros apresentados nesta norma representem o mais fidedignamente possível a situação real das ações do vento em uma edificação.

Trabalhos recentes como Bênia (2013), Hui et al. (2013), Fontoura (2014), Kim et al. (2015) dentre tantos outros trabalhos, tem demonstrado que a presença de edificações vizinhas gera alterações significativas nos coeficientes aerodinâmicos, e até mesmo podem produzir outros efeitos como aumento de sucções, aumento dos momentos de torção e inversão de esforços. Parte dos efeitos de vizinhança são considerados através do perfil vertical da velocidade média quando na sua determinação são admitidas as interferências provenientes da rugosidade do terreno próximo à edificação. Já para algumas situações mais específicas, a ABNT (1988), NBR 6123, indica a utilização de parâmetros adicionais que são apresentados tanto na determinação das excentricidades a serem dadas para avaliação de torção na edificação, quanto no anexo G desta norma, parâmetros estes que alteram o valor dos coeficientes de pressão a serem utilizados no modelo de análise estrutural. Para a utilização destes parâmetros, as edificações classificadas como vizinhas devem estar muito próximas à edificação em análise, onde a distância é definida através de instruções apresentadas na norma.

1.2 Objetivo do trabalho

A partir das conclusões de diversos pesquisadores sobre a influência das edificações vizinhas em um novo empreendimento, no que diz respeito às ações do

vento, o presente trabalho teve como objetivo central a busca de índices que representassem as variações da intensidade de interferência que edificações vizinhas produzem nos esforços devidos à ação do vento em um edifício alto.

No geral, as pesquisas relacionadas à avaliação das ações do vento em um edifício alto considerando a interferência de edifícios vizinhos, basicamente consideram a presença de um único edifício vizinho à edificação em estudo, ou seja, não consideram a possibilidade de alteração das ações do vento devido à presença de mais de uma edificação, assim como o posicionamento destas em relação ao edifício em estudo. Outro aspecto observado é que tais pesquisas não tiveram a intenção de relacionar os índices de interferência encontrados com distâncias específicas em relação à edificação em estudo, estabelecendo, desta forma, parâmetros a serem adotados pelos profissionais que trabalham com a elaboração de projetos e precisam deste tipo de informação.

Neste sentido, o presente trabalho teve como preocupação a determinação de tais índices elaborando situações com variações de vizinhança a distâncias fixas. Este tratamento específico visou garantir que os índices de interferência produzidos pela presença de edificações vizinhas fossem válidos em situações com diferentes números de edificações assim como diferentes posicionamentos em relação ao edifício de estudo, porém a uma mesma distância deste. Com este tipo de tratamento, este trabalho buscou preencher uma lacuna para este tipo de estudo.

De maneira mais específica, este trabalho tomou como parâmetro de comparação de resultados as recomendações da atual norma brasileira de vento. A intenção é comparar os resultados encontrados através da realização dos ensaios propostos com as recomendações propostas atualmente. Desta forma espera-se obter informações que corroborem os procedimentos propostos pela norma e, nos casos em que os resultados forem divergentes, fornecer bases para elaboração de novos procedimentos, representando numericamente a influência de edificações vizinhas de forma mais precisa. Foi proposta uma relação entre a altura da edificação de estudo e a distância entre esta e as edificações vizinhas de mesma altura, verificando-se o índice de aumento das pressões, que servem de base na determinação dos esforços devidos ao vento nas edificações.

Como objetivo secundário, este trabalho busca aumentar a base de dados sobre o efeito da ação do vento considerando uma vizinhança com edificações de altura equivalente, e tem a pretensão de servir de subsídio para a discussão sobre melhorias a serem implementadas em relação ao anexo G da atual norma brasileira, discussões estas que já estão em curso na elaboração de uma nova norma brasileira sobre as ações do vento em edificações.

Este trabalho tratará das ações do vento considerando seus efeitos estáticos, excluindo discussões sobre os efeitos dinâmicos que ocorrem sobre a edificação em estudo devidos a estas ações.

1.3 Organização do trabalho

Para tratar sobre a influência de edificações vizinhas no comportamento do vento em um edifício alto, o presente trabalho foi estruturado em cinco capítulos que discorreram sobre informações teóricas a respeito da ação do vento, apresentação de outros estudos dentro desta mesma linha de pesquisa, procedimentos experimentais utilizados, resultados e discussões destes e por fim as conclusões do presente trabalho.

O primeiro capítulo faz uma breve abordagem sobre aspectos direta ou indiretamente relacionados ao tema proposto como, o crescimento das cidades, desenvolvimento tecnológico e influência do vento em edificações altas. Em seguida são apresentados os motivos que serviram de base para a ideia de realizar os estudos referentes ao tema. Por fim são apresentados os pontos que foram traçados como objetivos a serem alcançados ao final do trabalho e a forma de organização do mesmo.

O segundo capítulo faz uma abordagem dos conceitos fundamentais relacionados ao estudo dos efeitos do vento nas edificações. Também são feitos comentários sobre as generalidades aerodinâmicas das construções comumente utilizadas na engenharia de vento, tanto estáticas quanto dinâmicas, embora o presente trabalho tenha enfoque exclusivo nos aspectos estáticos. Em uma segunda parte, é feita a apresentação resumida de uma série de trabalhos relacionados ao estudo da interferência de edificações vizinhas nas ações do vento em edificações

altas, desde os primeiros estudos em meados do século XX, até os trabalhos mais recentes do início do século XXI.

No terceiro capítulo são apresentados os métodos utilizados na realização dos ensaios deste trabalho. Inicialmente são mostrados o túnel de vento e os demais equipamentos utilizados nos ensaios experimentais para a completa aquisição de dados, assim como uma breve descrição do procedimento de obtenção destes dados. Também neste capítulo é descrita a disposição das vizinhanças estudadas assim como os motivos da escolha de tais posicionamentos para a determinação dos coeficientes de pressão a serem estudados.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos com os ensaios realizados em termos das forças resultantes na direção dos eixos ordenados, momentos de flexão em torno dos eixos na base do edifício em estudo e momento torçor em relação ao eixo da edificação em estudo. Também são feitas comparações entre os resultados encontrados no presente trabalho e os resultados encontrados em trabalhos com características físicas semelhantes no intuito de corroborar os resultados aqui encontrados.

Por fim, o quinto capítulo apresenta um conjunto de conclusões que puderam ser tiradas a partir dos resultados encontrados, e a partir das comparações entre estes resultados e os de trabalhos semelhantes. Ao final são apresentadas sugestões de pesquisas futuras a serem desenvolvidas nesta mesma linha pesquisa para um amplo conhecimento a respeito do tema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Perfil de velocidade média do vento

O vento pode ser considerado como o movimento de massas de ar em decorrência da variação de pressões na atmosfera. Tal movimentação é causada pela energia solar que gera variações na temperatura do ar desequilibrando as pressões e, com isso, originando forças que deslocam parcelas do ar atmosférico.

O perfil do vento pode ser representado através de expressões matemáticas utilizando duas leis distintas. Blessmann (1995) explica que para o caso de ventos fortes a lei logarítmica, ou lei de Prandtl, é a que melhor representa a variação de velocidade com altura tendo-se uma boa precisão, principalmente até 100m de altura. Parte-se do princípio que a variação da velocidade média do vento com a altura é uma função da cota acima do solo, da força de fricção exercida pela superfície do terreno, parâmetro este diretamente ligado à rugosidade, e da massa específica do ar. A expressão da velocidade do vento, considerando-se a lei de Prandtl é apresentada na equação 2.1.

$$\bar{V}(z) = \frac{u_0^*}{k} \ln \frac{z}{z_0} \quad (2.1)$$

Onde:

- $\bar{V}(z)$: velocidade média na cota z ;
- u_0^* : velocidade de fricção;
- k : constante de Kármán;
- z_0 : altura da rugosidade;
- z : cota a partir do nível do terreno;

Quando se trabalha em terrenos com superfície muito rugosa, o nível do terreno não é coincidente com a origem do perfil logarítmico utilizado para representar o perfil de velocidades do vento. Nesses casos geralmente os pesquisadores consideram um

deslocamento, denominado “ z_d ”, a partir do plano de referência conforme apresentado pela figura 2.1. Mesmo concordando sobre a necessidade de tal deslocamento, os pesquisadores ainda não entraram em consenso sobre qual deveria ser o valor a considerar, podendo-se encontrar diferentes valores em textos a respeito do assunto.

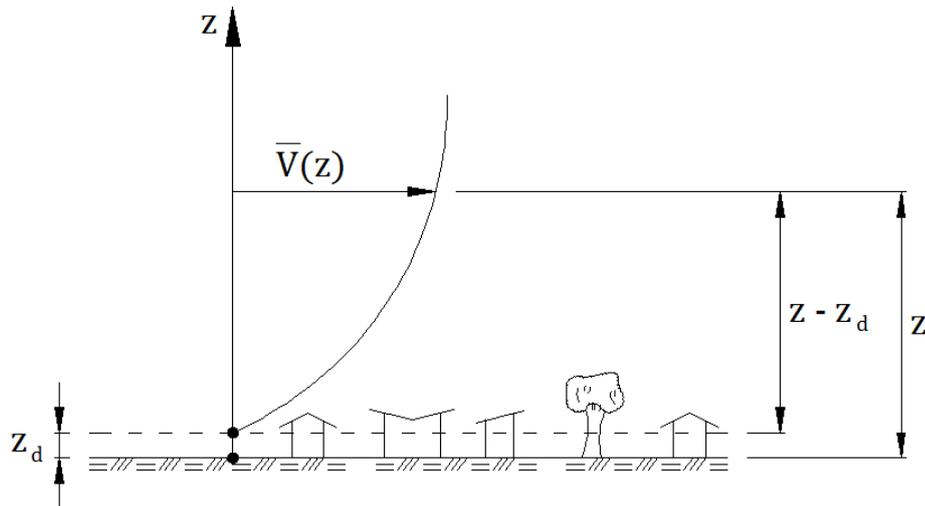


Figura 2.1: Representação de z_d

O perfil do vento também pode ser expresso através de uma lei de potência. Esta lei considera os efeitos do intercâmbio da quantidade de movimento em uma camada limite turbulenta através da equação 2.2.

$$\frac{\bar{V}(z)}{\bar{V}(z_{ref})} = \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^p \quad (2.2)$$

Onde:

- $\bar{V}(z)$: velocidade média na cota medida a partir do nível do terreno;
- $\bar{V}(z_{ref})$: velocidade média na cota de referência;
- p : expoente da curva de potência, representa a rugosidade do terreno;
- z : cota a partir do nível do terreno;
- z_{ref} : cota de referência;

2.2 Efeitos do vento em edifícios

2.2.1 Regimes de escoamento

O vento apresenta um caráter instável que divide a forma do seu fluxo de duas maneiras a saber: escoamento laminar e escoamento turbulento.

No escoamento laminar as linhas de fluxo são suaves, apresentando comportamento bem regular onde a análise de um filete de fluido mantém um formato bem definido no transcorrer do tempo.

Já para a situação em que o curso laminar apresenta distorções como a alteração do movimento ordenado das partículas, dá-se o nome de escoamento turbulento. Aqui, as partículas se movem aleatória e difusamente. Grande parte dos escoamentos da natureza são turbulentos, inclusive o escoamento do ar na região onde estão inseridas as edificações.

O regime de escoamento de um fluido é definido através do número de Reynolds. Este número é dado pela equação 2.3 que representa a razão entre as forças de inércia (ρV) e as forças viscosas (μ/D). No caso do número de Reynolds ser alto, o regime de escoamento será mais turbulento, ficando caracterizado que as forças de inércia são preponderantes. Caso este número seja baixo, a viscosidade terá uma maior influência no regime de escoamento fazendo com que este seja mais laminar. Formas típicas de edifícios, como as que foram estudadas neste trabalho, são menos dependentes do número de Reynolds.

$$R_e = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.3)$$

- R_e : número de Reynolds;
- ρ : massa específica do fluido;
- V : velocidade média do fluido;
- D : longitude característica do obstáculo;
- μ : viscosidade dinâmica do fluido;

O efeito do vento nas edificações é influenciado tanto por aspectos aerodinâmicos quanto meteorológicos (SALES *et al.*, 1994, p. 7). Os aspectos aerodinâmicos estão relacionados ao formato da edificação que tem papel importante na determinação da força de vento que irá solicitar a edificação. A figura 2.2 apresenta as linhas de escoamento que indicam as prováveis trajetórias que o vento tomará ao incidir sobre uma edificação com duas águas de acordo com sua direção. A medida em que o ar flui através da edificação, as linhas de fluxo do escoamento separam-se na fachada de barlavento por um processo chamado descolamento. Na região de barlavento o vento exerce pressão positiva sobre a superfície da edificação. A intensidade da pressão é relacionada com a velocidade do vento e com a altura sobre o solo.

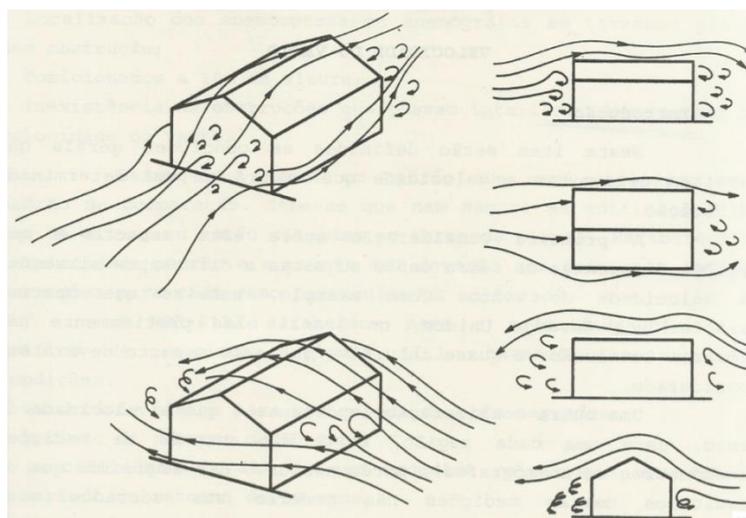


Figura 2.2: Linhas de escoamento do vento em uma edificação (SALES *et al.*, 1994, p. 11)

Associado ao fenômeno de descolamento, observa-se a formação de turbilhões com grandes perdas de energia na região posterior à edificação, onde o vento tem comportamento turbulento com escoamento fortemente retardado, denominada de esteira, conforme apresentado pela figura 2.3. Trata-se de uma região com intensa vorticidade o que gera o aparecimento de pressões negativas muito fortes nas faces desta região.

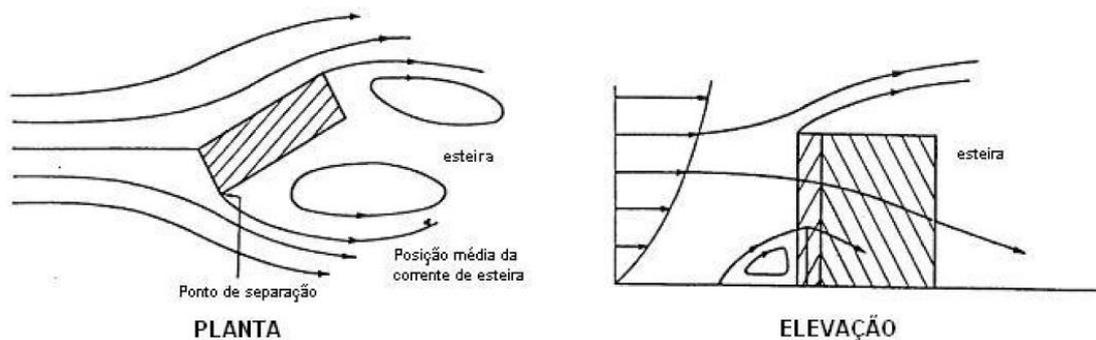


Figura 2.3: Indicação da região de esteira (adaptado de TREIN, 2005, pg 22)

O aspecto meteorológico está ligado à velocidade do vento. Esta é determinada a partir de várias considerações como localidade, topografia, rugosidade, altura da edificação, taxa de ocupação, dentre outros fatores. Conforme sugerido pela figura 2.4, a velocidade do vento próximo ao nível do solo é menor pois o escoamento livre do ar sofre a influência de forças de atrito oriundas da interação entre a massa de ar em movimento e um conjunto de obstáculos presentes no terreno. Esta região onde ocorre a interação é denominada de *Camada Limite Atmosférica* (CLA), uma região de escoamento turbulento do ar.

Dentro da CLA o vento tem comportamento aleatório o que o torna difícil de ser caracterizado quando se necessita fornecer informações a um projeto estrutural. Costuma-se então fazer simplificações considerando a sua velocidade média e as flutuações desta velocidade.

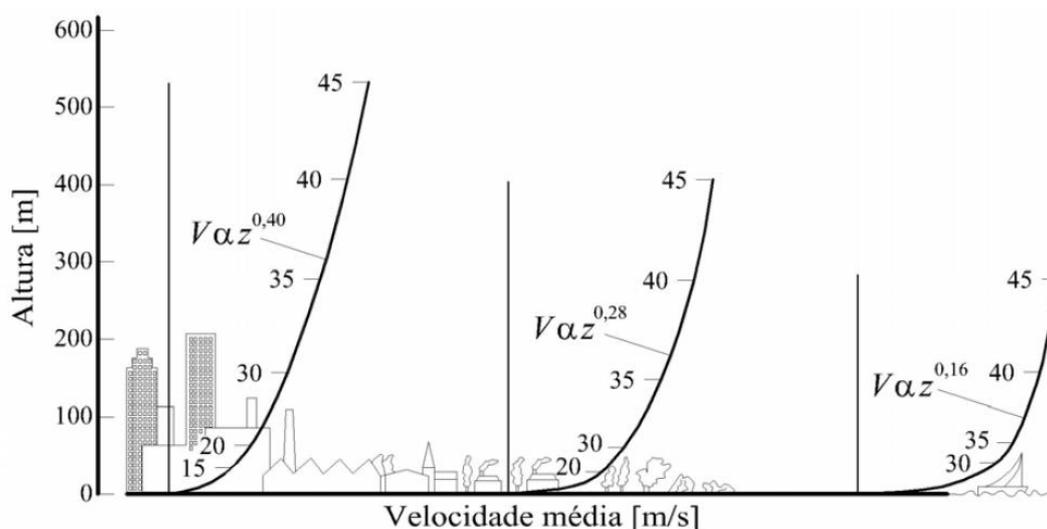


Figura 2.4: Perfil de velocidade média sobre terrenos com diferentes rugosidades indicadas pelo expoente da curva de potência (CARPEGIANI, 2004, pg 52)

De acordo com Holmes (2004), o escoamento do vento em torno de um edifício pode ser representado pela figura 2.5, onde na face a barlavento pode-se observar um grande escoamento descendente a partir do ponto de estagnação do escoamento que, geralmente está situado entre 70% e 80% da altura do edifício.

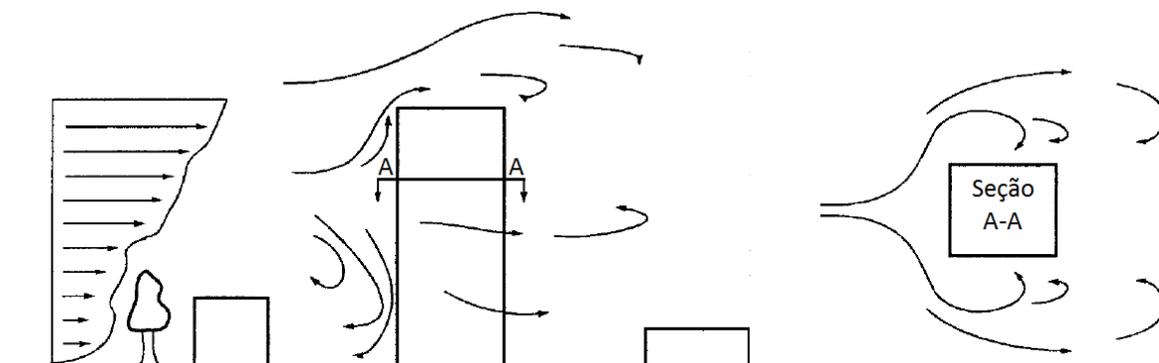


Figura 2.5: Fluxo do vento em torno de um edifício alto (adaptado de HOLMES, 2004, pg186)

Uma vez consideradas as influências que alteram as condições de incidência do vento, seu efeito sobre a edificação é traduzido na forma dos coeficientes aerodinâmicos de pressão nas fachadas. Esses coeficientes são valores estabelecidos por normas, manuais ou relatórios técnicos baseados em experimentos. Tais coeficientes são produzidos considerando a construção como uma edificação isolada. As demais construções ou obstáculos são considerados através do fator que considera a rugosidade do terreno assim como as dimensões da edificação em estudo e sua altura sobre o terreno. Este fator de rugosidade é um dos componentes utilizados na determinação da velocidade característica do vento, tendo influência direta na determinação da pressão dinâmica atuante nas fachadas da edificação em estudo.

No caso da possibilidade de existência de construções ou obstáculos muito próximos à edificação em estudo, esses coeficientes de alteração podem não ser suficientes para representar de maneira adequada o efeito do vento. Para essas situações algumas poucas normas preveem a utilização de um fator adicional. Devido a infinita possibilidade de disposições das construções, não é possível determinar um coeficiente que atenda de maneira adequada, e ao mesmo tempo econômica, a todas elas.

A presença de edificações vizinhas gera interferências nos efeitos aerodinâmicos podendo produzir tanto o efeito de proteção, com redução dos valores dos coeficientes aerodinâmicos, quanto de majoração das pressões, forças, flexões e efeitos de torção na edificação em estudo.

Uma das poucas normas que tem um coeficiente para determinar os efeitos de edificações vizinhas é a norma brasileira ABNT (1988), NBR:6123. Ela prevê a necessidade de se considerar as alterações provocadas por edificações localizadas na vizinhança de outra em estudo, já que essas alterações podem resultar no incremento das forças. A norma enfatiza três mecanismos distintos sendo eles o Efeito Venturi, a deflexão do vento na direção vertical e a turbulência de esteira.

Outra norma que apresenta recomendações a respeito da consideração de edificações vizinhas elaborado pelo Instituto Português da Qualidade (IPQ), *EN 1991-1-4:2010 – Ações gerais, Ações do vento*. Esta norma recomenda que a influência de construções vizinhas deve ser considerada na determinação do vento médio de forma a verificar o efeito do aumento da turbulência na esteira dessas construções. Em seu anexo A.4, a norma apresenta um procedimento conservativo para se determinar a velocidade do vento baseado na altura da edificação vizinha. A altura a ser determinada leva em consideração a altura do edifício em estudo e sua menor dimensão da seção transversal. Este parâmetro é diretamente relacionado com a altura da edificação vizinha. Em relação à distância a ser considerada na classificação de uma edificação como sendo vizinha ou não, os parâmetros do Eurocódigo são praticamente idênticos aos adotados pela norma brasileira, apresentando resultados sutilmente menores e um aspecto geométrico mais próximo ao de uma elipse, e não um círculo, como prevê a norma brasileira.

Segundo Cook (1990 apud CARPEGIANI, 2004, p. 7) na análise de escoamento de vento para duas edificações vizinhas, podem-se distinguir três regimes distintos de escoamento sendo eles:

- Escoamento de corpo isolado
- Escoamento deslizando
- Escoamento de interferência de esteira

Para o caso em que as edificações estejam afastadas a uma distância em que o comportamento delas é semelhante ao de uma edificação isolada, o escoamento é denominado isolado, conforme apresentado na figura 2.6. Para cada edifício é formado um vértice de pé de fachada e o escoamento posterior à esteira recola ao solo antes de chegar à edificação adjacente. A distância “x” entre as edificações é superior aos comprimentos de separação a barlavento e de recolamento a sotavento somados. Nesta situação o efeito de proteção de uma edificação para com a outra é desprezível, devendo ambas serem consideradas como construções isoladas.

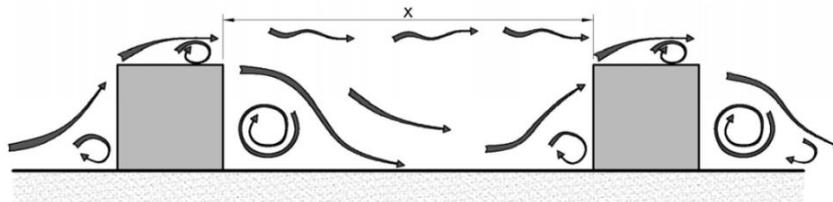


Figura 2.6: Escoamento de corpo isolado (CARPEGIANI, 2004, p. 7)

Quando as edificações estão próximas a uma distância suficiente que permite que o vento escoe por cima do topo de ambas, é formado um vórtice estável entre elas. Este escoamento é denominado escoamento deslizante. Neste caso, o efeito de proteção é significativo uma vez que o edifício a sotavento está inserido na esteira do primeiro como mostra a figura 2.7.

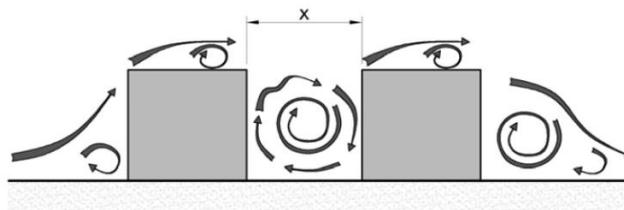


Figura 2.7: Escoamento deslizante (CARPEGIANI, 2004, p. 8)

Em uma situação intermediária entre as apresentadas anteriormente, a distância entre as edificações não deixa espaço suficiente para se formar uma esteira completa, mas também não permite a produção de um vórtice estável, como ilustrado na figura 2.8. Esta situação recebe o nome de escoamento de interferência de esteira.

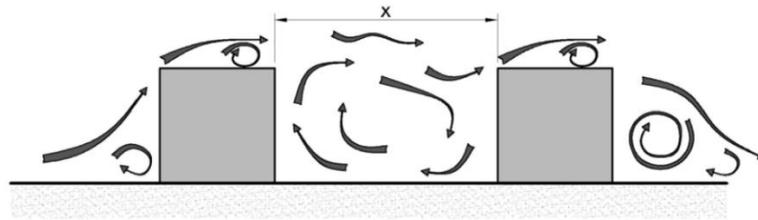


Figura 2.8: Escoamento de interferência de esteira (CARPEGGIANI, 2004, p. 8)

2.2.2 Efeito Venturi

Um conjunto de edificações próximas pode, através de seu formato, dimensões e disposição, induzir um afunilamento do vento como pode ser visto na figura 2.9, fazendo com que o fluxo de ar seja acelerado alterando diretamente as pressões. Este efeito que provoca o aumento da velocidade do vento é denominado Efeito Venturi.

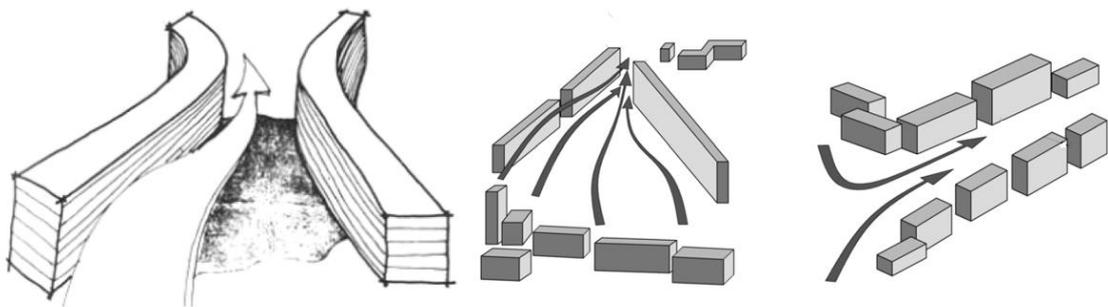


Figura 2.9: Efeito Venturi (adaptado de CARPEGGIANI, 2004, p. 5)

2.2.3 Deflexão do vento na direção vertical

A deflexão do vento verticalmente ocorre quando este incide em uma fachada de barlavento de um edifício alto, parte do escoamento é desviado para baixo provocando o aumento de velocidade nas regiões próximas a base da edificação como observado na figura 2.10. Edificações baixas próximas, podem ter um carregamento de vento maior devido a este efeito.

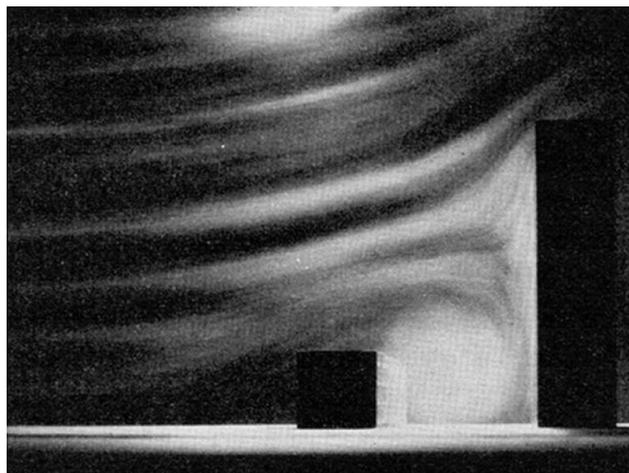


Figura 2.10: Deflexão vertical (WISE, 1971, p. 471)

2.2.4 Efeito de esteira turbulenta

No caso de edificações situadas a sotavento de outra, estas podem ser afetadas pela turbulência gerada na esteira da edificação de barlavento como apresentado na figura 2.11, produzindo efeitos de golpe e alterações nas pressões. Este efeito é particularmente importante nos casos em que as edificações de sotavento tenham suas coberturas e painéis de vedação compostos de materiais leves.

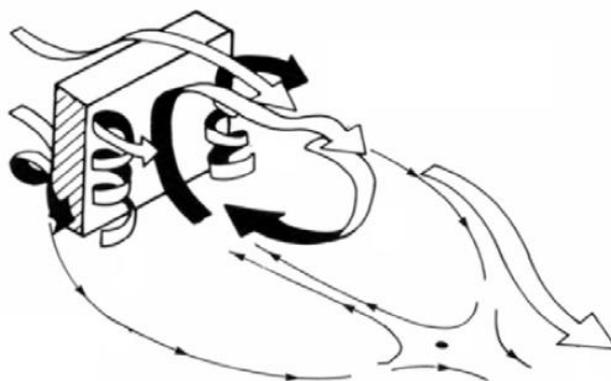


Figura 2.11: Esteira turbulenta, Cook (1985 apud BENIA, 2013, p. 22)

2.2.5 Turbulência

Segundo Blessmann (1995, p. 101), a turbulência pode ser caracterizada pela agitação mecânica do escoamento médio provocado pela rugosidade natural e artificial da superfície terrestre, que gera rajadas (flutuações instantâneas da

velocidade do vento em torno de um valor de escoamento médio) devido à grande quantidade de turbilhões no escoamento.

Para o dimensionamento estrutural é comum, em razão da simplicidade, se trabalhar com carregamentos estáticos, nesse sentido Blessmann (1988, p. 10) destaca que tais efeitos são determinados a partir da velocidade média do vento. Não de agora, muitos autores têm realizados trabalhos considerando os efeitos estáticos do vento podendo-se citar Cook e Mayne (1979), Dalley e Richardson (1992), Zhou *et al.* (1999) em seus dois trabalhos. Apesar da análise dinâmica estar presente em grande parte dos trabalhos contemporâneos, também se encontram trabalhos recentes dando enfoque aos efeitos estáticos do vento como os de Holmes (2002), Bartorli *et al.* (2011), Blaise e Denoël (2013), dentre outros.

Apesar da consideração dos efeitos estáticos da ação do vento ser relativamente simples, trata-se de um método recomendado por muitas normas por apresentar resultados satisfatórios, sendo utilizado na determinação dos coeficientes de pressão ou força que são utilizados para se fazer as análises de dimensionamento estrutural.

Mesmo para os ensaios realizados no túnel de vento com os modelos fixos à base através de uma ligação rígida, pode ser constatada as flutuações das pressões atuantes na edificação em estudo através dos resultados coletados. Blessmann (1988, p. 10) destaca que essas flutuações em torno da média originam as ações dinâmicas do vento. Oliveira (2009, p. 68) pondera que, mesmo os valores médios utilizados em ensaios estáticos dependem de características de um vento turbulento, o que torna necessária a simulação da turbulência atmosférica.

2.2.6 Martelamento

De acordo com Blessmann (2005, p. 129), uma edificação situada a sotavento de outra ou de um conjunto de edificações com dimensões semelhantes, estará dentro da esteira por elas gerada, uma região com turbilhões de diferentes frequências e dimensões. Pode ocorrer de a edificação estar posicionada em uma região em que poderá sofrer “marteladas” por esses turbilhões com uma determinada periodicidade. Este fenômeno recebe o nome de martelamento. A força periódica pode gerar grandes efeitos quando a frequência natural da edificação for coincidente com a dos turbilhões.

Os efeitos estáticos são importantes quando se consideram as edificações vizinhas com distância da ordem do lado da edificação que podem gerar altas sucções de paredes confrontantes, momentos de tombamento e de torção, por exemplo.

2.2.7 Interferência de Vizinhança

Segundo Blessmann e Riera (1985), a introdução de obstáculos pode afetar o campo aerodinâmico de uma edificação, promovendo alterações nas pressões, forças e momentos de torção, devido a interação entre esta e as construções que estejam dentro de seu campo de vizinhança. Tais interações podem resultar tanto em efeitos de proteção, reduzindo os coeficientes de pressão para cálculo dos esforços, como também podem elevar tais coeficientes.

Blessmann (1989) observou que a introdução de uma edificação vizinha além de alterar os valores dos coeficientes de arrasto, modificou o sentido de pressão do vento tanto nas considerações de uma situação de fluxo turbulento quanto nas de fluxo laminar.

Bortoli (2005, p. 44) destaca que quando se utiliza o túnel de vento para determinação de carregamentos, é necessário reproduzir o entorno superficial imediato à edificação que está sendo analisada para se obter um resultado que realmente fique próximo dos efeitos do vento considerando-se à situação real.

Os efeitos de vizinhança devem levar em consideração o tipo de parâmetro que se está estudando. Trata-se de um fator complexo, uma vez que qualquer alteração da disposição próxima ao edifício em estudo causa uma mudança da distribuição dos carregamentos impostos pelo vento. Como não é raro encontrar projetos que não são submetidos a um estudo mais minucioso, algumas normas indicam um fator para considerar tais efeitos. No caso da ABNT (1988), NBR 6123, este fator é chamado de Fator de Vizinhança (*FV*) sendo definido através da expressão 2.4, pela razão entre o coeficiente em estudo considerando a presença de edificações vizinhas e o mesmo coeficiente da edificação considerada de maneira isolada.

$$FV = \frac{C_{edificação\ com\ vizinhança}}{C_{edificação\ isolada}} \quad (2.4)$$

2.3 Coeficientes aerodinâmicos

Este trabalho considerou apenas os efeitos estáticos da ação do vento na edificação, conforme condições de similaridade às edificações reais, expressos através de coeficientes aerodinâmicos que serão descritos a seguir.

2.3.1 Coeficiente de pressão

A força do vento depende da diferença de pressão entre as faces opostas da edificação considerando tanto as superfícies externas quanto as internas sendo determinadas pelas expressões (2.5) e (2.6). No caso de os coeficientes apresentarem um valor negativo entende-se que está ocorrendo uma sucção na face estudada.

$$c_{pe} = \frac{\Delta p_e}{q} \quad (2.5)$$

$$c_{pi} = \frac{\Delta p_i}{q} \quad (2.6)$$

Onde:

- c_{pe} : coeficiente de pressão externa;
- c_{pi} : coeficiente de pressão interna;
- Δp_e : pressão efetiva externa;
- Δp_i : pressão efetiva interna;
- q : pressão dinâmica do vento.

2.3.2 Coeficiente de força resultante

A força resultante do vento atuante na face de uma edificação é a soma vetorial de todas as forças que atuam nesta face. No cálculo deste coeficiente alguns pesquisadores utilizam apenas uma área de referência para normalização de

resultados. Elsharawy et al. (2015, p. 317), para a determinação do coeficiente de força cisalhante, calcularam a área como sendo o produto da altura pela lateral de menor dimensão, independente da direção analisada, o que coloca a força resultante em alguns casos sendo perpendicular à área considerada, e em outros como sendo paralela a esta. A força resultante, é definida através da expressão 2.7 como sendo a soma das forças atuantes nas áreas de influência de cada ponto de tomada de pressão na direção considerada. O coeficiente de força foi calculado para cada direção através da manipulação matemática do cálculo da força, resultando nas expressões 2.8 e 2.9 onde a área leva em consideração a face transversal à direção da força considerada.

$$F = \sum c_{pe} q A_i \quad (2.7)$$

$$c_{Fx} = \frac{F_x}{q B_y H} \quad (2.8)$$

$$c_{Fy} = \frac{F_y}{q B_x H} \quad (2.9)$$

Onde:

- F_x, F_y : força global na direção do eixo considerado;
- c_{pe} : coeficiente de pressão externa;
- c_{Fx}, c_{Fy} : coeficiente de força na direção do eixo considerado;
- q : pressão dinâmica do vento;
- A_i : área de influência do ponto de tomada de pressão;
- B_x, B_y : dimensões nominais da seção transversal da edificação;
- H : altura da edificação.

2.3.3 Coeficiente de torção

O momento torçor em uma edificação é considerado em relação ao seu eixo de torção, no caso de edificações prismáticas retangulares com massa distribuída de maneira uniforme, esse eixo é coincidente com o eixo da própria edificação. Na determinação do coeficiente de momento torçor, Elsharawy *et al.* (2015, p. 317) e Oliveira (2009, p. 138), utilizaram o volume da edificação como parâmetro de normalização. O momento torçor é definido como a soma dos momentos produzidos pela força atuante em cada tomada de pressão, considerando a distância “L” entre a direção da força e o eixo da edificação em estudo. Numericamente este resultado pode ser obtido através da expressão 2.10. As dimensões de referência na determinação do coeficiente de torção estão apresentadas na expressão 2.11.

$$M_t = \sum c_{pe} q A_i L \quad (2.10)$$

$$c_t = \frac{M_t}{q B_x B_y H} \quad (2.11)$$

Onde:

- M_t : momento torçor em relação ao eixo da edificação em estudo;
- c_{pe} : coeficiente de pressão externa;
- c_t : coeficiente de torção;
- q : pressão dinâmica do vento;
- A_i : área de referência considerada no cálculo;
- L : comprimento de referência para determinar o momento torçor;
- B_x, B_y : dimensões nominais da seção transversal da edificação;
- H : altura da edificação.

2.3.4 Coeficiente de momento fletor

O momento fletor segue o mesmo método do momento torçor, considerando os eixos X e Y posicionados na base da edificação, com origem coincidente com o eixo desta. Assim como para a determinação do coeficiente de momento torçor, Oliveira (2009, p. 137), utilizou o volume da edificação como parâmetro de normalização. Para este trabalho o momento é definido conforme apresentado na expressão 2.12. O coeficiente de flexão na direção de cada eixo, conforme mostrado nas expressões 2.13 e 2.14, foi obtido isolando-se este coeficiente considerando o momento calculado em torno do respectivo eixo.

$$M = \sum c_{pe} q A_i L \quad (2.12)$$

$$c_{Mx} = \frac{M_x}{q B_x B_y H} \quad (2.13)$$

$$c_{My} = \frac{M_y}{q B_x B_y H} \quad (2.14)$$

Onde:

- M : momento fletor global em torno do eixo considerado;
- c_{pe} : coeficiente de pressão externa;
- c_{Mx}, c_{My} : coeficiente de flexão em torno dos eixos;
- q : pressão dinâmica do vento;
- A_i : área de referência considerada no cálculo;
- L : comprimento de referência para determinar o momento torçor;
- B_x, B_y : dimensões nominais da seção transversal da edificação;
- H : altura da edificação.

2.4 Considerações dos efeitos de vizinhança pela norma brasileira de vento NBR 6123:1988

A ABNT (1988), NBR 6123, trata a questão da vizinhança dividindo-a em duas situações distintas. Na primeira, para considerar as situações em que a presença de edificações vizinhas produza um efeito de torção no edifício em estudo, ela propõe o cálculo da excentricidade que deve ser dada à força de arrasto para que este efeito seja considerado. Para que o cálculo da excentricidade leve em consideração a influência de edificações vizinhas, estas devem estar posicionadas dentro de um círculo que tenha o diâmetro igual a altura da edificação em estudo, e centro coincidente com o centro geométrico da base desta mesma edificação, ou igual a seis vezes o lado menor da edificação, “b”, devendo-se adotar o menor valor conforme apresentado pela figura 2.12. Neste caso utiliza-se apenas a altura da edificação para estabelecer o diâmetro onde será avaliada a presença de edificações vizinhas. O efeito de vizinhança deve ser considerado somente até a altura do topo das edificações vizinhas que estiverem situadas dentro deste diâmetro.

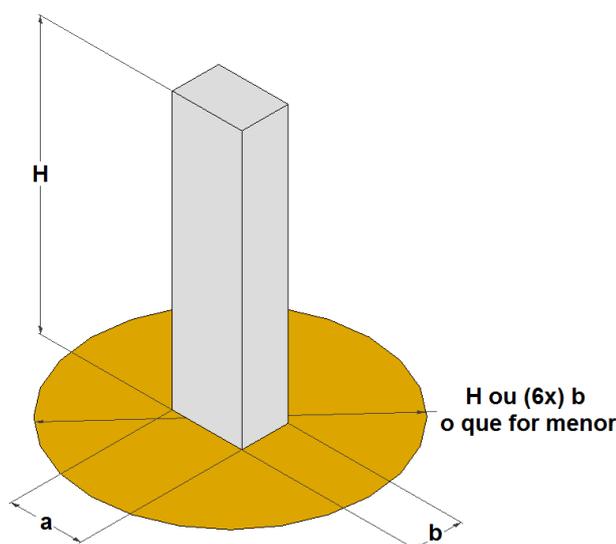


Figura 2.12: Diâmetro de consideração para efeito de vizinhança para o cálculo da excentricidade da força de arrasto

Em uma segunda situação a ABNT (1988), NBR 6123, estabelece o coeficiente pelo qual os coeficientes aerodinâmicos devem ser multiplicados para se ter uma indicação aproximada dos aumentos provocados pela interferência de edificações vizinhas. Este cálculo é definido em seu anexo G, anexo este que está apresentado

em sua íntegra no anexo A deste trabalho, onde é feita uma relação de dois parâmetros. O primeiro parâmetro é o afastamento “s” entre as faces confrontantes da edificação de estudo com as edificações vizinhas, conforme apresentado pela figura 2.13. O segundo parâmetro, chamado de “d*” é definido como sendo a menor entre duas dimensões, conforme apresentado pela expressão 2.15.

$$d^* = \begin{cases} \text{lado menor } b \\ \text{semi diagonal } \frac{1}{2}\sqrt{a^2 + b^2} \end{cases} \quad (2.15)$$

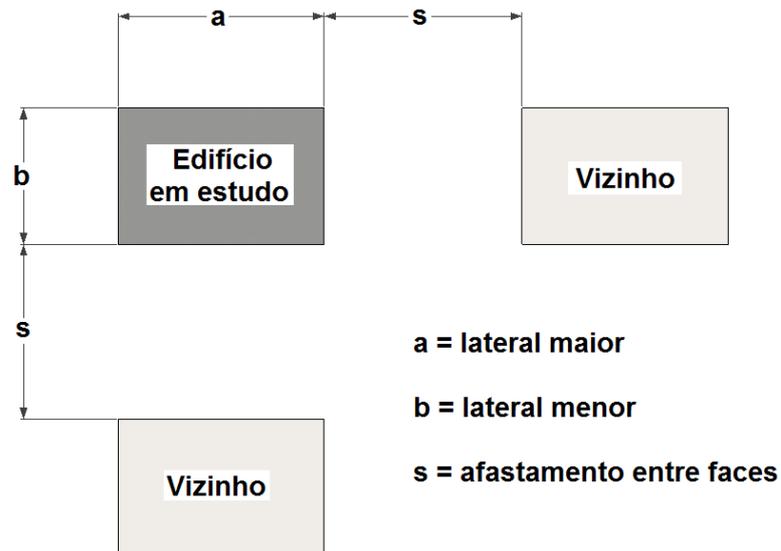


Figura 2.13: Indicação do afastamento entre a edificação em estudo e uma edificação vizinha

A razão entre o afastamento “s” e o parâmetro “d*”, determina qual o fator de vizinhança deve ser adotado, conforme apresentado pela expressão 2.16. Para valores intermediários de s/d^* deve-se fazer uma interpolação linear.

$$\begin{aligned} \frac{s}{d^*} \leq 1,0 &\rightarrow FV = 1,3 \\ \frac{s}{d^*} \geq 3,0 &\rightarrow FV = 1,0 \end{aligned} \quad (2.16)$$

2.5 Estudos sobre vizinhança

A interferência que uma edificação exerce sobre uma próxima a ela é objeto de estudo desde os anos 1930. Vários pesquisadores em diferentes centros de pesquisa do mundo já estudaram diferentes situações em que uma edificação vizinha pode influenciar o comportamento de diferentes parâmetros sobre outra próxima a ela. A seguir serão apresentados, considerando apenas a cronologia de publicação, alguns destes trabalhos.

Harris (1934) realizou um estudo sobre o *Empire State Building* e dois edifícios que seriam construídos em suas adjacências. Na figura 2.14 podem ser observadas as tomadas de pressão, os modelos e seus posicionamentos. Neste estudo concluiu-se que a presença das novas edificações causou uma redução da pressão na fachada de barlavento e das sucções na fachada de sotavento, apesar de ter elevado a pressão em outras fachadas. No caso em que a edificação ficava alinhada e próxima ao *Empire State Building*, as reduções foram ainda mais significativas. Também se constatou que o efeito de torção aumentaria significativamente com a presença das novas edificações.

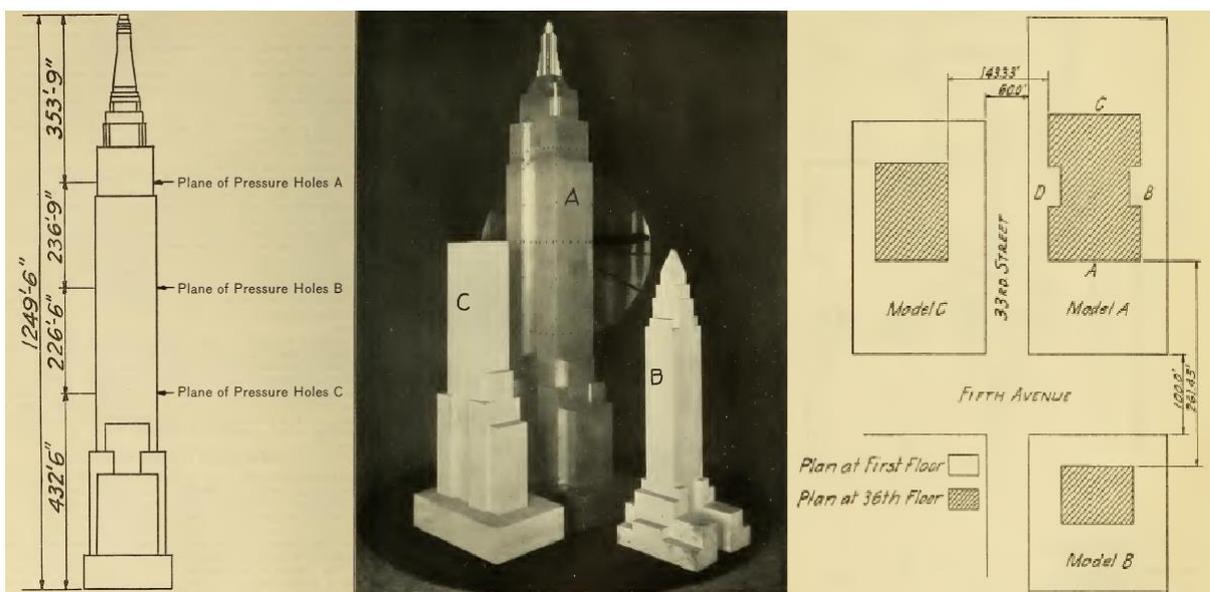


Figura 2.14: Estudo sobre o Empire State Building (HARRIS, 1934, p. 106-108)

No início da década de 1940, Bailey e Vincente (1943 apud KHANDURI et al., 1998, p.618) realizaram estudos em túnel de vento com o objetivo de determinar as relações entre a velocidade do vento e a distribuição de pressões em edifícios com diferentes tipos de cobertura, considerando a situação em que os modelos estavam isolados e a que os modelos estariam próximos a outras construções.

Nas décadas de 1950 e início de 1960 as pesquisas se focaram mais nos casos de edifícios isolados, gerando poucos trabalhos a respeito de efeitos de vizinhança. Porém, em 1965 três torres de resfriamento de uma usina em Ferrybridge, Inglaterra, entraram em colapso devido às vibrações causadas pelo vento, que foram provocadas pela proximidade das mesmas. Com isso, o interesse pelo estudo do efeito de vento em edificações próximas voltou à tona.

Wise (1971), publicou o resultado de ensaios em túnel de vento para medição da velocidade de escoamento do vento em torno de um grupo de edifícios. Ele relacionou a velocidade do vento com o afastamento entre as edificações, considerando ainda a sua largura e altura, conforme apresentado na figura 2.15. Wise concluiu que quando a razão entre o afastamento (L) e a altura da edificação (H) for aproximadamente igual a 1 a razão entre a velocidade máxima em uma linha central aos edifícios, (V_A), e a velocidade média em uma altura " a ", (V_a) será máxima. No intervalo $0,1 < L/H < 1$, foi constatada a formação de vórtices estáveis entre as edificações, o que caracteriza o escoamento deslizando. Quando a razão L/H for superior a 1 o escoamento sofre alterações ficando instável na região entre as edificações indicando que o edifício mais alto é influenciado pela esteira da edificação menor. Nos casos em que a largura e a altura da edificação são aproximadamente iguais, ele encontrou valores aproximadamente constantes para a razão V_A/V_a . Já quando as alturas das edificações são aproximadamente iguais, $V_A/V_a \approx 0,5$, essa redução da velocidade indica uma proteção entre os edifícios onde a intensidade, segundo Wise, depende da razão L/H .

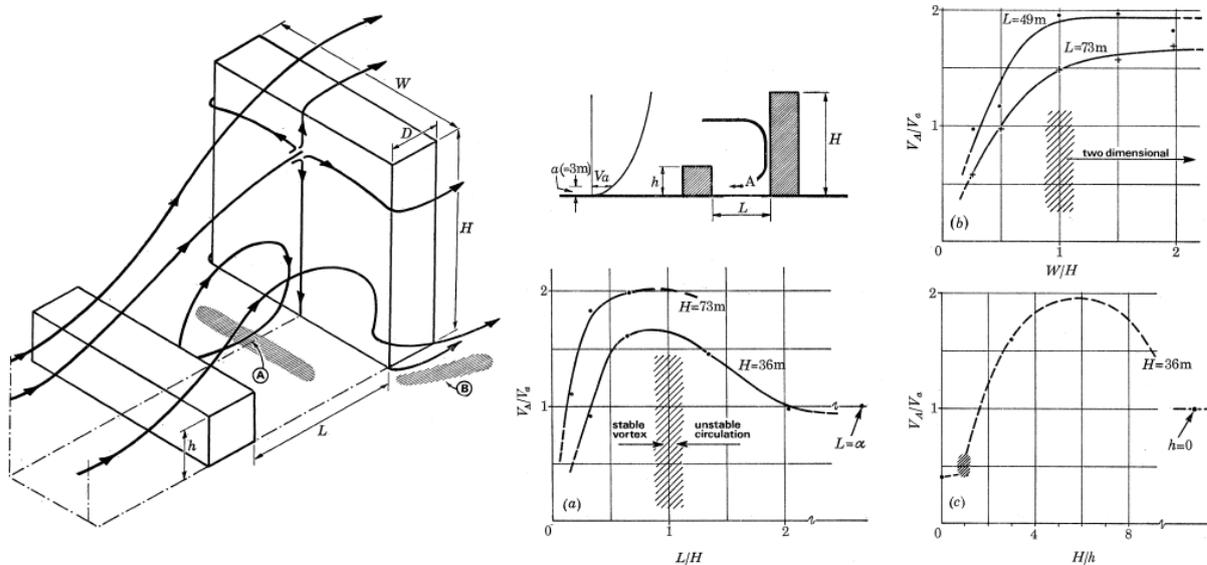


Figura 2.15: Pesquisa de Wise (adaptada de WISE, 1971, p. 471-473)

Dalgliesh (1975) realizou um estudo de caso juntamente com um estudo experimental, para um edifício de escritórios de 57 pavimentos (*Commerce Court Tower*) em Toronto, Canadá. Observou-se que as edificações vizinhas exerciam um grande efeito de proteção para ventos que incidiam na direção em que estas ficavam a barlavento da edificação de estudo. A figura 2.16 apresenta uma das tomadas de pressão observadas onde a linha contínua apresenta resultados feitos na própria edificação e os círculos brancos são os resultados obtidos no túnel de vento.

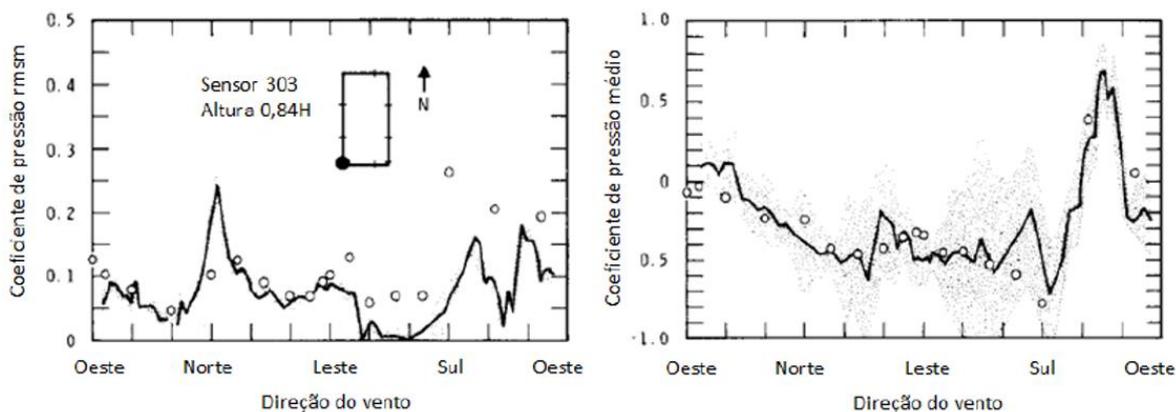


Figura 2.16: Um dos resultados apresentados por Dalgliesh (1975, adaptada, p. 60)

Melbourne e Sharp (1976, apud BENIA, 2013, p. 27) realizaram um estudo com blocos quadrados de mesmas dimensões, onde um ficava a barlavento do outro simulando o subúrbio e o centro da cidade. Na situação de subúrbio, observou-se um acréscimo de até 75% nas respostas transversais enquanto que na situação de centro da cidade este acréscimo atingiu um máximo de 25%. Para as respostas longitudinais, os acréscimos foram respectivamente 25% e 15%.

Reinhold *et al.* (1977) realizaram ensaios medindo as pressões de prismas alinhados na situação do vento com escoamento suave e turbulento, variando o afastamento entre blocos e a angulação da incidência de vento. Concluiu-se que o edifício a barlavento exercia uma grande proteção sobre o edifício a sotavento, porém, as forças flutuantes e os momentos indicaram uma grande possibilidade de torção no prisma estudado.

Melbourne (1977, apud BENIA, 2013, p. 27), estudou a interferência de um edifício de seção transversal octogonal sobre outro de seção transversal retangular com arestas arredondadas conforme apresentado na figura 2.17. A presença de um edifício a barlavento aumentou a resposta transversal do edifício de esteira de 50% a 100% em comparação com o modelo isolado.

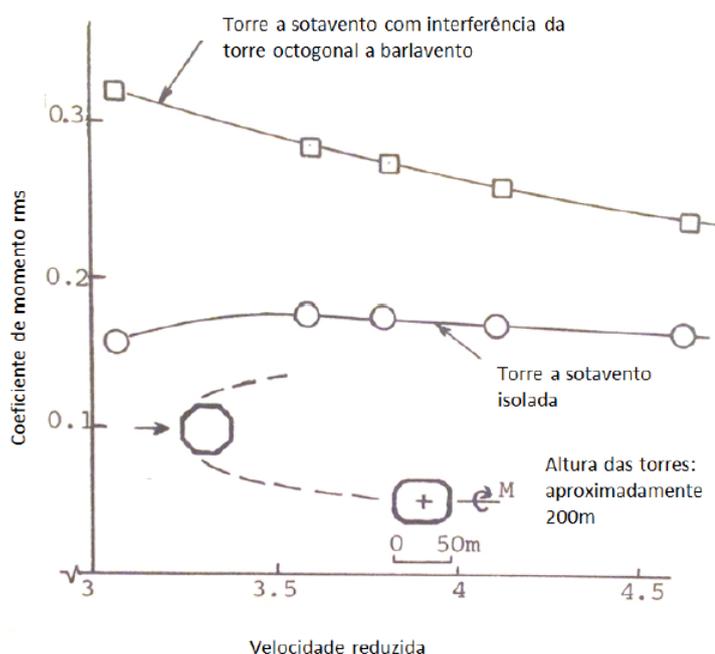


Figura 2.17: Interferência na resposta transversal da edificação (MELBOURNE, 1977 apud BENIA, 2013, p. 28)

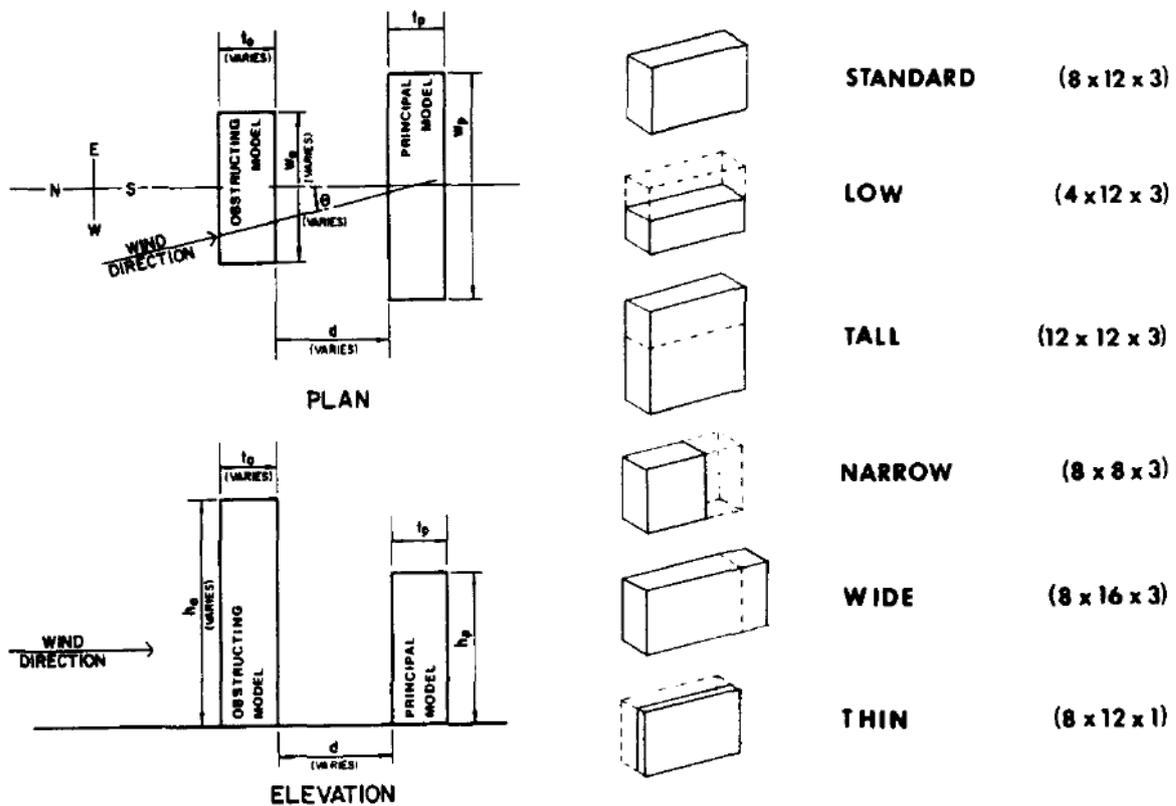
Ruscheweyh (1979 apud BENIA, 2013, p. 28) em seus estudos realizados com modelos de seção transversal retangular, escalonado e em formato de “Y”, variando-se a distância entre os vizinhos e o ângulo de incidência do vento, concluiu que para pequenos afastamentos entre as edificações a resposta dinâmica aumenta, e o formato do edifício a barlavento não interfere significativamente nos resultados.

Bailey e Kwok (1985) publicaram os resultados de um estudo onde concluíram que um edifício a sotavento de outro altera a esteira deste podendo induzir o edifício a barlavento a entrar em ressonância com velocidades pequenas, influenciando nas respostas transversal e longitudinal.

Kareem (1987) estudou a influência da variação de turbulência no escoamento que incide sobre a edificação e a interação entre edificações com dimensões iguais. Foi constatado que para escoamentos de baixa turbulência os efeitos de vizinhança são maiores. Nos casos de baixa turbulência, a esteira do edifício a barlavento possui vórtices bem correlacionados que produzem cargas adversas no edifício a sotavento. A medida que se aumenta a turbulência, a força das flutuações na esteira é diminuída.

Taniike e Inaoka (1988) estudaram os efeitos de interferência para edifícios de diferentes dimensões. Concluíram que para escoamento com pouca turbulência, a resposta transversal do edifício a sotavento sob a influência de outro mais esbelto poderia chegar a valores vinte vezes maiores do que para o edifício isolado. A resposta longitudinal é reduzida com a presença da edificação a barlavento. Os efeitos de proteção aumentarão de acordo com o aumento da largura do edifício a barlavento.

English (1990) realizou ensaios sobre o efeito de proteção produzido por seis configurações de edificações vizinhas a barlavento, em um edifício de seção transversal retangular, conforme apresentado na figura 2.18. Concluiu-se que para o caso de edificações mais baixas e estreitas posicionadas a uma maior distância de barlavento, o efeito de proteção será menor. Não houve aumento do momento em nenhuma das configurações propostas quando comparado aos valores obtidos com o modelo isolado. A torção sofreu uma influência significativa com a presença dos vizinhos, principalmente nos casos em que a distância entre eles era igual a altura do modelo de estudo e também nas situações em que os vizinhos eram mais esbeltos e mais altos chegando a aumentar 40% em relação aos valores obtidos para o modelo isolado.



(A) SCHEMATIC DIAGRAMS OF EXPERIMENTAL SET-UP

(B) SIX OBSTRUCTING MODELS ($h \times w \times t$ IN INCHES)

Figura 2.18: Considerações dos estudos de English (adaptado, 1990, p. 30)

Yahyai *et al.* (1992) realizaram ensaios com vizinhos posicionados a barlavento e a sotavento do modelo instrumentado, considerando-os inseridos em uma região densamente construída. Observou-se que a presença da edificação vizinha reduzia a resposta média do edifício de estudo enquanto a resposta dinâmica aumentava. Concluiu-se que a interferência do vizinho era maior quando este estava posicionado a barlavento do modelo instrumentado e quando ambos tinham o mesmo alinhamento com a direção do vento. Encontrou índices de elevação das ações do vento devido à interferência da vizinhança da ordem de 2,3 na direção do vento e de 2,0 na direção transversal ao vento.

Taniike (1992) realizou estudos em edifícios de seção quadrada considerando a interferência de uma edificação vizinhança também em seção quadrada, mas com variação das dimensões laterais em escoamento de baixa turbulência. Em seus resultados verificou que os vórtices produzidos pelo edifício a barlavento aumentaram

a velocidade de fluxo, sendo maior à medida que a lateral aumentou, implicando em forças maiores na edificação em estudo.

Zhang *et al.* (1994) instrumentaram um prisma aeroelástico quadrado com quatro tipos de vizinhos com seção transversal quadrada e circular, de alturas iguais às do edifício em estudo e posicionados a barlavento e a sotavento. Concluiu-se que para vizinhos com seção transversal menor posicionados a barlavento o modelo instrumentado entrava em ressonância para baixas velocidades. Também foi observado que o efeito de torção aumentou atingindo valores de até 2,2 vezes o valor do modelo isolado no caso de os vizinhos estarem posicionados a barlavento. Para os casos em que o posicionamento era a sotavento do modelo instrumentado, a resposta à torção do modelo instrumentado foi reduzida.

Khanduri *et al.* (1998) fizeram uma grande revisão do estado-da-arte à época sobre a questão da influência de edificações vizinhas. Após a compilação de trabalhos de mais de seis décadas relativos à estas interferências, concluíram que as pesquisas reforçavam a gravidade desta situação. Além disto, a revisão constatou que muitos trabalhos apresentavam resultados inconsistentes e havia grandes incoerências entre eles. Muitos trabalhos, buscando apresentar recomendações gerais, apenas constatavam a natureza complexa do problema e acabavam não tendo sucesso em seus objetivos. Concluiu-se que tais discrepâncias, razão da diversidade de variáveis e complexidade da natureza do escoamento turbulento do vento com interferências adicionais, poderiam ser minimizadas se os pesquisadores atuassem de maneira mais sistematizada propondo um conjunto geral de diretrizes que pudesse ser adotado de maneira prática.

Thepmongkorn *et al.* (2002) utilizaram o edifício padronizado pelo *Commonwealth Aeronautical Research Council* (CAARC) em um conjunto de ensaios buscando analisar a interferência sobre o movimento interativo de translação e rotação produzidos pela ação do vento com a presença de um vizinho de seção transversal quadrada e mesma altura do modelo instrumentado. Concluiu-se que o edifício vizinho posicionado a barlavento produzia aumento nas respostas longitudinal, transversal e no momento torçor. Na situação em que esteve alinhado ao *CAARC Standard Tall Building*, a resposta transversal foi ainda maior.

Cho *et al.* (2004) estudaram a influência de uma edificação vizinha sobre um edifício alto de seção quadrada. A edificação vizinha tinha a mesma altura e as dimensões da base foram variadas desde uma seção com dimensões semelhantes às do edifício em estudo, até onde a largura fosse maior na proporção de 2,5. A edificação vizinha foi posicionada a barlavento. Eles encontraram elevações nas respostas da estrutura frente às ações do vento da ordem de 20% na direção do vento, de 30% na direção transversal ao vento e de até 40% no momento torçor.

Xie e Gu (2004) ensaiaram configurações de dois e três edifícios em túnel de vento para observar o comportamento entre eles. Percebeu-se que à medida que se aumenta a altura e a largura de uma edificação vizinha, seu efeito de proteção também aumenta. Também concluíram que no caso de os edifícios estarem alinhados, o que fica a sotavento pode ter um aumento significativo dos carregamentos.

Tang e Kwok (2004) ensaiaram um modelo aeroelástico do *CAARC Standard Tall Building* com a presença de um vizinho idêntico localizado a barlavento e a sotavento do instrumentado. Na situação em que as edificações ficavam próximas e alinhadas, cerca de duas vezes a largura da edificação, o desvio padrão do ângulo de torção aumentava em 85% indicando uma resposta à torção do modelo instrumentado influenciada pela alta turbulência do escoamento resultando em uma resposta amplificada.

Dando continuidade ao seu trabalho anterior, Xie e Gu (2007) propuseram equações de regressão para simplificar a complexidade dos efeitos de interferência dinâmica e média do vento devido a vários parâmetros como espaçamento entre edificações, para os casos de uma e duas edificações vizinhas com mesma altura, dando um exemplo de como utilizar as formulações propostas.

Blocken *et al.* (2008) fizeram ensaios em túnel de vento para esclarecer o comportamento da passagem do vento entre edificações com a variação de seus comprimentos, altura e direção do vento, além de fornecer dados experimentais para auxiliar nas simulações numéricas de situações semelhantes. Nos casos para os quais as passagens entre edificações eram divergentes, a velocidade vento foi amplificada e se mostrou, frequentemente, maior do que em passagens com características convergentes, mas não para todos os casos. Também se observou

que à medida que a largura da passagem foi diminuída, a velocidade do vento aumentou, situação característica do Efeito Venturi.

Lam *et al.* (2008, 2011) realizaram estudos em um conjunto de cinco edificações alinhadas com as faces paralelas e em formação diamante conforme apresentado na figura 2.19, além de variarem os afastamentos entre as edificações. Avaliaram a resposta longitudinal, transversal e de torção para três edificações. No caso da formação em diamante os valores do carregamento médio foram amplificados na maioria dos ângulos estudados.

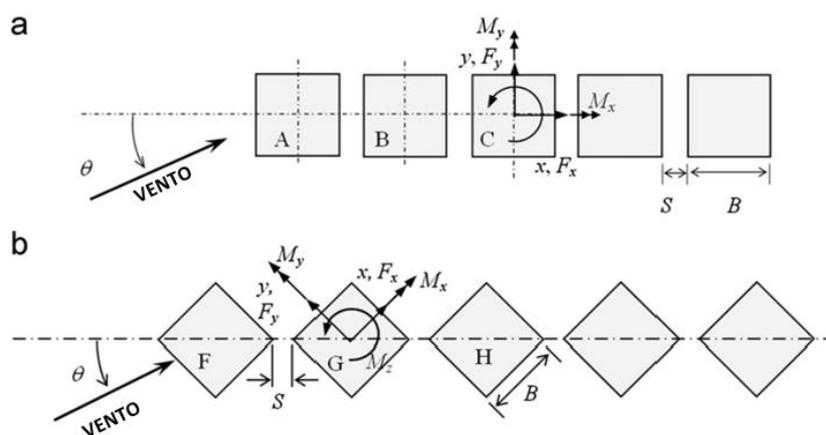


Figura 2.19: Posicionamento dos edifícios (adaptado de LAM *et al.*, 2008, p. 564; 2011, p. 574)

Hui *et al.* (2013) visualizaram o escoamento para avaliar os resultados de pressões obtidos em ensaios com edifícios altos de seção transversal retangular para várias configurações de posicionamento e direções de vento como apresentado na figura 2.20.

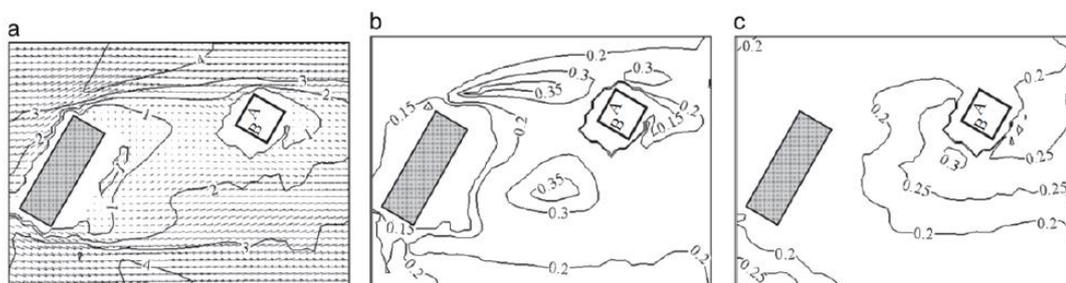


Figura 2.20: Visualizações de pressão (adaptado de HUI *et al.*, 2013, p. 155)

Kim *et al.* (2015) em suas duas publicações tratam sobre a variabilidade de forças do vento em níveis de altura de um edifício alto considerando a influência de um edifício vizinho com mesma seção transversal, mas com altura variada. Em seus trabalhos puderam concluir que a interferência dos vizinhos aumenta à medida que sua altura aumenta. No caso de regiões próximas ao edifício em estudo encontraram índices de interferência de até 1,3 para o momento em torno do eixo da base.

Além de muitos estudos experimentais, como os apresentaram anteriormente, outra linha de pesquisa são os estudos numéricos utilizando simulações computacionais. Kim *et al.* (2015) pontuam que estabelecer uma diretriz para avaliar cargas de vento com interferência, sejam elas globais ou locais, é um problema extremamente complexo devido ao grande número de variáveis envolvidas. Dentre as dificuldades podem-se citar a simulação das turbulências que ocorrem na região da camada atmosférica e a questão de somar estes efeitos à interferência de outras edificações vizinhas que, como visto em diversos trabalhos experimentais, altera significativamente o fluxo do vento nas imediações das edificações. Mesmo com essas dificuldades, existem pesquisas computacionais que procuram analisar o efeito da presença de edificações vizinhas nos esforços em uma edificação.

Tutar e Oguz (2002) fizeram um estudo numérico testando diferentes tipos de modelagem para simular os efeitos de vento em edifícios alargados posicionados paralelamente. Utilizando o Método dos Volumes Finitos (MVF) concluíram que, dentre as possibilidades testadas, o modelo de sub-grade com a utilização do MVF foi o mais eficiente, contornando desvantagens de equações convencionais baseadas na média de Navier-Stokes.

Blocken *et al.* (2007) estudaram numericamente as condições de velocidade do vento através de duas edificações paralelas. Eles destacam a importância da camada limite atmosférica ser simulada com fluxo homogêneo. Como resultados visualizaram um acréscimo de 8% na velocidade do vento entre as edificações, caracterizando desta forma o Efeito Venturi.

Jana *et al.* (2015) fizeram uma coleta de dados de um estudo numérico sobre a interferência do vento e sua otimização alterando o espaçamento entre as edificações vizinhas a um prédio com seção transversal pentagonal. Devido à assimetria

geométrica estudou-se diferentes direções para a incidência do vento, conforme pode ser observado na figura 2.21.

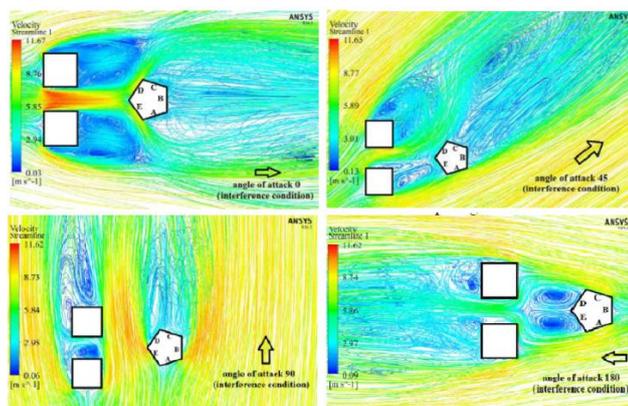


Figura 2.21: Linhas de fluxo do vento em diferentes direções (adaptado JANA et al., 2015)

2.6 Estudos sobre vizinhança no Brasil

No Brasil muitos centros de pesquisa atuam no estudo dos efeitos de vento em construções civis. Dentre eles destaca-se o localizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde encontra-se o túnel de vento Professor Joaquim Blessmann com qualidade reconhecida internacionalmente. Alguns dos trabalhos realizados pelo Professor Blessmann serviram de parâmetro na determinação dos limites hoje adotados pela norma brasileira de vento na consideração de vizinhança na determinação de esforços devidos à ação do vento. Além dele, muitos outros pesquisadores têm estudado os efeitos de vizinhança aqui no Brasil.

Blessmann e Riera (1979 apud BENIA, 2013, p. 28) fizeram uma série de ensaios com prismas de seção quadrada em escoamento uniforme. As medidas de pressão foram realizadas levando-se em consideração a alteração entre o afastamento dos prismas e a angulação de incidência do vento. Concluiu-se que a presença do edifício vizinho influenciava sensivelmente a componente horizontal da força exercida pelo vento assim como o momento torçor. A força horizontal aumentou em torno de 40% enquanto que o momento torçor triplicou seu valor comparado com os resultados para o modelo isolado.

Blessmann e Riera (1985), continuando seu trabalho de 1979 (citado anteriormente) incluíram o escoamento turbulento. Nesta nova situação, observaram

que a interação entre vizinhos aumentava o momento torçor naquele que ficava em sotavento, mesmo em escoamento turbulento dentro da camada limite, porem com resultados menores que os encontrados no escoamento uniforme.

Blessmann (1985) publicou sobre os efeitos de martelamento em edificações altas vizinhas de seção quadrada para escoamento uniforme e turbulento, variando o ângulo de incidência do vento assim como o posicionamento das edificações, conforme apresentado pela figura 2.22. Concluiu-se que a interferência da edificação vizinha, no caso de escoamento uniforme aumentava o efeito de martelamento em até 45% na direção longitudinal e 37% na direção transversal. Para vento turbulento os acréscimos chegaram a 78% da direção longitudinal e 73% na direção transversal.

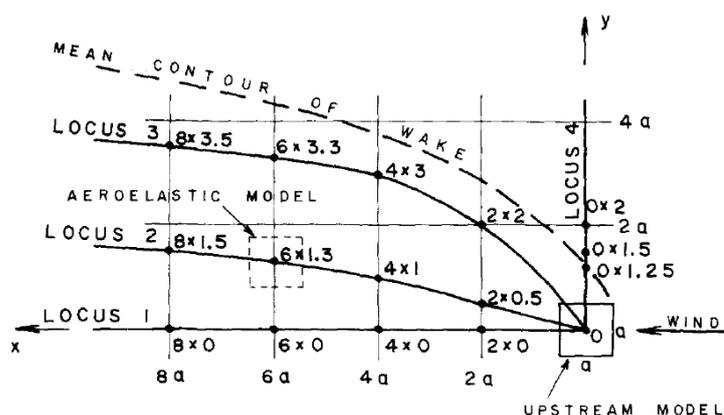


Figura 2.22: Posicionamento dos modelos (BLESSMANN, 1985, p. 107)

Blessmann (1992) realizou estudos técnicos em túnel de vento para avaliar o comportamento de duas edificações existentes: edifício do Citibank em São Paulo e outro edifício no Rio de Janeiro. Foram consideradas as situações de modelo isolado e com a vizinhança local, para uma simulação de vento natural com escoamento em região densamente construída. Avaliaram-se os coeficientes aerodinâmicos de pressão, força e torção, considerando os efeitos de vizinhança. Foi concluído que a presença da vizinhança praticamente não alterou os resultados esperados para o coeficiente de força em ambas as edificações. A torção já apresentou uma alteração significativa onde o fator de vizinhança chegou a 2,25 para a edificação em São Paulo e a 1,54 para a edificação no Rio de Janeiro. Apesar dos valores encontrados,

Blessmann considerou que as recomendações normativas eram suficientes para consideração dos efeitos de vizinhança em ambos os casos.

Fontes (2003) apresentou um trabalho de comparação entre a norma brasileira NBR 6123 e a norma canadense NBCC (1985) avaliando as respostas dinâmicas do vento em um edifício alto de seção retangular. Foram consideradas quatro tipos de vizinhança onde o modelo mudo foi posicionado frontalmente ao instrumentado e teve variação na distância entre as faces confrontantes, como pode ser observado na figura 2.23. Também foram considerados dois tipos de escoamento. Foi observado que as prescrições da norma brasileira foram mais consistentes que os da norma canadense. Mesmo assim, encontraram-se valores contra a segurança no caso dos efeitos de torção, além de efeitos imprevisíveis devido à presença da edificação vizinha.

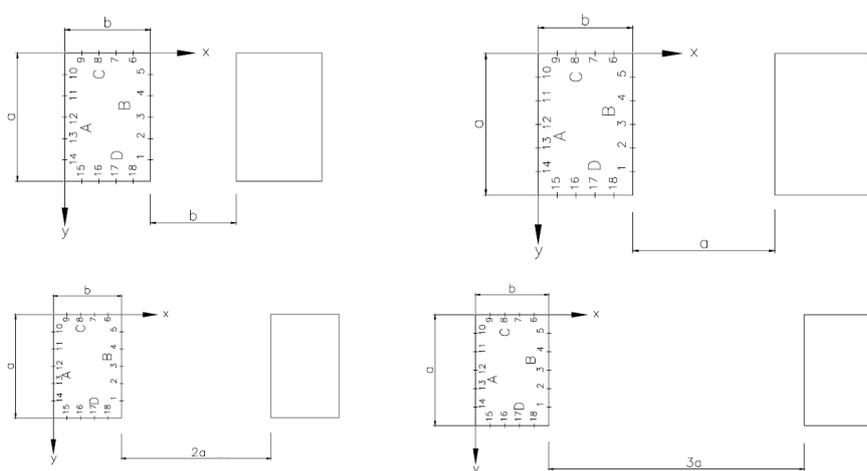


Figura 2.23: Variação das distâncias (adaptado de FONTES, 2003, p. 32)

Carpeggiani (2004) estudou os efeitos estáticos da torção utilizando uma série de ensaios em edificações considerando seus respectivos entornos urbanos. Os resultados obtidos foram comparados com as estimativas teóricas das normas brasileira, canadense, alemã além de um trabalho científico realizado por Isyumov. Ele concluiu que a norma brasileira subestima a indicação da excentricidade para as edificações isoladas, apesar de cobrir a maioria dos casos quando se consideram os efeitos de segurança.

Bortoli (2005) avaliou experimentalmente em túnel de vento a confiabilidade das cargas de vento propostas pelas normas argentina e brasileira para edificações situadas em centros urbanos para uma distribuição aleatória do entorno superficial

utilizando o método de Monte Carlo. Foi analisado o momento fletor na base longitudinal e transversal e o momento de torção. No caso dos momentos médios concluiu-se que as normas apresentam valores condizentes, entretanto, para os momentos flutuantes médios os resultados são inferiores.

Oliveira (2009), para desenvolver uma balança dinâmica com três graus de liberdade, avaliou o efeito da flexo-torção em edifícios altos sendo que em alguns ensaios considerou a presença de uma edificação vizinha com as mesmas características geométricas do edifício em estudo. Em alguns casos estudados a presença da vizinhança elevou os resultados em mais de 60%.

Loredo-Souza *et al.* (2012) apresentaram os resultados de uma série de trabalhos a respeito da interferência das edificações nas ações do vento. Eles reforçaram a questão sobre a dificuldade de se obter um valor que abranja todas as situações para efeitos normativos. Em seus resultados concluíram que as solicitações poderiam ser alteradas de maneira significativa devido à presença de edificações vizinhas. Sugeriram que devido aos efeitos visualizados nos trabalhos, a norma brasileira deve considerar valores oriundos de incidências oblíquas do vento, além da incorporação no corpo da norma do fator de vizinhança.

Bênia (2013) estudou dezoito configurações de vizinhança fazendo uma variação da distância frontal entre os modelos conforme apresentado na figura 2.24. Ela estudou as respostas médias e flutuantes para os deslocamentos longitudinais e transversais além do efeito da torção. O modelo instrumentado utilizou uma balança que permitia três graus de liberdade. Concluiu-se que as edificações vizinhas geraram um efeito de proteção reduzindo as respostas longitudinais e transversais do modelo instrumentado. Já a resposta flutuante apresentou ampliações expressivas em determinadas configurações da vizinhança.

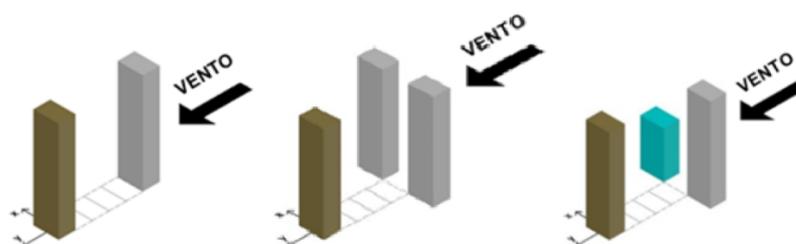


Figura 2.24: Situações estudadas por Bênia (adaptado de BENIA, 2013, p. 76)

Fontoura (2014) estudou a influência da vizinhança em uma edificação para oito situações distintas, conforme apresentado pela figura 2.25, considerando a aleatoriedade de vizinhos, e comparou o fator de majoração de esforços propostos pela norma NBR 6123 com os encontrados no experimento. Ela constatou que para algumas direções, não previstas em norma, a presença de edificações vizinhas amplificava a intensidade dos esforços no modelo instrumentado.

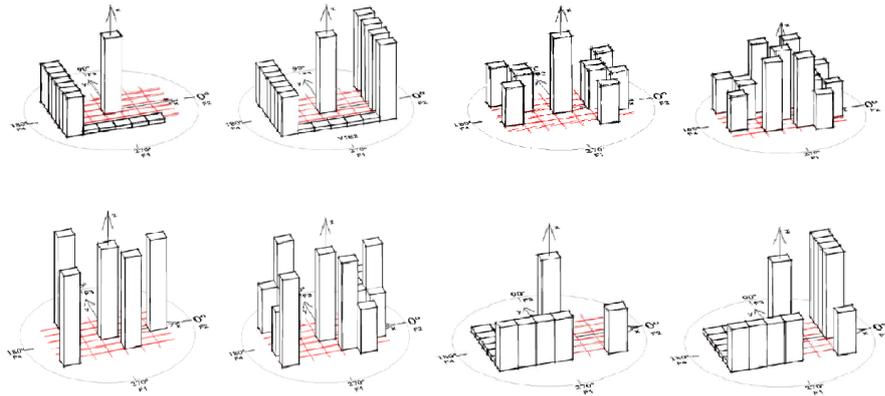


Figura 2.25: Configurações estudadas por Fontoura (adaptado de FONTOURA, 2014)

Alberti (2015) estudou através de resultados obtidos em túnel de vento, os efeitos estáticos de proteção em quatro configurações distintas de vizinhança apresentadas pela figura 2.26. Constatou-se que em todos os casos a variação dos coeficientes de força foram significativas. Também se observou que nos casos em que a vizinhança era densa, os efeitos da ação do vento foram reduzidos, porém, para situações em que o vento encontrou brechas entre a vizinhança houve elevação destas mesmas ações.

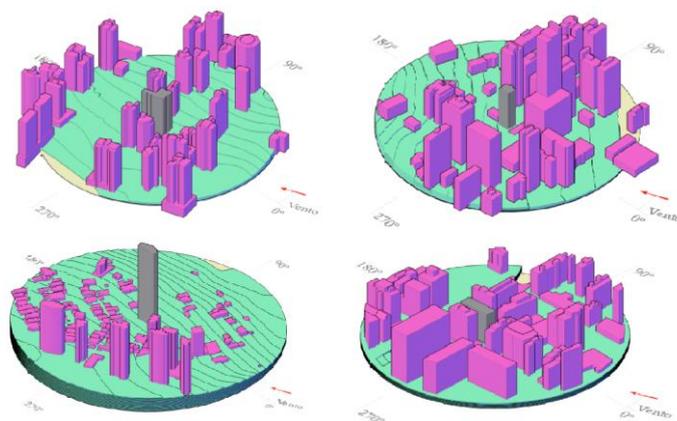


Figura 2.26: Configurações estudadas por Alberti (adaptado de ALBERTI, 2015)

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para um melhor entendimento do comportamento das construções frente às ações do vento é recomendável recorrer aos ensaios em escala reduzida em túnel de vento. A utilização deste recurso é mais evidente em algumas situações como quando algumas construções ou obstáculos naturais com dimensões significativas, tanto a barlavento quanto a sotavento de uma edificação, provocam perturbações no escoamento do vento. Outro tipo de situação em que é altamente recomendável recorrer a este tipo de ensaio é quando se tem pouca informação a respeito do comportamento aerodinâmico da edificação em questão. Em ambos os casos os ensaios em túnel de vento reduzem as incertezas do comportamento da edificação quando submetida aos efeitos da ação do vento, permitindo uma análise estrutural mais condizente com a situação real.

De maneira a alcançar os objetivos propostos no capítulo introdutório deste trabalho, foram realizados um conjunto de ensaios em túnel de vento com modelos reduzidos, construídos em escala adequada de forma a se obterem os resultados mais próximos ao real.

3.1 Túnel de vento professor Joaquim Blessmann

Edifícios alteados estão em uma região da camada atmosférica caracterizada por um escoamento turbulento, o que implica que o túnel de vento para se realizar experimentos desta natureza, deve apresentar um escoamento com características que se aproximem do vento natural. Segundo Blessmann (1990, p. 114), os túneis de vento utilizados para estudo do comportamento de edificações da construção civil, devem ter a relação comprimento/altura superior a oito, de forma a representar de maneira mais adequada as características de um vento natural.

Os ensaios realizados para este trabalho ocorreram no Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), apresentado na figura 3.1. Este é um túnel de vento de retorno fechado, projetado especificamente para ensaios de modelos da construção civil, tanto estáticos quanto dinâmicos. A parte do túnel onde foram realizados os experimentos conta com dimensões de 1,30m x 0,90m x 9,32m, desta forma sua relação comprimento/altura é

igual a 10,4 atendendo ao mínimo recomendado. A velocidade máxima do escoamento na câmara livre, para vento uniforme e suave é de aproximadamente 42 m/s. O propulsor é movido por um motor elétrico de 100 HP, e a velocidade de escoamento é controlada através de um inversor de frequências.



Figura 3.1: Túnel de Vento Professor Joaquim Blessmann

Conforme pode ser observado na figura 3.2, este túnel de vento possui quatro mesas de ensaio giratórias onde cada uma delas é utilizada para um tipo de estudo específico.

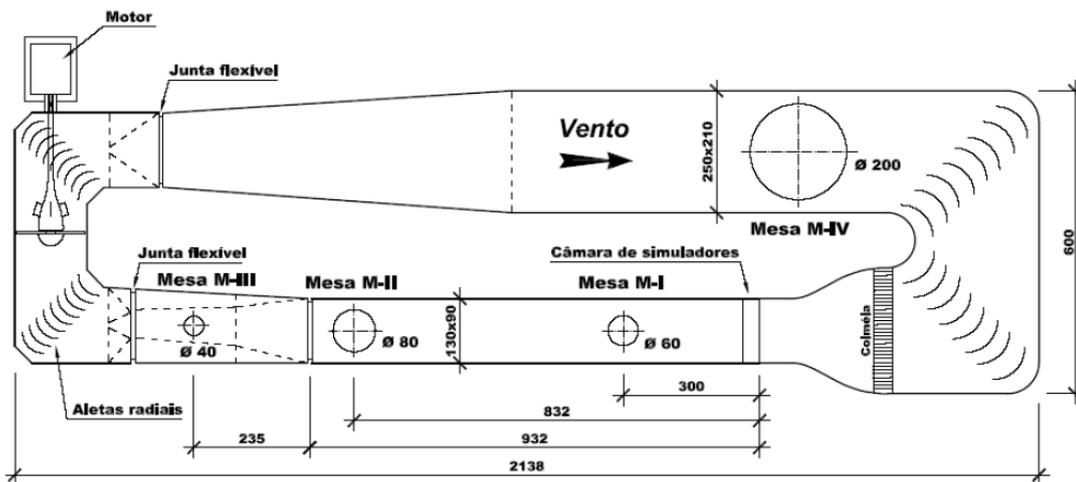


Figura 3.2: Circuito aerodinâmico do Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann (Medidas em cm)

3.2 Simulação do vento

Para uma pesquisa que se propõe estudar o efeito do vento em edificações, a correta simulação do vento assim como de parâmetros a ele relacionados, como velocidade e pressão, são de extrema importância. Para diferentes perfis de velocidade dos ventos simulados no túnel, são determinados coeficientes k_0 que vinculam a velocidade média em diferentes cotas, a massa específica do ar e a diferença de pressão estática, Δpa , o que permite calcular a pressão dinâmica e a velocidade do escoamento em qualquer ponto da seção transversal do túnel, devidamente mapeada, através da leitura da pressão de referência. Esta relação é apresentada na equação 3.1.

$$V = \sqrt{2k_0 \frac{\Delta pa}{\rho}} \quad (3.1)$$

Onde:

- V : velocidade média do vento;
- k_0 : fator de calibração do túnel de vento, previamente determinado, relacionando os valores de pressão atmosférica às pressões dinâmicas do escoamento; valor de 1,185, para os ensaios realizados com o *CAARC Standard Tall Building* na mesa M-II,
- Δpa : pressão de referência;
- ρ : massa específica do ar;

Com a informação da velocidade, pode-se determinar a pressão dinâmica no ponto onde se calculou a velocidade através da expressão 3.2.

$$q = 0,613 V^2 \quad (3.2)$$

Onde:

- q : pressão dinâmica ao longe;
- V : velocidade média do vento;

Outra maneira de se determinar a pressão dinâmica, é que foi a forma utilizada para o cálculo das pressões neste trabalho, é através da expressão 3.3.

$$q = k_0 \Delta pa \quad (3.3)$$

Onde:

- q : pressão dinâmica ao longe;
- k_0 : fator de calibração do túnel de vento, previamente determinado, relacionando os valores de pressão atmosférica às pressões dinâmicas do escoamento; valor de 1,185, para os ensaios realizados com o *CAARC Standard Tall Building* na mesa M-II,
- Δpa : pressão de referência;

Segundo Davenport e Isyumov (1967, apud CARPEGIANNI, 2004, p. 48), para estudos aplicados à engenharia de construção civil, a utilização de túneis de vento para simular as características do vento natural deve ser feita de maneira criteriosa, de forma que os resultados encontrados não contenham distorções significativas comparando-se com a escala real.

As características do vento natural podem ser obtidas através de uma combinação de diferentes dispositivos. Alguns destes tipos de dispositivos podem ser observados na figura 3.3. Trata-se de um conjunto de telas planas ou curvas, com diferentes malhas, inseridas em gavetas no início da câmara de ensaio, com o objetivo de simular algumas características do vento como a intensidade e a escala de turbulência, espectro, curva de autocorrelação, etc.

Outra forma de se obter a situação apropriada ao vento natural estudado, é o posicionamento de um conjunto de blocos ao longo do piso do túnel gerando a turbulência que simula a rugosidade do terreno prevista para o estudo, conforme apresentado na figura 3.4. De acordo com Blesmmann (1990, p.112), esta técnica corresponde à principal fonte de turbulência em baixa altitude.

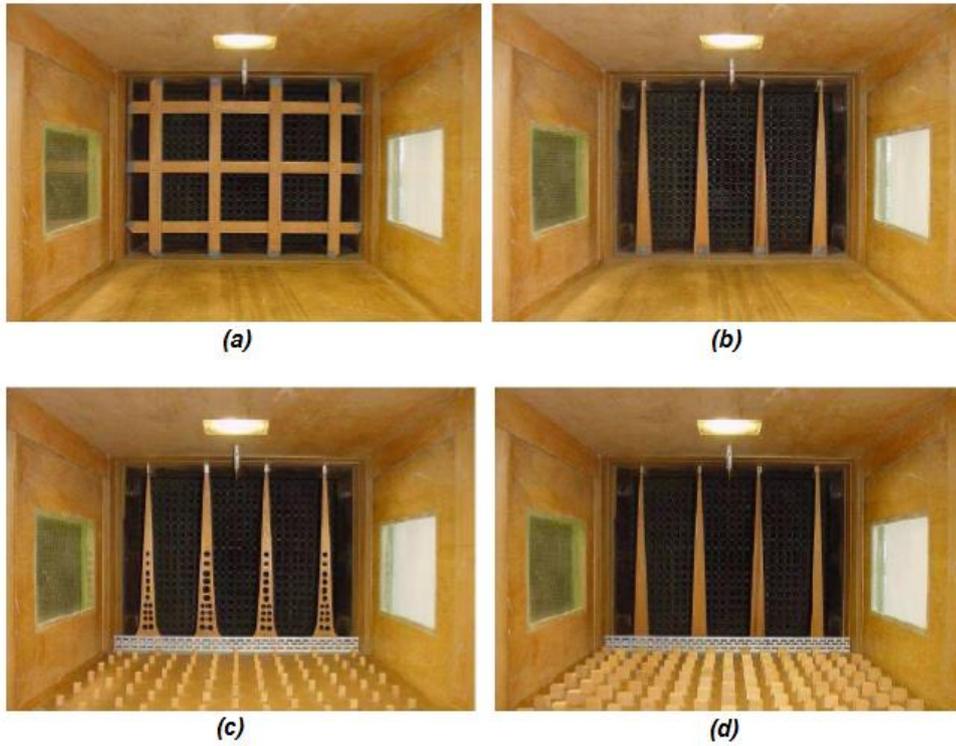


Figura 3.3: Grelhas para geração de diferentes camadas limite. (a) grelha; (b) $p = 0,11$; (c) $p = 0,23$; (d) $p = 0,34$



Figura 3.4: Blocos fixos ao piso para auxiliar na representação do vento natural

Além destas, Blessmann (1990, p.114) comenta sobre a técnica de lançar jatos de ar a partir do piso em uma direção perpendicular ao vento que escoar ao longo do túnel. Esta técnica tem a vantagem de não reduzir a velocidade média da corrente de ar e permitir um controle mais fácil das características do vento.

A variação da velocidade média do vento em uma seção do túnel é uma função da cota vertical medida a partir do piso do túnel. De acordo com Blessmann (1995, p.42), este perfil vertical de velocidades médias trata-se de uma lei potencial apresentada pela equação 3.4. Loredou-Souza *et al.* (2004) destacam que esta expressão apresenta alguns inconvenientes como não reconhecer a camada limite atmosférica, não ter uma justificativa teórica e não se ajustar adequadamente às camadas próximas à superfície, mas que, apesar destas limitações, tal expressão representa bem o perfil médio de velocidades e se adequa muito bem aos resultados experimentais.

$$\frac{V(z)}{V_{ref}} = \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^p \quad (3.4)$$

Onde:

- $V(z)$: velocidade média na altura z ;
- V_{ref} : velocidade média de referência na altura z_{ref} ;
- z_{ref} : cota de referência, 450 mm a partir do piso do túnel de vento;
- z : cota vertical, medida a partir do piso do túnel de vento;
- p : expoente da curva de potência.

3.3 CAARC Standard Tall Building

De forma que fosse possível a comparação das técnicas experimentais realizadas em diferentes centros de pesquisa, o Commonwealth Advisory Aeronautical Research Council (CAARC) criou em 1969 um modelo que a partir de então seria adotado como padrão (MELBOURNE, 1980, p.73). Tal modelo possibilitou o aprimoramento das técnicas experimentais, assim como estabeleceu uma maior

confiança nos dados gerados pelos experimentos em túneis de vento, possibilitando a comparação de resultados para experimentos que envolvam respostas dinâmicas ou medidas de pressão nas fachadas.

Entre 1969 e 1975, diferentes centros de pesquisa conduziram pesquisas considerando tanto efeitos estáticos quanto dinâmicos que, após serem compiladas, mostraram diferenças de resultados consideradas pequenas (MELBOURNE, 1980, p.73). As inconsistências em relação aos estudos de pressão foram atribuídas a diferença no espectro de velocidade longitudinal de entrada e por inexistência de obtáculos.

Em relação à geometria, o *CAARC Standard Tall Building* é um prisma de seção transversal retangular com dimensões de, em escala real, 30,48m x 45,72m x 182,88m. O edifício tem topo plano, horizontal e sem parapeitos. As paredes externas são planos verticais sem detalhes geométricos, conforme se observa na figura 3.5.

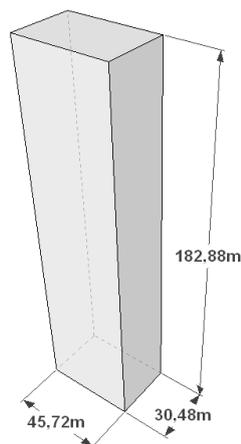


Figura 3.5: CAARC Standard Tall Building

Atualmente muitas edificações tem geometrias não padronizadas o que altera as repostas às ações do vento. Ainda assim, Thepmongkorn et al. (2002) afirmam que, mesmo o *CAARC Standard Tall Building* tendo uma geometria prismática regular, a maioria dos edifícios altos tem essa mesma concepção em sua geometria o que permite que os resultados obtidos em ensaios em túnel de vento com este modelo padrão sejam válidos.

Ao *CAARC Standard Tall Building*, além das dimensões, são atribuídas as seguintes características:

- Massa específica : 160 kg/m³
- Massa total : 40776,26 t
- Modo de vibração : apenas o fundamental é considerado, sendo linear com ponto de rotação na base
- Frequência natural : 0,20 Hz, nas duas direções
- Amortecimento : 1% nas duas direções
- Momentos de Inércia de massa : $I_{Mx} = 426.465.000 \text{ t.m}^4$
 $I_{My} = 422.820.000 \text{ t.m}^4$

3.4 Vizinhanças propostas

Conforme visto na seção 2.4, ABNT (1988), NBR 6123, apresenta dois critérios para consideração dos efeitos de vizinhança. Uma vez que esta norma recomenda que os efeitos de vizinhança sejam considerados somente até a altura do topo das edificações próximas ao edifício em estudo, optou-se por utilizar como edificações vizinhas, modelos sem tomadas de pressão, denominados modelos mudos, com as mesmas dimensões, em escala, do *CAARC Standard Tall Building*, confeccionados em madeira. Quando os parâmetros da norma brasileira são aplicados a este edifício padrão, os afastamentos e o diâmetro ficam como apresentado pela figura 3.6.

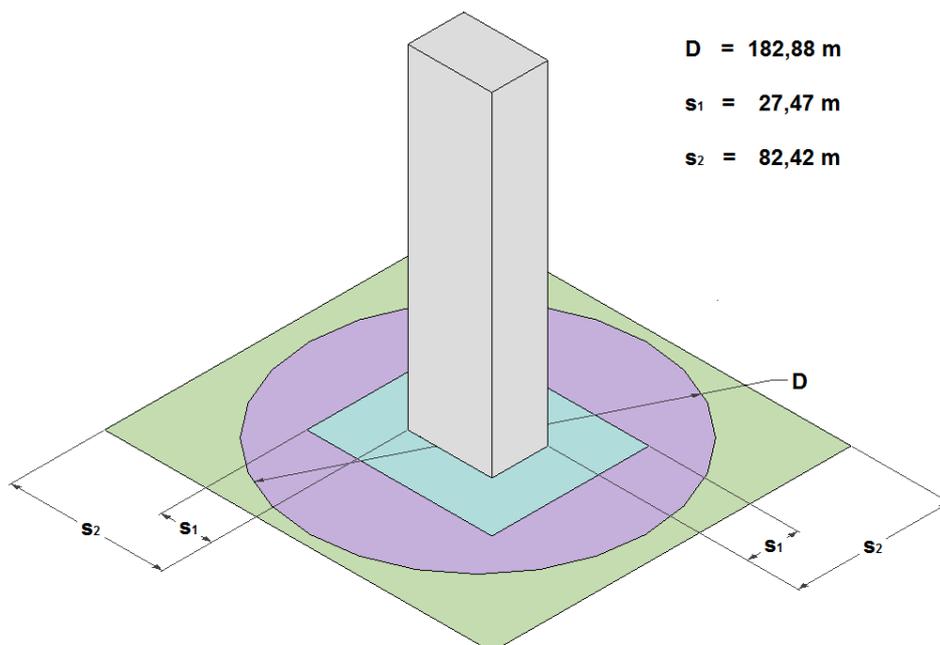


Figura 3.6: Afastamentos de vizinhança para o *CAARC Standard Tall Building* seguindo os parâmetros da NBR 6123:1988

Em geral quando não se está avaliando uma situação real de vizinhança, não há um padrão de posicionamento a ser seguido para o estudo de efeitos de vizinhança, até mesmo devido à grande aleatoriedade de disposições em que as edificações vizinhas podem estar. Muitos pesquisadores analisaram diferentes posicionamento dos edifícios vizinhos. Oliveira (2009, p. 132) estudou seis configurações distintas onde, inicialmente, as edificações vizinhas foram posicionadas frontalmente ao *CAARC Standard Tall Building* instrumentado, e depois elas foram deslocadas no sentido paralelo à maior face da edificação principal. Fontoura (2014) propôs oito vizinhanças com disposição aleatória e variação das alturas das edificações vizinhas. Bênia (2013) propôs o estudo de duas edificações vizinhas com alturas iguais e também com uma edificação vizinha com meia altura, todas as situações com posicionamento frontal equivalente à direção de 90° deste estudo. Song e Tse (2014) e Song *et al.* (2016) estudaram as edificações posicionadas paralelamente pela menor lateral. Lim e Bienkiewicz (2014) estudaram edifícios quadrados e o posicionamento foi baseado no afastamento com medidas iguais à lateral dos edifícios de estudo. Pode-se constatar que a definição do posicionamento dos edifícios vizinhos trata-se de uma questão particular de cada trabalho.

No desenvolvimento deste trabalho foram propostas trinta e duas vizinhanças além do *CAARC Standard Tall Building* isolado. Dentro destas estabeleceu-se quatro distâncias entre o eixo da edificação instrumentada e o limite de vizinhança a ser considerada. Estes limites, também chamados neste trabalho de contornos, foram formados por círculos com diâmetro vinculado à altura da edificação instrumentada, e centro coincidente com o eixo da edificação, conforme apresentado na figura 3.7. Tais círculos foram denominados por D1, D2, D3 e D4 com os seguintes diâmetros:

- D1: diâmetro igual a altura da edificação
- D2: diâmetro igual a uma vez e meia a altura da edificação
- D3: diâmetro igual a duas vezes a altura da edificação
- D4: diâmetro igual a duas vezes e meia a altura da edificação

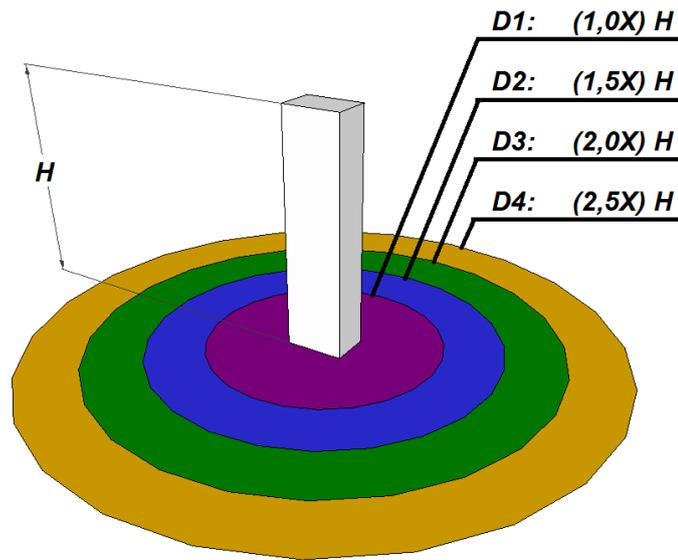


Figura 3.7: Distâncias de vizinhança da pesquisa

Uma vez determinadas as distâncias dos contornos a serem considerados na pesquisa, foram definidos os parâmetros de disposição das vizinhanças a serem estudadas, chegando-se a oito tipos distintos.

A primeira vizinhança, denominada $V1$, foi composta por um modelo mudo posicionado de forma que as fachadas laterais maiores, tanto da edificação instrumentada quanto do modelo mudo, ficassem diretamente frontais, conforme apresentado pela figura 3.8.

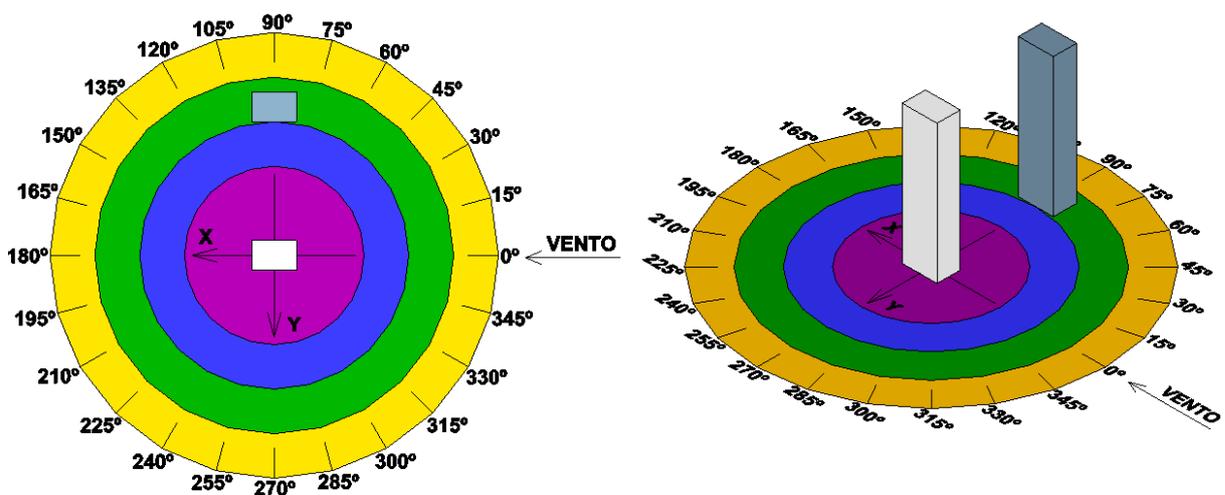


Figura 3.8: Vizinhança $V1$ em planta e em perspectiva respectivamente

Na segunda vizinhança, denominada V2, o modelo mudo teve o alinhamento da diagonal de sua seção transversal coincidindo com o alinhamento da diagonal da seção transversal do modelo instrumentado conforme pode ser observado na figura 3.9.

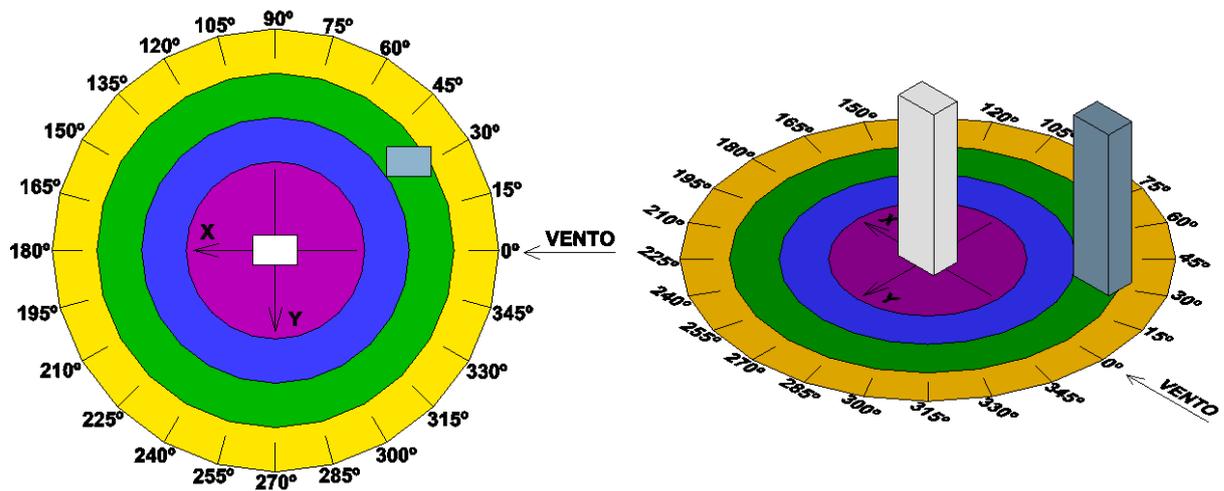


Figura 3.9: Vizinhança V2 em planta e em perspectiva respectivamente

A terceira vizinhança, denominada V3, contou com um modelo mudo que foi posicionado de forma a ficar deslocado do modelo instrumentado tanto na projeção da direção de 90°, quanto na projeção com a direção da diagonal do modelo instrumentado, conforme se observa na figura 3.10.

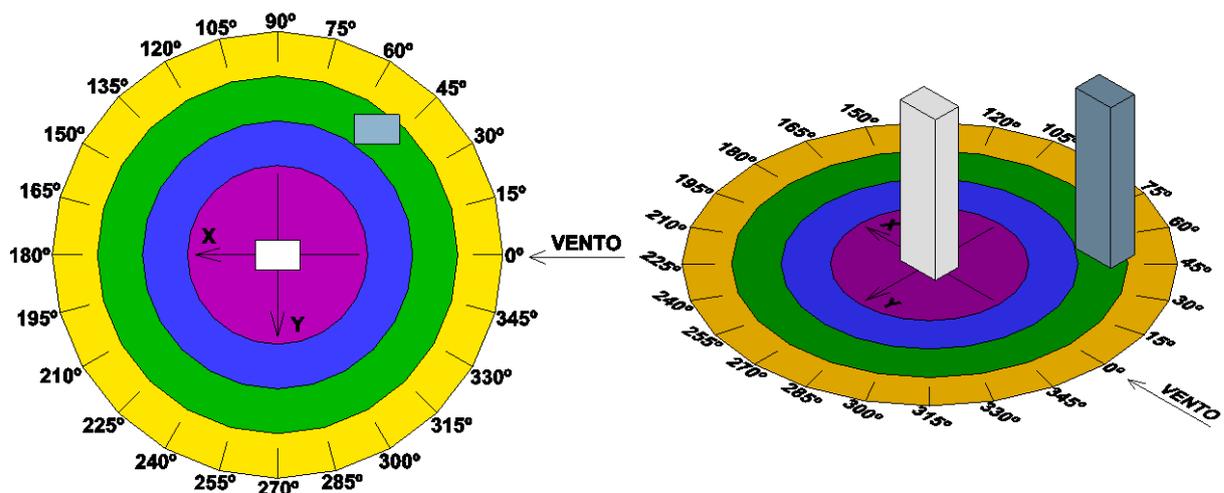


Figura 3.10: Vizinhança V3 em planta e em perspectiva respectivamente

Na quarta vizinhança, chamada de *V4*, foram utilizados dois modelos mudos posicionados frontalmente ao modelo instrumentado na direção de 90° ao longo do eixo Y, de forma que a projeção nesta direção não obstruísse a passagem do vento até o *CAARC Standard Tall Building*. Ambos foram fixados a uma mesma distância do edifício padrão, conforme pode ser observado na figura 3.11.

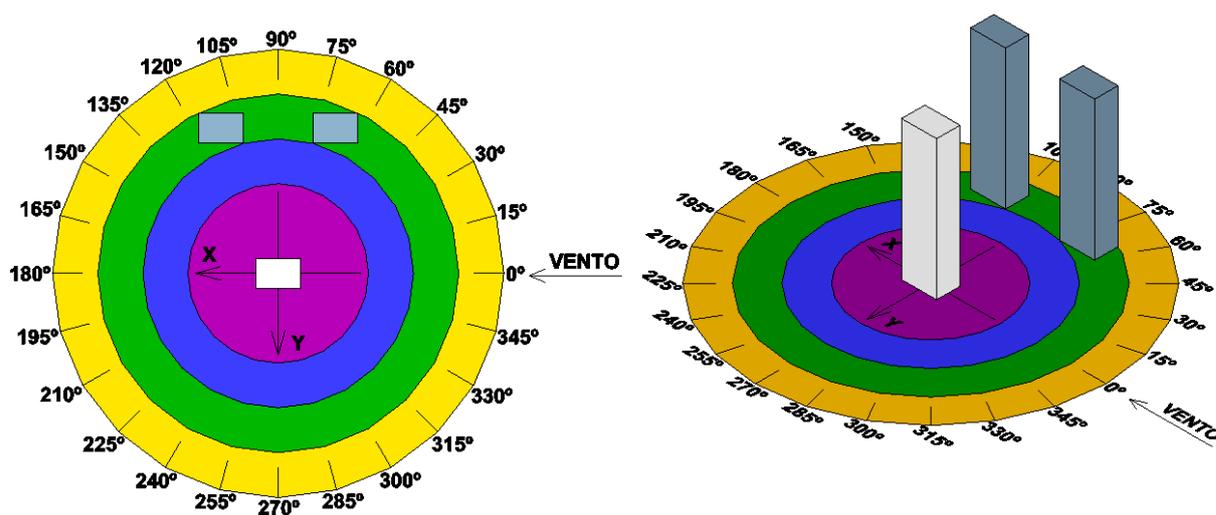


Figura 3.11: Vizinhança V4 em planta e em perspectiva respectivamente

A quinta vizinhança, chamada de *V5*, seguiu a mesma ideia da vizinhança *V4*, alterando-se, neste caso, a direção que passou a ser paralela à direção da diagonal da edificação instrumentada, conforme mostrado pela figura 3.12.

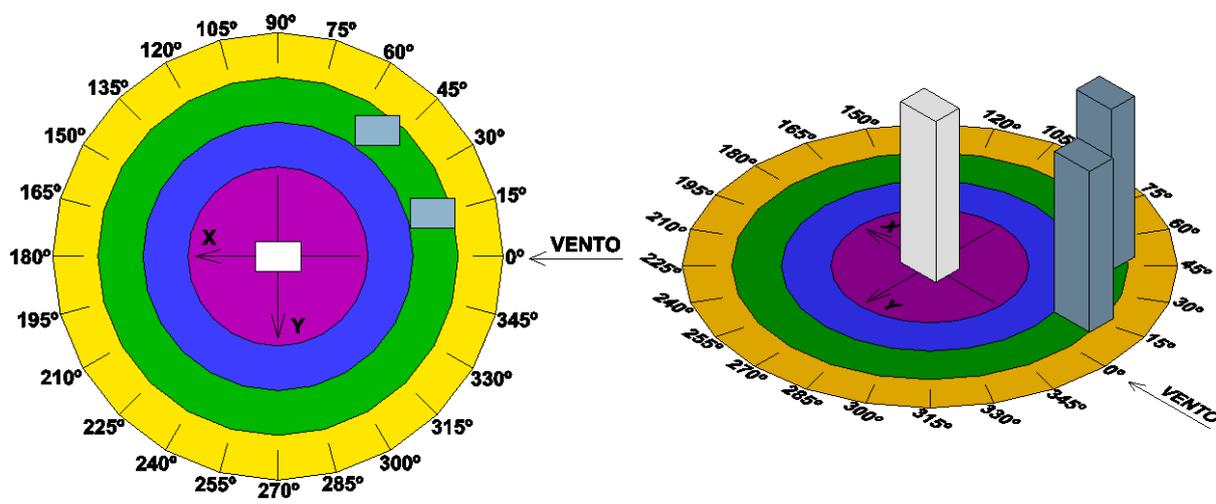


Figura 3.12: Vizinhança V5 em planta e em perspectiva respectivamente

A sexta vizinhança, denominada V6, utilizou três modelos mudos onde dois deles tiveram o mesmo posicionamento da vizinhança V5, e foi acrescentado um terceiro posicionado frontalmente ao modelo instrumentado, porém deslocado em sua projeção de forma a não obstruir a passagem direta do vento, como pode ser observado na figura 3.13.

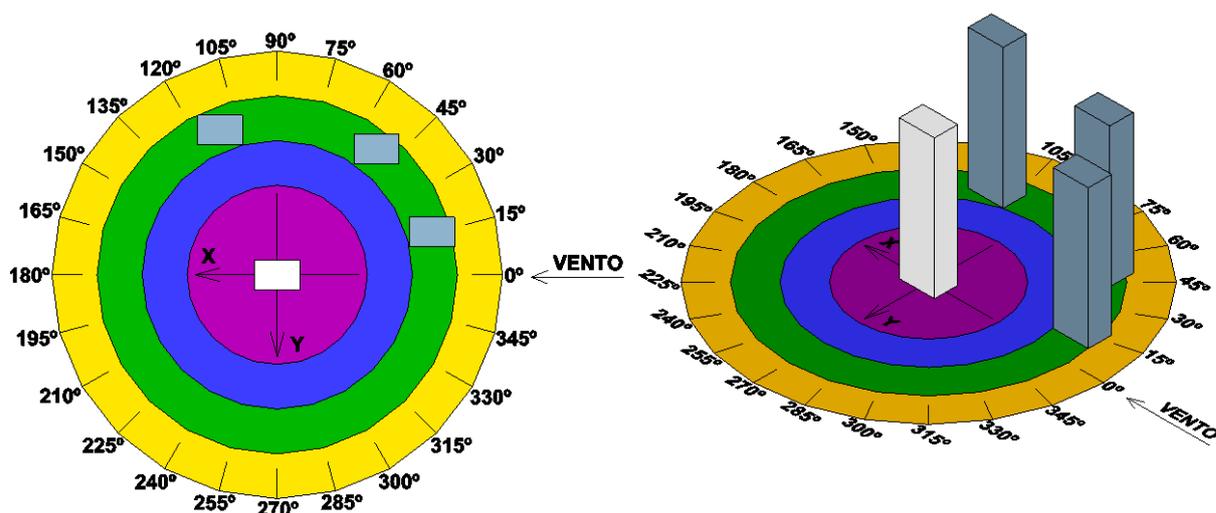


Figura 3.13: Vizinhança V6 em planta e em perspectiva respectivamente

A sétima vizinhança, denominada V7, contou com a utilização de quatro modelos mudos onde dois deles ficaram com o mesmo posicionamento da vizinhança V5, e os outros dois se posicionaram de forma espelhada em relação ao eixo Y, conforme mostrado na figura 3.14.

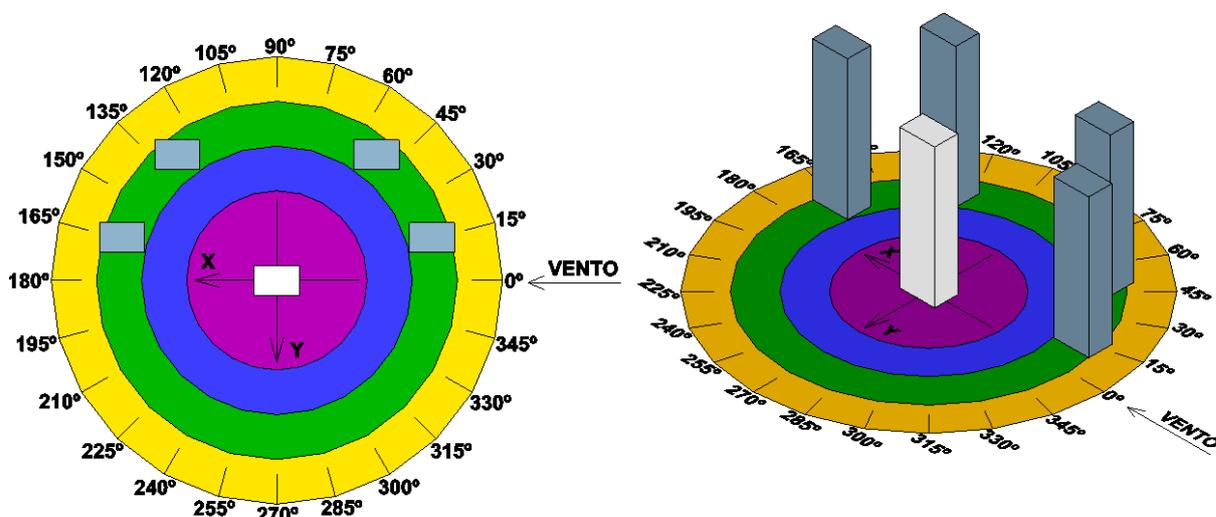


Figura 3.14: Vizinhança V7 em planta e em perspectiva respectivamente

A oitava vizinhança, denominada V8, seguiu a mesma ideia da vizinhança V7, sendo que neste caso o espelhamento foi feito em relação ao eixo X da edificação instrumentada, conforme apresentado na figura 3.15.

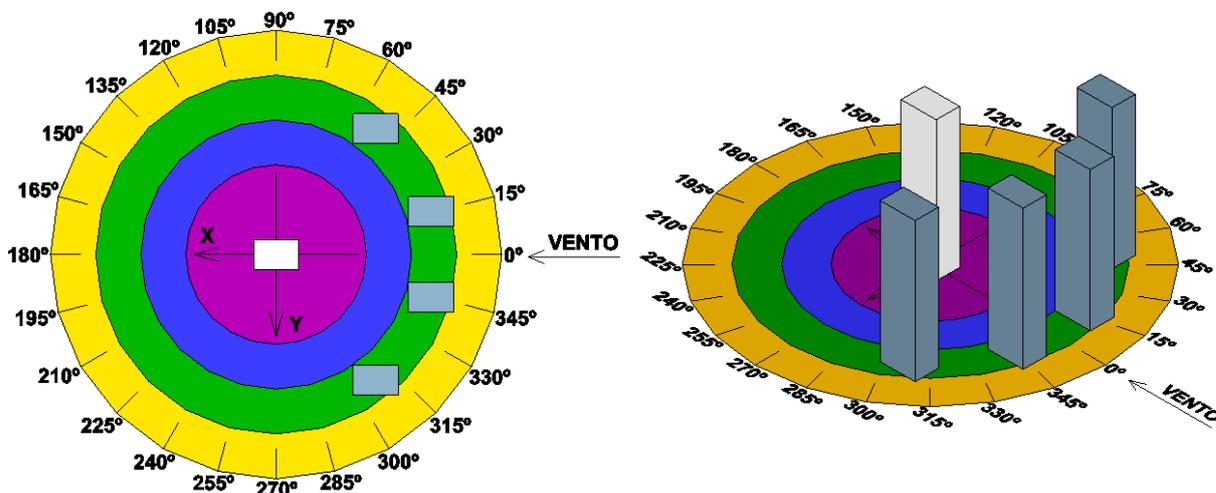


Figura 3.15: Vizinhança V8 em planta e em perspectiva respectivamente

Todas as oito vizinhanças foram analisadas com os edifícios vizinhos posicionados nos limites externos dos contornos propostos. Em função da limitação da largura do túnel utilizado nos ensaios, para o contorno D4, os modelos mudos tiveram que ser posicionados na parte interna deste contorno, buscando-se a posição mais distante possível do modelo instrumentado, mas de forma a permitir o giro da mesa. As disposições aqui propostas visaram analisar diferentes situações de bloqueio produzido pelas edificações vizinhas e condições de aumento da velocidade do escoamento de vento atuando na edificação em estudo.

3.5 Instrumentação e procedimentos dos ensaios

Para os ensaios de todas as vizinhanças propostas foi utilizada a mesa M-II do túnel de vento Prof. Joaquim Blessmann considerando um vento do tipo deslizante e turbulento com perfil potencial de velocidade média com expoente $p = 0,23$. As características deste vento simulado no ensaio são apresentadas na figura 3.16. Este expoente corresponde a ventos com características de terreno entre as Categorias III e IV da NBR 6123, isto é, terrenos com obstáculos numerosos e pouco espaçados, como situações encontradas em cidades pequenas e seus arredores ou subúrbios construídos de grandes cidades. Esta situação foi obtida com a inserção da grelha

para o expoente escolhido associada a um conjunto de blocos colocados no piso do túnel conforme apresentado nas figuras 3.17 e 3.18.

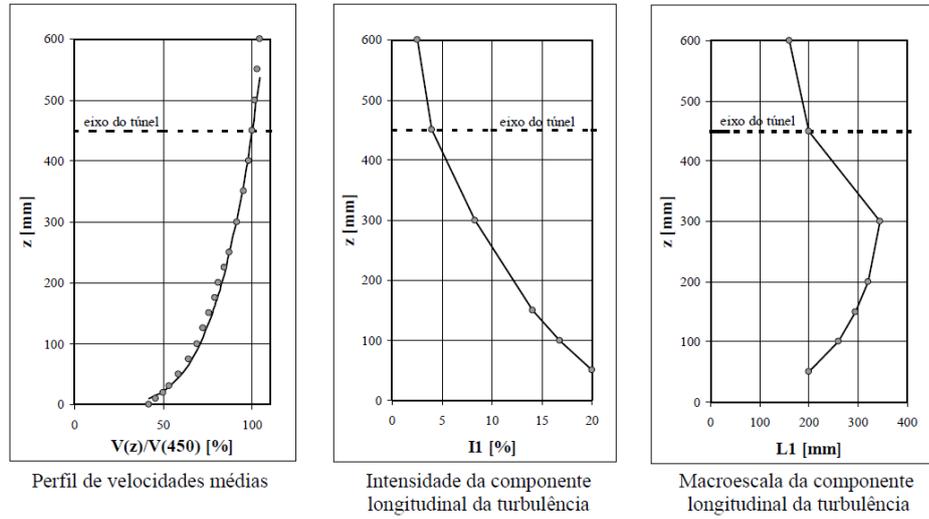


Figura 3.16: Características do vento deslizante e turbulento simulado com expoente $p = 0,23$



Figura 3.17: Blocos de piso utilizados para simulação da rugosidade do terreno durante os ensaios



Figura 3.18: Grelhas utilizadas para simulação do perfil do vento durante os ensaios

Todos modelos foram fixados a uma base circular com 1250mm de diâmetro denominada “prancha giratória de ensaio”, de acordo com a vizinhança proposta para cada ensaio. A fixação se deu através de parafusos e cantoneiras metálicas de forma a configurar uma ligação rígida entre os modelos e a prancha. Esta prancha foi afixada a mesa II do túnel, o que possibilitou o giro livre em torno do eixo que passa pelo centro da mesa, coincidente com o centro transversal do túnel, conforme pode ser observado na figura 3.19.

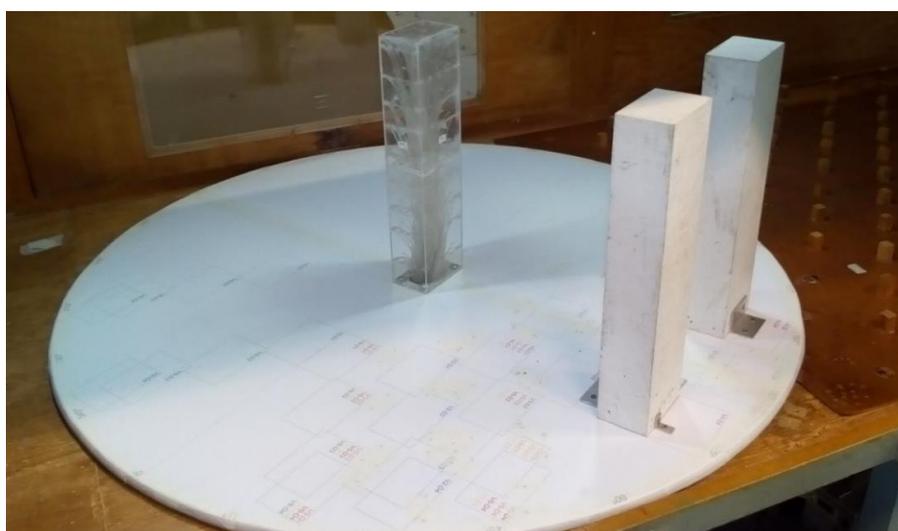


Figura 3.19: CAARC Standard Tall Building e modelos mudos utilizados nos ensaios

As quatro fachadas do *CAARC Standard Tall Building* foram divididas em dez zonas em cotas diferentes, onde cada uma possuía sete pontos de tomada de pressão totalizando duzentos e oitenta pontos. As distâncias entre cada tomada de pressão, tanto em nível quanto verticais, são apresentadas nas figuras 3.20 e 3.21, respectivamente. A figura 3.22 apresenta o posicionamento das fachadas do *CAARC Standard Tall Building* em relação aos eixos ordenados X e Y assim como os ângulos referentes à direção do vento incidente. Desta forma o vento com a direção 0° escoou no sentido positivo do eixo X tendo F4 como fachada de barlavento. Já o vento com direção 90° escoou no sentido positivo do eixo Y tendo F1 como fachada de barlavento. A direção do vento, durante os experimentos, foi variada em intervalos de 15° a partir da direção 0° em sentido anti-horário.

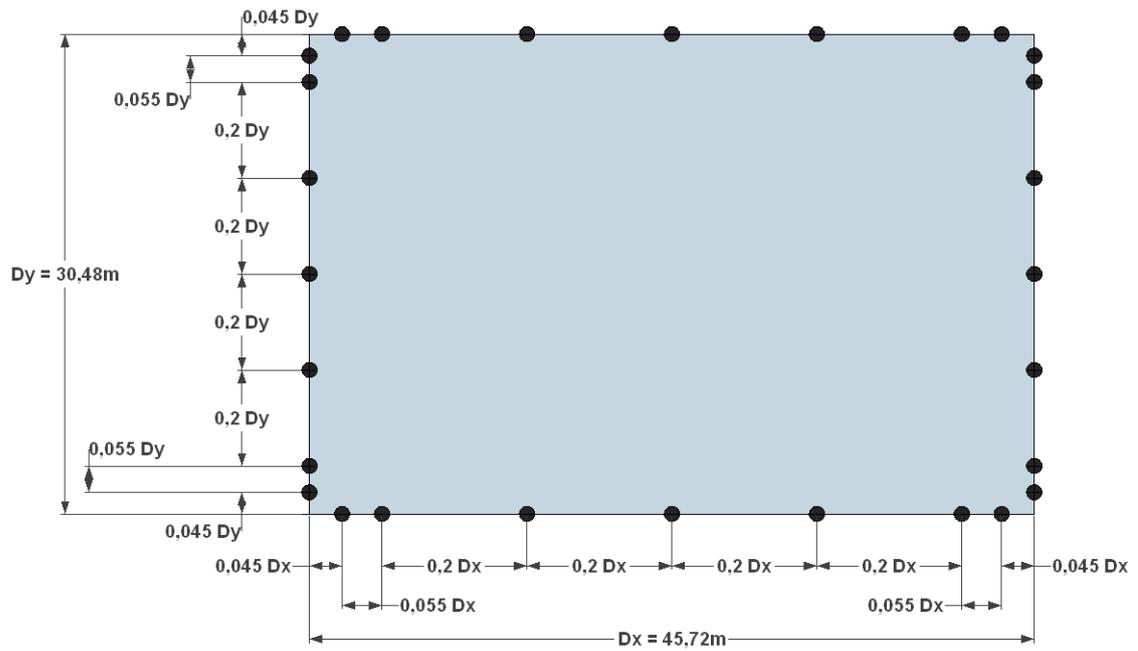


Figura 3.20: Distância em nível dos pontos de tomada de pressão

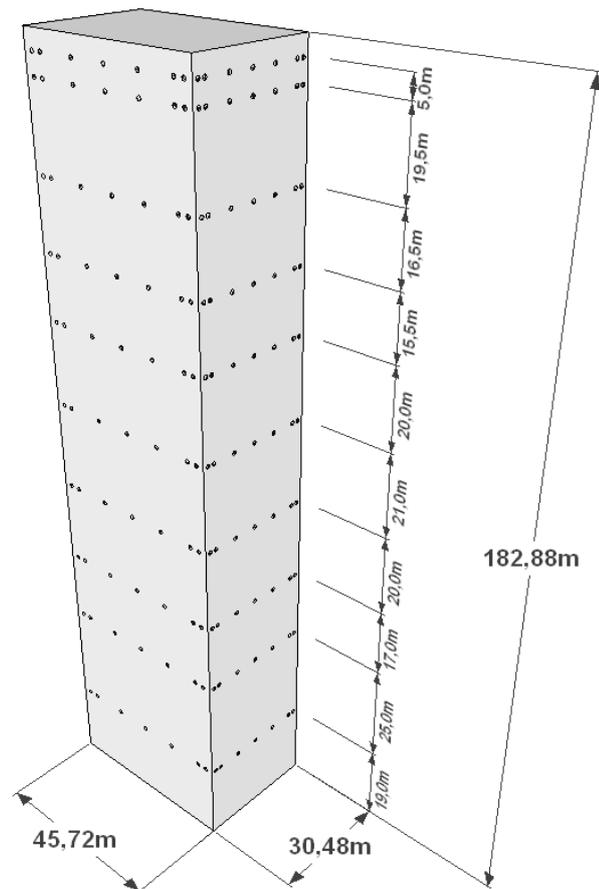


Figura 3.21: Distância vertical dos pontos de tomada de pressão

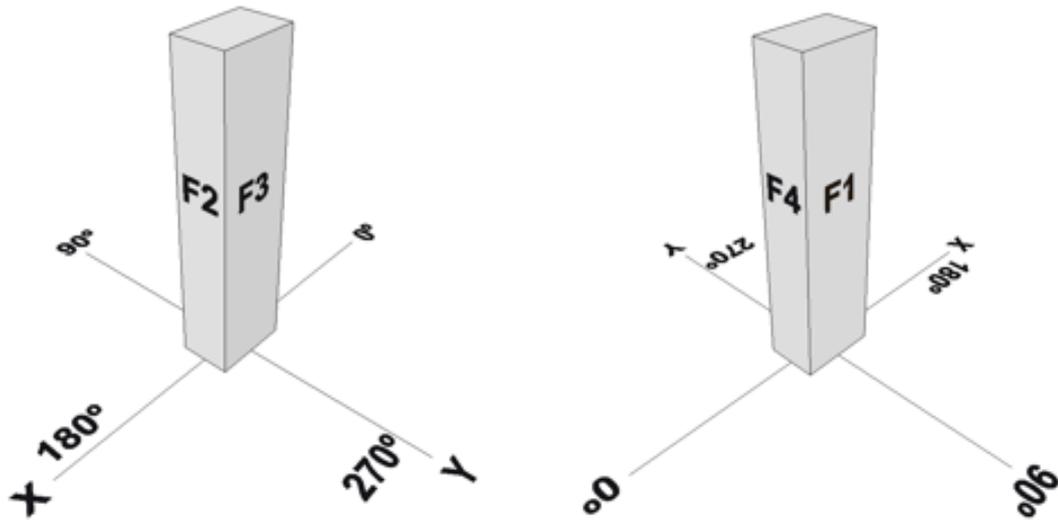


Figura 3.22: Posicionamento das faces em relação a direção dos eixos coordenados

Para este trabalho o CAARC *Standard Tall Building*, em função das dimensões do túnel e do material já disponível para o desenvolvimento do mesmo, foi confeccionado em acrílico com uma escala de 1:406 conforme pode ser observado na figura 3.23.



Figura 3.23: Modelo de tomadas de pressões do CAARC *Standard Tall Building* utilizado nos ensaios

O CAARC *Standard Tall Building* em escala reduzida, foi instrumentado com uma série de duzentas e oitenta tomadas de pressão fixadas em pontos da fachada, cujas leituras foram realizadas por um equipamento de aquisição simultânea de pressões flutuantes, tipo Scanivalve, modelo ZOC33, marca Dantec, com seis módulos de sessenta e quatro canais cada, a uma taxa de aquisição de 512 Hz e imprecisão de 0,12%, apresentado na figura 3.24 a. Para cada direção de vento estudado, durante os ensaios foram adquiridas 8192 leituras de pressão por tomada, em um período de 16s. Essas leituras indicaram a pressão em mmH₂O na tomada.

A velocidade de escoamento do vento no túnel no momento do ensaio foi medida de forma indireta através do monitoramento da diferença de pressão estática, Δp_a , medida em dois anéis piezométricos situados nos extremos do convergente localizado na entrada da seção principal de trabalho. Tais leituras foram feitas por um micro manômetro eletrônico marca Schiltknecht, modelo MANOAIR 500, apresentado na figura 3.24 b, com resolução de 0,1 Pa e precisão de 0,2 Pa, que apresentou dados de pressão no modelo, temperatura e pressão atmosférica.



(a)



(b)

Figura 3.24: Equipamentos de leitura de dados: (a) Scanivalve com os 64 canais de medida de pressão por módulo; (b) Manoair e mangueiras de conexão aos anéis piezométricos.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

A partir das tomadas de pressão no *CAARC Standard Tall Building* durante a realização dos ensaios, foram determinados os coeficientes de força nas direções dos eixos X e Y, os coeficientes de momento fletor na base em torno dos eixos X e Y, os coeficientes de torção em torno do eixo do *CAARC Standard Tall Building* assim como os respectivos fatores de vizinhança para cada um destes esforços. Os quadros contendo os valores destes coeficientes estão apresentados nos apêndices de A à C.

4.1 Resultados para o *CAARC Standard Tall Building* isolado

O primeiro ensaio realizado foi apenas com o *CAARC Standard Tall Building* instrumentado para servir de referência. Os resultados de tal situação serviram de comparação para a determinação do fator de vizinhança. As figuras de 4.1 a 4.3 apresentam os resultados encontrados em relação aos esforços estudados. Os resultados dos coeficientes de força nas direções dos eixos ordenados X e Y, e dos coeficientes de momento fletor na base em torno dos eixos ordenados X e Y, são apresentados em um mesmo gráfico.

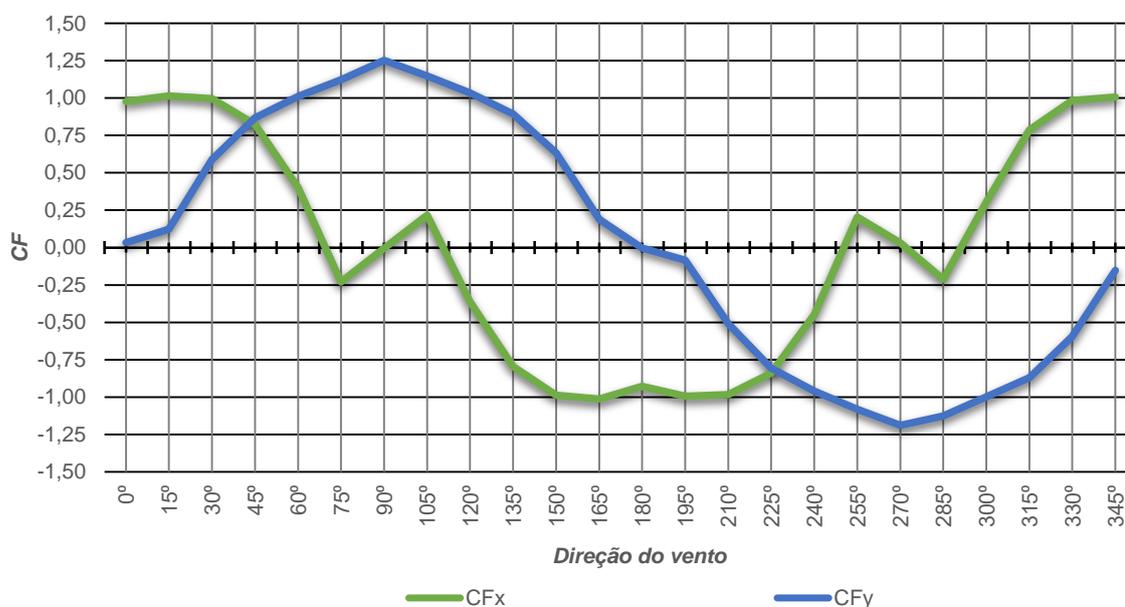


Figura 4.1: Coeficiente de força na direção dos eixos "x" e "y"

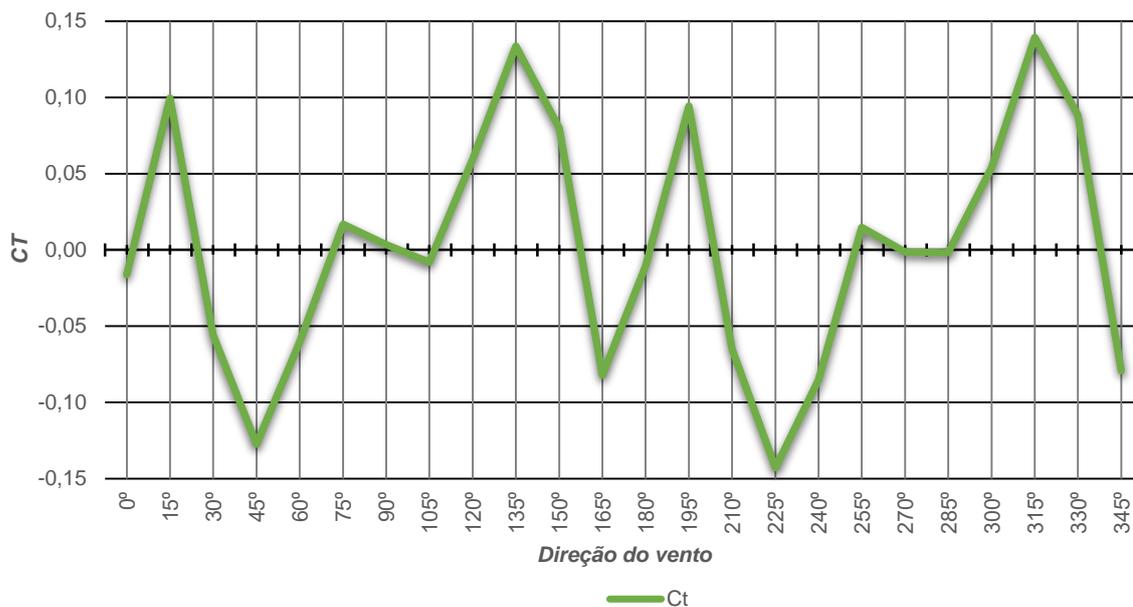


Figura 4.2: Coeficiente de torção em torno do eixo da edificação

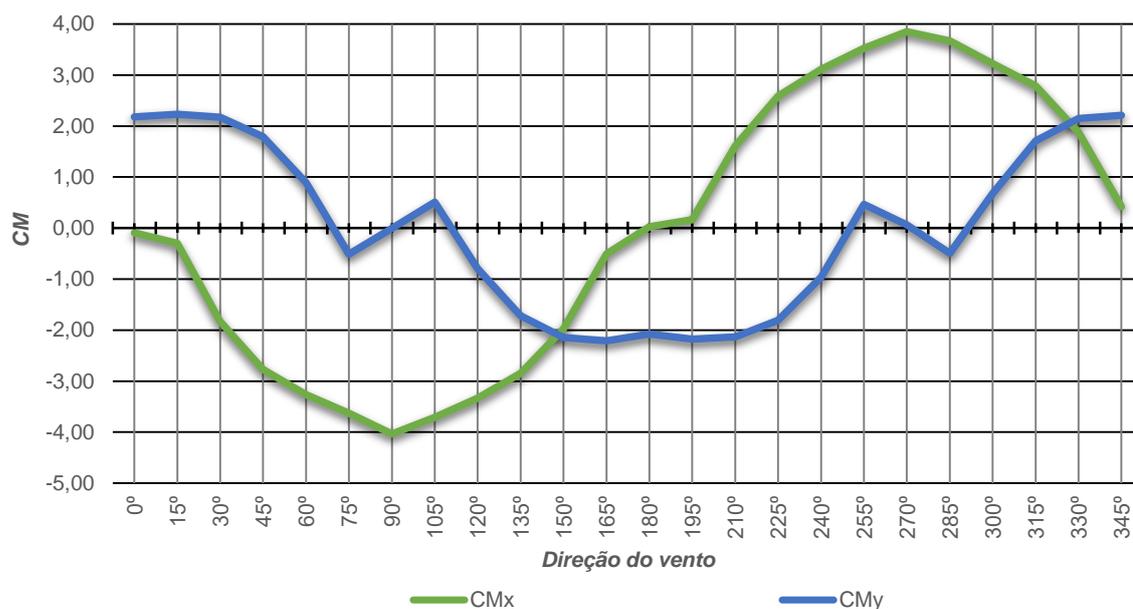


Figura 4.3: Coeficientes de momento fletor em torno dos eixos X e Y

4.2 Resultados para a vizinhança V1

A vizinhança V1 foi elaborada com a presença de um único edifício vizinho posicionado frontalmente à fachada F1 do *CAARC Standard Tall Building* na direção do eixo Y, conforme pode ser observado na figura 4.4.

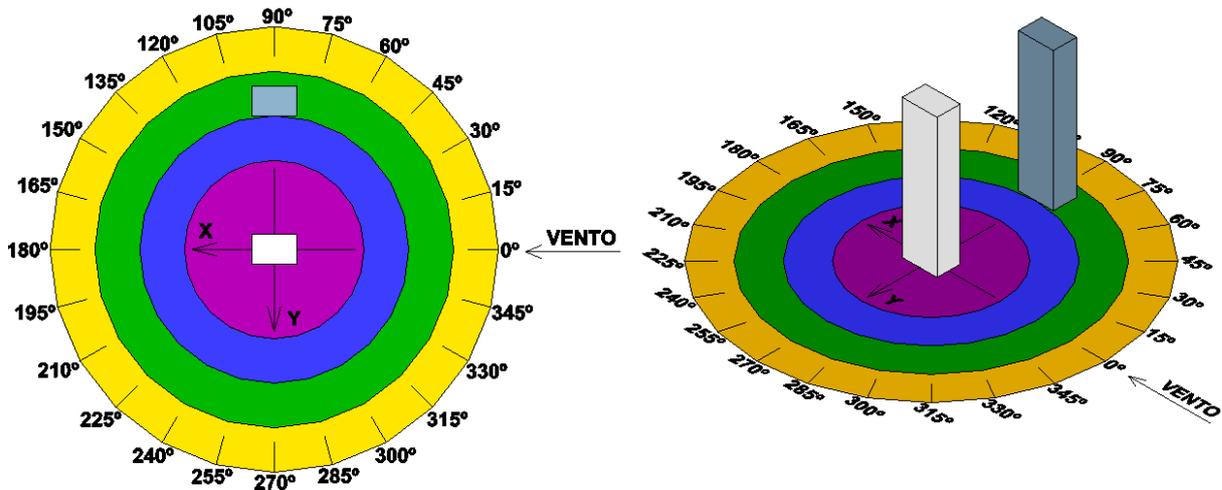


Figura 4.4: Direções do vento para a vizinhança V1

4.2.1 Resultante da força na direção dos eixos ordenados

Os resultados apresentados nas figuras 4.5 e 4.6 mostram uma comparação entre os valores obtidos para o modelo instrumentado de forma isolada e os valores para a primeira condição de vizinhança proposta. Observa-se que o comportamento com a edificação vizinha é aproximadamente similar ao do modelo isolado.

No caso da resultante de forças na direção X, conforme apresentado na figura 4.5, os coeficientes para o ensaio da vizinhança V1 apresentam valores com intensidade superior na maioria das direções de incidência do vento. Já para o ângulo de 90° e o intervalo entre 255° e 285° , os valores são praticamente idênticos, indicando que a presença da edificação vizinha não proporcionou alterações significativas. Para as forças na direção do eixo Y apresentadas na figura 4.6, observa-se o efeito de proteção promovido pela edificação vizinha quando esta fica posicionada a barlavento da edificação instrumentada, principalmente para a direção com ângulo de 90° . No caso do vizinho posicionado em D1 pode-se observar o efeito de proteção para o vento nas direções de 75° a 120° . Para o vizinho posicionado em D2 este efeito protetivo é encontrado nas direções entre 75° e 105° , enquanto que para D3 e D4 o efeito de proteção ocorre exclusivamente para a direção de 90° . Nessas situações, o edifício vizinho fica posicionado à barlavento da direção de incidência do vento, bloqueando o escoamento do vento, o que justifica o efeito protetivo observado.

Também é possível constatar que a medida que a edificação vizinha é posicionada em contornos mais afastados do *CAARC Standard Tall Building*, o efeito de proteção é reduzido a um intervalo menor de direções de incidência de vento. Para as direções de 30° a 60° e de 120° a 150°, pode ser observado um incremento dos esforços com o vizinho posicionado nos contornos D2, D3 e D4, indicando que as alterações no escoamento do vento produzidas pela presença da edificação vizinha à barlavento aumentam a pressões no edifício em estudos. Também pode ser observado um incremento nos esforços para o vizinho posicionado em todos os contornos quando a direção de incidência do vento estava no intervalo entre 210° e 330°, situações em que edificação vizinha estava a sotavento.

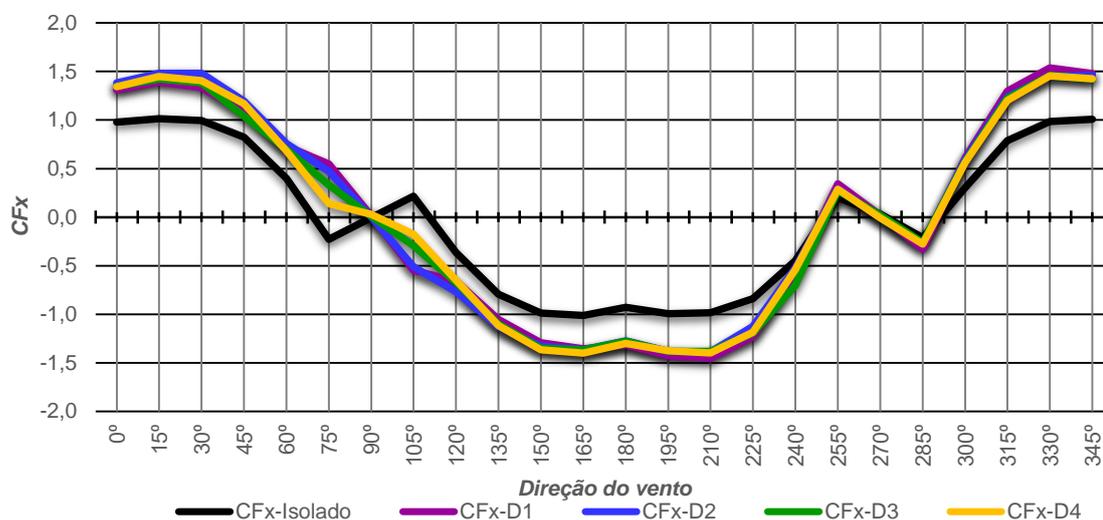


Figura 4.5: Coeficiente de força na direção do eixo X – V1

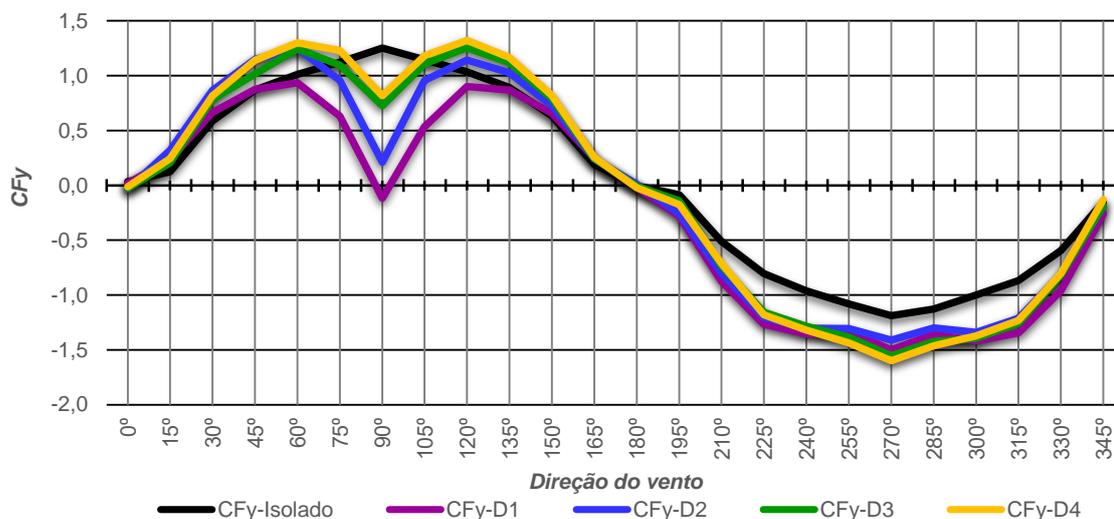


Figura 4.6: Coeficiente de força na direção do eixo Y - V1

Uma vez obtidos os coeficientes de esforços, foram determinados os respectivos fatores de vizinhança (FV) para todos os casos. A figura 4.7 apresenta os fatores de vizinhança para os coeficientes de força na direção dos eixos X e Y. Neste caso observa-se que para o ângulo de 180° o FV calculado para a força resultante na direção do eixo Y atinge um alto valor, quando se analisa as demais direções de incidência do vento, o que poderia sugerir a necessidade de sobrecarregar este esforço de maneira exagerada para atender esta situação. Porém, a partir de uma análise mais crítica de tal situação, através dos gráficos apresentados na figura 4.6, observa-se que tanto o valor do coeficiente para o modelo isolado, quanto para a situação em que está presente a edificação vizinha, são valores muito próximos de zero. Levando em consideração que o FV, conforme apresentado na expressão 2.4, representa a razão entre ambos coeficientes é de se esperar que o denominador sendo próximo a zero, o resultado desse cálculo seja um número bastante elevado. Assim, através desta análise dos gráficos dos esforços verificasse que este esforço elevado não representa a realidade. Nessa, e em outras situações, optou-se por suavizar o gráfico dos FV atribuindo para estes ângulos valores calculados a partir da interpolação linear de resultados obtidos nas direções adjacentes que não estivessem nesta mesma situação e, dessa forma, pudesse gerar um gráfico mais adequado como o apresentado na figura 4.8.

Apesar da norma utilizar a consideração de vizinhança para determinar uma excentricidade para a força de arrasto, para o esforço de torção, neste trabalho será adotada uma única metodologia de análise para todos os esforços, sendo ela a determinação do FV.

Como um dos objetivos deste trabalho é a avaliação das propostas apresentadas pela atual norma brasileira de vento, as linhas contínuas vermelhas apresentam o valor proposto por esta norma para ser adotado como FV, considerando uma edificação na posição em que foi fixado o modelo mudo, tal procedimento foi adotado para todos os demais gráficos de FV. No caso do contorno D1, a norma sugere, para o caso estudado neste trabalho, que o FV seja igual a 1,075. Para os demais contornos a norma prescreve a unidade, sugerindo que a influência de edificações presentes nessa região já estaria coberta pelo fator de rugosidade do terreno utilizado na determinação da velocidade característica do vento. As linhas em vermelho

apresentadas nos gráficos já representam o valor proposto por norma de acordo com o contorno considerado.

De maneira a facilitar a compreensão do leitor, optou-se por, ao longo do texto, apresentar apenas as tabelas com os resultados das análises. Os gráficos de comparação entre os fatores de vizinhança e os valores propostos por norma para os esforços analisados neste trabalho estão apresentados nos apêndices G, H e I.

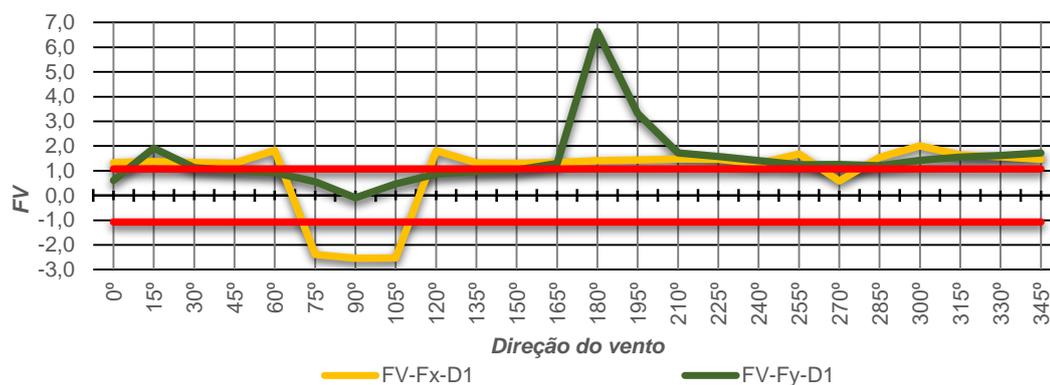


Figura 4.7: Fator de vizinhança não ajustado para força resultante na direção X e Y - V1D1

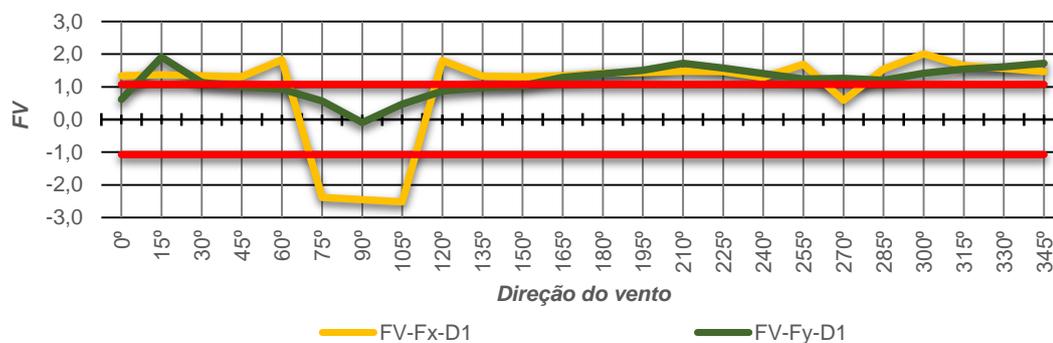


Figura 4.8: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V1D1

A tabela 4.1 apresenta os resultados obtidos com a análise dos dados de coeficientes dos fatores de força resultantes na direção dos eixos nos quatro contornos propostos neste trabalho. Para cada esforço foram calculados vinte e quatro resultados, sendo um para cada direção de incidência de vento considerada. Os resultados suavizados através da interpolação linear para exclusão dos picos de FV não foram considerados na avaliação da intensidade dos FV, e na tabela são indicados pelas leituras descartadas. Em seguida são apresentados os valores que

estão dentro dos limites propostos pela norma de vento. No caso do contorno D1, os FV deveriam ser iguais ou menores que 1,075, em módulo, para estarem de acordo com os parâmetros estabelecidos pela norma. Para os demais contornos, o valor passa a ser 1,0. Todos os demais resultados de FV que excederam esses limites foram tomados como fora dos limites de norma. Em seguida, a tabela apresenta a quantidade de resultados que ultrapassaram os limites da norma dividindo em quatro intervalos de intensidade, definidos de maneira arbitrária, sendo eles: de zero até 1,2; entre 1,2 e 1,4; entre 1,4 e 1,6; acima de 1,6. Esta mesma metodologia foi adotada para a análise de todos os demais ensaios.

Observando-se os resultados apresentados na tabela 4.1, poucos valores foram descartados para a vizinhança V1, e a grande maioria dos resultados considerados válidos apresentam um FV superior ao proposto pela norma. Destes valores, 93,5% dos resultados para a força resultante na direção X e 78,7% para a força resultante na direção Y ultrapassaram o valor proposto pela norma.

Tabela 4.1: Resultados dos fatores de vizinhança para a força resultante na vizinhança V1

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 < FV ≤ 1,4	1,4 < FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-FX-V1D1	24	1	1	22	0	8	7	7
FV-FY-V1D1		1	9	14	1	4	5	4
FV-FX-V1D2		1	1	22	1	6	10	5
FV-FY-V1D2		3	3	18	5	9	3	1
FV-FX-V1D3		1	1	22	0	10	8	4
FV-FY-V1D3		1	4	19	0	13	3	3
FV-FX-V1D4		1	3	20	0	6	11	3
FV-FY-V1D4		2	3	19	2	14	2	1

4.2.2 Resultados dos coeficientes de torção

A figura 4.9 apresenta os resultados de coeficiente de torção da vizinhança V1 onde pode-se observar que no intervalo entre 30° e 75°, 105° e 150°, 180°, 225°, 240°, 300°, 315° e 345°, a presença da edificação vizinha elevou os coeficientes de torção. Nas demais direções os coeficientes considerando a vizinhança apresentaram valores próximos aos obtidos com o modelo isolado, indicando que a edificação vizinha teve pouca influência no esforço de torção.

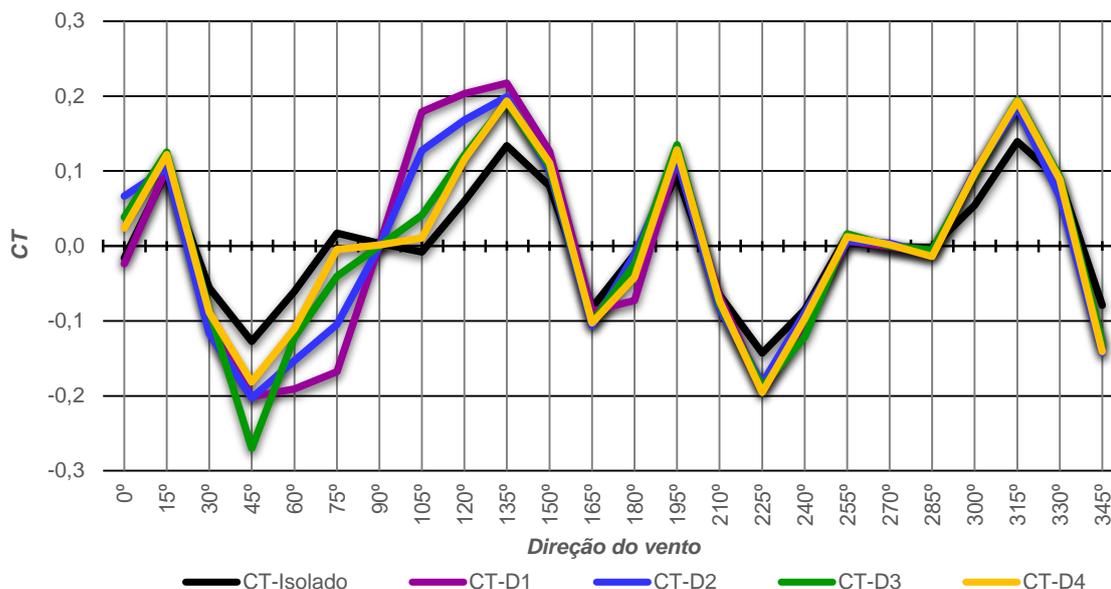


Figura 4.9: Coeficiente de torção – V1

A tabela 4.2 mostra resultados nos quais se observa, já para a vizinhança V1, uma quantidade maior de leituras descartadas no caso do esforço de torção. Isso se deve pelo fato principal de que, ao observar o gráfico da torção constata-se que este varia entre valores positivos e negativos mais vezes ao longo das vinte e quatro direções. Outro ponto é que os coeficientes são baixos quando comparados aos valores encontrados pela força resultante, o que induz a números elevados, e, portanto, não condizentes com a realidade. Assim como no caso das forças resultantes pode-se constatar que muitos resultados indicaram índices superiores aos valores padronizados por norma chegando, neste caso, a 81,5% das leituras consideradas.

Tabela 4.2: Resultados dos fatores de vizinhança para a torção na vizinhança V1

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 < FV ≤ 1,4	1,4 < FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-CT-V1D1	24	6	7	11	0	4	3	4
FV-CT-V1D2		5	3	16	3	6	2	5
FV-CT-V1D3		2	2	20	3	5	4	8
FV-CT-V1D4		2	3	19	3	8	4	4

4.2.3 Resultados dos coeficientes de flexão em torno dos eixos ordenados

Conforme mostrado pela figura 4.10, para a flexão em torno de X no caso da vizinhança V1 observa-se o efeito de proteção principalmente na direção de 90°, situação em que o vizinho se encontra à barlavento da edificação em estudo. Em direções adjacentes a esta, como nos intervalos entre 15° e 75° e entre 105° e 150°, também é possível observar a elevação desta flexão para vizinhos posicionados em todos os contornos. Para direções em que os vizinhos estão à sotavento, a elevação de esforços se dá no intervalo entre 210° e 330°.

Para a flexão em torno de Y, mostrada na figura 4.11, os valores da flexão são superiores para a maioria das direções. As exceções são a direção de 90° e o intervalo entre 255° e 285° em que os resultados para todos os contornos estudados apresentam valores próximos aos resultados com o modelo isolado.

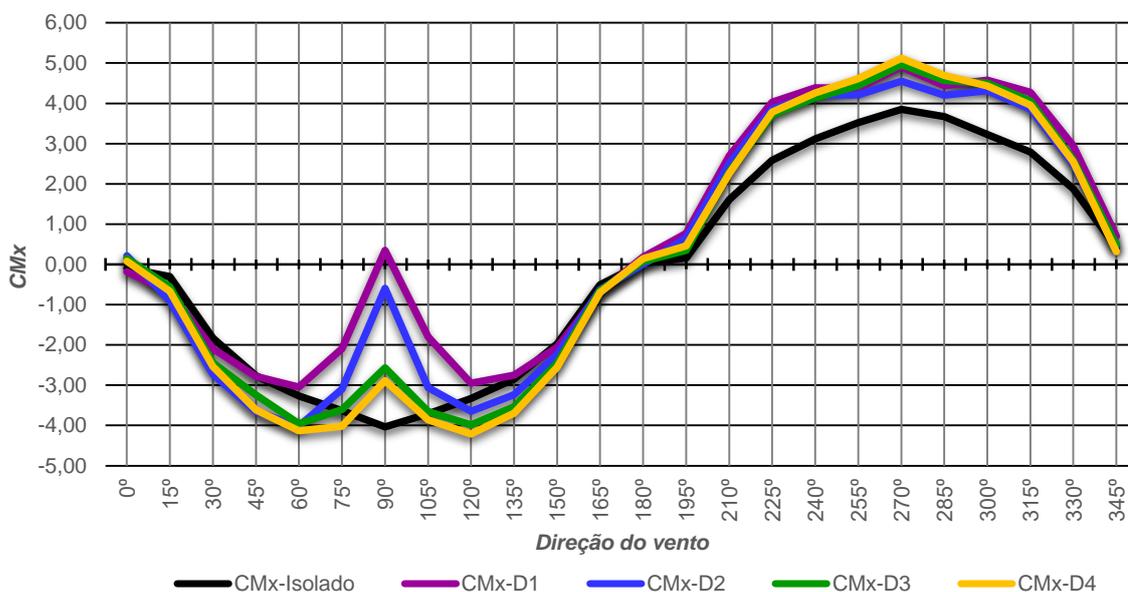


Figura 4.10: Coeficiente de flexão em torno do eixo X - V1

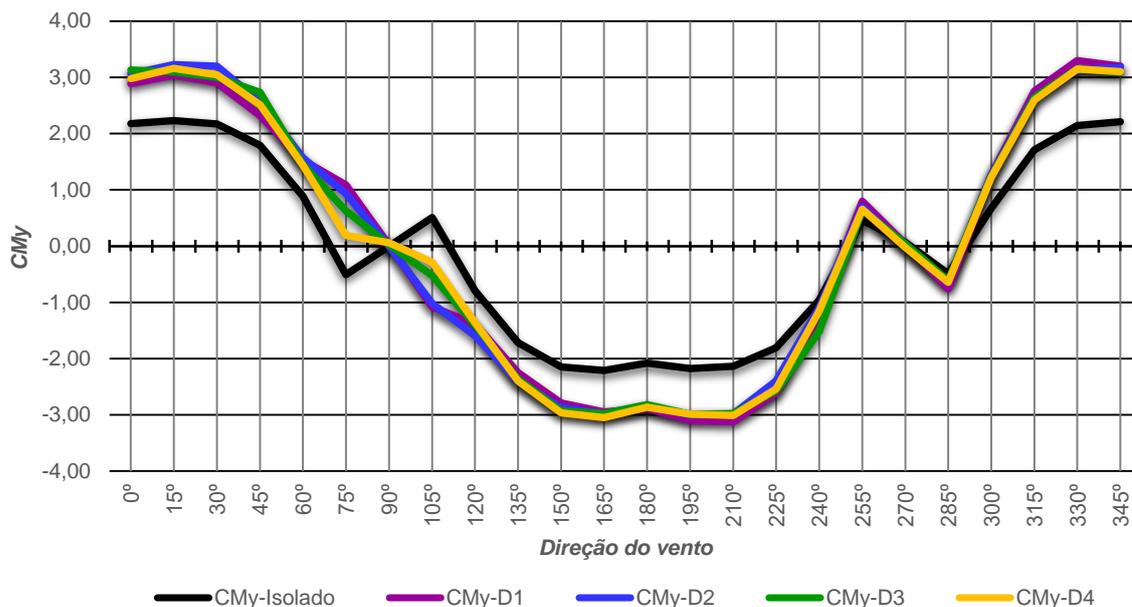


Figura 4.11: Coeficiente de flexão em torno do eixo Y - V1

De acordo com os resultados apresentados na tabela 4.3, observa-se que também para a flexão em torno dos eixos da base, uma grande quantidade de resultados encontrados apresentou índices fora dos limites estabelecidos em norma. Para os resultados considerados válidos, tem-se que para a flexão em torno do eixo X 79,8% ficaram acima dos limites de norma. Já no caso da flexão em torno do eixo Y 93,5% ficaram acima dos limites de norma.

Tabela 4.3: Resultados dos fatores de vizinhança para a flexão em torno dos eixos na vizinhança V1

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 < FV ≤ 1,4	1,4 < FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-MX-V1D1	24	2	8	14	1	4	5	4
FV-MY-V1D1		1	1	22	0	9	6	7
FV-MX-V1D2		2	4	18	7	7	3	1
FV-MY-V1D2		1	1	22	1	7	9	5
FV-MX-V1D3		2	3	19	3	11	3	2
FV-MY-V1D3		1	1	22	1	12	6	3
FV-MX-V1D4		1	3	20	2	14	3	1
FV-MY-V1D4		1	3	20	0	8	9	3

4.3 Resultado da vizinhança V2

A vizinhança V2 foi elaborada com a presença de um único edifício vizinho posicionado com o alinhamento de sua diagonal coincidindo com o alinhamento da diagonal do *CAARC Standard Tall Building*, conforme pode ser observado na figura 4.12.

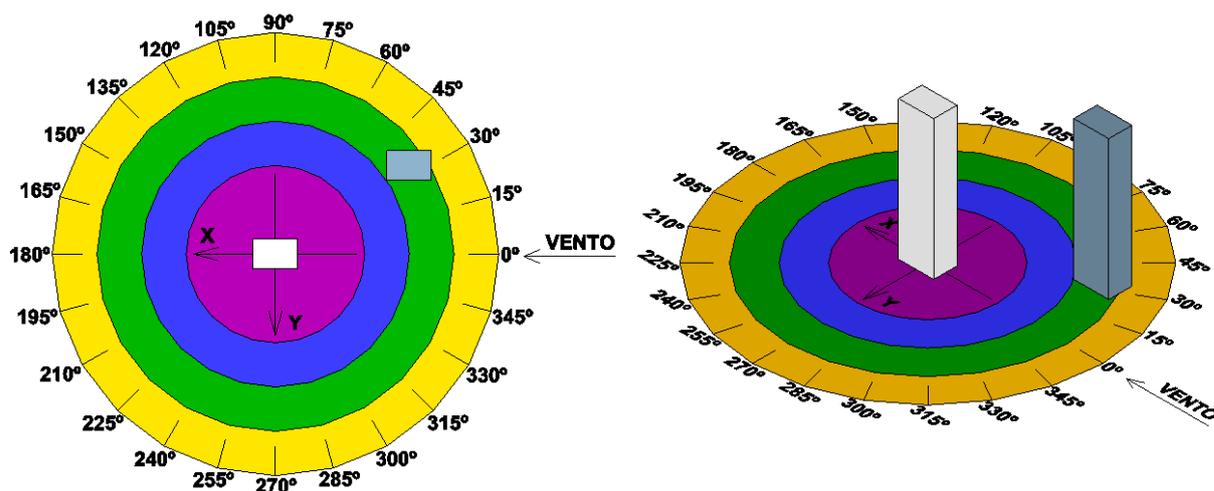


Figura 4.12: Direções do vento para a vizinhança V2

4.3.1 Resultante da força na direção dos eixos ordenados

A figura 4.13 apresenta os coeficientes de força resultante na direção do eixo X para a vizinhança V2. De acordo com o gráfico nas direções 0° e 15° a força atuando no *CAARC Standard Tall Building* é superior ao caso do edifício isolado. Na direção de 30° , onde o vizinho está à barlavento do *CAARC Standard Tall Building*, este passa a exercer um efeito de proteção, reduzindo a força atuante no edifício em estudo. No caso dos afastamentos D3 e D4, este efeito de proteção se estende até o ângulo de 60° . Para os afastamentos D1 e D2, a perturbação no escoamento do vento produzida pelo vizinho gera uma inversão no sentido do esforço para as direções de 45° e 60° . Para o intervalo entre as direções de 135° , quando o vizinho está posicionado praticamente na lateral do edifício em estudo, até 225° , quando passa a ficar a sotavento, observasse que a força resultante foi elevada. Tal elevação também é observada no intervalo entre 300° e 345° para todos os afastamentos.

A força resultante na direção Y é apresentada na figura 4.14, onde observa-se um efeito de proteção no intervalo de 0° a 30° para todos afastamentos. No intervalo entre 45° e 330° pode ser observada a elevação da força resultante para todos os contornos com exceção da direção 180°. Nas demais direções verifica-se que a presença da edificação vizinha tem pouca influência no esforço estudado.

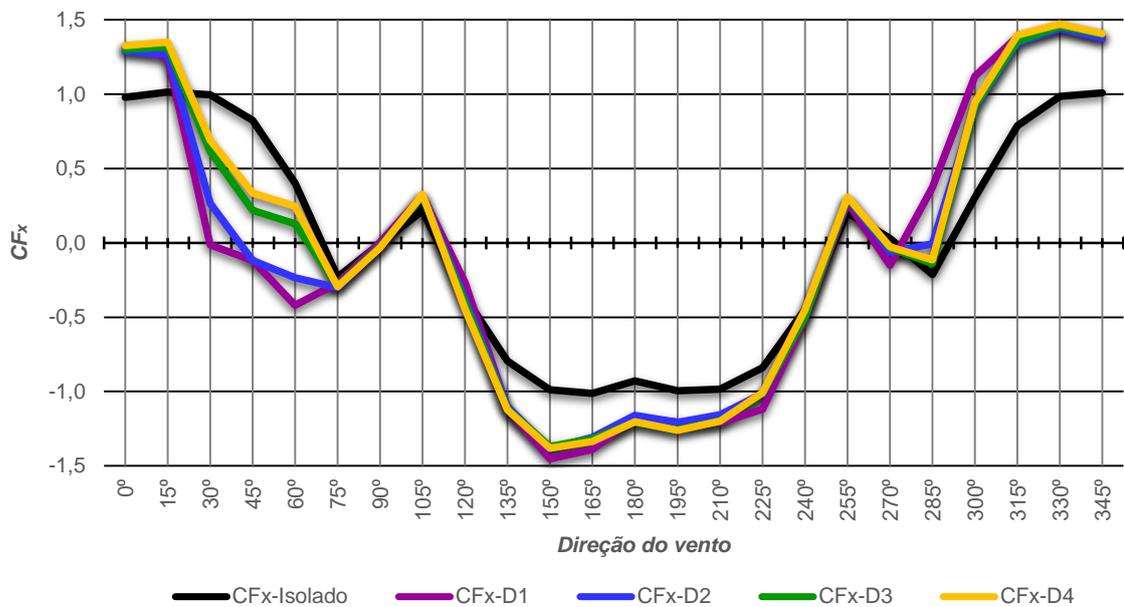


Figura 4.13: Coeficiente de força na direção do eixo X – V2

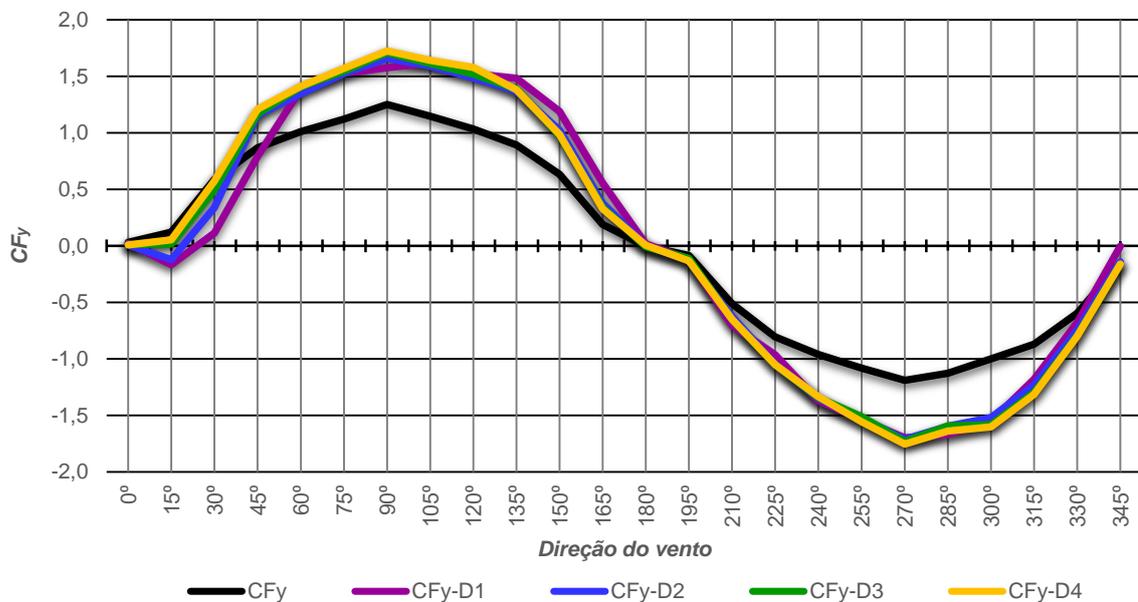


Figura 4.14: Coeficiente de força na direção do eixo Y – V2

De acordo com os resultados apresentados na tabela 4.4, a vizinhança V2 também apresenta muitos valores com FV acima do que a norma brasileira propõe. Dos resultados considerados válidos, 79,3% dos resultados para a força resultante na direção X e 84,6% para a força resultante na direção Y, ultrapassaram o valor proposto pela norma.

Tabela 4.4: Resultados dos fatores de vizinhança para a força resultante na vizinhança V2

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 < FV ≤ 1,4	1,4 < FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-FX-V2D1	24	1	5	18	2	9	4	3
FV-FY-V2D1		1	4	19	2	7	7	3
FV-FX-V2D2		1	5	18	3	9	4	2
FV-FY-V2D2		1	4	19	-	8	9	2
FV-FX-V2D3		1	4	19	3	10	4	2
FV-FY-V2D3		1	3	20	1	10	8	1
FV-FX-V2D4		1	5	18	1	11	4	2
FV-FY-V2D4		2	3	19	1	7	9	2

4.3.2 Resultados dos coeficientes de torção

Na vizinhança V2, apresentada na figura 4.15, quando o vizinho está posicionado no limite do contorno D1 pode ser observada uma inversão no sentido da torção nos ângulos de 30° e 45°. Para o vento atuando nessas direções a edificação instrumentada fica inserida dentro da esteira do modelo mudo vizinho indicando uma significativa influência da turbulência deste nos esforços de torção do modelo em estudo. Para estas direções nos demais contornos, os coeficientes indicam que as edificações vizinhas atuam protegendo o modelo instrumentado. Índícios de elevação de pressão são evidentes apenas nos ângulos de 135°, 150°, 300° e 315°. Para as demais direções os resultados apresentam valores próximos aos de referência.

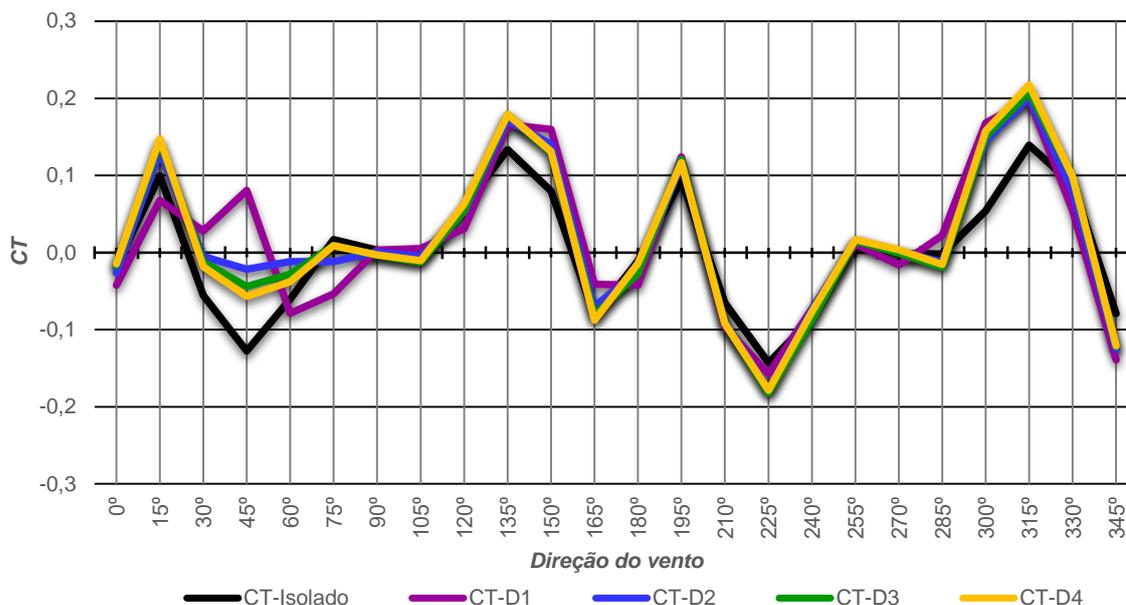


Figura 4.15: Coeficiente de torção – V2

Analisando-se os resultados apresentados na tabela 4.5, verifica-se que 55,8% ficaram acima do limite estabelecido por norma, o que representa um número expressivo de resultados não atendidos por esses parâmetros normativos.

Tabela 4.5: Resultados dos fatores de vizinhança para a torção na vizinhança V2

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 < FV ≤ 1,4	1,4 < FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-CT-V2D1	24	7	9	8	2	4	2	-
FV-CT-V2D2		7	10	7	1	5	1	-
FV-CT-V2D3		6	8	10	5	3	2	-
FV-CT-V2D4		4	7	13	4	6	3	-

4.3.3 Resultados dos coeficientes de flexão em torno dos eixos ordenados

A figura 4.16 apresenta as flexões na base em torno de X para a vizinhança V2. Para a maioria das direções os coeficientes apresentam valores acima dos de referência. Para os afastamentos com contornos D1 e D2, observa-se uma inversão de esforços na direção de 15° e a influência do vizinho protegendo a edificação de estudo para a direção de 30°. Os demais contornos apresentam valores próximos aos de referência nessas direções. Também se observa a proximidade de valores para as direções de 180°, 195° e 345° em todos os casos. Além destas, os resultados para o

contorno D1 também ficam próximos aos do modelo isolado na direção de 330°. Para todas as demais direções, em todos os contornos, a elevação da força resultante é evidente.

Já para a flexão em torno do eixo Y da base, mostrada em 4.17, observa-se um incremento da flexão para as direções 0° e 15°, enquanto que para as direções com os ângulos 30° e 45°, os coeficientes são menores que a referência. Na direção de 60° observa-se uma inversão do sentido de flexão para os contornos D1 e D2. Entre os intervalos 75° e 120° e entre 240° e 285°, os coeficientes são próximos aos valores de referência indicando pouca influência das vizinhanças. Nas demais direções, para todos os contornos estudados, os coeficientes apresentam valores acima dos de referência.

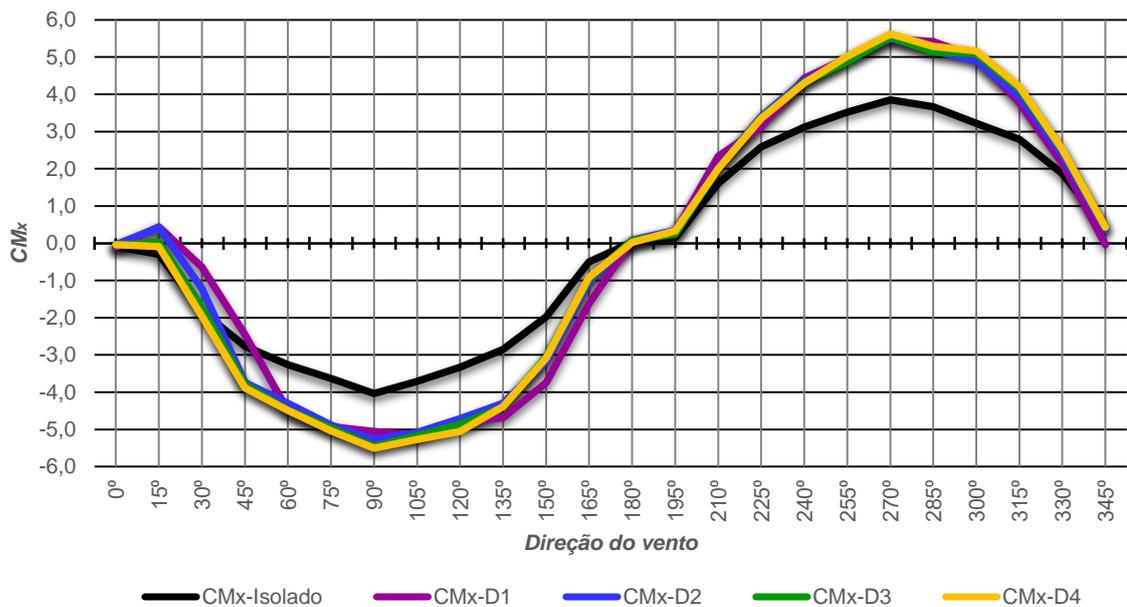


Figura 4.16: Coeficiente de flexão em torno do eixo X - V2

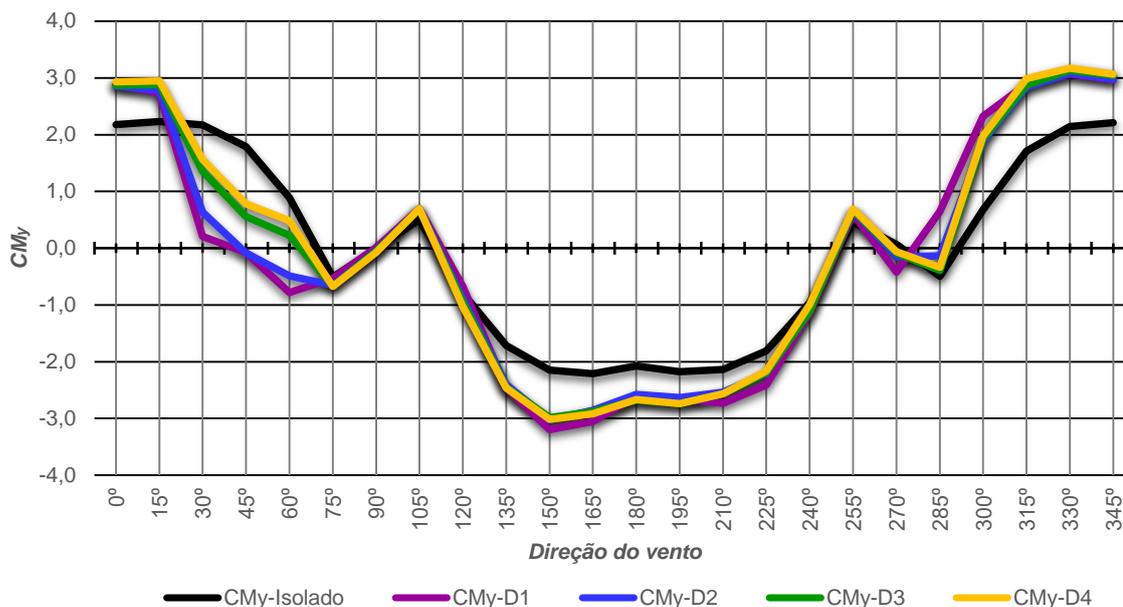


Figura 4.17: Coeficiente de flexão em torno do eixo Y - V2

Analisando os resultados apresentados na tabela 4.6, verifica-se que 89,0% dos resultados para a flexão em torno do eixo X, e 80,0% para a flexão em torno do eixo Y ficaram acima dos limites de norma.

Tabela 4.6: Resultados dos fatores de vizinhança para a flexão em torno dos eixos na vizinhança V2

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 < FV ≤ 1,4	1,4 < FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-MX-V2D1	24	1	3	20	2	6	8	4
FV-MY-V2D1		2	5	17	1	11	3	2
FV-MX-V2D2		2	2	20	-	8	9	3
FV-MY-V2D2		2	4	18	3	10	3	2
FV-MX-V2D3		1	3	20	1	10	8	1
FV-MY-V2D3		1	4	19	2	12	3	2
FV-MX-V2D4		1	2	21	2	7	9	3
FV-MY-V2D4		1	5	18	2	10	4	2

4.4 Resultado da vizinhança V3

A vizinhança V3 foi elaborada com a presença de um único edifício vizinho posicionado em uma direção diagonal ao CAARC Standard Tall Building de maneira a ficar deslocado sem produzir sobreposição a este em relação as direções de sua

diagonal nem em relação à sua fachada frontal à direção de 90° conforme pode ser observado na figura 4.18.

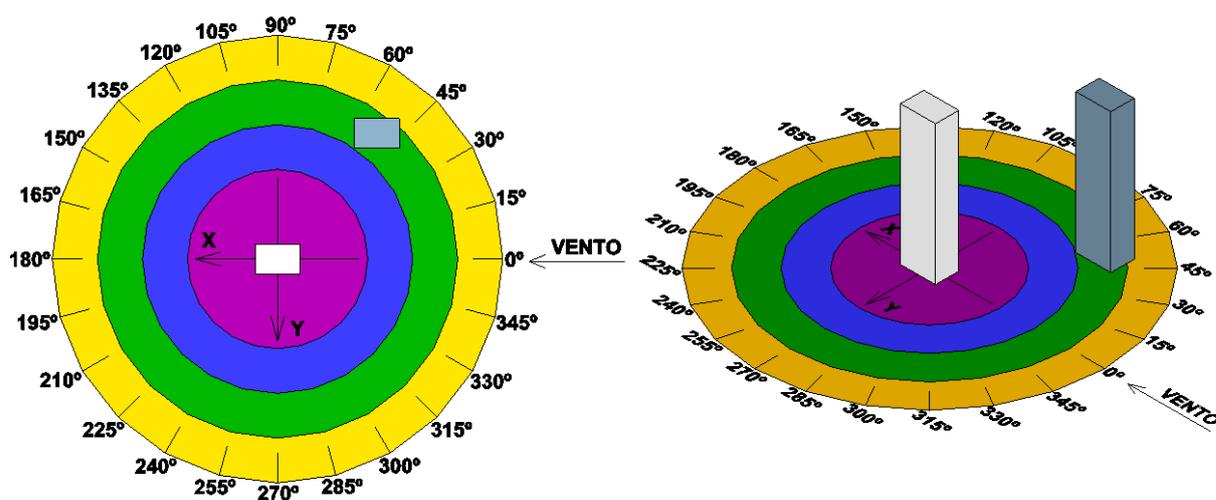


Figura 4.18: Direções do vento para a vizinhança V3

4.4.1 Resultante da força na direção dos eixos ordenados

Na figura 4.19 são apresentados os coeficientes de força resultante na direção do eixo X para a vizinhança V3. No intervalo entre 0° e 30° os coeficientes de força tem intensidade superior aos do modelo isolado, sendo que para D1 o intervalo se estende até a direção de 45°. A partir deste intervalo os esforços se tornam menores e pode ser observada uma inversão do sentido da resultante na direção de 60° para os contornos D3 e D4, e na direção de 75° para D1. A elevação da força resultante também pode ser observada nos intervalos entre 135° e 225°, situação em que os vizinhos estão posicionados à sotavento, e entre 300° e 345°, quando os vizinhos estão à lateral do edifício em estudo. Nos demais intervalos observa-se pouca influência da edificação vizinha, uma vez que o valor dos coeficientes para todas as situações fica muito próximo.

A figura 4.20 mostra que os vizinhos posicionados no contorno D1 produzem uma inversão no sentido da força resultante para as direções no intervalo entre 15° e 60°. Nos demais contornos a vizinhança produz um efeito de proteção no intervalo entre 15° e 45° para D2, D3 e D4, e se estende até 60° no caso do contorno D2. Na direção de 75° também se observa o efeito de proteção para a vizinhança posicionada no contorno D1. A partir da direção de 60°, no caso dos contornos D3 e D4, da direção

de 75° para o contorno D2 e da direção de 90° para o contorno D1 até a direção de 330°, a força resultante sofre elevação, exceto para a direção de 180° quando o vizinho está a sotavento do instrumentado, situação em que todos esforços apresentam resultados muito próximos a zero.

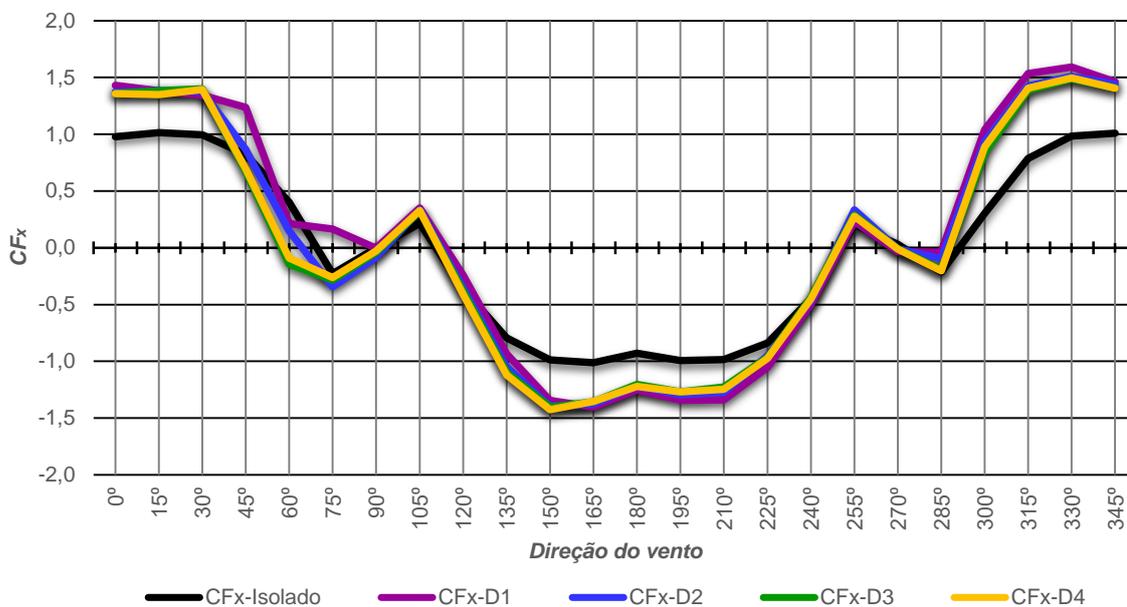


Figura 4.19: Coeficiente de força na direção do eixo X – V3

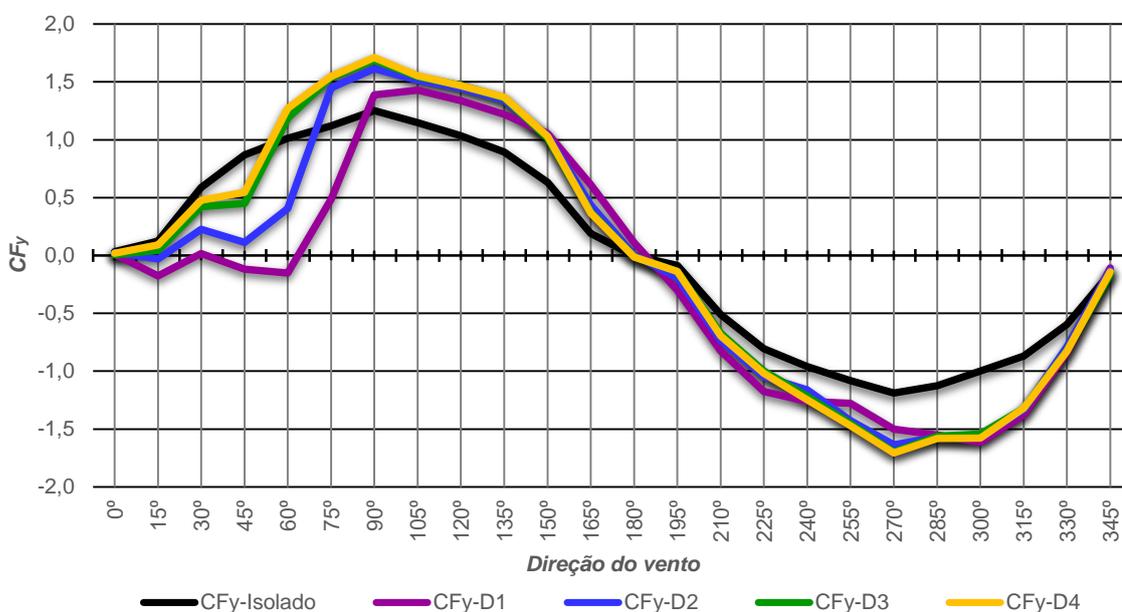


Figura 4.20: Coeficiente de força na direção do eixo Y – V3

De acordo com os valores encontrados dos coeficientes de vizinhança apresentados na tabela 4.7, assim como nas vizinhanças anteriores, verifica-se um

número expressivo de leituras com intensidade fora dos padrões estabelecidos pela norma. Para a força resultante na direção do eixo X, 80,6% das leituras consideradas ficaram acima dos limites da norma. No caso da força resultante na direção do eixo Y o valor foi de 77,2%.

Tabela 4.7: Resultados dos fatores de vizinhança para a força resultante na vizinhança V3

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 < FV ≤ 1,4	1,4 < FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-FX-V3D1	24	-	5	19	4	8	3	4
FV-FY-V3D1		1	6	17	2	6	4	5
FV-FX-V3D2		1	4	19	3	7	6	3
FV-FY-V3D2		1	6	17	-	10	4	3
FV-FX-V3D3		1	5	18	2	9	5	2
FV-FY-V3D3		1	4	19	2	9	5	3
FV-FX-V3D4		1	4	19	4	9	4	2
FV-FY-V3D4		1	5	18	-	9	6	3

4.4.2 Resultados dos coeficientes de torção

Também para a vizinhança V3, analisando-se os coeficientes de torção apresentados na figura 4.21, pode ser observada uma inversão no sentido da torção, agora verificada para edificações vizinhas posicionadas em todos os contornos no intervalo entre 30° e 60°, exceto para o contorno D4 na direção de 45°. Para o intervalo entre 75° e 105°, é verificada uma elevação nos esforços de torção devido a presença do vizinho no limite do contorno D1, enquanto que para os demais contornos os valores ficam próximos aos do modelo isolado. Pode-se observar acréscimos de torções para os ângulos 135°, 150°, 180°, 210°, 225°, 300° e 315°, para todos contornos estudados. Observa-se que o comportamento da torção nesta situação de vizinhança se apresentou semelhante ao que foi encontrado para a vizinhança V2. Nas demais direções os valores são próximos aos de referência o que indica pouca influência da edificação vizinha.

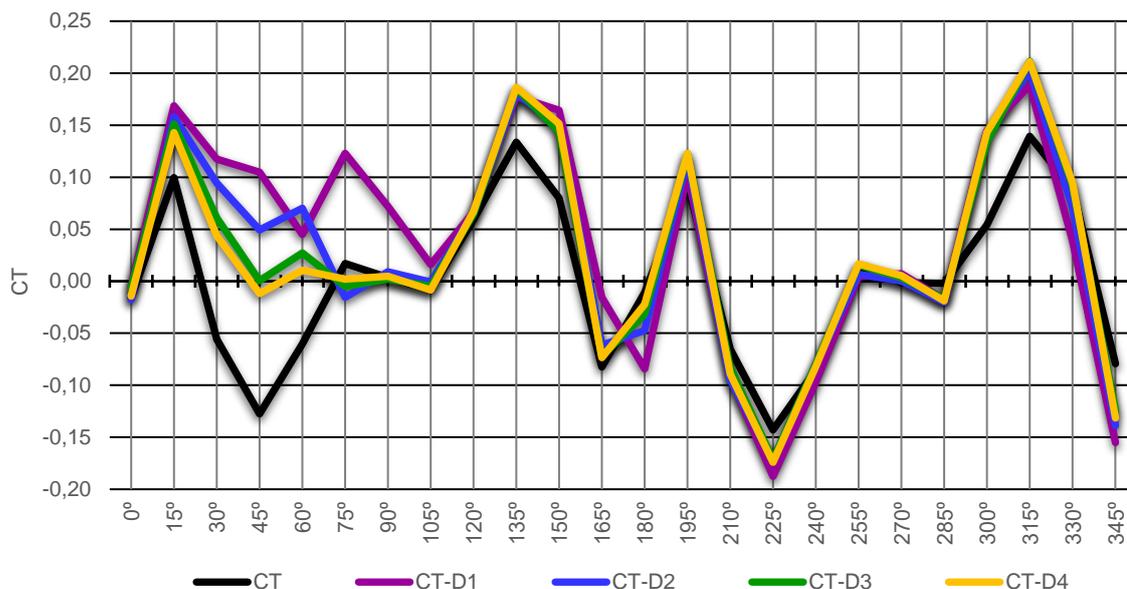


Figura 4.21: Coeficiente de torção – V3

Segundo os dados apresentados na tabela 4.8, 56,5% das leituras ficaram fora dos valores sugeridos pela norma, uma quantidade ligeiramente superior a encontrada para as situações estudadas na vizinhança V2.

Tabela 4.8: Resultados dos fatores de vizinhança para a torção na vizinhança V3

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 < FV ≤ 1,4	1,4 < FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-CT-V3D1	24	8	9	7	2	3	-	2
FV-CT-V3D2		10	7	7	2	3	2	-
FV-CT-V3D3		5	7	12	4	5	3	-
FV-CT-V3D4		4	7	13	4	5	4	-

4.4.3 Resultados dos coeficientes de flexão em torno dos eixos ordenados

A figura 4.22 apresenta os coeficientes de flexão em torno do eixo X para a vizinhança V3. Verifica-se que no caso da edificação vizinha estar posicionada no limite do contorno D1, ela produzirá uma inversão no sentido da flexão para as direções de 15°, 45° e 60°. No caso da vizinhança estar posicionada em D2, esta inversão na flexão ocorre para a direção de 15°. O efeito de proteção pode ser verificado na direção de 75° para o contorno D1, no intervalo entre 30° e 60° para o contorno D2 e entre 15° e 45° para os contornos D3 e D4, situações estas em que o

vizinho está posicionado à barlavento da edificação em estudo. A partir destas direções é observada a elevação da flexão até a direção de 330°, exceto para a direção de 180°, quando todos os valores ficam próximos de zero. Nas demais direções os coeficientes em todos os contornos estudados apresentam valores próximos aos de referência.

A flexão em torno de Y está apresentada na figura 4.23. Como pode-se observar na figura, na direção de 60° ocorre uma inversão no sentido da flexão, situação em que o edifício vizinho está posicionado a barlavento da edificação em estudo nos contornos D3 e D4. Também se observa uma inversão no sentido da flexão para a direção de 75° com o vizinho posicionado no contorno D1. Nos intervalos entre 0° e 30°, 135° e 240°, 300° e 345°, a flexão se apresenta com valores superiores aos de referência para todos os contornos considerados. Para as demais direções, os resultados encontrados se encontram muito próximos aos valores de referência indicando pouca influência da edificação vizinha.

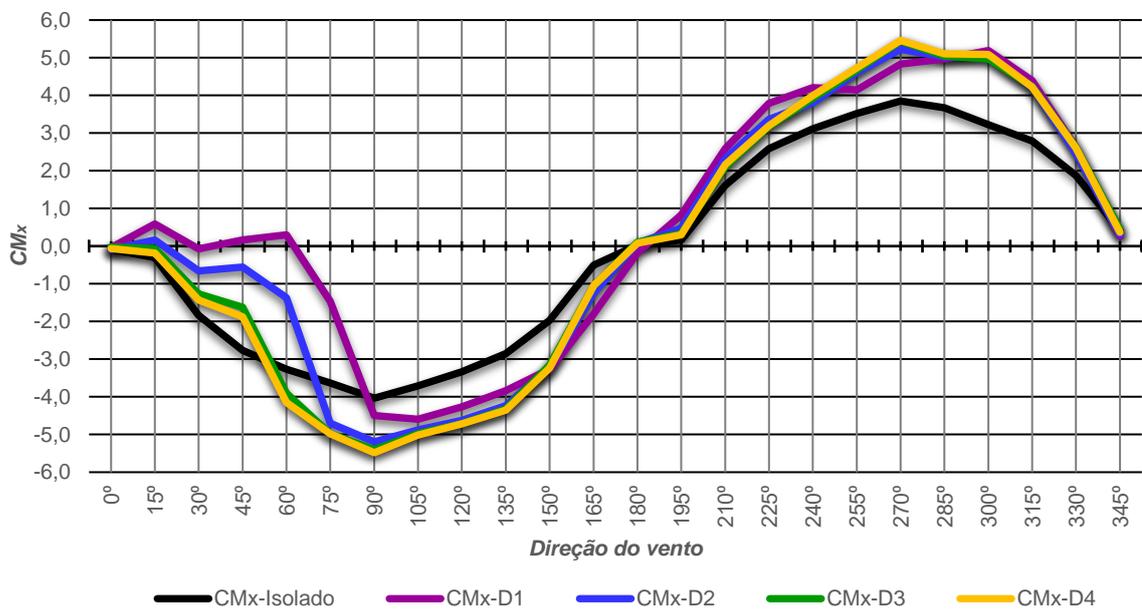


Figura 4.22: Coeficiente de flexão em torno do eixo X - V3

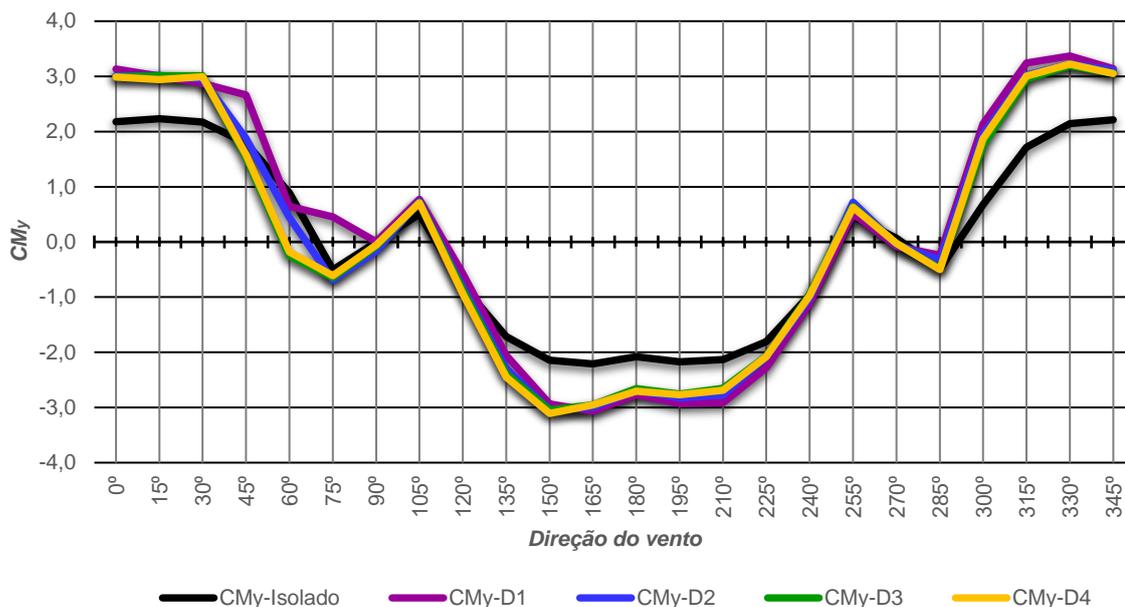


Figura 4.23: Coeficiente de flexão em torno do eixo Y - V3

Também pode-se constatar pelos dados apresentados pela tabela 4.9 que muitos resultados ficaram acima dos limites indicados pela norma. No caso da flexão em torno do eixo X, 78,0% dos resultados ficaram acima enquanto que para a flexão em torno do eixo Y esta porcentagem foi ainda maior ficando em 82,8%.

Tabela 4.9: Resultados dos fatores de vizinhança para a flexão em torno dos eixos na vizinhança V3

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 < FV ≤ 1,4	1,4 < FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-MX-V3D1	24	1	6	17	2	7	2	6
FV-MY-V3D1		-	5	19	3	9	5	2
FV-MX-V3D2		2	5	17	-	10	4	3
FV-MY-V3D2		1	3	20	4	9	5	2
FV-MX-V3D3		1	4	19	2	9	6	2
FV-MY-V3D3		1	5	18	2	11	3	2
FV-MX-V3D4		1	5	18	-	10	5	3
FV-MY-V3D4		1	3	20	5	10	3	2

4.5 Resultados da vizinhança V4

A vizinhança V4 foi elaborada com a presença de dois edifícios vizinhos posicionados frontalmente ao CAARC Standard Tall Building à barlavento da fachada F1 conforme pode ser observado na figura 4.24.

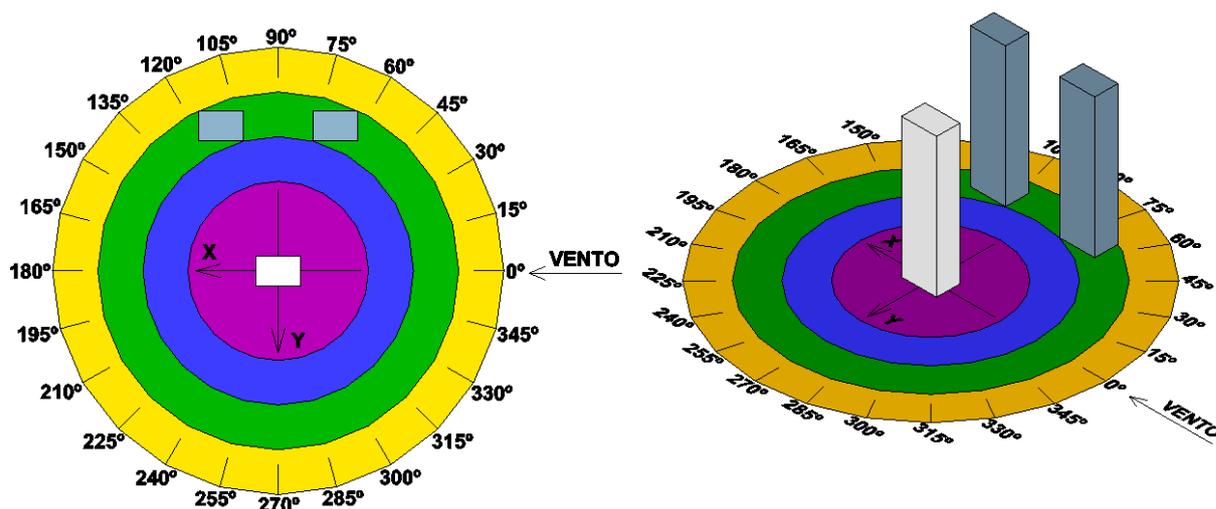


Figura 4.24: Direções do vento para a vizinhança V4

4.5.1 Resultante da força na direção dos eixos ordenados

A figura 4.25 apresenta os valores dos coeficientes da força resultante na direção X. Pode-se observar que os edifícios vizinhos quando posicionados no limite do contorno D1, promoveram um efeito de proteção da edificação em estudo para as direções de 60° e 120°, situações em que estavam à barlavento. No intervalo entre 0° e 240°, os vizinhos promovem a elevação da força resultante exceto na direção de 90°, quando todos apresentam valores muito próximos de zero, e, no caso do contorno D1, os resultados ficam muito próximos da referência no intervalo entre 75° e 105°. Essa elevação da força resultante também pode ser observada no intervalo entre 300° e 345° para todos os contornos. Para as demais direções, não houve interferência significativa dos edifícios vizinhos.

A força resultante na direção Y é apresentada pela figura 4.26. O efeito de proteção dos edifícios vizinhos é visualizado no intervalo entre 45° e 75° e entre 105° e 150° no caso do contorno D1. Para o contorno D2 essa proteção ocorre entre 60° e 135° enquanto que, para D4 a proteção se limita ao intervalo entre 75° e 105° e para

de D3 se estende até 120°. A elevação da força resultante ocorre na direção de 90° para D1, para as direções de 15°, 30°, 150° e 165° para D2 e nos intervalos entre 15° e 45° e entre 135° e 165° para D3 e D4, acrescentando-se a direção de 60° para D4, situações estas em que os vizinhos estão à barlavento. No intervalo entre 210° e 330°, quando os edifícios vizinhos estão posicionados à sotavento, verifica-se a elevação da força resultante para todos os contornos estudados.

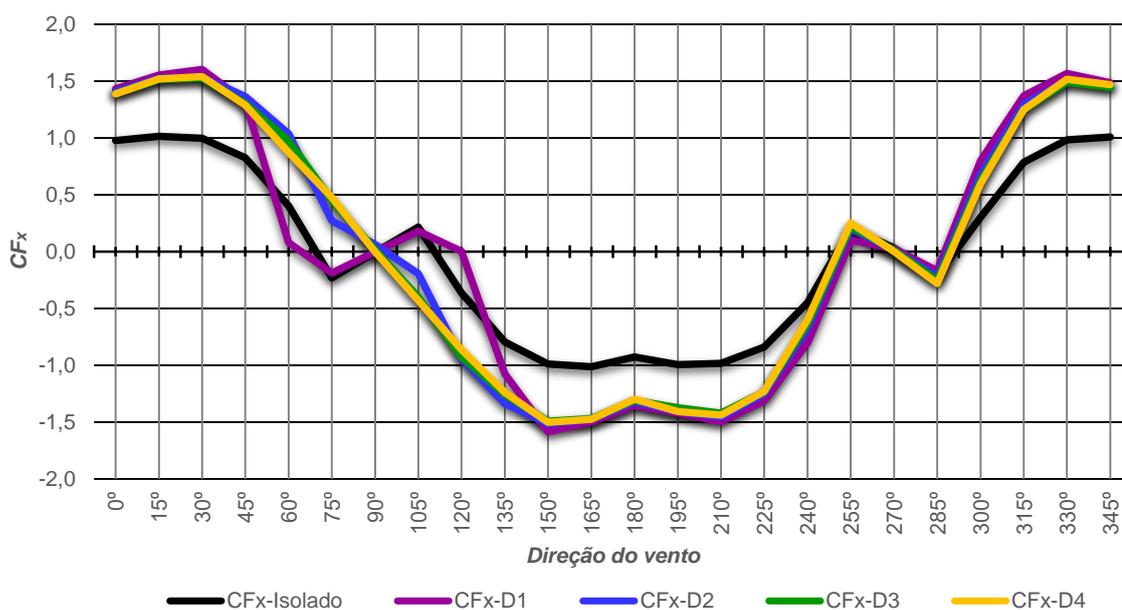


Figura 4.25: Coeficiente de força na direção do eixo X – V4

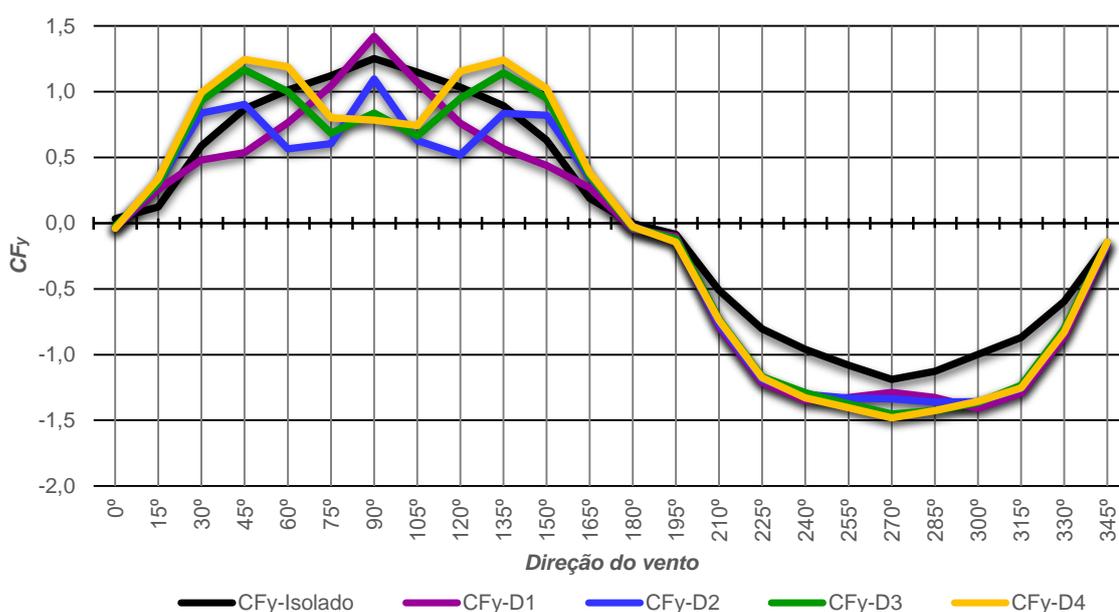


Figura 4.26: Coeficiente de força na direção do eixo Y – V4

A tabela 4.10 mostra que mesmo com a introdução de uma segunda edificação vizinha, muitas leituras ainda ficaram fora do estabelecido em norma. Para a força resultante na direção X, 84,5% dos resultados ficaram acima dos estabelecidos por norma, enquanto para a força resultante na direção Y foram 70,5% dos resultados.

Tabela 4.10: Resultados dos fatores de vizinhança para a força resultante na vizinhança V4

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 <FV ≤ 1,4	1,4 <FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-FX-V4D1		-	8	16	-	1	10	5
FV-FY-V4D1		2	9	13	5	1	7	-
FV-FX-V4D2		4	3	17	2	-	12	3
FV-FY-V4D2	24	2	6	16	4	6	6	-
FV-FX-V4D3		4	1	19	2	1	16	-
FV-FY-V4D3		2	7	15	-	9	6	-
FV-FX-V4D4		4	1	19	-	4	15	-
FV-FY-V4D4		2	4	18	3	7	6	2

4.5.2 Resultados dos coeficientes de torção

A figura 4.27 apresenta os índices de torção para a vizinhança V4. Nesta situação, observa-se que quando o vizinho está posicionado no limite do contorno D1 este induz a uma inversão no sentido da torção entre os ângulos de 30° e 150°. Para um posicionamento no contorno D2, os valores acima dos de referência se apresentam nas direções dos ângulos 30°, 45°, 135°, 150° e 315°. Para vizinhos posicionados nos contornos D3 e D4, a torção é amplificada no intervalo entre 30° e 75° além das direções com ângulos 135°, 150° e 315°.

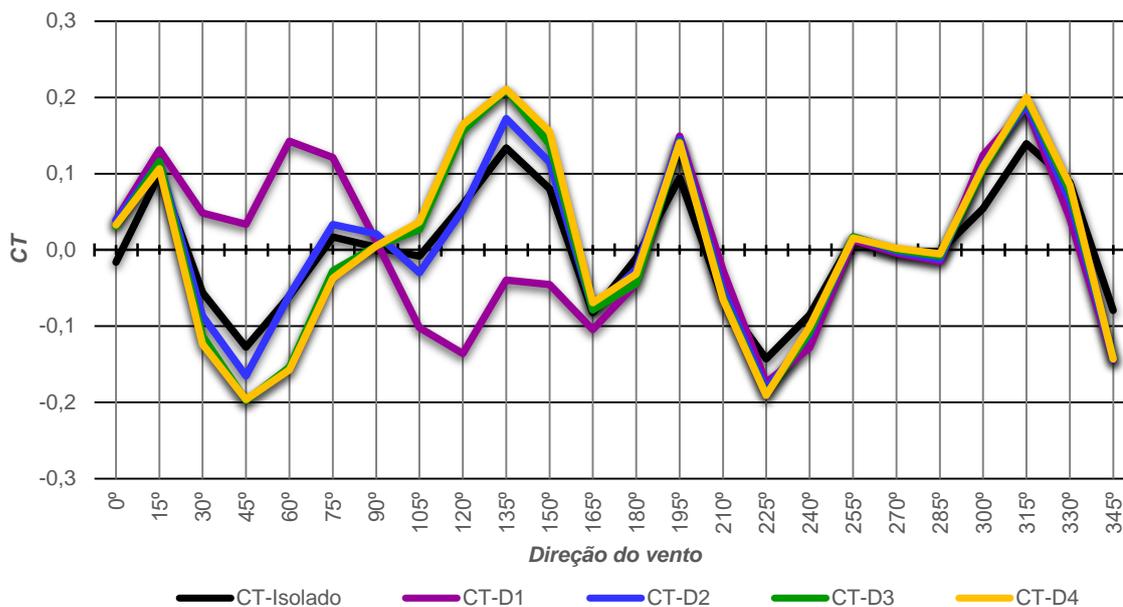


Figura 4.27: Coeficiente de torção – V4

Verificando os dados apresentados na tabela 4.11, observa-se que esta vizinhança obteve um aumento na quantidade de resultados fora dos limites indicados por norma atingindo 60,0% dos valores. Estes valores tiveram índices de FV concentrados nos intervalos de zero a 1,2 com 23,1%, e entre 1,2 e 1,4 e entre 1,4 e 1,6 com 38,5% cada um.

Tabela 4.11: Resultados dos fatores de vizinhança para a torção na vizinhança V4

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 < FV ≤ 1,4	1,4 < FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-CT-V4D1	24	7	11	6	1	5	-	-
FV-CT-V4D2		9	8	7	2	5	-	-
FV-CT-V4D3		8	5	11	2	2	7	-
FV-CT-V4D4		7	2	15	4	3	8	-

4.5.3 Resultados dos coeficientes de flexão em torno dos eixos ordenados

A figura 4.28 mostra a flexão em torno do eixo X para a vizinhança V4. Verifica-se um efeito de proteção entre os intervalos de 30° e 75° e entre 105° e 150° quando os vizinhos estão posicionados no contorno D1. Para o contorno D2, o intervalo de proteção fica entre 60° e 135°. Para D3 este intervalo fica entre 75° e 120° enquanto que para D4 se estende apenas até 105°. Para as demais direções de todos os

contornos estudados, a flexão em torno do eixo X é elevada, com exceção das direções de 0°, 180° e 345° quando todos os resultados apresentam valores muito próximos indicando pouca interferência dos edifícios vizinhos na flexão.

Para a flexão em torno de Y, mostrada na figura 4.29, verifica-se que quando os vizinhos estão posicionados no contorno D1, os resultados ficam muito próximos aos de referência no intervalo entre 75° e 105°. Também pode ser observado um efeito protetivo para as direções de 60° e 120°, situações em que os vizinhos estão posicionados à barlavento do edifício em estudo. Resultados muito próximos aos de referência podem ser observados para todos os contornos no intervalo entre 255° e 285°. Para todas as demais direções percebe-se que a presença das edificações vizinhas elevou os esforços em relação à referência.

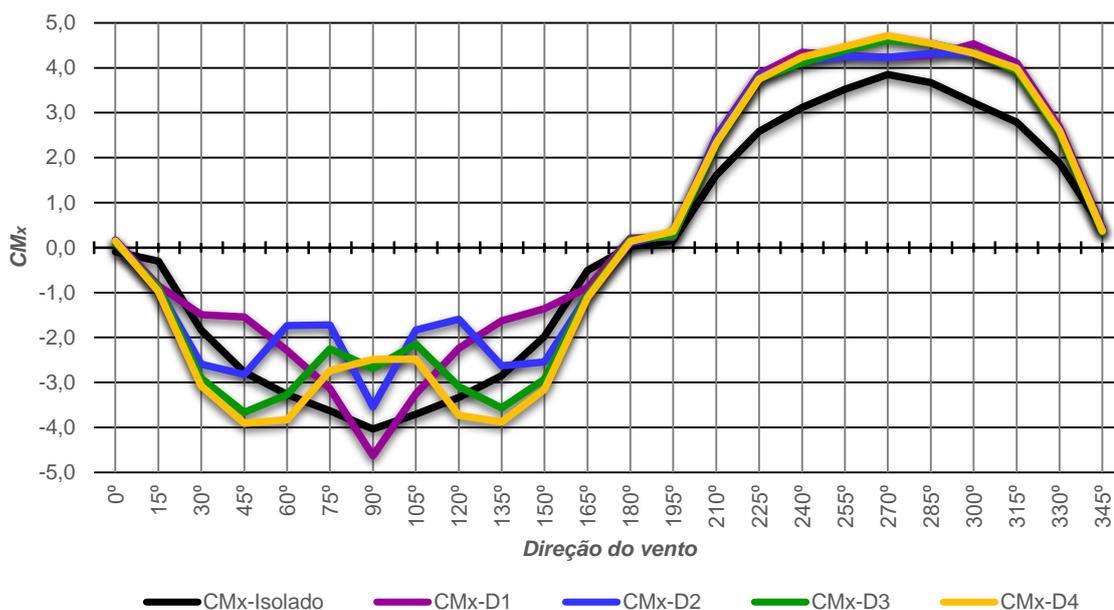


Figura 4.28: Coeficiente de flexão em torno do eixo X - V4

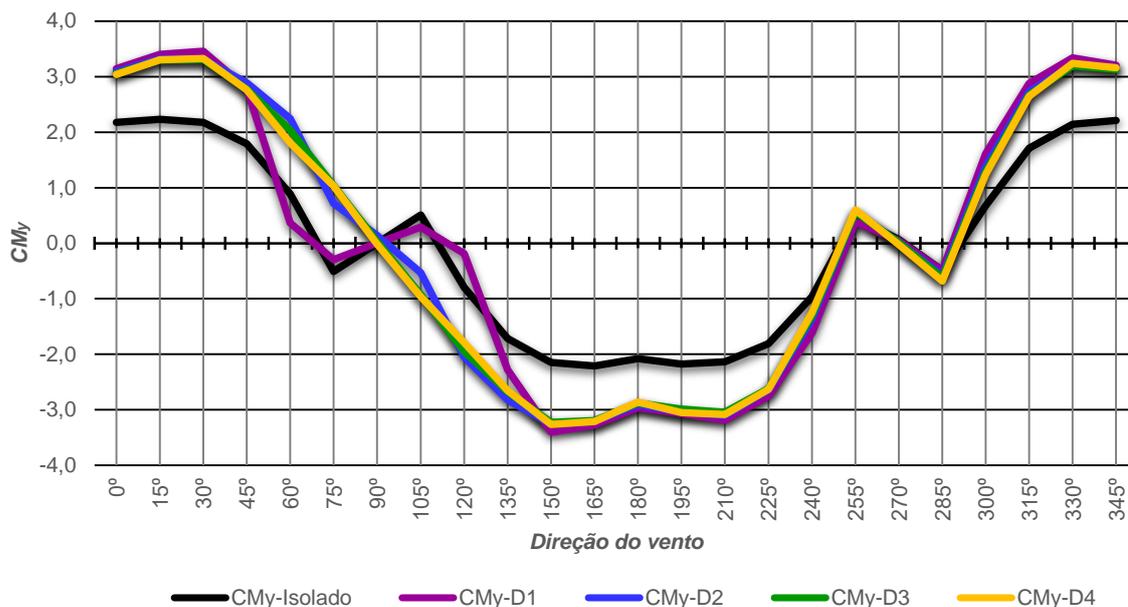


Figura 4.29: Coeficiente de flexão em torno do eixo Y - V4

A tabela 4.12 mostra os resultados para a vizinhança V4, onde 70,9% dos resultados para a flexão em torno de X e 88,0% dos resultados para a flexão em torno do eixo Y ficaram fora dos parâmetros de norma.

Tabela 4.12: Resultados dos fatores de vizinhança para a flexão em torno dos eixos na vizinhança V4

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 < FV ≤ 1,4	1,4 < FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-MX-V4D1	24	1	9	14	3	2	6	3
FV-MY-V4D1		-	8	16	-	1	12	3
FV-MX-V4D2		4	7	13	3	6	4	-
FV-MY-V4D2		1	1	22	2	2	13	5
FV-MX-V4D3		3	5	16	3	7	5	1
FV-MY-V4D3		2	1	21	-	5	12	4
FV-MX-V4D4		2	4	18	2	7	5	4
FV-MY-V4D4		1	1	22	-	5	12	5

4.6 Resultados da vizinhança V5

A vizinhança V5 foi elaborada com a presença de dois edifícios vizinhos alinhados na direção da diagonal do CAARC Standard Tall Building conforme pode ser observado na figura 4.30.

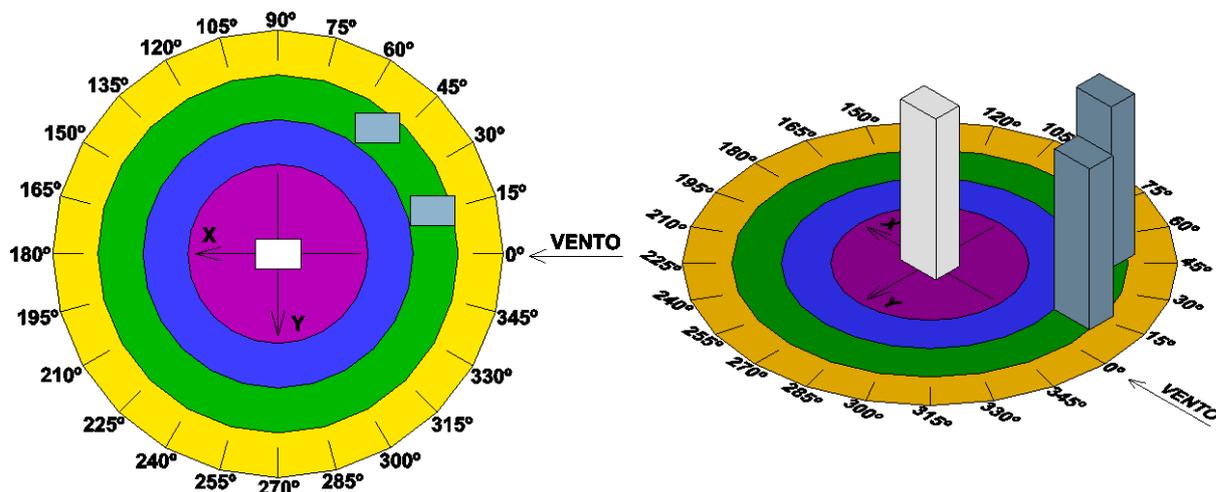


Figura 4.30: Direções do vento para a vizinhança V5

4.6.1 Resultante da força na direção dos eixos ordenados

A figura 4.31 mostra os resultados da força resultante na direção do eixo X. O efeito de proteção pode ser visualizado no intervalo entre 0° e 45° no caso dos vizinhos estarem posicionados nos limites dos contornos D1 e D2. Para a direção 0° nos contornos D3 e D4 observa-se uma ligeira elevação da força resultante comparada com a referência. Para as direções entre 15° e 60° o efeito de proteção também pode ser observado para esses contornos. Para a direção de 75° , os vizinhos posicionados em D1 apresentam elevação da força enquanto que para a direção 90° pode-se observar uma inversão na direção deste esforço. Em todas estas situações os edifícios vizinhos ficaram posicionados à barlavento da edificação em estudo. Também se observa uma inversão no sentido da força para a direção de 285° no caso de todos os contornos. No intervalo entre 300° e 345° a força resultante considerando a presença de edifícios vizinhos é maior que a de referência para todos os contornos

considerados. No caso das demais direções os resultados considerando a presença de edificações vizinhas ficaram muito próximos aos valores de referência.

Considerando a força resultante na direção Y, apresentada pela figura 4.32, observa-se que para a direção de 15° os edifícios vizinhos em todos os contornos elevam essa resultante. No intervalo entre 30° e 60° observa-se um efeito de proteção produzido em todos os contornos. No caso do contorno D1 esta proteção se estende até a direção de 75°. No intervalo entre 75° e 165° a força resultante se apresenta maior do que a referência, situação em que os edifícios vizinhos estão posicionados lateralmente e a sotavento do edifício em estudo. Também se pode verificar uma sutil elevação da força entre as direções 255° e 315°. Nas demais direções os resultados considerando a presença de edificações vizinhas ficou próximo aos valores de referência.

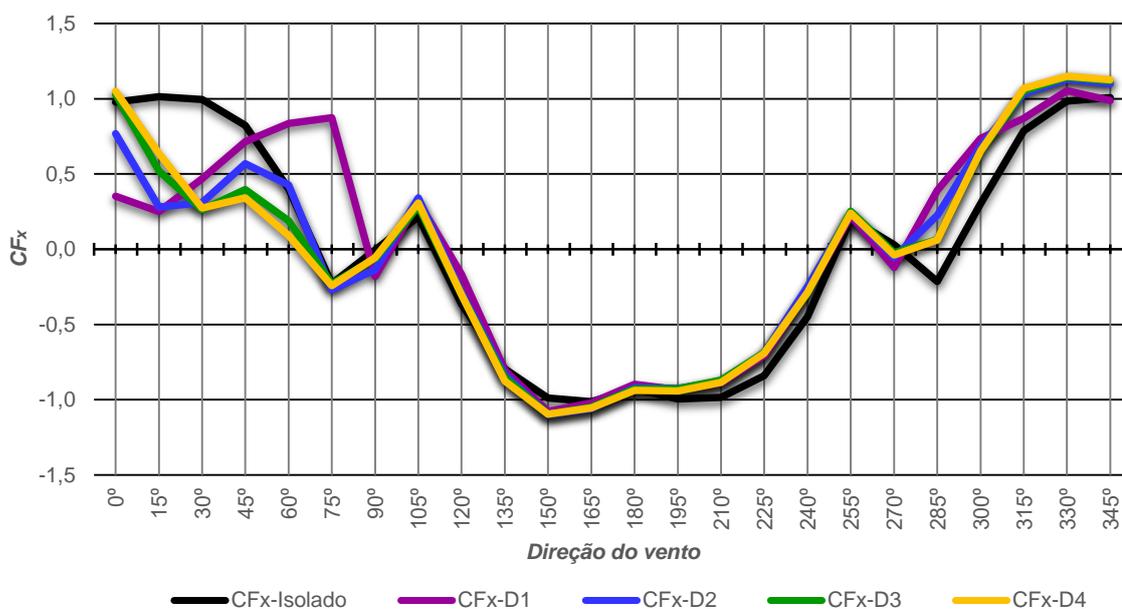


Figura 4.31: Coeficiente de força na direção do eixo X – V5

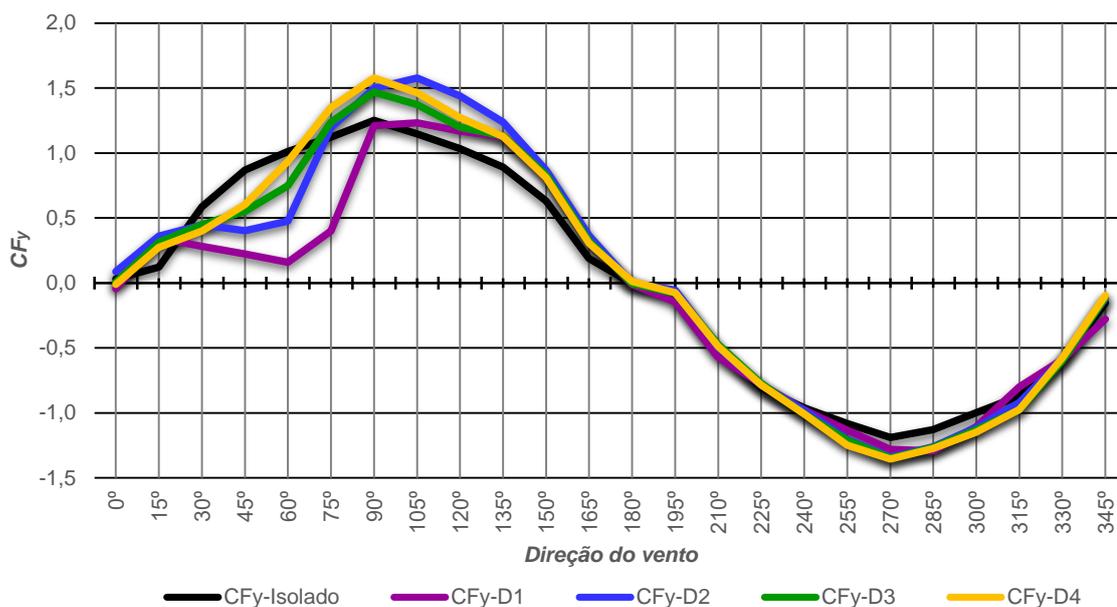


Figura 4.32: Coeficiente de força na direção do eixo Y – V5

Os resultados para a força resultante, apresentados pela tabela 4.13 mostram que para a vizinhança V5 o número de leituras que atendiam os critérios de norma apresentou um acréscimo. No caso da força resultante na direção X, 39,5% dos resultados ficaram acima dos limites de norma. Já para a força resultante na direção Y foram 57,6% dos resultados. Dentre os resultados que excederam os limites de norma, todos ficaram abaixo de 1,4.

Tabela 4.13: Resultados dos fatores de vizinhança para a força resultante na vizinhança V5

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					$FV \leq 1,2$	$1,2 < FV \leq 1,4$	$1,4 < FV \leq 1,6$	$FV > 1,6$
FV-FX-V5D1	24	2	17	5	5	-	-	-
FV-FY-V5D1		3	11	10	6	4	-	-
FV-FX-V5D2		4	11	9	8	1	-	-
FV-FY-V5D2		3	9	12	8	4	-	-
FV-FX-V5D3		2	13	9	6	3	-	-
FV-FY-V5D3		2	8	14	12	2	-	-
FV-FX-V5D4		2	11	11	9	2	-	-
FV-FY-V5D4		3	8	13	7	6	-	-

4.6.2 Resultados dos coeficientes de torção

A figura 4.33 apresenta os coeficientes de torção para a vizinhança V5. Para as direções 0° e 15° , as edificações vizinhas invertem o sentido de torção para todos os contornos. Na direção de 30° pode-se observar que quando os vizinhos estão no limite dos contornos D1 e D2, os coeficientes tem valor superior aos de referência. Para os ângulos de 45° e 60° verifica-se o efeito de proteção promovido por todas as situações de vizinhança. Nos ângulos de 90° e 105° graus, apenas quando os vizinhos estão no contorno D1, os valores são superiores aos de referência, para os demais contornos os valores são muito próximos o que é verificado para as demais direções, inclusive no contorno D1. A partir da direção de 180° , a presença das edificações vizinhas promove uma amplificação mais contundente da intensidade de torção nas direções de 240° e 300° . Para as demais direções a diferença entre os resultados considerando a presença da edificação vizinha e os de referência não é significativa.

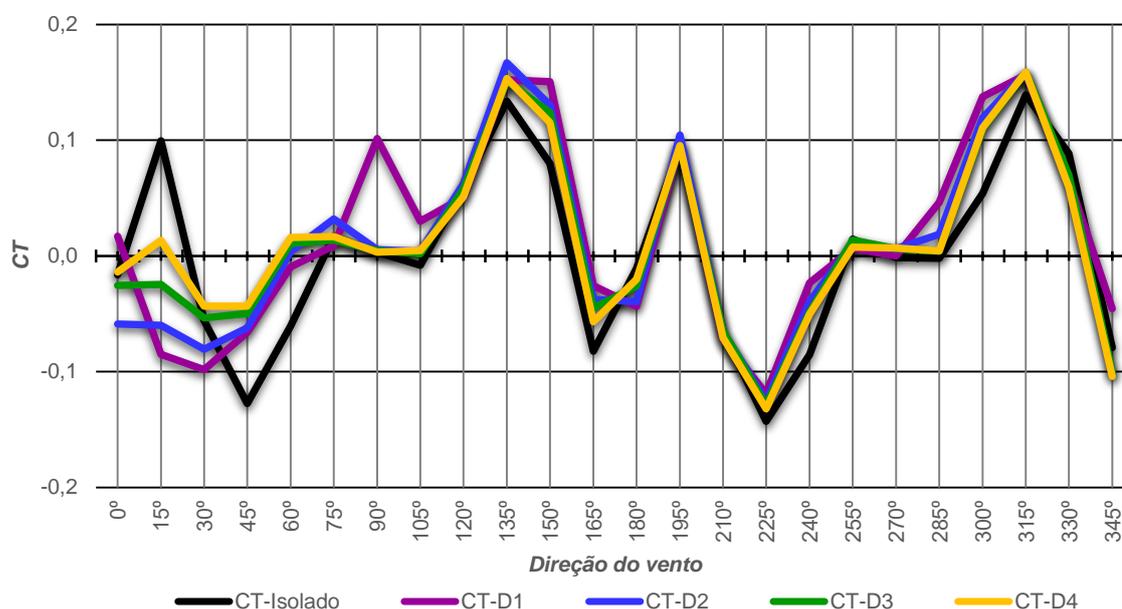


Figura 4.33: Coeficiente de torção – V5

De acordo com os dados apresentados na tabela 4.14, a vizinhança V5 teve uma grande redução de resultados que ficaram fora dos limites de norma, totalizando apenas 28,4% dos valores. Destes, 81,0% tem coeficiente de FV até 1,2.

Tabela 4.14: Resultados dos fatores de vizinhança para a torção na vizinhança V5

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 <FV≤ 1,4	1,4 <FV≤ 1,6	FV > 1,6
FV-CT-V5D1	24	6	14	4	3	-	-	1
FV-CT-V5D2		8	10	6	5	1	-	-
FV-CT-V5D3		5	13	6	5	1	-	-
FV-CT-V5D4		3	16	5	4	1	-	-

4.6.3 Resultados dos coeficientes de flexão em torno dos eixos ordenados

A figura 4.34 apresenta a flexão em torno de X para a vizinhança V5. Observa-se que para o ângulo de 15° os resultados para as vizinhanças com afastamentos em todos os contornos têm valor superior à referência. Já para as direções entre 30° e 60°, as edificações vizinhas promovem a proteção quanto a ação do vento. A partir da direção de 75° para vizinhos nos contornos D2, D3 e D4 e de 105° para D1, o gráfico indica que os esforços ficam maiores que a referência até a direção de 180°. Depois do ângulo de 180° todas as situações propostas apresentam seus coeficientes com valores muito próximos aos de referência.

Para a flexão em torno de Y, mostrada na figura 4.35, verifica-se o efeito de proteção dos vizinhos até as direções de 45°, para vizinhos posicionados nos contornos D1 e D2, e 60° para vizinhos posicionados em D3 e D4. Para a direção de 75° observa-se uma inversão no sentido da flexão para vizinhos no limite do contorno D1. A partir da direção de 75°, todas as situações apresentam resultados próximos com pequenas variações. Na direção de 285° os vizinhos induzem a uma elevação da flexão que perdura até a direção de 345°, quando é percebida uma tendência de aproximação dos resultados com os valores de referência.

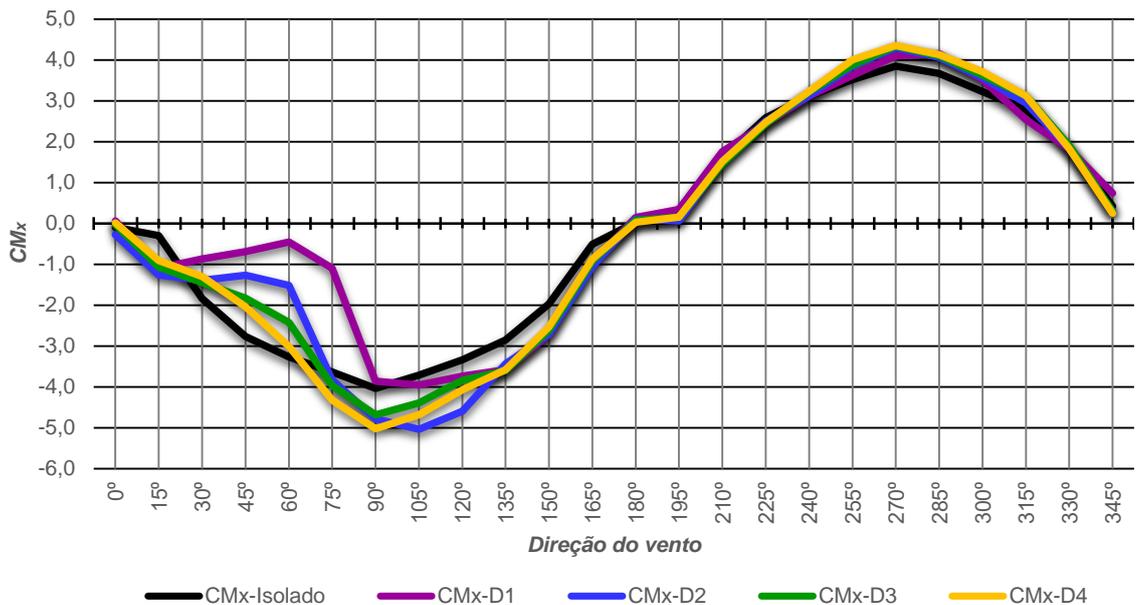


Figura 4.34: Coeficiente de flexão em torno do eixo X - V5

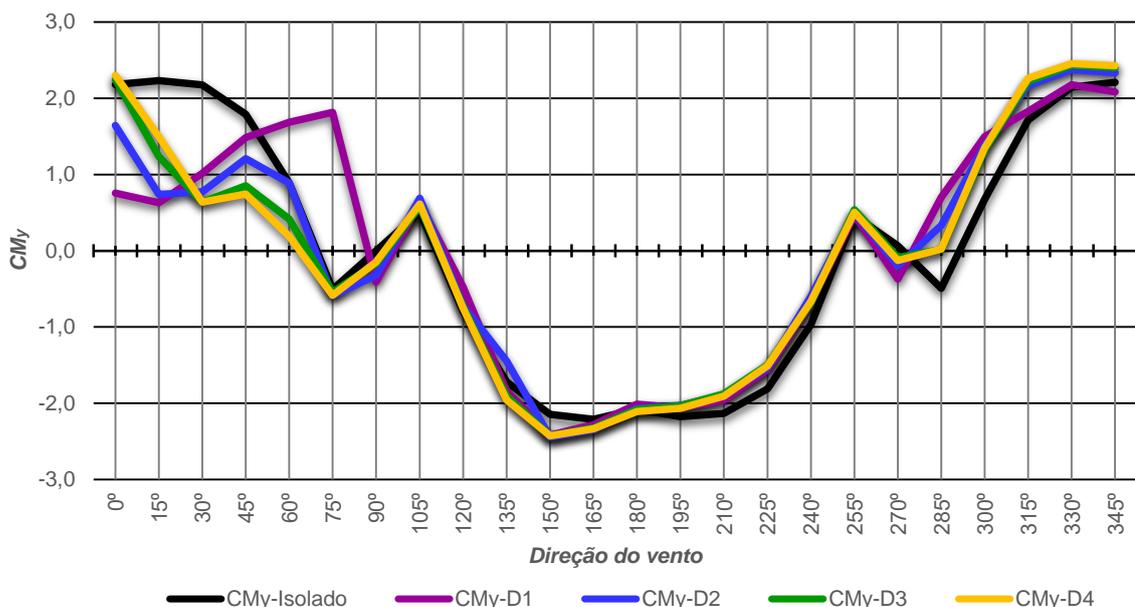


Figura 4.35: Coeficiente de flexão em torno do eixo Y - V5

Pelos dados apresentados na tabela 4.15 observa-se também para o caso da flexão em torno dos eixos da base uma redução do número de resultados fora dos limites de norma. Para a flexão em torno do eixo X foram 53,6% dos resultados que excederam os limites de norma. Para a flexão em torno do eixo Y essa porcentagem foi de 43,0%. Dentre estes resultados, 72,0% dos coeficientes tem o FV com índices no intervalo de zero até 1,2, e 23,2% entre 1,2 e 1,4.

Tabela 4.15: Resultados dos fatores de vizinhança para a flexão em torno dos eixos na vizinhança V5

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 < FV ≤ 1,4	1,4 < FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-MX-V5D1	24	4	13	7	4	3	-	-
FV-MY-V5D1		2	18	4	1	1	1	1
FV-MX-V5D2		3	9	12	8	3	-	1
FV-MY-V5D2		3	11	10	8	1	-	1
FV-MX-V5D3		2	8	14	12	2	-	-
FV-MY-V5D3		2	10	12	10	2	-	-
FV-MX-V5D4		3	9	12	7	5	-	-
FV-MY-V5D4		3	10	11	9	2	-	-

4.7 çã Resultados da vizinhança V6

A vizinhança V6 foi elaborada com a presença de três edifícios vizinhos onde dois deles seguiram a mesma proposta da vizinhança V5, ficando alinhados na direção da diagonal do *CAARC Standard Tall Building* e, além destes, foi acrescentado outro edifício vizinho que ficou posicionado frontalmente à fachada F1 conforme pode ser observado na figura 4.36.

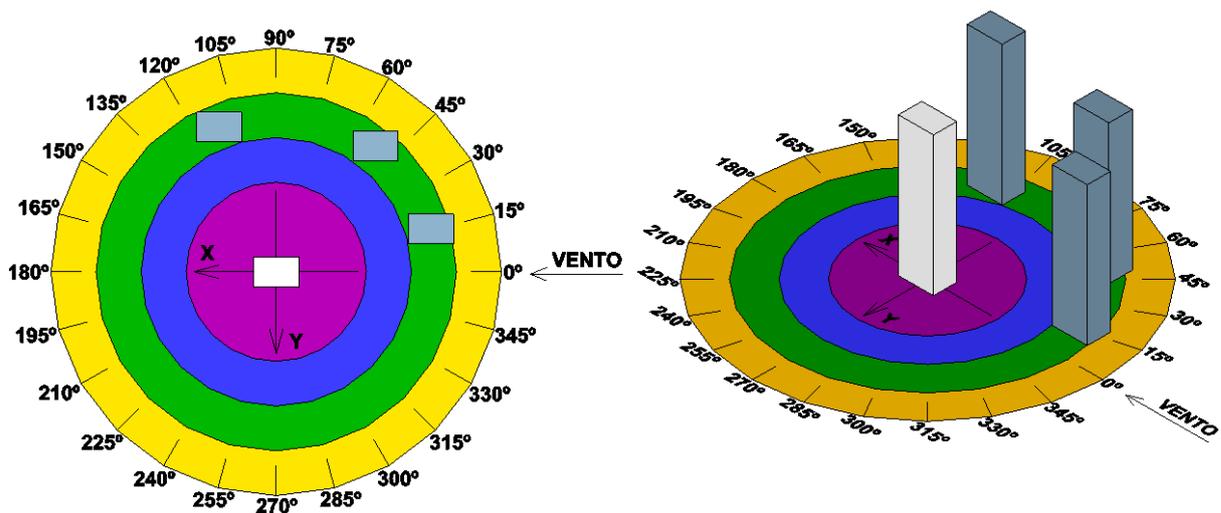


Figura 4.36: Direções do vento para a vizinhança V6

4.7.1 Resultante da força na direção dos eixos ordenados

A figura 4.37 apresenta os resultados dos coeficientes da força resultante na direção X para a vizinhança V6. No intervalo entre 15° e 60° observa-se o efeito de proteção produzidos pelos edifícios vizinhos em todos os contornos exceto para o contorno D1 que a partir da direção 45° produz a elevação da força resultante e na direção de 75° promove a inversão do sentido da força. Para o intervalo entre 105° e 180°, a elevação da força resultante pode ser observada para os contornos D2, D3 e D4. Para o contorno D1, este efeito só é observado a partir da direção 135°. Na direção 285° os edifícios vizinhos em todos os contorno promovem uma inversão da direção da força. No intervalo de 300° a 345° os vizinhos promovem a elevação da força resultante em todos os contornos.

Para a força resultante na direção Y, apresentada na figura 4.38, observa-se a elevação da força para as direções de 15°, 75°, 90°, nos intervalos entre 135° e 150° e entre 240° e 285° para vizinhos posicionados em praticamente todos os contornos. Também se pode observar efeito de proteção no intervalo entre 45° e 165°, que são situações em que os vizinhos estão à barlavento do edifício em estudo.

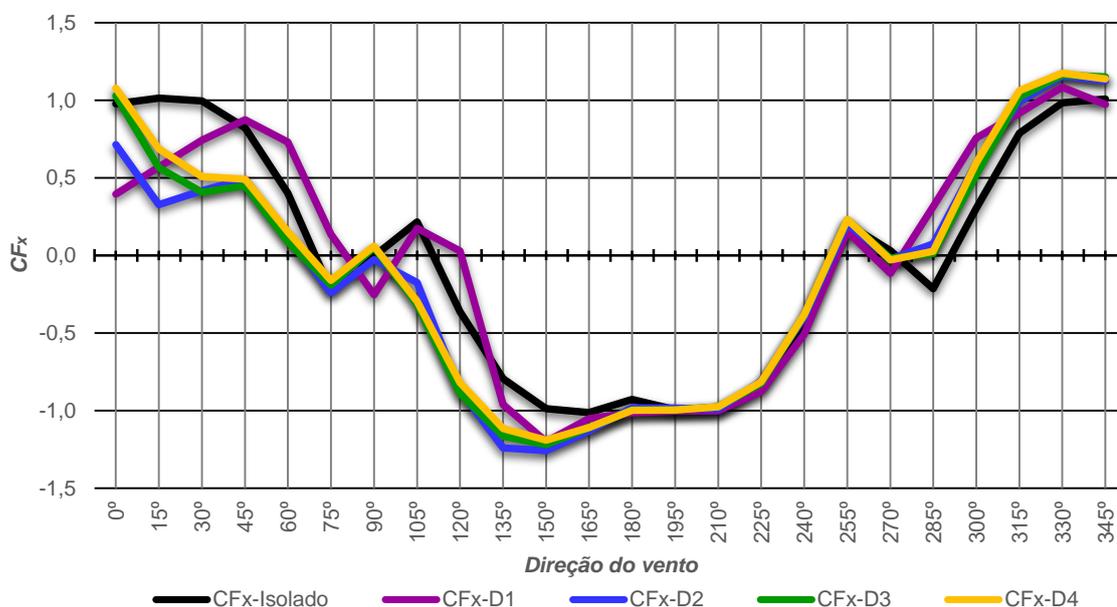


Figura 4.37: Coeficiente de força na direção do eixo X – V6

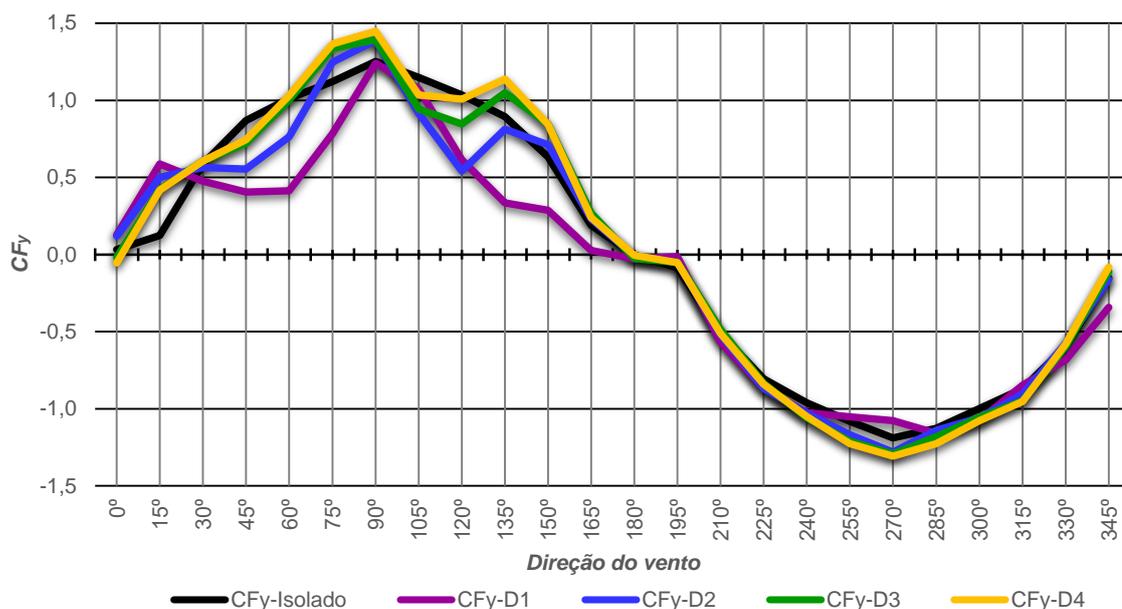


Figura 4.38: Coeficiente de força na direção do eixo Y – V6

A tabela 4.16 mostra que a vizinhança V6 apresenta uma quantidade maior de resultados dentro dos parâmetros estabelecidos em norma. No caso da força resultante na direção do eixo X, 46,5% dos resultados se apresentam acima dos limites de norma, enquanto que para a força resultante na direção Y foram 52,3%. Desses resultados, 76,5% tem o FV até o valor de 1,2 e menos de 4,0% dos resultados ultrapassaram o valor de 1,4.

Tabela 4.16: Resultados dos fatores de vizinhança para a força resultante na vizinhança V6

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 < FV ≤ 1,4	1,4 < FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-FX-V6D1	24	3	15	6	4	2	-	-
FV-FY-V6D1		3	17	4	3	1	-	-
FV-FX-V6D2		3	11	10	7	2	1	-
FV-FY-V6D2		2	8	14	12	2	-	-
FV-FX-V6D3		2	10	12	8	3	1	-
FV-FY-V6D3		2	10	12	12	-	-	-
FV-FX-V6D4		2	10	12	8	3	1	-
FV-FY-V6D4		3	6	15	11	4	-	-

4.7.2 Resultados dos coeficientes de torção

A figura 4.39 apresenta os coeficientes de torção para a vizinhança V6. Observe-se que os vizinhos localizados no limite do contorno D1 para o intervalo entre 75° e 150°, apresentam comportamento bem distinto das demais configurações neste mesmo intervalo, sendo que entre 120° e 150° há uma inversão no sentido da torção, o que não acontece para os demais contornos. Vizinhos posicionados em todos os contornos apresentaram inversão no sentido da torção para o ângulo de 15°, efeito de proteção no intervalo entre 45° e 60°. No intervalo entre 120° e 150° os vizinhos posicionados nos contornos D3 e D4 aumentaram os esforços no edifício em estudo. Para a direção de 300°, os valores foram incrementados para vizinhos em todos os afastamentos. Para as demais direções os coeficientes apresentaram valores semelhantes aos de referência.

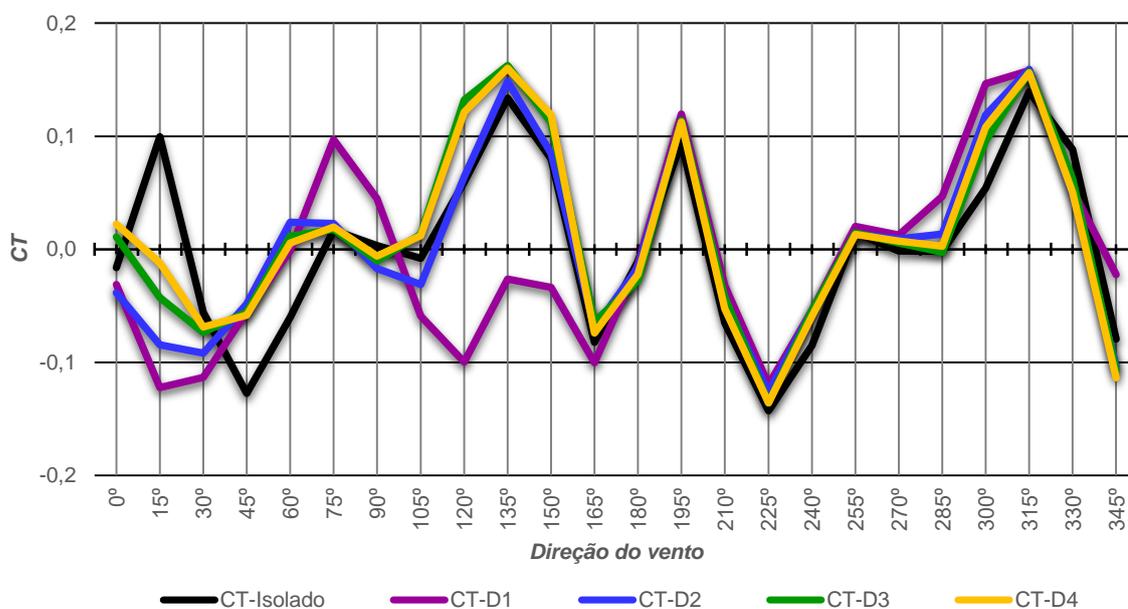


Figura 4.39: Coeficiente de torção – V6

Verificando os dados apresentados na tabela 4.17 observa-se que para esta vizinhança a quantidade de resultados fora dos limites de norma foi alto atingindo 40,8% do total. Destes, quase a totalidade dos resultados apresentaram FV até 1,4.

Tabela 4.17: Resultados dos fatores de vizinhança para a torção na vizinhança V6

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 <FV≤ 1,4	1,4 <FV≤ 1,6	FV > 1,6
FV-CT-V6D1	24	4	15	5	1	4	-	-
FV-CT-V6D2		7	10	7	6	1	-	-
FV-CT-V6D3		5	10	9	5	4	-	-
FV-CT-V6D4		4	10	10	8	1	1	-

4.7.3 Resultados dos coeficientes de flexão em torno dos eixos ordenados

A figura 4.40 mostra os coeficientes de flexão em torno do eixo X para a vizinhança V6. Observa-se um incremento dos resultados para as direções de 15°, entre o intervalo de 75° e 90° e entre o intervalo de 135° e 150°, sendo nesses dois últimos intervalos apenas para vizinhos nos limites dos contornos D3 e D4. Fora dessas direções, entre 0° e 180° os vizinhos promovem a proteção do edifício de estudo. A partir de 180° os resultados de todas as propostas de vizinhança ficam muito próximas aos valores de referência.

Para a flexão em torno do eixo Y apresentada na figura 4.41, os vizinhos promovem a proteção da edificação em estudo no intervalo entre 0° e 75°. A exceção é observada quando os vizinhos estão posicionados no limite do contorno D1 onde a intensidade de flexão se mostra ascendente no intervalo 0° e 45° e eleva o valor da flexão para as direções 60° e 75°, inclusive demonstrando uma inversão no sentido da flexão para esta última direção. A partir da direção de 90°, os vizinhos posicionados em D1 apresentam resultados próximos aos valores de referência enquanto que para as demais direções os vizinhos elevam os resultados de flexão. A partir da direção de 195°, todas as propostas apresentam resultados próximos aos de referência até a direção de 270° indicando pouca influência dos vizinhos quando estes estão a sotavento do edifício padrão. A partir desta direção todas as propostas elevam a flexão.

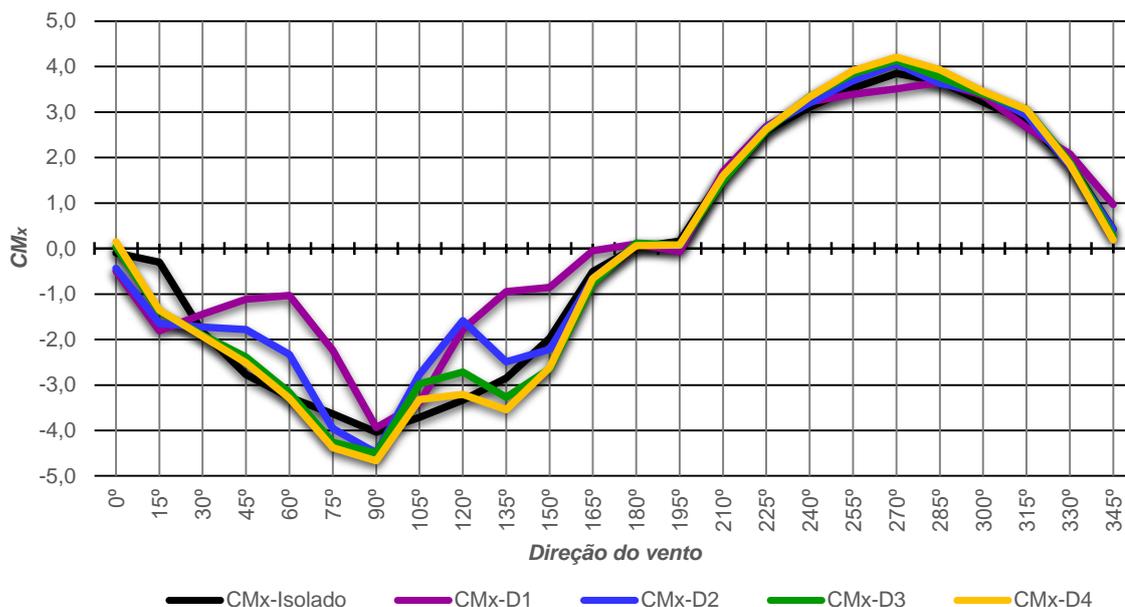


Figura 4.40: Coeficiente de flexão em torno do eixo X - V6

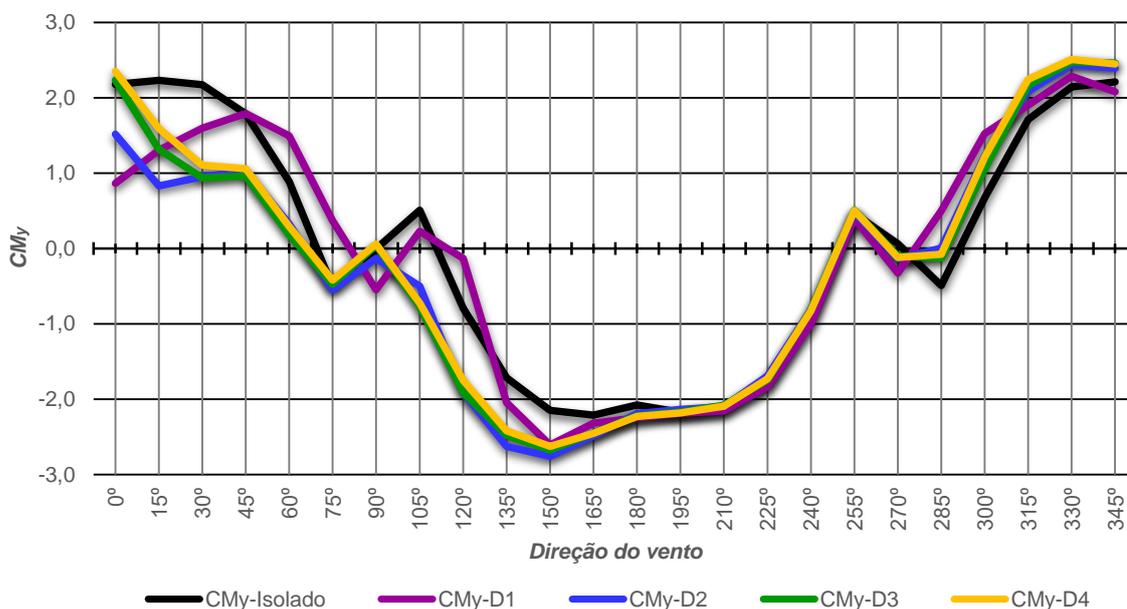


Figura 4.41: Coeficiente de flexão em torno do eixo Y - V6

Para o caso de V6, com os dados apresentados na tabela 4.18 constata-se que os valores descartados têm leve queda em relação à vizinhança V5. Para a flexão em torno do eixo X, 46,5% ficaram acima dos limites de norma. No caso da flexão em torno do eixo Y foram 46,6%. Destes resultados, 66,7% apresentam um FV com índice até 1,2.

Tabela 4.18: Resultados dos fatores de vizinhança para a flexão em torno dos eixos na vizinhança V6

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 < FV ≤ 1,4	1,4 < FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-MX-V6D1	24	3	19	2	1	1	-	-
FV-MY-V6D1		2	16	6	3	1	-	2
FV-MX-V6D2		3	11	10	9	1	-	-
FV-MY-V6D2		2	11	11	6	2	1	2
FV-MX-V6D3		2	8	14	12	1	1	-
FV-MY-V6D3		3	10	11	6	2	1	2
FV-MX-V6D4		2	8	14	10	4	-	-
FV-MY-V6D4		1	10	13	7	2	2	2

4.8 Resultados da vizinhança V7

A vizinhança V7 foi elaborada com a presença de quatro edifícios vizinhos posicionado à barlavento da fachada F1 do CAARC Standard Tall Building, conforme pode ser observado na figura 4.42.

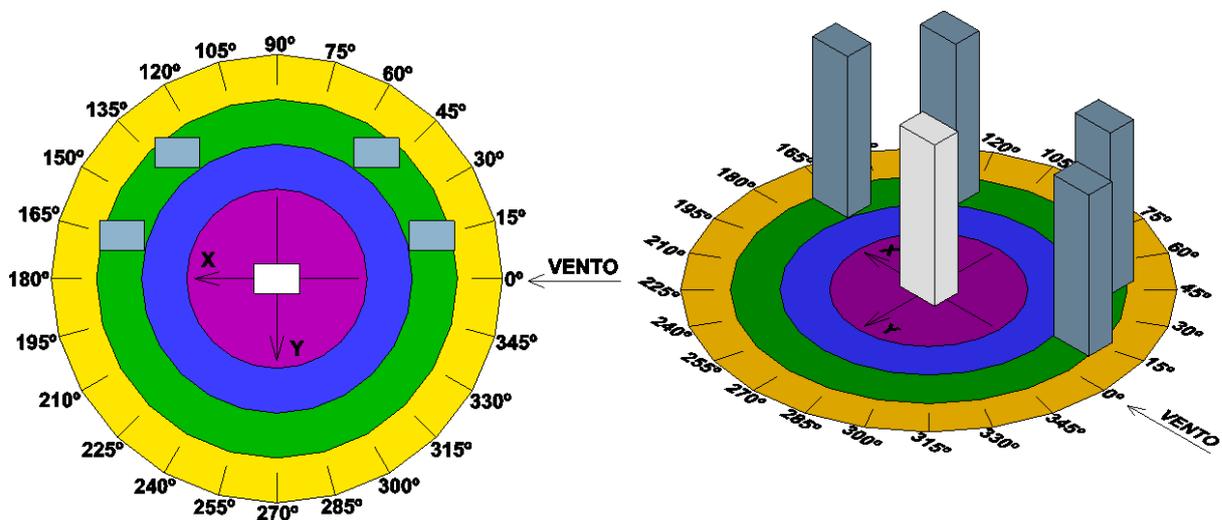


Figura 4.42: Direções do vento para a vizinhança V7

4.8.1 Resultante da força na direção dos eixos ordenados

A figura 4.43 apresenta os coeficientes de força resultante na direção X para a vizinhança V7. No caso do vento incidindo na direção de 0°, observa-se o efeito de

proteção exercido pelos edifícios vizinhos quando estes estão posicionados nos contornos D1 e D2, para os demais contornos os edifícios vizinhos não apresentam influência significativa no edifício em estudos. Entre as direções de 15° até 30° o efeito de proteção é observado para todos os contornos. Entre as direções de 45° e 135°, o efeito de proteção só não ocorre para os vizinhos posicionados no contorno D1 onde se observa a elevação da força resultante, exceto na direção de 90° quando para todos os contornos não se observa influência relevante dos edifícios vizinhos. Nas direções de 150° e 165°, o efeito de proteção volta a ocorrer para todas as direções. Entre as direções de 285° e 330°, observa-se uma sutil elevação do esforço. Nas demais direções, a influência das edificações vizinhas não é relevante.

Os coeficientes de força na direção Y, apresentados pela figura 4.44, indicam uma pequena elevação da pressão para a direção de 15° quando os edifícios vizinhos estão a barlavento. Para a direção de 45° os edifícios vizinhos posicionados em todos os contornos promovem a proteção do edifício em estudo, para a direção de 60° isto é verificado apenas nos contornos D1 e D2, efeito que também é verificado nas direções de 120° e 135°. Na direção de 75°, o efeito de proteção também é verificado enquanto os vizinhos estão posicionados no contorno D1. Para os contornos D3 e D4, a elevação dos esforços se dá entre o intervalo de 60° a 120°. Já para D2 a elevação dos esforços é evidente no intervalo entre 75° e 105°. A elevação dos esforços também se verifica entre o intervalo de 225° a 300° para todos os contornos. Nas demais direções os vizinhos não exercem influência significativa para este esforço.

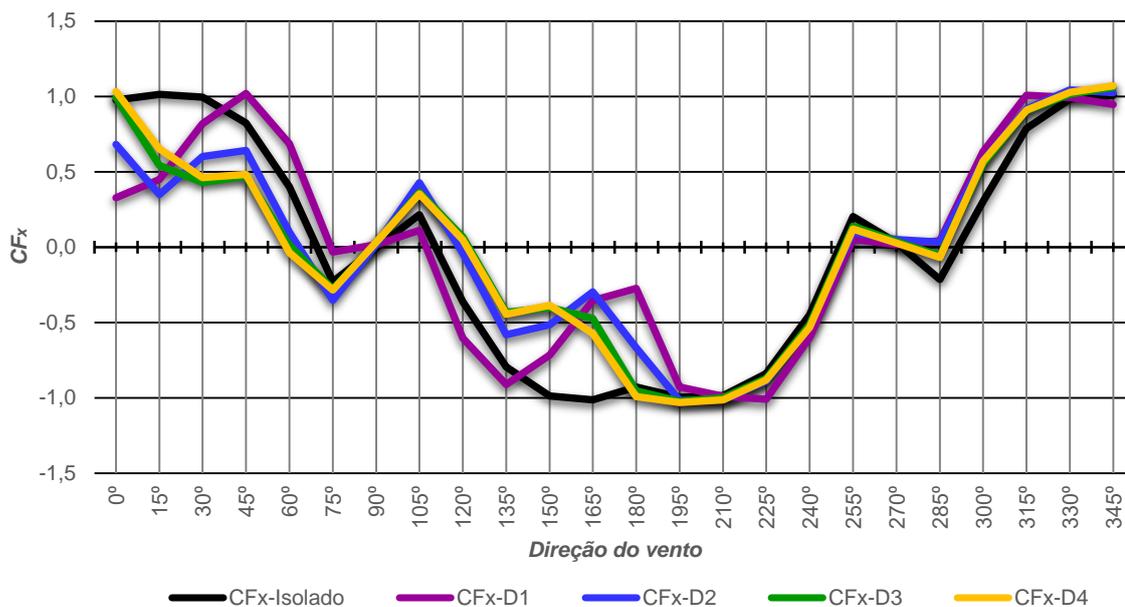


Figura 4.43: Coeficiente de força na direção do eixo X – V7

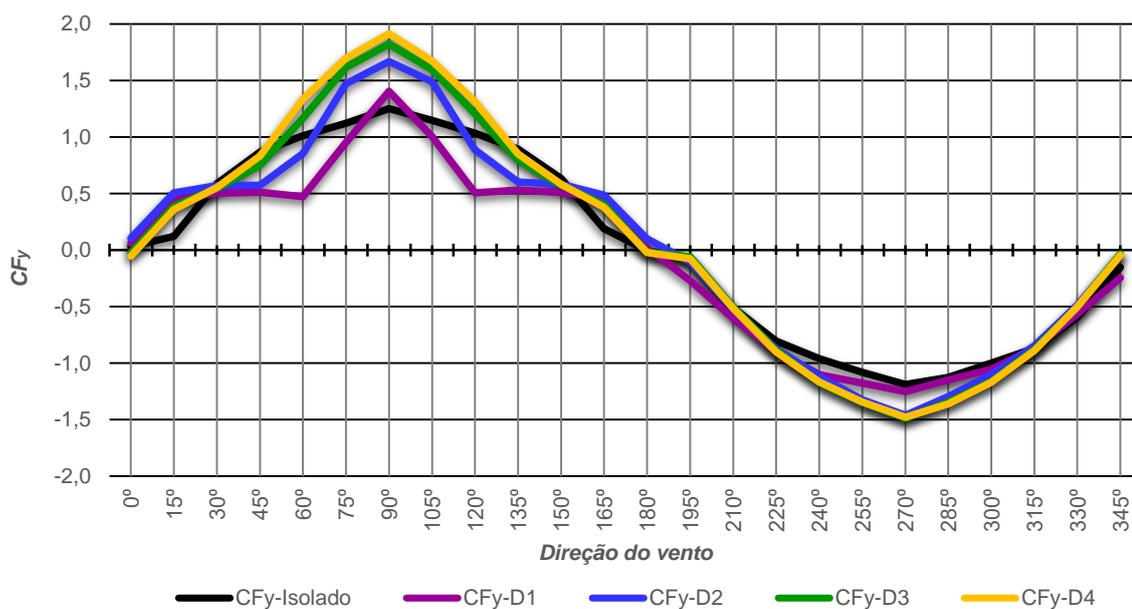


Figura 4.44: Coeficiente de força na direção do eixo Y – V7

Analisando-se os resultados apresentados na tabela 4.19 verifica-se novamente uma redução do número de resultados que ficaram fora dos parâmetros de norma. No caso da força resultante na direção X, 36,5% e no caso da força resultante na direção Y, 51,2% dos resultados. Destes valores, 65,3% ficaram com um índice de FV até 1,2 e 28,0% entre 1,2 e 1,4.

Tabela 4.19: Resultados dos fatores de vizinhança para a força resultante na vizinhança V7

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 <FV ≤ 1,4	1,4 <FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-FX-V7D1	24	4	15	5	1	4	-	-
FV-FY-V7D1		3	15	6	6	-	-	-
FV-FX-V7D2		3	14	7	7	-	-	-
FV-FY-V7D2		2	9	13	7	6	-	-
FV-FX-V7D3		2	12	10	9	1	-	-
FV-FY-V7D3		2	10	12	6	4	2	-
FV-FX-V7D4		2	13	9	9	-	-	-
FV-FY-V7D4		3	8	13	4	6	3	-

4.8.2 Resultados dos coeficientes de torção

A figura 4.45 apresenta os coeficientes de torção para a vizinhança V7. Entre o intervalo de 0° a 180°, situação em que os vizinhos estão posicionados a barlavento do modelo, o comportamento considerando a edificações vizinhas é expressivamente distinto do modelo isolado. Os efeitos de amplificação dos esforços e proteção da edificação se alternam ao longo deste intervalo, inclusive com situações de inversão do sentido de torção nas direções de 15°, 60° e 165° para todas as situações consideradas. A partir da direção de 195° verifica-se uma proximidade dos resultados entre a situação com vizinhança e o modelo isolado, indicando que os vizinhos têm pouca influência nestas direções, no caso deste esforço.

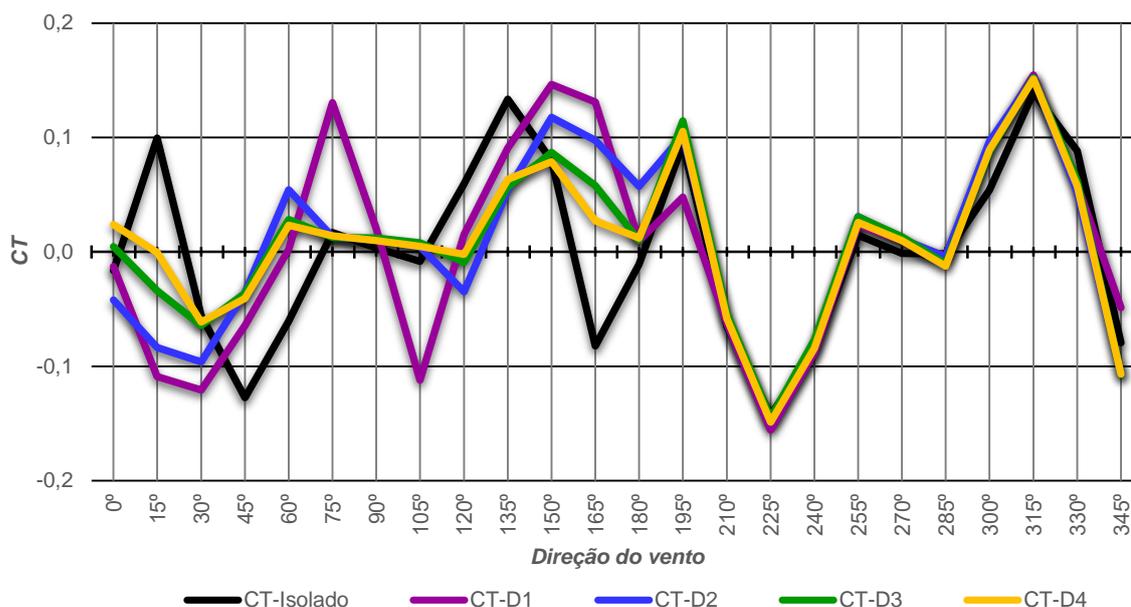


Figura 4.45: Coeficiente de torção – V7

A tabela 4.20 mostra que 37,7% dos resultados ficaram fora dos limites de norma. Destes, 86,2% apresentaram o índice de FV entre zero e 1,2.

Tabela 4.20: Resultados dos fatores de vizinhança para a torção na vizinhança V7

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 < FV ≤ 1,4	1,4 < FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-CT-V7D1	24	6	13	5	5	-	-	-
FV-CT-V7D2		8	9	7	6	1	-	-
FV-CT-V7D3		3	13	8	6	2	-	-
FV-CT-V7D4		2	13	9	8	1	-	-

4.8.3 Resultados dos coeficientes de flexão em torno dos eixos ordenados

A figura 4.40 mostra os resultados dos coeficientes calculados para a flexão em torno do eixo X em relação à vizinhança V7. Nas direções 15°, 165° e 240° observa-se que a flexão foi elevada devido à presença das edificações vizinhas. Vale destacar que nas duas primeiras direções os vizinhos estão posicionados à barlavento enquanto que na terceira estão posicionados à sotavento da edificação em estudo. Para as direções 45°, 60°, 120° e 135° os vizinhos posicionados nos contornos D1 e D2 exercem efeito de proteção em relação a edificação de estudo. No caso do

contorno D1, esta proteção pode ser verificada ainda nas direções 75° e 105°. Enquanto isso, para os contornos D3 e D4 observa-se uma elevação desta flexão no intervalo entre as direções 60° e 120°. A partir de 180°, quando os vizinhos estão à sotavento, observa-se que os valores são muito próximos dos valores do modelo isolado. Uma elevação da flexão ocorre, de maneira pouco expressiva entre as direções 255° e 300° para os contornos D2, D3 e D4. Nas demais direções as variações não se apresentam de maneira expressiva indicando pouca influência das edificações vizinhas na alteração da flexão.

Para a flexão em torno do eixo Y, mostrada na figura 4.41, o efeito protetivo das edificações vizinhas pode ser observado nas direções entre 15° e 60°, e entre 120° e 165° para os vizinhos posicionados nos contornos D2, D3 e D4. No caso do contorno D2 este efeito se estende até a direção de 180°. Na situação em que os vizinhos estão posicionados no contorno D1, observa-se uma sutil elevação desta flexão nas direções de 45° e 60° e entre 105° e 135°, diferenciando-se do comportamento dos demais contornos. No intervalo entre 150° e 195°, o efeito protetivo também pode ser observado no contorno D1. Para as demais direções a influência das edificações vizinhas se mostrou pouco expressiva.

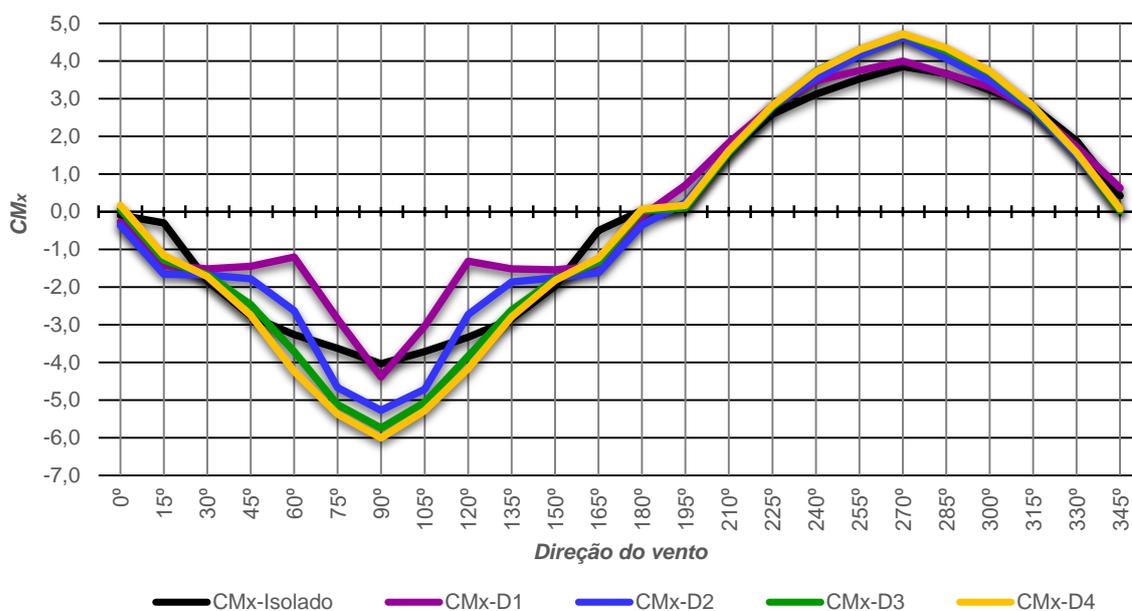


Figura 4.46: Coeficiente de flexão em torno do eixo X - V7

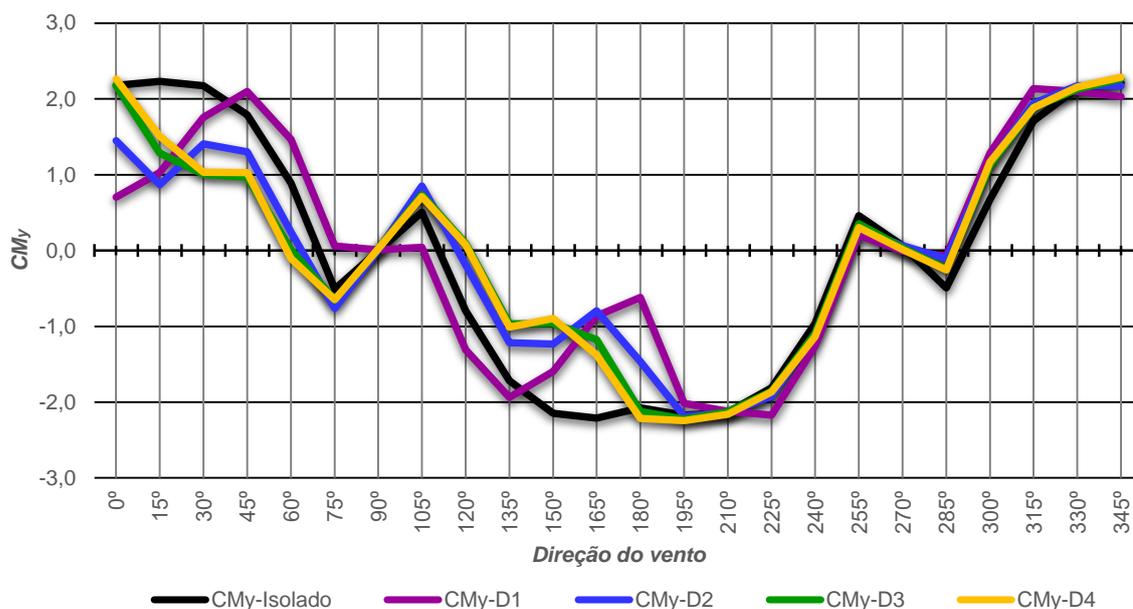


Figura 4.47: Coeficiente de flexão em torno do eixo Y - V7

Os dados apresentados na tabela 4.21 para a vizinhança V7, mostram que no caso da flexão em torno do eixo X, 45,8% dos resultados ficaram acima dos limites de norma, enquanto que para a flexão em torno do eixo Y são 33,0%. Destes resultados, 71,6% tem FV com índice concentrado na faixa de zero até 1,2.

Tabela 4.21: Resultados dos fatores de vizinhança para a flexão em torno dos eixos na vizinhança V7

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 < FV ≤ 1,4	1,4 < FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-MX-V7D1	24	4	16	4	4	-	-	-
FV-MY-V7D1		2	15	7	3	2	-	2
FV-MX-V7D2		4	11	9	6	3	-	-
FV-MY-V7D2		2	15	7	7	-	-	-
FV-MX-V7D3		3	10	11	6	3	2	-
FV-MY-V7D3		2	16	6	6	-	-	-
FV-MX-V7D4		2	8	14	7	4	3	-
FV-MY-V7D4		2	13	9	9	-	-	-

4.9 Resultados da vizinhança V8

A vizinhança V8 foi elaborada com a presença de quatro edifícios vizinhos posicionado lateralmente à barlavento da fachada F4 do CAARC Standard Tall Building, conforme pode ser observado na figura 4.48.

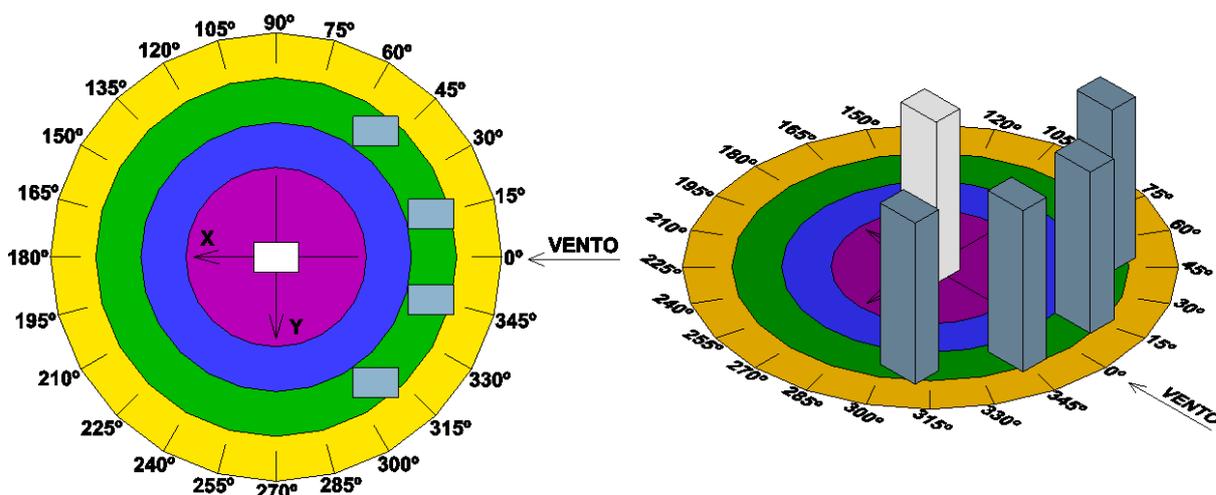


Figura 4.48: Direções do vento para a vizinhança V8

4.9.1 Resultante da força na direção dos eixos ordenados

A figura 4.44 apresenta os resultados dos coeficientes da força resultante na direção X para a vizinhança V8. Nela se pode observar que quando os edifícios vizinhos posicionados nos contornos D1 e D2 a força na direção do eixo X é menor que no caso do edifício isolado para as direções entre 0° e 30°. No caso dos contornos D3 e D4, para o ângulo 0° se observa que o esforço está elevado em relação ao modelo isolado, o que pode ter ocorrido devido ao efeito Venturi produzido pelos edifícios vizinhos centrais. Já para as direções entre 15° e 45° estes exercem um efeito de proteção, reduzindo os coeficientes de esforços. Para direções de 60° e 90°, observa-se que os vizinhos posicionados em D1 e D2 aumentam as pressões na edificação em estudo enquanto que para D3 e D4 os resultados indicam pouca influência destes. Entre 105° e 255° os valores dos coeficientes indicam pouca influência das edificações vizinhas que estão a sotavento da edificação em estudo

nestes casos. A partir de 180° os gráficos dos coeficientes de pressão indicam uma simetria no comportamento do fluxo do vento.

Os coeficientes de força na direção Y, apresentados pela figura 4.45, indicam uma pequena elevação da pressão para a direção de 15° quando os edifícios vizinhos estão a barlavento e posicionados no contorno D1. Para a direção de 45° os edifícios vizinhos posicionados em todos os contornos promovem a proteção do edifício em estudo, para a direção de 60° isto é verificado apenas nos contornos D1 e D2. Para a direção de 75°, enquanto posicionados no contorno D1 os vizinhos protegem o edifício em estudo, enquanto que para os demais contornos verifica-se a elevação da pressão. Tal elevação se estende até a direção de 105° enquanto que para vizinhos posicionados em D1 não é observada diferença significativa nas pressões comparadas para os modelos isolados, o que também ocorre para os demais contornos a partir da direção 120° até 180°. A partir da direção 180° é observado um comportamento antissimétrico pelos gráficos.

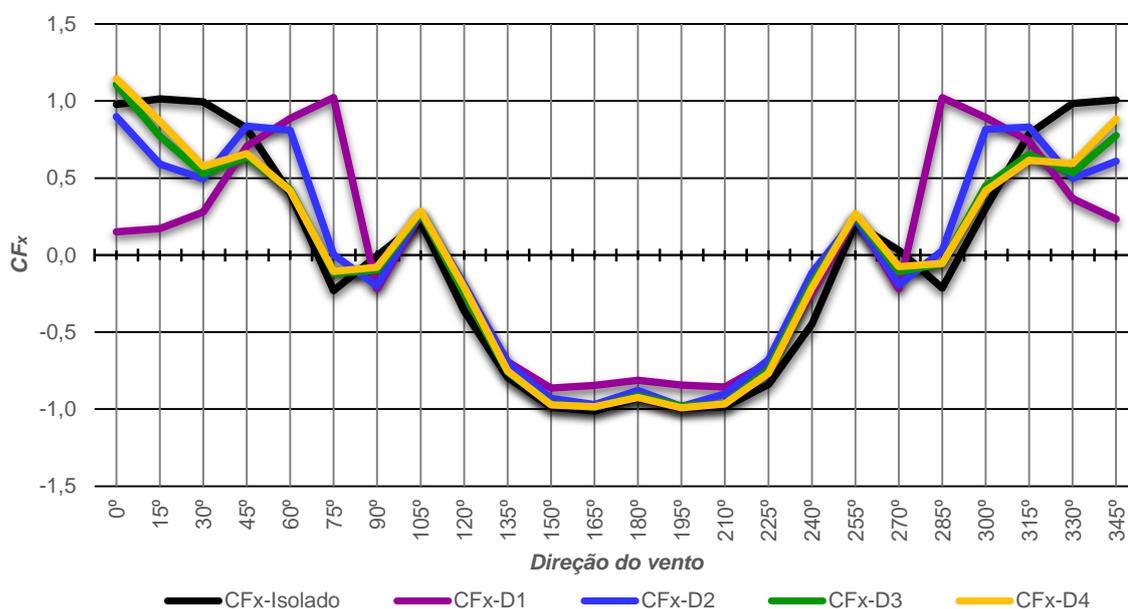


Figura 4.49: Coeficiente de força na direção do eixo X – V8

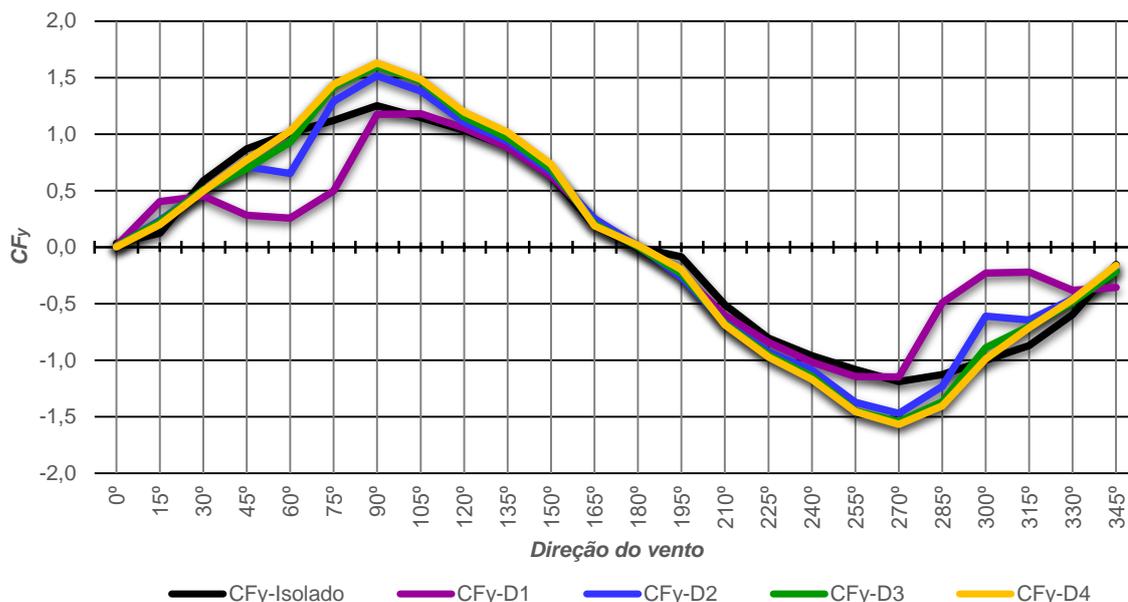


Figura 4.50: Coeficiente de força na direção do eixo Y – V8

Na tabela 4.22 observa-se que para a vizinhança V8 20,6% dos resultados para a força resultante na direção X e 55,2% para a força resultante na direção Y ultrapassaram a referência de norma e que para estes resultados os FV ficaram concentrados na faixa de intensidade de zero até 1,2 com 42,4% dos resultados e entre 1,2 e 1,4 com 51,5%.

Tabela 4.22: Resultados dos fatores de vizinhança para a força resultante na vizinhança V8

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 < FV ≤ 1,4	1,4 < FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-FX-V8D1	24	2	19	3	1	2	-	-
FV-FY-V8D1		3	18	3	1	2	-	-
FV-FX-V8D2		3	16	5	3	1	-	1
FV-FY-V8D2		2	7	15	7	8	-	-
FV-FX-V8D3		2	17	5	2	2	1	-
FV-FY-V8D3		2	7	15	6	7	-	2
FV-FX-V8D4		2	17	5	2	3	-	-
FV-FY-V8D4		2	7	15	6	9	-	-

4.9.2 Resultados dos coeficientes de torção

A figura 4.46 apresenta os coeficientes de torção para a vizinhança V8. O comportamento para as configurações de vizinhança propostas é próximo ao valor de referência para grande parte das direções. Ainda assim é possível visualizar algumas exceções como uma inversão de sentido de torção quando os edifícios vizinhos estão posicionados no limite do contorno D1 na direção do ângulo de 15°, além de uma amplificação de esforço para esta mesma configuração na direção dos ângulos 90° e 270°. Para as demais situações em que os valores não são próximos, os vizinhos promovem a proteção do edifício em estudo.

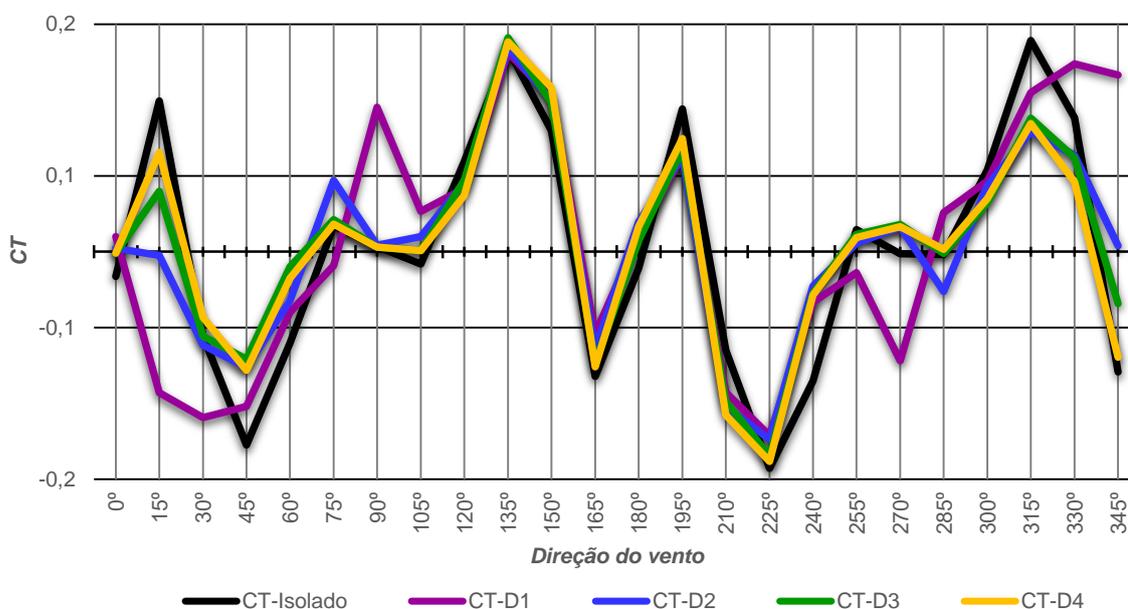


Figura 4.51: Coeficiente de torção – V8

De acordo com os dados apresentados pela tabela 4.23, 19,0% dos resultados ficaram acima dos limites de norma, o menor índice dentre as análises de torção. Neste caso a grande parte dos valores ficaram concentrados em FV até 1,4.

Tabela 4.23: Resultados dos fatores de vizinhança para a torção na vizinhança V8

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 <FV≤ 1,4	1,4 <FV≤ 1,6	FV > 1,6
FV-CT-V8D1	24	6	15	3	-	1	2	-
FV-CT-V8D2		5	13	6	2	3	1	-
FV-CT-V8D3		3	18	3	1	2	-	-
FV-CT-V8D4		3	18	3	2	1	-	-

4.9.3 Resultados dos coeficientes de flexão em torno dos eixos ordenados

A figura 4.47 mostra a flexão em torno do eixo X para a vizinhança V8. Pode-se observar que para os vizinhos posicionados no limite do contorno D1 os resultados são muito próximos aos de referência na maioria das direções, e para os intervalos 30°-90° e 270°-330° verifica-se que as edificações vizinhas promoveram a proteção da edificação em estudo. Os demais contornos apresentam valores acima dos de referência nos intervalos 75°-135° e 240°-285°. Os vizinhos posicionados no limite do contorno D2 apresentam efeito de proteção para as direções com ângulos de 60° e 300°. Nas demais direções, os esforços são similares aos de referência.

No caso da flexão em torno do eixo Y apresentada na figura 4.48, os resultados para todas as propostas de afastamento ficaram com esforços abaixo da referência nos intervalos 0°-45° e 315°-345°. A exceção se dá para a situação em que os vizinhos ficaram posicionados no limite do contorno D1 onde ocorrem valores acima da referência nas direções 60°, 75°, 285° e 300°, e para o contorno D2 nas direções 60° e 300°. Em todas as demais direções para todas as propostas de afastamento, os valores são próximos aos de referência.

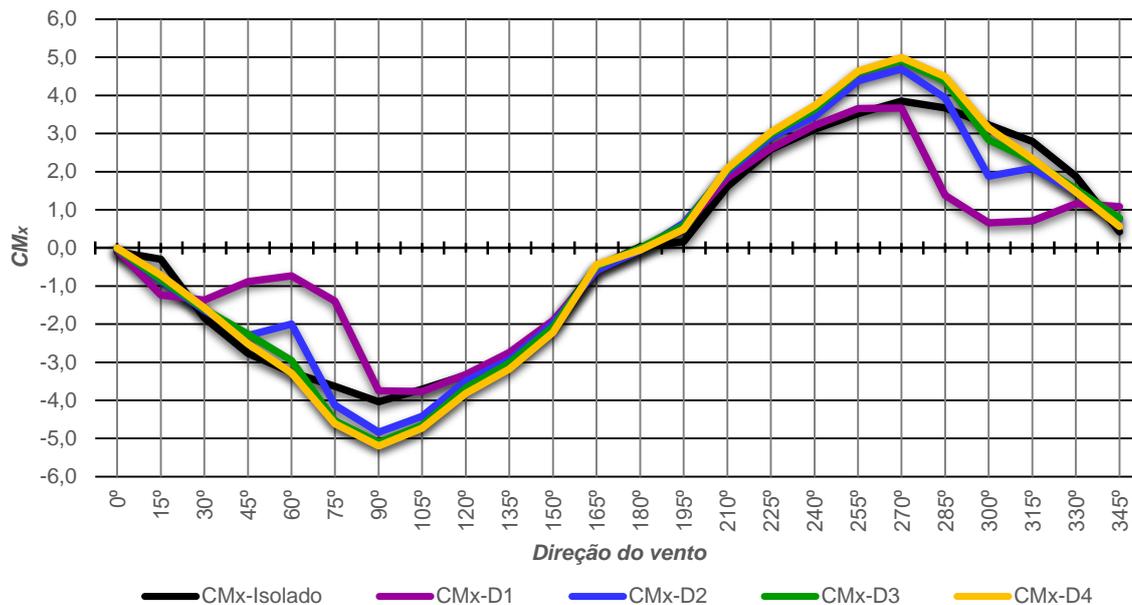


Figura 4.52: Coeficiente de flexão em torno do eixo X - V8

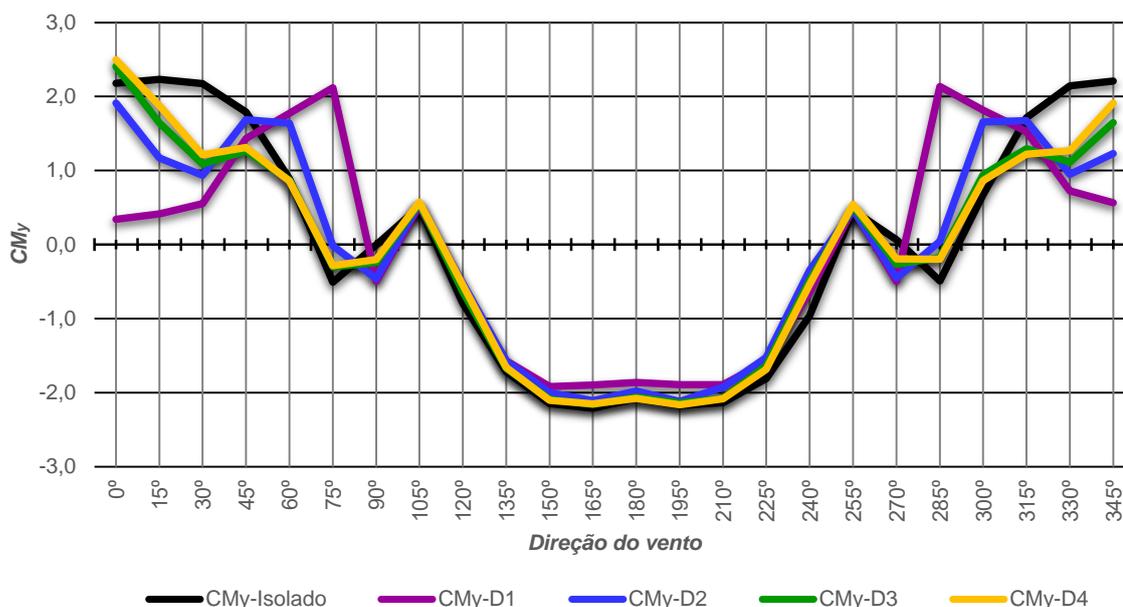


Figura 4.53: Coeficiente de flexão em torno do eixo Y - V8

A tabela 4.24 apresenta os resultados de flexão para a vizinhança V8. Pode-se observar novamente uma redução dos resultados que ultrapassaram os limites de norma atingindo 34,5% dos resultados. Destes, 56,9% tem FV com índice concentrados na faixa de zero até 1,2.

Tabela 4.24: Resultados dos fatores de vizinhança para a flexão em torno dos eixos na vizinhança V8

Vizinhança	Resultados	Resultados descartados	FV dentro dos limites de norma	FV acima dos limites de norma	Intensidade do FV fora dos limites de norma			
					FV ≤ 1,2	1,2 < FV ≤ 1,4	1,4 < FV ≤ 1,6	FV > 1,6
FV-MX-V8D1	24	4	18	2	2	-	-	-
FV-MY-V8D1		2	18	4	-	-	-	4
FV-MX-V8D2		5	6	13	10	3	-	-
FV-MY-V8D2		2	18	4	2	-	-	2
FV-MX-V8D3		4	8	12	6	6	-	-
FV-MY-V8D3		2	18	4	3	1	-	-
FV-MX-V8D4		3	7	14	6	8	-	-
FV-MY-V8D4		2	17	5	4	1	-	-

4.10 Discussão dos resultados analisados de acordo com cada contorno

Para este trabalho foram utilizados os parâmetros indicados no anexo G da ABNT (1988), NBR 6123, conforme explicados na seção 2.4 e que estão apresentados na íntegra no anexo A. No caso do esforço de torção, de maneira arbitrária, será adotada a mesma metodologia dos demais esforços em sua análise, e não o cálculo de excentricidade como é previsto pela norma brasileira. Em relação ao *CAARC Standard Tall Building*, a adaptação da aplicação dos parâmetros da norma brasileira tem como limites os afastamentos entre $0,15H$ e $1,0H$, onde H representa a altura da edificação, e fator de vizinhança variando entre 1,3 e 1,0 respectivamente, no caso de edificações.

Muitos pesquisadores realizaram trabalhos dentro deste intervalo proposto por norma. Aqui será feita a comparação exclusivamente em relação aos índices de influência das edificações vizinhas, encontrados em algumas pesquisas desenvolvidas com o *CAARC Standard Tall Building*.

Mais da metade das posições de vizinhança propostas por Thepmongkorn *et al.* (2002) estavam nesta faixa. Para uma única direção de vento, semelhante à direção

de 90° deste trabalho, encontraram índices de interferência de até 2,6 para o momento em torno do eixo X, índice de 3,4 para o momento em torno do eixo Y e índice de 1,9 para a torção. Estes valores foram encontrados para o vizinho posicionado a barlavento do edifício em estudo em uma direção frontal a este ou com pequeno deslocamento lateral. Tang e Kwok (2004) utilizaram configurações muito semelhantes às de Thepmongkorn e em suas avaliações para uma direção do vento equivalente à 90°, verificaram que a presença de uma edificação vizinha produziu deslocamentos na mesma direção do vento com índice de interferência de até 1,6 superior comparado com os deslocamentos para o edifício padrão isolado, 1,8 no caso de deslocamentos transversais, e na determinação do ângulo de torção eles encontraram o índice de 1,9. Oliveira (2009) trabalhou com afastamentos entre 0,25H até 0,6H. Estudando os efeitos dinâmicos da ação do vento atuando frontalmente à edificação, equivalente à direção 90° do presente trabalho, encontrou índices de incremento da resposta transversal, longitudinal e de torção na edificação superiores a 2,0, sendo que em alguns casos este índice atingiu níveis bem mais elevados. Fontoura (2014) trabalhou com afastamentos de 0,25H e 0,63H, porém, nas disposições propostas em seu trabalho haviam outras edificações com alturas diferentes e posicionamentos diferentes, simulando uma situação de zona urbana com diferentes tipos de construções. Muitos dos esforços estudados por ela atingiram índices de elevação de 1,6 para a força resultante, de 2,0 para a flexão na base e de 2,2 para o momento torçor.

Assim como nos trabalhos destes pesquisadores, pode-se constatar para todas as vizinhanças com afastamento dados pelo limite do contorno D1 propostas neste trabalho, tanto em situações onde estes vizinhos estavam à barlavento do edifício padrão quanto nas situações em que eles estavam posicionados à sotavento, grande parte dos resultados ultrapassaram os limites propostos pela norma em relação a todos os esforços analisados. Dos esforços estudados, o que menos contém resultados fora dos limites de norma é a torção com 34,5% conforme apresentado na tabela 4.25. Todos os demais esforços apresentaram no mínimo 46,0% dos resultados acima dos limites indicados pela norma. Utilizando o intervalo de confiança, comumente aplicado a resultados médios de parâmetros de engenharia, em que pelo menos 95% da população destes resultados deve ser contemplada, no caso de vizinhos com afastamento no limite do contorno D1, o FV a ser utilizado, considerando

todos os esforços seria um índice acima de 1,6 exceto para a torção onde o índice de 1,6 já atenderia a este esforço. Para os outros esforços a porcentagem de resultados fora do intervalo de confiança é pequena sendo de 5,6% para a força resultante na direção do eixo X, 1,9% para a força resultante na direção do eixo Y, 4,9% para a flexão em torno do eixo X e 7,7% para a flexão em torno do eixo Y. Estes resultados sugerem que apesar do índice de 1,6 não ser suficiente para atender estes esforços, um valor que atenderia a todos os esforços considerados não deve ser muito acima deste. Considerando que o FV com 1,6 é um valor abaixo do que outros pesquisadores encontraram, tal diferença pode ser atribuída às diferentes situações de turbulência e velocidade de vento que cada pesquisador considerou em seu trabalho.

No caso de edificações com vizinhos posicionados a uma distância superior a $1,0H$ era de se esperar que o fator de rugosidade utilizado no cálculo da velocidade característica do vento de projeto contemplasse as interferências de edificações vizinhas que estejam posicionadas nesta região. Nem as recomendações sobre o cálculo de excentricidade para determinação do efeito de torção, nem o anexo G fazem nenhuma consideração adicional para incremento de vizinhança nestas condições. Dessa forma, para qualquer esforço ou resposta da edificação em estudo, os valores dos coeficientes encontrados com a presença de tais vizinhos deveriam ser abaixo, ou no máximo próximos, aos da consideração de edificação isolada.

Thepmongkorn *et al.* (2002) em seu trabalho, também consideraram a presença de edificações vizinhas para afastamentos entre $1,0H$ e $1,5H$. Nestes casos foram encontrados índices de interferência de vizinhança de até 1,7 para o momento em torno do eixo X, de 2,3 para momento em torno do eixo Y e de 1,5 para torção, valores inferiores as situações com vizinhança mais próxima, mas ainda acima dos limites propostos pela norma brasileira. Tang e Kwok (2002) chegaram a índices da ordem de 1,7 para o deslocamento na direção do vento, 1,4 para deslocamentos transversais e de 1,8 para o ângulo de torção da edificação em estudo, valores próximos aos encontrados para vizinhos posicionados mais próximos.

No caso das propostas de vizinhos posicionados no limite do contorno D2, assim como em D1, a torção foi o esforço que menos apresentou resultados fora dos limites de norma, porém, neste caso se observa uma porcentagem ainda maior do que a anterior chegando a 47,4% dos valores válidos, conforme apresentado pela tabela

4.26. Todos os demais esforços tiveram acima de 62,2% dos resultados acima do limite de norma. Utilizando-se o mesmo princípio de intervalo de confiança para este caso apenas a torção seria atendida com a utilização de um FV com índice de 1,6. Este índice fica muito próximo aos índices encontrados por Thepmongkorn *et al.* (2002) e Tang e Kwok (2002) em seus trabalhos. O esforço que ficou com menor porcentagem atendida foi a flexão em torno do eixo Y com 87,3% dos resultados dentro do índice de 1,6, sugerindo que o índice para atender a todos os esforços não está muito acima deste valor.

Thepmongkorn *et al.* (2002) propuseram poucas situações em que o vizinho ficou na faixa de afastamento entre 1,5H e 2,0H. Nestes casos foram encontrados índices de interferência de vizinhança de até 1,4 para o momento em torno do eixo X, de 1,5 para momento em torno do eixo Y e de 1,3 para torção. Para esta região, Tang e Kwok (2004) encontraram índices de interferência da ordem de 1,4 para deslocamentos na direção do vento, 1,5 na direção transversal e de 1,6 para o ângulo de torção. Observa-se uma proximidade entre os índices de interferência em ambos os trabalhos.

Para a situação em que os vizinhos ficaram posicionados no limite do contorno D3, a torção continua sendo o esforço, dentre os estudados, que menos apresenta resultados fora dos limites de norma. Mesmo assim, pode ser observado um aumento significativo na quantidade de resultados acima desses limites para todos os esforços onde a torção apresentou 51,0% dos resultados acima e os demais esforços ficaram todos acima de 63,5% de acordo com os dados apresentados na tabela 4.27. Adotando-se o mesmo critério de intervalo de confiança, pode-se considerar que apenas a flexão na base em torno do eixo Y necessitaria de um índice acima de 1,6 já que 92,7% dos resultados ficariam dentro deste limite. Apesar da torção apresentar 94,8% dos resultados dentro deste índice, pode-se considerar que o critério foi atendido. Observa-se que este índice encontrado no presente trabalho ficou muito próximo aos índices encontrados por outros pesquisadores em situações semelhantes.

Por fim, as propostas de vizinhança posicionadas no limite do contorno D4 foram as que apresentaram a maior quantidade de resultados fora dos limites de norma onde, assim como para D3, a torção ficou com 53,4% dos resultados acima destes

limites e os demais esforços acima de 63,8%. Pelo critério de intervalo de confiança, apenas as flexões na base em torno dos eixos necessitariam de índices acima de 1,6 sendo que para a flexão em torno do eixo X, 93,8% dos resultados ficariam dentro deste limite e para a flexão em torno do eixo Y seriam 92,2% dos resultados.

Em seu trabalho Bênia (2013) chegou a estudar o efeito devido a edificações vizinhas a uma distância da ordem de 2,7H além de distâncias da ordem de 4,7H e 6,7H. Convém destacar que em seu trabalho ela considerou apenas uma direção de incidência de vento com as edificações vizinhas posicionadas à barlavento. Ela concluiu que para estas distâncias, efeitos dinâmicos como o martelamento, necessitariam de um estudo mais detalhado. Mas de acordo com seus dados, para estes afastamentos ocorrem picos de elevação nos efeitos do vento. Assim como ela, observou-se pelos valores encontrados, que são poucos os resultados que ultrapassam um índice de 1,6 para afastamentos da ordem de 2,5H.

As tabelas 4.25 a 4.28 apresentam os dados dos esforços para propostas de vizinhança posicionada nos contornos de D1 a D4 respectivamente. Estão indicadas as somas de todos os resultados obtidos em todos os ensaios. Foram destacadas a quantidade de resultados que ficaram dentro dos limites propostos pela norma NBR-6123, assim como os valores que ultrapassaram esses limites, inclusive indicando a porcentagem destes em relação aos resultados considerados. Como nas tabelas apresentadas anteriormente, os resultados dos FV que ultrapassaram os limites de norma estão divididos em quatro intervalos. Para cada intervalo delimitado no trabalho é apresentada uma coluna contendo a quantidade de resultados. Ao lado da coluna de resultados é apresentada a respectiva porcentagem destes resultados em relação ao total de resultados encontrados acima dos limites da norma brasileira. Em seguida é apresentada uma coluna contendo a porcentagem acumulada de resultados em relação ao total de leituras consideradas válidas, de maneira a se verificar a partir de qual índice os resultados estariam contemplados pelo intervalo de confiança (IC).

Tabela 4.25: Resultados para o contorno D1

Esforço	Resultados	Resultados descartados	FV dentro da norma	Intensidade do FV fora de norma																			
				FV fora de norma				FV ≤ 1,2				1,2 <FV≤ 1,4				1,4 <FV≤ 1,6				FV > 1,6			
				Resultados	(%)	Resultados	(%)	Resultados Acumulados (%)	Resultados	(%)	Resultados Acumulados (%)	Resultados	(%)	Resultados Acumulados (%)	Resultados	(%)	Resultados Acumulados (%)	Resultados	(%)				
FX-D1		13	85	94	52,5	17	18,1	57,0	34	36,2	76,0	24	25,5	89,4	19	20,2							
FY-D1		17	89	86	49,1	26	30,2	65,7	25	29,1	80,0	23	26,7	93,1	12	14,0							
T-D1	192	50	93	49	34,5	14	28,6	75,4	21	42,9	90,1	7	14,3	95,1	7	14,3							
MX-D1		20	92	80	46,5	19	23,8	64,5	23	28,8	77,9	21	26,3	90,1	17	21,3							
MY-D1		11	86	95	52,5	11	11,6	53,6	34	35,8	72,4	27	28,4	87,3	23	24,2							

Tabela 4.26: Resultados para o contorno D2

Esforço	Resultados	Resultados descartados	FV dentro da norma	Intensidade do FV fora de norma																			
				FV fora de norma				FV ≤ 1,2				1,2 <FV≤ 1,4				1,4 <FV≤ 1,6				FV > 1,6			
				Resultados	(%)	Resultados	(%)	Resultados Acumulados (%)	Resultados	(%)	Resultados Acumulados (%)	Resultados	(%)	Resultados Acumulados (%)	Resultados	(%)	Resultados Acumulados (%)	Resultados	(%)				
FX-D2		20	65	107	62,2	34	31,8	57,6	26	24,3	72,7	33	30,8	91,9	14	13,1							
FY-D2		16	52	124	70,5	43	34,7	54,0	53	42,7	84,1	22	17,7	96,6	6	4,8							
T-D2	192	59	70	63	47,4	27	42,9	72,9	25	39,7	91,7	6	9,5	96,2	5	7,9							
MX-D2		25	55	112	67,1	43	38,4	58,7	41	36,6	83,2	20	17,9	95,2	8	7,1							
MY-D2		14	64	114	64,0	33	28,9	54,5	31	27,2	71,9	31	27,2	89,3	19	16,7							

Tabela 4.27: Resultados para o contorno D3

Esforço	Resultados	Resultados descartados	FV dentro da norma	Intensidade do FV fora de norma																			
				FV fora de norma				FV ≤ 1,2				1,2 <FV≤ 1,4				1,4 <FV≤ 1,6				FV > 1,6			
				Resultados	(%)	Resultados	(%)	Resultados Acumulados (%)	Resultados	(%)	Resultados Acumulados (%)	Resultados	(%)	Resultados Acumulados (%)	Resultados	(%)	Resultados Acumulados (%)	Resultados	(%)				
FX-D3	192	15	63	114	64,4	32	28,1	53,7	39	34,2	75,7	35	30,7	95,5	8	7,0							
FY-D3		13	53	126	70,4	39	31,0	51,4	54	42,9	81,6	24	19,0	95,0	9	7,1							
T-D3		37	76	79	51,0	31	39,2	69,0	24	30,4	84,5	16	20,3	94,8	8	10,1							
MX-D3		18	49	125	71,8	45	36,0	54,0	49	39,2	82,2	25	20,0	96,6	6	4,8							
MY-D3		14	65	113	63,5	30	26,5	53,4	45	39,8	78,7	25	22,1	92,7	13	11,5							

Tabela 4.28: Resultados para o contorno D4

Esforço	Resultados	Resultados descartados	FV dentro da norma	Intensidade do FV fora de norma																			
				FV fora de norma				FV ≤ 1,2				1,2 <FV≤ 1,4				1,4 <FV≤ 1,6				FV > 1,6			
				Resultados	(%)	Resultados	(%)	Resultados Acumulados (%)	Resultados	(%)	Resultados Acumulados (%)	Resultados	(%)	Resultados Acumulados (%)	Resultados	(%)	Resultados Acumulados (%)	Resultados	(%)				
FX-D4	192	15	64	113	63,8	33	29,2	54,8	38	33,6	76,3	35	31,0	96,0	7	6,2							
FY-D4		18	44	130	74,7	34	26,2	44,8	62	47,7	80,5	26	20,0	95,4	8	6,2							
T-D4		29	76	87	53,4	37	42,5	69,3	26	29,9	85,3	20	23,0	97,5	4	4,6							
MX-D4		15	46	131	74,0	36	27,5	46,3	59	45,0	79,7	25	19,1	93,8	11	8,4							
MY-D4		12	62	118	65,6	36	30,5	54,4	38	32,2	75,6	30	25,4	92,2	14	11,9							

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O fator de vizinhança tem a função de majorar os esforços atuantes em uma edificação considerando a presença de outras edificações vizinhas. Atualmente a norma brasileira de vento é que determina os parâmetros a se considerar para satisfazer essas situações.

Após a realização de uma série de ensaios em túnel de vento, seguindo recomendações da própria norma para obtenção de resultados mais realísticos, estudou-se trinta e duas vizinhanças distintas. Foram oito disposições distintas de edifícios vizinhos onde, em cada situação, eles foram posicionados no limite de cada um dos contornos de estudo, quatro no total, seguindo alinhamentos pré-determinados. Dos quatro contornos propostos, um foi colocado atendendo aos limites de norma que estabelece que o diâmetro deve ser igual à altura da edificação, parâmetro este usado na determinação da excentricidade a ser dada à força de arrasto para considerar efeitos de torção na edificação, e os outros três foram previstos com diâmetros maiores aos considerados pela norma. Foram estudadas as forças resultantes na direção dos eixos da edificação, o momento fletor em torno desses mesmos eixos considerando-os na base da edificação e a torção em torno do centroide da seção transversal da edificação.

Apesar da norma estabelecer que, a partir de uma distância que fosse igual ou extrapolasse o limite do círculo com diâmetro igual a altura da edificação em estudo, as edificações vizinhas não promoveriam uma elevação dos esforços que justificasse a aplicação de um fator específico que a contemplasse, verificou-se que para todos os contornos considerados, inclusive o que a norma utiliza, as edificações vizinhas promoveram a elevação de todos os esforços estudados para distintas direções, inclusive nas direções de 0° e 90° utilizadas no cálculo de esforços segundo a norma. Ainda foi possível constatar que as elevações de esforços ocorreram tanto nos casos em que os vizinhos estavam posicionados à barlavento quanto para as situações em que estes estavam à sotavento.

De acordo com a norma, qualquer edificação próxima a de estudo que estivesse fora do limite por ela preconizado, estaria contemplada pelo fator de rugosidade que

altera a velocidade característica do vento considerando a rugosidade do terreno e as dimensões da edificação. Desta forma, segundo os resultados coletados neste trabalho, fica claro que a simples utilização do fator de rugosidade não atende de maneira satisfatória os esforços atuantes na edificação de estudo.

Sendo assim, fica evidente a necessidade de revisão de alguns dos parâmetros que são utilizados atualmente pela norma. Primeiramente, a distância que a norma considera que uma edificação vizinha deve estar da edificação de estudo para ser necessária a utilização de um fator de vizinhança deve ser estendida, uma vez que se verificou a significativa influência de edificações vizinhas posicionadas no limite de contornos que tinham diâmetro equivalente a duas vezes e meia a altura da edificação de estudo, ou seja, um diâmetro 250% maior que o que hoje é considerado pela norma.

Além disto, o fator de vizinhança praticado atualmente também se mostra aquém da realidade. Para atender os casos estudados neste trabalho, já considerando a influência da rugosidade do terreno, este fator deveria ter, no mínimo, o valor de 1,6 para considerar a maioria dos efeitos produzidos pela presença das edificações vizinhas que estiverem posicionadas até o limite de um contorno com diâmetro igual a 2,5H.

Uma vez que este trabalho é uma contribuição no campo de estudo dos efeitos da presença de edificações vizinhas, faz-se necessária a ampliação de estudos neste campo da ciência. Desta forma, para a elaboração de trabalhos que procurem fornecer informações a respeito da influência de edificações vizinhas, ficam as seguintes propostas:

- Elaborar disposições de vizinhança considerando edificações a barlavento e a sotavento simultaneamente.
- Elaborar disposições com variação das dimensões das seções transversais tanto da edificação em estudo, quanto das edificações vizinhas.
- Elaborar disposições de vizinhança em que as edificações vizinhas não estivessem posicionadas em um único contorno, mas com a presença de modelos mudos em diferentes distâncias simultaneamente.

- Elaborar disposições de vizinhança onde os modelos mudos tivessem altura variada.
- Considerar um modelo aeroelástico como edificação de estudo fazendo uma análise dinâmica.
- Considerar modelos com aberturas ou alterações de fachadas simulando esquadrias, pilotis e sacadas.
- Buscar simular os resultados aqui encontrados em um pacote computacional pronto, ou elaborar uma ferramenta computacional capaz de analisar com fidedignidade o problema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTI, F. A. **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.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre. 123p. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações.** Rio de Janeiro. 66p. 1988.

BAILEY, P. A. e KWOK, K. C. S. **Interference excitation of twin tall buildings.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 21 ed., p. 323-338. 1985

BARTOLI, G., MANNINI, C. e MASSAI, T. **Quasi-static combination of wind loads: A copula-based approach.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 99 ed., p. 672-681. 2011.

BENIA, M. C. D. **Determinação dos Efeitos de Vizinhança na Resposta Dinâmica de Edifícios Altos sob a Ação do Vento.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre. 111p. 2013.

BLAISE, N., e DENOËL, V. **Principal static wind loads.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 113 ed., p. 29-39. 2013.

BLESSMANN, J. **Ação do vento em edifícios.** Ed. UFRGS, Porto Alegre, 1989.

— **Aerodinâmica das Construções.** Sagra, Porto Alegre, 1990.

— **Intervalo de tempo para cálculo da velocidade básica do vento.** 3ª. Ed. UFRGS, Porto Alegre, 1988.

— **Introdução ao estudo das ações dinâmicas do vento.** 2ª. Ed. UFRGS, Porto Alegre, 2005.

— **Buffeting effects on neighbouring tall buildings.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 18 ed., p. 105-110. 1985.

— **Neighbouring wind effects on two tall buildings.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 41-44 ed., p. 1041-1052. 1992.

— **O vento na engenharia estrutural.** Ed. UFRGS, Porto Alegre, 1995.

BLESSMANN, J., e RIERA, J. D. **Interaction effects in neighbouring tall buildings.** FIFHT INTERNATIONAL CONFERENCE. Pergamon Press Inc. Amsterdam, v. I, p. 381-396. 1979.

— **Wind Excitation of Neighbouring Tall Buildings.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, v. 18, p. 91-103. 1985.

BLOCKEN, B., CARMELIET, J. e STATHOPOULOS, T. **CFD evaluation of wind speed conditions in passages between parallel buildings – effect of wall-function roughness modifications for the atmospheric boundary layer flow.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 95 ed., p. 941-962. 2007.

BLOCKEN, B., STATHOPOULOS, T. e CARMELIET, J. **Wind environmental conditions in passages between two long narrow perpendicular buildings.** Journal of Aerospace Engineering – ASCE, 21(4) ed., p. 280-287. 2008.

BORTOLI, M. E. **Efeito do entorno urbano sobre as ações do vento em edifícios.** Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre. 214p. 2005.

CARPEGGIANI, E. A. **Determinação dos Efeitos Estáticos de Torção em Edifícios Altos Devidos à Ação do Vento.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre. 160p. 2004.

CHO, K., HONG, S. e HWANG, K. S. **Effects of Neighboring Building on Wind Loads.** CTBUH Research Paper. Seoul, p. 516-523. 2004.

COOK, N. J., e MAYNE, J. R. **A novel working approach to the assessment of wind loads for equivalent static design.** Journal of Industrial Aerodynamics, 4 ed., p. 149-164. 1979.

DALGLIESH, W. A. **Comparison of model/ful-scale wind pressures on a high-rise building.** Symposium on Full-Scale Measurements of Wind Effects on Tall Buildings

and Other Structures. *Journal of Industrial Aerodynamics*, University of Western, Ontario, p. 55-66. 1975.

DALLEY, S., e RICHARDSON, G. **Reference static pressure measurements in wind tunnels.** *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 41-44 ed., p. 909-920. 1992.

ELSHARAWY, GALAL, M., K. e STATHOPOULOS, T. **Torsional and shear wind loads on flat-roofed buildings.** *Engineering Structures*, 84 ed., p. 313-324. 2015.

ENGLISH, E. C. **Shielding Factors From Wind-Tunnel Studies of Prismatic Structures.** *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 36 ed., p. 611-619. 1990

FONTES, A. C. D. **Importância dos efeitos de vizinhança na resposta dinâmica de um edifício à ação do vento.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre. 155p. 2003.

FONTOURA, P. C. C. N. O. **Estudo experimental em túnel de vento dos efeitos de vizinhança em edifícios altos.** Tese de doutorado, Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil. Brasília. 318p. 2014.

Fundo de População das Nações Unidas. **Situação da população mundial 2007: Desencadeando o Potencial do Crescimento Urbano.** Nova Iorque, 2008.

GONÇALVES, J. C. S. **The tall building and the city: the discussion about urban sustainability.** Conference on Passive and Low Energy Architecture. Eindhoven, 6p. 2004.

HARRIS, C. L. **Influence of neighboring structures on the wind pressure on tall buildings.** *Bureau of Standards Journal of Research*, p. 103-118. 1934.

HOLMES, J. D. **Effective static load distributions in wind engineering.** *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90 ed., p. 91-109. 2002.

—. **Wind loading of structures.** Spon Press. London. 2004.

HUI, Y., TAMURA, Y., YOSHIDA, A. e KIKYCHI, H. **Pressure and flow field investigation of interference effects on external pressures between high-rise**

buildings. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 115 ed., p. 150-161. 2013.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 1940-2010.** Site do IBGE. 15 de setembro de 2015. <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/> (acesso em 15 de setembro de 2015).

INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE. EUROCÓDIGO. **Eurocódigo 1 - Ações em estruturas. Parte 1-4: Ações gerais - Ações do vento.** Caparica. 162p. 2010.

JANA, D., BHADURI, T. e DALUI, S. K. **Numerical study of optimization of interference effect on pentagonal plan shaped tall building.** Asian Journal of Civil Engineering, 8 ed., p. 1123-1153. 2015.

KAREEM, A. **The effect of aerodynamic interference on the dynamic response of prismatic structures.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 25 ed., p. 365-372. 1987.

KHANDURI, A. C., STATHOPOULOS, T. e BEDARD, C. **Wind-induced interference effects on buildings - a review of the state-of-the-art.** Engineering Structures, 7 ed. p. 617-630. 1998.

KIM, W., YOSHIDA, A. e TAMURA, Y. **Variability of Local Wind Forces on Tall Buildings due to Neighboring Tall Building.** 14th International Conference on Wind Engineering. Porto Alegre, 12p. 2015.

KIM, W., TAMURA, Y. e YOSHIDA, A. **Interference effects on aerodynamic wind forces between two buildings.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 147 ed., p. 186-201. 2015.

LAM, K. M., ZHAO, J. G. e LEUNG, M. Y. H. **Interference effects on wind loading of a row of closely spaced tall buildings.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 96 ed., p. 562-583. 2008.

—. **Wind-induced loading and dynamic response of a row of tall buildings under strong interference.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 99 ed., p. 573-583. 2011.

LIM, J., e BIENKIEWICZ, B. **Wind tunnel investigation of correlation and coherence of wind loading on generic tall twin buildings in close proximity.** Wind and Structures, vol. 18, p. 443-456. 2014.

LOREDO-SOUZA, A. M., SCHETTINI, E. B. C. e PALUCH, M. J. **Simulação da camada limite atmosférica em túnel de vento.** IV Escola de Primavera de Transição e Turbulência. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 27p. 2004.

LOREDO-SOUZA, A. M., NUNEZ, G. J. Z., OLIVEIRA, M. G. K., SIQUEIRA, G. M. e BENIA, M. C. D. **Majorações e Reduções nas Cargas de Vento em Edifícios Altos de Concreto Armado: Influência de Prédios Vizinhos.** 51º Congresso Brasileiro de Concreto CBC 2009 - IBRACON. Curitiba. 16p. 2012.

MELBOURNE, W. H. **Comparison of measurements on the CAARC Standard Tall Building model in simulated model wind flows.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 6 ed., p. 79-88. 1980.

OLIVEIRA, M. G. K. **Desenvolvimento de uma Balança Dinâmica de Três Graus de Liberdade para Estudos dos Efeitos de Flexo-Torção em Edifícios Altos Submetidos à Ação do Vento.** Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre. 207p. 2009.

REINHOLD, T. A., TIELEMAN, H. W. e MAHER, F. J. **Interaction of square prisms in two flow fields.** Journal of Industrial Aerodynamics, v. 2, p. 223-241. 1977.

SALES, J. J. , MALITE, M. e GONÇALVES, R. M. **Ação do Vento nas Edificações.** EDUSP, São Carlos. 111P. 1994.

SONG, J., e TSE, K. T. **Dynamic characteristics of wind-excited linked twin buildings based on a 3-dimensional analytical model.** Engineering Structures, 79 ed. p. 169-181. 2014.

SONG, J., TSE, K. T. TAMURA, Y. e KAREEM, A. **Aerodynamics of closely spaced buildings: With application to linked buildings.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 149 ed., p. 1-16. 2016.

TANG, U. F., e KWOK, K. C. S. **Interference excitation mechanisms on a 3DOF aeroelastic CAARC building model.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, v. 92, p. 1299-1314. 2004.

TANIIKE, Y. **Interference mechanism for enhanced wind forces on neighboring tall buildings.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 41-44 ed., p. 1073-1083. 1992.

TANIIKE, Y., e INAOKA, H. **Aeroelastic behavior of tall buildings in wakes.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, v. 28, p. 317-327. 1988.

THEPMONGKORN, S., WOOD, G. S. e KWOK, K. C. S. **Interference effects on wind-induced coupled motion of a tall building.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, v. 90, p. 1807-1815. 2002.

TREIN, C. A. **Modelagem dinâmica equivalente de edifícios altos submetidos à ação do vento.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre. 154p. 2005.

TUTAR, M., e OGUZ, G. **Large eddy simulation of wind flow around parallel buildings with varying configurations.** Fluid Dynamics Research, 31 ed., p. 289-315. 2002.

WISE, A. F. E. **Effects due to groups of buildings.** Philosophical Transactions of the Royal Society, p. 469-485. 1971.

XIE, Z. N., e GU, M. **Mean interference effects among tall buildings.** Engineering Structures, v. 26, p. 1173-1183. 2004.

—. **Simplified formulas for evaluation of wind-induced interference effects among three tall buildings.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 95 ed., p. 31-52. 2007.

YAHYAI, M., KUMAR, K., KRISHNA, P. e PANDE, P. K. **Aerodynamic interference in tall rectangular buildings.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, v. 41-44, p. 859-866. 1992.

ZHANG, W. J., KWOK, K. C. S. e XU, Y. L. **Aeroelastic torsional behaviour of tall buildings in wakes.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 51 ed., p. 229-248. 1994.

ZHANG, W. J., XU, Y. L. e KWOK, K. C. S. **Interference effects on aeroelastic torsional response of structurally asymmetric tall buildings.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 57 ed., p. 41-61. 1995.

ZHOU, Y., GU, M. e XIANG, H. **Alongwind static equivalent wind loads and responses of tall buildings. Part I: Unfavorable distributions of static equivalent wind loads.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 79 ed., p. 135-150. 1999.

— **Alongwind static equivalent wind loads and responses of tall buildings. Part II: Effects of mode shapes.** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 79 ed., p. 151-158. 1999.

APENDICE A – COEFICIENTES DE FORÇA RESULTANTE

Quadro A - 1: Coeficientes de força resultante nas direções dos eixos para vizinhança V1

CFR-V1D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,31	1,39	1,33	1,08	0,73	0,55	0,01	-0,55
CFy	0,02	0,24	0,66	0,87	0,94	0,63	-0,12	0,53
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,66	-1,05	-1,29	-1,36	-1,31	-1,43	-1,45	-1,23
CFy	0,90	0,87	0,66	0,25	-0,02	-0,28	-0,88	-1,27
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	1,29	1,69	0,58	1,55	2,01	1,65	1,56	1,47
CFy	1,41	1,24	1,26	1,20	1,42	1,55	1,62	1,72
CFR-V1D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,38	1,48	1,48	1,20	0,76	0,47	0,00	-0,51
CFy	-0,03	0,32	0,87	1,15	1,25	0,96	0,21	0,96
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,77	-1,12	-1,33	-1,37	-1,27	-1,38	-1,39	-1,13
CFy	1,14	1,03	0,73	0,24	0,01	-0,26	-0,80	-1,21
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,52	0,29	-0,01	-0,27	0,60	1,24	1,46	1,46
CFy	-1,30	-1,30	-1,41	-1,30	-1,34	-1,21	-0,81	-0,19
CFR-V1D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,35	1,42	1,38	1,04	0,70	0,33	0,01	-0,29
CFy	-0,03	0,20	0,79	1,02	1,25	1,10	0,73	1,11
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,67	-1,10	-1,35	-1,36	-1,28	-1,38	-1,38	-1,19
CFy	1,26	1,12	0,79	0,24	-0,01	-0,14	-0,73	-1,16
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,70	0,27	0,02	-0,26	0,57	1,23	1,46	1,42
CFy	-1,29	-1,38	-1,55	-1,42	-1,40	-1,26	-0,82	-0,19
CFR-V1D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,34	1,45	1,41	1,17	0,68	0,14	0,03	-0,17
CFy	-0,01	0,24	0,82	1,14	1,30	1,23	0,82	1,18
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,65	-1,12	-1,37	-1,40	-1,30	-1,38	-1,40	-1,18
CFy	1,32	1,17	0,82	0,26	-0,02	-0,18	-0,71	-1,18
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,54	0,29	-0,01	-0,28	0,57	1,20	1,46	1,43
CFy	-1,32	-1,44	-1,60	-1,46	-1,37	-1,23	-0,80	-0,13

Quadro A - 2: Coeficientes de força resultante nas direções dos eixos para vizinhança V2

CFR-V2D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,32	1,24	-0,01	-0,12	-0,42	-0,27	0,00	0,32
CFy	0,02	-0,17	0,11	0,79	1,39	1,53	1,58	1,62
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,27	-1,11	-1,45	-1,39	-1,17	-1,20	-1,21	-1,12
CFy	1,52	1,48	1,19	0,56	0,02	-0,12	-0,70	-0,96
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	1,14	1,34	-0,21	-1,75	3,69	1,76	1,47	1,37
CFy	1,43	1,42	1,43	1,48	1,55	1,36	1,14	0,02
CFR-V2D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,29	1,27	0,27	-0,12	-0,23	-0,30	-0,03	0,32
CFy	0,01	-0,12	0,34	1,16	1,35	1,53	1,66	1,59
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,37	-1,10	-1,38	-1,31	-1,16	-1,21	-1,16	-1,01
CFy	1,49	1,37	1,02	0,38	0,00	-0,13	-0,62	-1,05
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,47	0,30	-0,06	-0,01	0,91	1,34	1,44	1,38
CFy	-1,35	-1,53	-1,71	-1,59	-1,52	-1,23	-0,74	-0,14
CFR-V2D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,30	1,32	0,62	0,22	0,13	-0,29	-0,02	0,31
CFy	0,01	0,02	0,50	1,17	1,41	1,55	1,71	1,61
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,40	-1,12	-1,37	-1,32	-1,21	-1,26	-1,20	-1,02
CFy	1,52	1,39	0,98	0,34	-0,01	-0,11	-0,65	-1,05
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,50	0,30	-0,03	-0,14	0,92	1,35	1,46	1,40
CFy	-1,34	-1,51	-1,73	-1,59	-1,58	-1,30	-0,79	-0,16
CFR-V2D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,33	1,35	0,69	0,33	0,25	-0,29	-0,03	0,32
CFy	0,01	0,06	0,57	1,21	1,41	1,57	1,73	1,64
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,44	-1,12	-1,38	-1,34	-1,20	-1,26	-1,20	-1,01
CFy	1,58	1,38	0,99	0,33	0,01	-0,13	-0,65	-1,05
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,45	0,31	-0,03	-0,12	0,94	1,40	1,47	1,41
CFy	-1,33	-1,56	-1,75	-1,64	-1,60	-1,31	-0,80	-0,16

Quadro A - 3: Coeficientes de força resultante nas direções dos eixos para vizinhança V3

CFR-V3D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,43	1,38	1,34	1,24	0,21	0,16	0,00	0,35
CFy	0,01	-0,18	0,02	-0,12	-0,15	0,49	1,39	1,43
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,24	-0,93	-1,35	-1,40	-1,25	-1,34	-1,34	-1,05
CFy	1,34	1,22	1,05	0,61	0,11	-0,30	-0,82	-1,17
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	1,11	1,13	-1,19	0,17	3,42	1,95	1,62	1,45
CFy	1,31	1,18	1,26	1,37	1,62	1,58	1,41	0,71
CFR-V3D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,37	1,38	1,38	0,87	0,15	-0,34	-0,09	0,33
CFy	0,03	-0,03	0,23	0,11	0,41	1,45	1,61	1,52
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,35	-1,05	-1,39	-1,38	-1,22	-1,29	-1,28	-0,95
CFy	1,45	1,34	1,04	0,44	0,00	-0,19	-0,73	-1,05
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,46	0,33	-0,01	-0,10	0,94	1,42	1,51	1,44
CFy	-1,16	-1,43	-1,64	-1,57	-1,57	-1,33	-0,79	-0,12
CFR-V3D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,36	1,38	1,40	0,67	-0,14	-0,29	-0,04	0,32
CFy	0,00	0,04	0,42	0,45	1,19	1,54	1,69	1,54
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,38	-1,10	-1,40	-1,36	-1,20	-1,27	-1,23	-0,96
CFy	1,47	1,36	1,01	0,38	-0,01	-0,14	-0,67	-1,00
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,44	0,29	-0,01	-0,19	0,83	1,38	1,49	1,41
CFy	-1,22	-1,45	-1,70	-1,56	-1,54	-1,32	-0,82	-0,16
CFR-V3D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,36	1,35	1,39	0,69	-0,09	-0,26	-0,03	0,33
CFy	0,02	0,09	0,48	0,55	1,27	1,55	1,71	1,55
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,41	-1,12	-1,43	-1,35	-1,22	-1,27	-1,25	-0,98
CFy	1,47	1,37	1,03	0,37	-0,01	-0,14	-0,69	-1,02
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,45	0,28	-0,01	-0,20	0,89	1,40	1,50	1,40
CFy	-1,25	-1,47	-1,71	-1,58	-1,58	-1,32	-0,83	-0,14

Quadro A - 4: Coeficientes de força resultante nas direções dos eixos para vizinhança V4

CFR-V4D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,43	1,55	1,60	1,32	0,08	-0,19	0,00	0,18
CFy	-0,03	0,26	0,48	0,54	0,76	1,04	1,42	1,07
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	0,00	-1,08	-1,58	-1,50	-1,35	-1,42	-1,50	-1,31
CFy	0,76	0,57	0,44	0,27	-0,05	-0,10	-0,79	-1,21
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	1,79	0,49	0,80	0,78	2,63	1,74	1,59	1,47
CFy	1,40	1,23	1,08	1,18	1,41	1,49	1,45	1,09
CFR-V4D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,41	1,52	1,53	1,36	1,04	0,27	0,06	-0,19
CFy	-0,04	0,31	0,84	0,90	0,57	0,60	1,10	0,63
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,94	-1,34	-1,51	-1,47	-1,32	-1,41	-1,46	-1,25
CFy	0,52	0,84	0,82	0,35	-0,02	-0,13	-0,77	-1,19
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,68	0,20	0,01	-0,22	0,68	1,30	1,51	1,47
CFy	-1,30	-1,33	-1,34	-1,36	-1,36	-1,26	-0,83	-0,16
CFR-V4D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,39	1,51	1,53	1,30	0,97	0,46	0,01	-0,40
CFy	-0,03	0,30	0,93	1,17	1,00	0,68	0,84	0,66
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,93	-1,26	-1,49	-1,47	-1,31	-1,37	-1,42	-1,23
CFy	0,95	1,14	0,95	0,36	-0,04	-0,12	-0,73	-1,17
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,63	0,22	0,01	-0,25	0,62	1,25	1,49	1,44
CFy	-1,29	-1,38	-1,45	-1,43	-1,37	-1,23	-0,80	-0,14
CFR-V4D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,39	1,52	1,54	1,29	0,87	0,48	0,00	-0,43
CFy	-0,04	0,34	0,99	1,25	1,19	0,80	0,79	0,74
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,86	-1,24	-1,50	-1,47	-1,30	-1,41	-1,44	-1,23
CFy	1,15	1,24	1,02	0,38	-0,03	-0,14	-0,74	-1,18
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,60	0,25	0,00	-0,28	0,60	1,25	1,52	1,47
CFy	-1,33	-1,40	-1,48	-1,42	-1,36	-1,25	-0,83	-0,14

Quadro A - 5: Coeficientes de força resultante nas direções dos eixos para vizinhança V5

CFR-V5D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	0,35	0,25	0,47	0,72	0,84	0,87	-0,18	0,32
CFy	-0,04	0,35	0,28	0,22	0,16	0,40	1,21	1,23
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,16	-0,80	-1,08	-1,02	-0,90	-0,93	-0,89	-0,71
CFy	1,17	1,12	0,86	0,34	-0,01	-0,15	-0,57	-0,78
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	0,64	1,09	1,10	1,10	1,10	1,11	1,07	0,98
CFy	1,02	1,05	1,08	1,15	1,11	0,92	0,99	0,50
CFR-V5D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	0,77	0,28	0,31	0,57	0,43	-0,27	-0,13	0,34
CFy	0,09	0,36	0,45	0,40	0,48	1,20	1,50	1,58
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,29	-0,83	-1,10	-1,06	-0,92	-0,93	-0,88	-0,69
CFy	1,44	1,24	0,87	0,37	0,00	-0,05	-0,49	-0,78
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,25	0,24	-0,05	0,23	0,69	1,03	1,13	1,10
CFy	-0,98	-1,20	-1,34	-1,26	-1,11	-0,92	-0,58	-0,12
CFR-V5D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,03	0,52	0,26	0,40	0,19	-0,23	-0,06	0,29
CFy	0,01	0,31	0,45	0,55	0,75	1,24	1,47	1,37
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,30	-0,85	-1,10	-1,05	-0,93	-0,93	-0,87	-0,69
CFy	1,20	1,13	0,83	0,33	-0,01	-0,08	-0,48	-0,77
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,29	0,25	-0,02	0,06	0,65	1,05	1,14	1,12
CFy	-1,01	-1,21	-1,35	-1,27	-1,13	-0,98	-0,60	-0,11
CFR-V5D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,05	0,64	0,27	0,34	0,09	-0,24	-0,06	0,31
CFy	-0,01	0,28	0,40	0,61	0,94	1,35	1,58	1,46
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,30	-0,88	-1,10	-1,06	-0,94	-0,94	-0,88	-0,69
CFy	1,27	1,13	0,81	0,31	0,01	-0,07	-0,49	-0,78
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,29	0,24	-0,04	0,06	0,65	1,07	1,15	1,13
CFy	-1,01	-1,25	-1,35	-1,27	-1,15	-0,97	-0,58	-0,10

Quadro A - 6: Coeficientes de força resultante nas direções dos eixos para vizinhança V6

CFR-V6D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	0,39	0,57	0,74	0,87	0,73	0,14	-0,25	0,18
CFy	0,13	0,59	0,47	0,40	0,41	0,78	1,24	1,07
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	0,03	-0,96	-1,20	-1,05	-1,02	-1,00	-1,00	-0,88
CFy	0,62	0,33	0,29	0,03	-0,03	-0,01	-0,57	-0,86
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	1,13	0,76	0,96	1,06	1,12	1,17	1,10	0,96
CFy	1,07	0,97	0,91	1,03	1,08	0,97	1,15	0,57
CFR-V6D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	0,71	0,33	0,42	0,49	0,13	-0,24	-0,03	-0,17
CFy	0,12	0,50	0,56	0,55	0,76	1,25	1,39	0,91
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,87	-1,24	-1,26	-1,13	-0,98	-0,98	-0,99	-0,81
CFy	0,54	0,81	0,71	0,23	-0,01	-0,05	-0,52	-0,87
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,40	0,20	-0,02	0,07	0,59	0,99	1,16	1,13
CFy	-1,03	-1,17	-1,28	-1,14	-1,06	-0,90	-0,58	-0,16
CFR-V6D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,03	0,57	0,41	0,45	0,09	-0,19	0,05	-0,32
CFy	-0,02	0,42	0,61	0,72	1,00	1,34	1,39	0,94
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,89	-1,16	-1,22	-1,11	-1,00	-1,00	-0,97	-0,83
CFy	0,85	1,05	0,85	0,27	-0,02	-0,05	-0,48	-0,83
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,39	0,23	-0,02	0,01	0,52	1,02	1,16	1,15
CFy	-1,06	-1,21	-1,29	-1,18	-1,05	-0,95	-0,60	-0,11
CFR-V6D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,08	0,69	0,51	0,49	0,15	-0,16	0,06	-0,30
CFy	-0,05	0,42	0,61	0,74	1,03	1,37	1,45	1,04
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,82	-1,12	-1,19	-1,11	-1,00	-1,00	-0,98	-0,81
CFy	1,01	1,14	0,84	0,24	0,00	-0,05	-0,51	-0,84
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,38	0,23	-0,03	0,03	0,60	1,06	1,18	1,14
CFy	-1,05	-1,22	-1,31	-1,23	-1,08	-0,95	-0,58	-0,08

Quadro A - 7: Coeficientes de força resultante nas direções dos eixos para vizinhança V7

CFR-V7D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	0,33	0,45	0,82	1,02	0,69	-0,03	0,02	0,11
CFy	0,06	0,46	0,50	0,51	0,47	0,95	1,40	1,00
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,60	-0,91	-0,72	-0,35	-0,27	-0,93	-0,99	-1,01
CFy	0,51	0,53	0,51	0,46	0,02	-0,27	-0,60	-0,89
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	1,34	0,26	0,59	-0,20	0,54	1,28	1,01	0,94
CFy	1,15	1,09	1,05	1,02	1,05	1,00	0,95	0,48
CFR-V7D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	0,68	0,35	0,60	0,64	0,10	-0,35	0,02	0,43
CFy	0,11	0,51	0,57	0,58	0,85	1,47	1,67	1,49
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,04	-0,58	-0,51	-0,30	-0,67	-1,02	-1,01	-0,89
CFy	0,89	0,60	0,58	0,49	0,10	-0,10	-0,52	-0,87
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,52	0,10	0,05	0,03	0,57	0,92	1,04	1,03
CFy	-1,12	-1,32	-1,46	-1,30	-1,10	-0,85	-0,49	-0,05
CFR-V7D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	0,99	0,54	0,43	0,47	0,02	-0,28	0,03	0,36
CFy	-0,02	0,39	0,55	0,75	1,17	1,62	1,82	1,60
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	0,07	-0,43	-0,40	-0,47	-0,95	-1,02	-1,00	-0,87
CFy	1,21	0,79	0,57	0,40	-0,02	-0,06	-0,50	-0,88
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,51	0,14	0,04	-0,05	0,55	0,91	1,02	1,06
CFy	-1,17	-1,35	-1,49	-1,34	-1,16	-0,88	-0,50	-0,03
CFR-V7D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,03	0,65	0,46	0,48	-0,04	-0,28	0,03	0,35
CFy	-0,05	0,36	0,56	0,83	1,33	1,70	1,92	1,67
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	0,05	-0,45	-0,39	-0,57	-0,99	-1,03	-1,01	-0,88
CFy	1,31	0,85	0,58	0,38	-0,02	-0,08	-0,52	-0,90
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,53	0,12	0,03	-0,07	0,57	0,91	1,03	1,07
CFy	-1,17	-1,34	-1,48	-1,36	-1,17	-0,89	-0,50	-0,05

Quadro A - 8: Coeficientes de força resultante nas direções dos eixos para vizinhança V8

CFR-V8D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	0,15	0,17	0,28	0,71	0,89	1,02	-0,22	0,27
CFy	0,01	0,40	0,45	0,28	0,26	0,50	1,18	1,18
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,21	-0,69	-0,86	-0,85	-0,81	-0,84	-0,86	-0,70
CFy	1,05	0,89	0,63	0,25	0,01	-0,24	-0,60	-0,84
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	0,55	1,20	1,07	1,01	0,97	0,94	0,37	0,23
CFy	1,06	1,06	0,97	0,44	0,23	0,25	0,64	0,32
CFR-V8D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	0,90	0,59	0,49	0,84	0,81	0,00	-0,20	0,28
CFy	0,00	0,24	0,50	0,71	0,65	1,29	1,52	1,38
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,19	-0,70	-0,93	-0,97	-0,88	-0,98	-0,90	-0,68
CFy	1,11	0,94	0,67	0,25	0,01	-0,26	-0,67	-0,93
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,11	0,24	-0,19	0,03	0,82	0,83	0,50	0,61
CFy	-1,09	-1,37	-1,47	-1,23	-0,61	-0,64	-0,46	-0,21
CFR-V8D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,11	0,77	0,53	0,64	0,43	-0,12	-0,10	0,27
CFy	0,01	0,23	0,51	0,70	0,93	1,42	1,60	1,47
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,25	-0,76	-0,97	-0,99	-0,92	-0,98	-0,97	-0,74
CFy	1,15	0,97	0,69	0,21	0,01	-0,24	-0,67	-0,95
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,18	0,26	-0,11	-0,06	0,45	0,65	0,53	0,78
CFy	-1,14	-1,45	-1,54	-1,37	-0,89	-0,70	-0,49	-0,21
CFR-V8D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CFx	1,15	0,87	0,58	0,66	0,42	-0,11	-0,08	0,29
CFy	0,00	0,20	0,50	0,77	1,03	1,44	1,63	1,49
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CFx	-0,21	-0,75	-0,97	-0,99	-0,93	-0,99	-0,97	-0,77
CFy	1,20	1,02	0,73	0,19	0,02	-0,20	-0,69	-0,97
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CFx	-0,21	0,27	-0,07	-0,06	0,42	0,62	0,59	0,88
CFy	-1,17	-1,46	-1,57	-1,40	-0,99	-0,71	-0,46	-0,16

APENDICE B – COEFICIENTES DE TORÇÃO

Quadro B - 1: Coeficientes de torção para vizinhança V1

CT-V1D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	-0,02	0,10	-0,10	-0,20	-0,19	-0,17	0,00	0,18
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,20	0,22	0,13	-0,09	-0,07	0,11	-0,07	-0,19
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,11	0,01	0,00	-0,01	0,10	0,19	0,08	-0,13
CT-V1D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	0,07	0,10	-0,12	-0,20	-0,15	-0,10	0,00	0,13
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,17	0,20	0,10	-0,11	-0,01	0,12	-0,08	-0,18
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,09	0,01	0,00	-0,01	0,10	0,19	0,07	-0,14
CT-V1D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	0,04	0,13	-0,09	-0,27	-0,12	-0,04	0,00	0,04
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,12	0,19	0,11	-0,10	-0,02	0,13	-0,08	-0,19
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,12	0,02	0,00	-0,01	0,09	0,19	0,09	-0,13
CT-V1D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	0,02	0,12	-0,09	-0,18	-0,11	0,00	0,00	0,01
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,12	0,19	0,11	-0,10	-0,04	0,13	-0,07	-0,20
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,10	0,01	0,00	-0,01	0,10	0,19	0,09	-0,14

Quadro B - 2: Coeficientes de torção para vizinhança V2

CT-V2D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	-0,04	0,07	0,03	0,08	-0,08	-0,05	0,00	0,01
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,03	0,17	0,16	-0,04	-0,04	0,12	-0,10	-0,16
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,07	0,01	-0,02	0,02	0,17	0,20	0,05	-0,14
CT-V2D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	-0,03	0,13	0,00	-0,02	-0,01	-0,01	0,00	0,00
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,05	0,17	0,14	-0,07	-0,02	0,11	-0,09	-0,18
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,07	0,02	0,00	-0,01	0,14	0,20	0,08	-0,13
CT-V2D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	-0,02	0,14	-0,01	-0,04	-0,03	0,01	0,00	-0,01
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,05	0,18	0,13	-0,08	-0,03	0,12	-0,09	-0,18
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,09	0,02	0,00	-0,02	0,15	0,21	0,10	-0,12
CT-V2D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	-0,01	0,15	-0,02	-0,06	-0,04	0,01	0,00	-0,01
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,06	0,18	0,13	-0,09	-0,01	0,12	-0,09	-0,18
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,08	0,02	0,00	-0,02	0,16	0,22	0,10	-0,12

Quadro B - 3: Coeficientes de torção para vizinhança V3

CT-V3D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	0,00	0,17	0,12	0,10	0,05	0,12	0,07	0,02
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,07	0,18	0,16	-0,02	-0,08	0,10	-0,09	-0,19
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,10	0,00	0,01	-0,02	0,14	0,19	0,04	-0,16
CT-V3D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	-0,02	0,16	0,09	0,05	0,07	-0,02	0,01	0,00
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,07	0,18	0,15	-0,06	-0,05	0,12	-0,09	-0,17
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,08	0,01	0,00	-0,02	0,14	0,20	0,07	-0,14
CT-V3D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	-0,01	0,15	0,06	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,06	0,19	0,14	-0,07	-0,03	0,12	-0,08	-0,17
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,08	0,02	0,00	-0,02	0,13	0,21	0,09	-0,12
CT-V3D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	-0,01	0,14	0,04	-0,01	0,01	0,00	0,00	-0,01
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,07	0,19	0,15	-0,07	-0,02	0,12	-0,09	-0,17
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,08	0,02	0,01	-0,02	0,14	0,21	0,09	-0,13

Quadro B - 4: Coeficientes de torção para vizinhança V4

CT-V4D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	0,04	0,13	0,05	0,03	0,14	0,12	0,01	-0,10
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	-0,14	-0,04	-0,05	-0,10	-0,04	0,15	-0,03	-0,17
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,13	0,01	0,00	-0,02	0,12	0,19	0,04	-0,14
CT-V4D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	0,04	0,12	-0,09	-0,17	-0,06	0,03	0,02	-0,03
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,05	0,17	0,11	-0,08	-0,03	0,15	-0,05	-0,18
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,11	0,02	0,00	-0,01	0,11	0,19	0,06	-0,14
CT-V4D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	0,03	0,12	-0,11	-0,20	-0,15	-0,03	0,01	0,03
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,16	0,21	0,14	-0,08	-0,04	0,14	-0,06	-0,19
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,11	0,02	0,00	-0,01	0,11	0,20	0,08	-0,14
CT-V4D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	0,03	0,11	-0,12	-0,20	-0,16	-0,04	0,01	0,04
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,16	0,21	0,15	-0,07	-0,03	0,14	-0,07	-0,19
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,10	0,02	0,00	-0,01	0,11	0,20	0,09	-0,14

Quadro B - 5: Coeficientes de torção para vizinhança V5

CT-V5D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	0,02	-0,09	-0,10	-0,07	-0,01	0,01	0,10	0,03
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,05	0,15	0,15	-0,03	-0,04	0,10	-0,07	-0,12
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,02	0,01	0,00	0,05	0,14	0,16	0,07	-0,05
CT-V5D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	-0,06	-0,06	-0,08	-0,06	0,00	0,03	0,01	0,00
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,06	0,17	0,13	-0,04	-0,04	0,10	-0,07	-0,13
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,04	0,01	0,01	0,02	0,12	0,16	0,06	-0,10
CT-V5D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	-0,03	-0,02	-0,05	-0,05	0,01	0,01	0,00	0,00
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,06	0,15	0,12	-0,05	-0,03	0,10	-0,07	-0,13
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,05	0,01	0,01	0,00	0,11	0,16	0,07	-0,10
CT-V5D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	-0,01	0,01	-0,04	-0,04	0,02	0,02	0,00	0,00
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,05	0,15	0,12	-0,06	-0,02	0,10	-0,07	-0,13
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,05	0,01	0,01	0,00	0,11	0,16	0,06	-0,10

Quadro B - 6: Coeficientes de torção para vizinhança V6

CT-V6D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	-0,03	-0,12	-0,11	-0,06	0,00	0,10	0,04	-0,06
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	-0,10	-0,03	-0,03	-0,10	-0,01	0,12	-0,03	-0,12
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,05	0,02	0,01	0,05	0,15	0,16	0,05	-0,02
CT-V6D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	-0,04	-0,08	-0,09	-0,05	0,02	0,02	-0,02	-0,03
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,06	0,15	0,08	-0,07	-0,02	0,11	-0,05	-0,13
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,05	0,01	0,01	0,01	0,12	0,16	0,05	-0,10
CT-V6D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	0,01	-0,04	-0,07	-0,06	0,01	0,02	-0,01	0,01
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,13	0,16	0,11	-0,06	-0,03	0,11	-0,04	-0,14
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,05	0,01	0,01	0,00	0,10	0,16	0,06	-0,11
CT-V6D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	0,02	-0,01	-0,07	-0,06	0,01	0,02	-0,01	0,01
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,12	0,16	0,12	-0,07	-0,02	0,11	-0,05	-0,14
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,06	0,01	0,01	0,00	0,11	0,16	0,05	-0,11

Quadro B - 7: Coeficientes de torção para vizinhança V7

CT-V7D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	-0,01	-0,11	-0,12	-0,06	0,00	0,13	0,02	-0,11
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,02	0,09	0,15	0,13	0,01	0,05	-0,06	-0,16
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,09	0,02	0,01	0,00	0,09	0,15	0,06	-0,05
CT-V7D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	-0,04	-0,08	-0,10	-0,04	0,05	0,01	0,01	0,00
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	-0,03	0,05	0,12	0,10	0,06	0,10	-0,06	-0,15
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,08	0,03	0,01	0,00	0,10	0,15	0,05	-0,11
CT-V7D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	0,00	-0,03	-0,06	-0,04	0,03	0,01	0,01	0,01
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	-0,01	0,06	0,09	0,06	0,01	0,11	-0,05	-0,15
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,08	0,03	0,01	-0,01	0,09	0,15	0,06	-0,11
CT-V7D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	0,02	0,00	-0,06	-0,04	0,02	0,01	0,01	0,00
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,00	0,06	0,08	0,03	0,01	0,11	-0,06	-0,15
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,08	0,03	0,01	-0,01	0,09	0,15	0,06	-0,11

Quadro B - 8: Coeficientes de torção para vizinhança V8

CT-V8D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	0,01	-0,09	-0,11	-0,10	-0,04	-0,01	0,10	0,03
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,04	0,13	0,10	-0,05	0,01	0,06	-0,09	-0,12
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,03	-0,01	-0,07	0,03	0,05	0,10	0,12	0,12
CT-V8D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	0,00	0,00	-0,06	-0,08	-0,03	0,05	0,00	0,01
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,05	0,13	0,10	-0,06	0,02	0,06	-0,10	-0,12
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,02	0,01	0,02	-0,03	0,04	0,08	0,06	0,00
CT-V8D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	0,00	0,04	-0,06	-0,07	-0,01	0,02	0,00	0,00
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,05	0,14	0,10	-0,07	0,01	0,07	-0,10	-0,13
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,03	0,01	0,02	0,00	0,03	0,09	0,06	-0,03
CT-V8D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CT	0,00	0,07	-0,04	-0,08	-0,02	0,02	0,00	0,00
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CT	0,04	0,14	0,11	-0,08	0,02	0,07	-0,11	-0,14
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CT	-0,03	0,01	0,02	0,00	0,03	0,08	0,05	-0,07

APENDICE C – COEFICIENTES DE FLEXÃO EM TORNO DOS EIXOS

Quadro C - 1: Coeficientes de flexão em torno dos eixos para vizinhança V1

CMF-V1D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	-0,18	-0,69	-2,09	-2,78	-3,05	-2,09	0,35	-1,80
CMy	2,89	3,04	2,90	2,32	1,53	1,09	0,02	-1,08
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-2,95	-2,75	-2,05	-0,69	0,18	0,77	2,69	4,03
CMy	-1,38	-2,25	-2,79	-2,95	-2,89	-3,10	-3,12	-2,61
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	4,38	4,38	4,91	4,44	4,58	4,27	2,95	0,70
CMy	-1,20	0,80	0,04	-0,76	1,27	2,76	3,30	3,20
CMF-V1D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	0,22	-0,90	-2,73	-3,65	-4,02	-3,10	-0,59	-3,06
CMy	3,07	3,23	3,20	2,56	1,57	0,94	0,00	-1,02
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-3,64	-3,23	-2,24	-0,63	0,00	0,65	2,50	3,86
CMy	-1,59	-2,40	-2,87	-2,98	-2,84	-3,00	-2,98	-2,40
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	4,20	4,21	4,55	4,20	4,32	3,86	2,49	0,46
CMy	-1,09	0,69	-0,01	-0,65	1,26	2,66	3,13	3,18
CMF-V1D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	0,15	-0,56	-2,44	-3,25	-3,96	-3,61	-2,57	-3,65
CMy	3,13	3,10	3,00	2,73	1,46	0,63	0,02	-0,53
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-3,99	-3,54	-2,45	-0,65	0,07	0,35	2,30	3,72
CMy	-1,40	-2,36	-2,93	-2,97	-2,82	-2,99	-2,98	-2,57
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	4,14	4,44	4,97	4,56	4,51	4,06	2,60	0,50
CMy	-1,51	0,64	0,05	-0,61	1,24	2,65	3,15	3,09
CMF-V1D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	0,08	-0,67	-2,53	-3,61	-4,13	-4,02	-2,89	-3,86
CMy	2,98	3,16	3,05	2,51	1,44	0,19	0,06	-0,28
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-4,21	-3,70	-2,55	-0,70	0,14	0,46	2,26	3,78
CMy	-1,36	-2,40	-2,97	-3,05	-2,86	-2,99	-3,01	-2,54
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	4,25	4,61	5,12	4,69	4,43	3,95	2,55	0,32
CMy	-1,16	0,66	-0,02	-0,65	1,22	2,60	3,15	3,10

Quadro C - 2: Coeficientes de flexão em torno dos eixos para vizinhança V2

CMF-V2D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	-0,10	0,44	-0,64	-2,46	-4,49	-4,92	-5,05	-5,16
CMy	2,89	2,73	0,21	-0,08	-0,78	-0,53	0,01	0,70
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-4,81	-4,69	-3,74	-1,63	0,07	0,30	2,33	3,12
CMy	-0,68	-2,46	-3,20	-3,06	-2,62	-2,65	-2,73	-2,41
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	4,43	4,98	5,49	5,42	5,00	3,77	2,15	-0,04
CMy	-1,13	0,60	-0,42	0,65	2,32	2,89	3,07	2,97
CMF-V2D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	-0,04	0,42	-1,21	-3,75	-4,30	-4,88	-5,27	-5,08
CMy	2,86	2,78	0,64	-0,08	-0,49	-0,65	-0,04	0,69
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-4,71	-4,30	-3,16	-1,04	0,08	0,34	2,02	3,40
CMy	-0,88	-2,40	-3,02	-2,86	-2,58	-2,63	-2,53	-2,21
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	4,37	4,94	5,51	5,17	4,90	3,94	2,37	0,38
CMy	-1,07	0,66	-0,15	-0,13	1,88	2,83	3,08	2,98
CMF-V2D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	-0,05	0,04	-1,71	-3,79	-4,48	-4,96	-5,46	-5,17
CMy	2,87	2,88	1,35	0,56	0,23	-0,67	-0,05	0,69
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-4,85	-4,40	-3,05	-0,96	0,08	0,24	2,01	3,36
CMy	-0,94	-2,45	-2,98	-2,88	-2,68	-2,74	-2,57	-2,20
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	4,33	4,87	5,54	5,14	5,09	4,14	2,51	0,44
CMy	-1,12	0,66	-0,08	-0,39	1,92	2,87	3,13	3,04
CMF-V2D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	-0,04	-0,09	-1,96	-3,89	-4,49	-5,04	-5,50	-5,26
CMy	2,93	2,95	1,56	0,78	0,48	-0,67	-0,07	0,70
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-5,05	-4,39	-3,08	-0,91	0,02	0,33	2,00	3,35
CMy	-1,03	-2,47	-3,02	-2,92	-2,67	-2,74	-2,57	-2,16
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	4,30	5,02	5,62	5,29	5,16	4,21	2,52	0,43
CMy	-0,99	0,69	-0,06	-0,34	1,98	2,99	3,17	3,07

Quadro C - 3: Coeficientes de flexão em torno dos eixos para vizinhança V3

CMF-V3D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	-0,04	0,59	-0,07	0,16	0,30	-1,46	-4,50	-4,59
CMy	3,13	3,00	2,87	2,66	0,65	0,45	0,00	0,77
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-4,26	-3,84	-3,27	-1,80	-0,17	0,82	2,59	3,79
CMy	-0,58	-2,06	-2,94	-3,07	-2,77	-2,93	-2,91	-2,28
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	4,20	4,14	4,84	4,97	5,19	4,39	2,61	0,25
CMy	-1,12	0,51	-0,08	-0,24	2,13	3,24	3,37	3,14
CMF-V3D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	-0,09	0,16	-0,66	-0,55	-1,37	-4,70	-5,19	-4,88
CMy	3,01	3,02	2,95	1,88	0,44	-0,69	-0,16	0,73
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-4,62	-4,23	-3,22	-1,25	0,08	0,47	2,33	3,37
CMy	-0,81	-2,29	-3,04	-3,00	-2,69	-2,82	-2,77	-2,09
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	3,80	4,60	5,23	5,02	5,06	4,22	2,46	0,31
CMy	-1,02	0,72	-0,04	-0,33	1,95	3,02	3,22	3,12
CMF-V3D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	-0,02	-0,06	-1,27	-1,62	-3,91	-4,98	-5,40	-4,97
CMy	2,99	3,01	3,01	1,54	-0,25	-0,64	-0,08	0,71
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-4,71	-4,32	-3,15	-1,06	0,11	0,33	2,11	3,18
CMy	-0,87	-2,39	-3,04	-2,95	-2,66	-2,76	-2,65	-2,07
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	3,91	4,68	5,44	5,04	4,97	4,24	2,62	0,45
CMy	-0,95	0,64	-0,03	-0,48	1,75	2,95	3,19	3,06
CMF-V3D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	-0,07	-0,18	-1,43	-1,88	-4,15	-4,98	-5,48	-5,01
CMy	2,99	2,94	2,99	1,58	-0,18	-0,61	-0,05	0,71
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-4,72	-4,35	-3,23	-1,05	0,08	0,30	2,16	3,20
CMy	-0,94	-2,45	-3,11	-2,95	-2,71	-2,77	-2,69	-2,08
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	4,00	4,73	5,46	5,10	5,09	4,22	2,60	0,37
CMy	-0,98	0,62	-0,03	-0,50	1,86	3,00	3,22	3,05

Quadro C - 4: Coeficientes de flexão em torno dos eixos para vizinhança V4

CMF-V4D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	0,17	-0,85	-1,49	-1,54	-2,29	-3,14	-4,63	-3,25
CMy	3,14	3,40	3,46	2,79	0,36	-0,29	0,00	0,29
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-2,24	-1,63	-1,36	-0,89	0,21	0,23	2,47	3,86
CMy	-0,19	-2,28	-3,40	-3,28	-2,96	-3,07	-3,19	-2,75
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	4,34	4,27	4,23	4,27	4,53	4,11	2,68	0,41
CMy	-1,62	0,38	0,05	-0,50	1,61	2,88	3,34	3,21
CMF-V4D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	0,15	-0,91	-2,60	-2,82	-1,73	-1,72	-3,54	-1,84
CMy	3,09	3,32	3,32	2,89	2,25	0,71	0,14	-0,53
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-1,59	-2,63	-2,54	-1,06	0,11	0,31	2,42	3,81
CMy	-2,05	-2,82	-3,26	-3,21	-2,91	-3,04	-3,10	-2,64
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	4,15	4,25	4,23	4,32	4,31	4,01	2,58	0,39
CMy	-1,37	0,57	0,02	-0,58	1,38	2,73	3,21	3,16
CMF-V4D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	0,10	-0,89	-2,91	-3,67	-3,27	-2,25	-2,68	-2,14
CMy	3,06	3,30	3,31	2,77	2,04	1,04	0,04	-0,93
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-3,10	-3,57	-2,93	-1,05	0,18	0,26	2,31	3,75
CMy	-1,95	-2,68	-3,23	-3,20	-2,88	-2,99	-3,05	-2,62
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	4,11	4,38	4,61	4,54	4,33	3,94	2,54	0,35
CMy	-1,31	0,56	0,02	-0,62	1,29	2,67	3,19	3,13
CMF-V4D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	0,15	-0,97	-3,08	-3,91	-3,83	-2,74	-2,49	-2,48
CMy	3,04	3,31	3,33	2,76	1,81	1,03	-0,01	-0,96
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-3,73	-3,88	-3,16	-1,11	0,14	0,36	2,33	3,75
CMy	-1,79	-2,65	-3,26	-3,21	-2,86	-3,05	-3,09	-2,63
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	4,24	4,47	4,72	4,55	4,32	3,99	2,60	0,37
CMy	-1,25	0,60	-0,02	-0,68	1,24	2,65	3,24	3,16

Quadro C - 5: Coeficientes de flexão em torno dos eixos para vizinhança V5

CMF-V5D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	0,06	-1,10	-0,87	-0,69	-0,45	-1,09	-3,86	-3,95
CMy	0,75	0,63	1,02	1,48	1,68	1,82	-0,41	0,63
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-3,73	-3,58	-2,72	-0,97	0,15	0,34	1,76	2,45
CMy	-0,48	-1,84	-2,42	-2,28	-2,01	-2,06	-1,96	-1,56
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	3,12	3,63	4,10	4,16	3,52	2,54	1,83	0,74
CMy	-0,68	0,47	-0,37	0,70	1,50	1,83	2,18	2,08
CMF-V5D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	-0,28	-1,26	-1,39	-1,26	-1,52	-3,83	-4,78	-5,04
CMy	1,65	0,74	0,77	1,21	0,89	-0,59	-0,32	0,69
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-4,59	-3,44	-2,71	-1,06	0,11	0,06	1,52	2,51
CMy	-0,72	-1,45	-2,44	-2,35	-2,07	-2,03	-1,90	-1,53
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	3,12	3,85	4,30	4,06	3,56	2,94	1,84	0,31
CMy	-0,60	0,50	-0,20	0,33	1,38	2,17	2,38	2,34
CMF-V5D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	-0,03	-1,07	-1,45	-1,83	-2,42	-3,96	-4,68	-4,39
CMy	2,25	1,24	0,64	0,85	0,42	-0,54	-0,17	0,58
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-3,84	-3,60	-2,62	-0,93	0,08	0,15	1,46	2,44
CMy	-0,74	-1,90	-2,43	-2,32	-2,08	-2,03	-1,88	-1,50
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	3,22	3,88	4,34	4,10	3,63	3,13	1,91	0,30
CMy	-0,68	0,54	-0,09	0,02	1,32	2,22	2,43	2,40
CMF-V5D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	0,02	-0,90	-1,30	-2,04	-3,01	-4,32	-5,03	-4,68
CMy	2,30	1,50	0,64	0,74	0,19	-0,58	-0,15	0,61
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-4,07	-3,58	-2,53	-0,87	0,03	0,15	1,51	2,48
CMy	-0,76	-1,96	-2,43	-2,33	-2,11	-2,07	-1,91	-1,51
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	3,23	4,01	4,35	4,13	3,71	3,13	1,84	0,25
CMy	-0,66	0,50	-0,13	0,02	1,35	2,27	2,45	2,43

Quadro C - 6: Coeficientes de flexão em torno dos eixos para vizinhança V6

CMF-V6D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	-0,49	-1,81	-1,45	-1,11	-1,03	-2,24	-3,94	-3,40
CMy	0,86	1,31	1,60	1,79	1,50	0,37	-0,55	0,23
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-1,78	-0,95	-0,85	-0,05	0,10	-0,07	1,69	2,68
CMy	-0,13	-2,05	-2,61	-2,32	-2,25	-2,19	-2,16	-1,83
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	3,22	3,39	3,51	3,65	3,37	2,66	2,08	0,97
CMy	-1,00	0,40	-0,32	0,50	1,53	1,90	2,29	2,08
CMF-V6D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	-0,43	-1,65	-1,72	-1,78	-2,33	-3,96	-4,49	-2,77
CMy	1,52	0,83	0,95	1,03	0,33	-0,55	-0,13	-0,50
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-1,59	-2,49	-2,22	-0,66	0,08	0,06	1,57	2,66
CMy	-1,91	-2,63	-2,76	-2,49	-2,19	-2,13	-2,10	-1,69
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	3,20	3,70	4,06	3,63	3,43	2,93	1,83	0,42
CMy	-0,81	0,48	-0,13	0,00	1,23	2,09	2,44	2,39
CMF-V6D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	0,04	-1,38	-1,90	-2,38	-3,17	-4,26	-4,50	-2,98
CMy	2,23	1,32	0,93	0,96	0,18	-0,47	0,04	-0,77
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-2,71	-3,27	-2,65	-0,77	0,12	0,07	1,49	2,59
CMy	-1,91	-2,48	-2,68	-2,45	-2,22	-2,17	-2,08	-1,75
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	3,34	3,84	4,14	3,76	3,40	3,06	1,91	0,28
CMy	-0,82	0,51	-0,10	-0,13	1,06	2,17	2,48	2,46
CMF-V6D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	0,15	-1,35	-1,93	-2,51	-3,29	-4,38	-4,67	-3,32
CMy	2,35	1,59	1,11	1,06	0,29	-0,42	0,06	-0,72
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-3,21	-3,55	-2,61	-0,66	0,07	0,08	1,60	2,63
CMy	-1,75	-2,42	-2,63	-2,45	-2,23	-2,18	-2,09	-1,73
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	3,33	3,91	4,21	3,93	3,45	3,06	1,86	0,19
CMy	-0,83	0,50	-0,12	-0,08	1,21	2,25	2,51	2,45

Quadro C - 7: Coeficientes de flexão em torno dos eixos para vizinhança V7

CMF-V7D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	-0,27	-1,42	-1,52	-1,45	-1,21	-2,85	-4,39	-3,04
CMy	0,71	1,03	1,76	2,10	1,47	0,06	0,01	0,04
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-1,31	-1,52	-1,55	-1,44	-0,12	0,71	1,83	2,80
CMy	-1,31	-1,93	-1,60	-0,86	-0,62	-2,02	-2,12	-2,17
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	3,47	3,74	4,00	3,66	3,31	2,70	1,72	0,62
CMy	-1,26	0,20	-0,01	-0,07	1,29	2,14	2,10	2,03
CMF-V7D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	-0,37	-1,66	-1,68	-1,78	-2,63	-4,67	-5,27	-4,71
CMy	1,45	0,87	1,41	1,30	0,25	-0,76	0,01	0,85
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-2,73	-1,87	-1,75	-1,62	-0,36	0,25	1,61	2,80
CMy	-0,19	-1,22	-1,23	-0,80	-1,47	-2,18	-2,14	-1,93
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	3,53	4,15	4,62	4,06	3,47	2,69	1,49	0,05
CMy	-1,09	0,30	0,07	-0,10	1,15	1,94	2,17	2,17
CMF-V7D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	0,06	-1,29	-1,67	-2,46	-3,71	-5,12	-5,74	-5,06
CMy	2,18	1,29	1,01	0,97	0,02	-0,65	0,02	0,74
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-3,83	-2,61	-1,79	-1,34	0,03	0,10	1,56	2,78
CMy	0,09	-0,97	-0,96	-1,17	-2,12	-2,22	-2,12	-1,86
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	3,73	4,29	4,70	4,26	3,69	2,76	1,55	0,02
CMy	-1,09	0,35	0,04	-0,24	1,13	1,89	2,13	2,27
CMF-V7D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	0,17	-1,16	-1,72	-2,75	-4,24	-5,38	-6,00	-5,28
CMy	2,26	1,51	1,03	1,03	-0,11	-0,65	0,02	0,71
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-4,16	-2,79	-1,82	-1,23	0,06	0,17	1,62	2,82
CMy	0,07	-1,01	-0,90	-1,38	-2,21	-2,24	-2,16	-1,86
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	3,72	4,30	4,71	4,35	3,72	2,79	1,57	0,07
CMy	-1,14	0,30	0,02	-0,26	1,17	1,89	2,16	2,29

Quadro C - 8: Coeficientes de flexão em torno dos eixos para vizinhança V8

CMF-V8D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	-0,05	-1,24	-1,37	-0,88	-0,73	-1,40	-3,75	-3,77
CMy	0,34	0,42	0,55	1,43	1,78	2,12	-0,50	0,52
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-3,32	-2,74	-1,90	-0,60	-0,02	0,56	1,83	2,61
CMy	-0,59	-1,57	-1,92	-1,90	-1,86	-1,89	-1,89	-1,58
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	3,21	3,65	3,67	1,38	0,66	0,71	1,16	1,08
CMy	-0,64	0,49	-0,50	2,14	1,82	1,53	0,73	0,56
CMF-V8D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	0,00	-0,86	-1,64	-2,30	-2,00	-4,12	-4,83	-4,42
CMy	1,91	1,17	0,94	1,69	1,64	-0,02	-0,46	0,56
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-3,49	-2,93	-1,98	-0,58	-0,07	0,65	1,99	2,90
CMy	-0,52	-1,57	-2,00	-2,11	-1,98	-2,12	-1,93	-1,53
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	3,44	4,39	4,69	3,93	1,88	2,09	1,48	0,75
CMy	-0,35	0,48	-0,45	0,04	1,66	1,68	0,95	1,23
CMF-V8D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	-0,02	-0,82	-1,60	-2,27	-2,95	-4,54	-5,11	-4,66
CMy	2,41	1,64	1,09	1,26	0,87	-0,30	-0,24	0,56
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-3,67	-3,02	-2,08	-0,48	0,00	0,59	2,05	2,98
CMy	-0,64	-1,67	-2,09	-2,16	-2,06	-2,14	-2,08	-1,63
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	3,63	4,61	4,92	4,37	2,83	2,29	1,54	0,78
CMy	-0,48	0,52	-0,27	-0,18	0,94	1,29	1,11	1,65
CMF-V8D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
CMx	-0,01	-0,71	-1,57	-2,51	-3,28	-4,61	-5,19	-4,73
CMy	2,50	1,88	1,21	1,31	0,86	-0,29	-0,20	0,57
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
CMx	-3,82	-3,18	-2,22	-0,44	-0,06	0,49	2,09	3,03
CMy	-0,55	-1,66	-2,10	-2,15	-2,08	-2,16	-2,08	-1,69
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
CMx	3,73	4,63	4,99	4,49	3,15	2,34	1,47	0,56
CMy	-0,54	0,54	-0,19	-0,20	0,86	1,22	1,27	1,91

APENDICE D – FV DAS FORÇAS RESULTANTES

Quadro D - 1: Fator de vizinhança das forças resultantes nos eixos para vizinhança V1

FV-FR-V1D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,34	1,37	1,34	1,31	1,83	-2,39	-2,46	-2,52
FV-Fy	0,61	1,91	1,13	1,01	0,93	0,56	-0,09	0,47
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	1,81	1,32	1,31	1,34	1,42	1,44	1,48	1,47
FV-Fy	0,87	0,97	1,04	1,29	1,40	1,50	1,72	1,57
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,29	1,69	0,58	1,55	2,01	1,65	1,56	1,47
FV-Fy	1,41	1,24	1,26	1,20	1,42	1,55	1,62	1,72
FV-FR-V1D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,41	1,46	1,49	1,45	1,89	-2,05	-2,20	-2,35
FV-Fy	1,29	2,58	1,47	1,32	1,24	0,85	0,17	0,83
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	2,11	1,41	1,34	1,35	1,37	1,39	1,41	1,34
FV-Fy	1,11	1,15	1,15	1,27	1,42	1,50	1,58	1,50
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,16	1,43	-0,24	1,25	1,97	1,58	1,48	1,45
FV-Fy	1,36	1,21	1,19	1,15	1,34	1,39	1,37	1,26
FV-FR-V1D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,38	1,40	1,39	2,12	1,75	-1,43	-1,40	-1,36
FV-Fy	-0,86	1,66	1,34	1,93	1,23	0,98	0,58	0,97
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	1,85	1,38	1,37	1,35	1,38	1,39	1,40	1,42
FV-Fy	1,21	1,25	1,25	1,28	1,48	1,68	1,44	1,44
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,57	1,33	0,75	1,23	1,89	1,56	1,48	1,41
FV-Fy	1,34	1,28	1,31	1,26	1,40	1,45	1,38	1,23
FV-FR-V1D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,38	1,43	1,41	1,42	1,71	-0,60	-0,70	-0,80
FV-Fy	-0,36	1,97	1,39	1,31	1,29	1,10	0,65	1,03
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	1,79	1,41	1,38	1,38	1,40	1,38	1,42	1,41
FV-Fy	1,28	1,31	1,30	1,35	1,36	1,37	1,40	1,47
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,20	1,41	-0,21	1,30	1,86	1,53	1,48	1,42
FV-Fy	1,37	1,33	1,35	1,30	1,37	1,42	1,35	0,85

Quadro D - 2: Fator de vizinhança das forças resultantes nos eixos para vizinhança V2

FV-FR-V2D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,35	1,23	-0,01	-0,14	-1,05	1,18	-0,71	1,47
FV-Fy	0,70	-1,35	0,19	0,91	1,37	1,36	1,26	1,41
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	0,74	1,40	1,47	1,37	1,27	1,21	1,23	1,33
FV-Fy	1,47	1,66	1,88	1,63	1,50	1,37	1,38	1,19
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,14	1,34	-0,21	-1,75	3,69	1,76	1,47	1,37
FV-Fy	1,43	1,42	1,43	1,48	1,55	1,36	1,14	0,02
FV-FR-V2D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,32	1,25	0,27	-0,14	-0,59	1,31	1,38	1,46
FV-Fy	0,28	-0,97	0,58	1,33	1,33	1,36	1,33	1,39
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	1,02	1,38	1,40	1,29	1,25	1,21	1,17	1,21
FV-Fy	1,44	1,53	1,62	1,98	1,75	1,52	1,23	1,30
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,06	1,47	-0,76	0,04	3,00	1,71	1,46	1,37
FV-Fy	1,40	1,41	1,44	1,41	1,52	1,42	1,25	0,92
FV-FR-V2D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,33	1,30	0,62	0,26	0,32	1,26	1,35	1,45
FV-Fy	0,38	0,14	0,84	1,34	1,39	1,38	1,37	1,41
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	1,11	1,41	1,39	1,30	1,30	1,26	1,22	1,21
FV-Fy	1,47	1,56	1,55	1,81	1,56	1,31	1,28	1,31
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,12	1,48	-1,09	0,66	3,03	1,72	1,48	1,39
FV-Fy	1,40	1,40	1,45	1,41	1,58	1,49	1,33	1,05
FV-FR-V2D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,36	1,33	0,69	0,41	0,62	1,28	1,39	1,50
FV-Fy	0,27	0,45	0,98	1,39	1,40	1,40	1,38	1,43
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	1,22	1,41	1,40	1,32	1,30	1,27	1,22	1,20
FV-Fy	1,53	1,55	1,56	1,73	1,65	1,57	1,27	1,30
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,00	1,51	-0,89	0,54	3,11	1,78	1,50	1,40
FV-Fy	1,39	1,44	1,47	1,45	1,60	1,51	1,34	1,06

Quadro D - 3: Fator de vizinhança das forças resultantes nos eixos para vizinhança V3

FV-FR-V3D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,46	1,36	1,35	1,50	0,53	-0,72	0,92	1,62
FV-Fy	0,37	-1,44	0,03	-0,14	-0,15	0,43	1,11	1,25
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	0,67	1,18	1,36	1,39	1,35	1,35	1,36	1,25
FV-Fy	1,29	1,37	1,67	1,64	1,63	1,62	1,62	1,46
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,11	1,13	-1,19	0,17	3,42	1,95	1,62	1,45
FV-Fy	1,31	1,18	1,26	1,37	1,62	1,58	1,41	0,71
FV-FR-V3D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,40	1,36	1,38	1,05	0,37	1,50	1,52	1,54
FV-Fy	0,77	-0,24	0,39	0,13	0,40	1,29	1,29	1,32
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	0,97	1,32	1,41	1,36	1,31	1,30	1,30	1,14
FV-Fy	1,40	1,50	1,64	2,30	1,87	1,65	1,44	1,30
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,03	1,63	-0,35	0,45	3,08	1,81	1,53	1,43
FV-Fy	1,21	1,32	1,38	1,39	1,58	1,53	1,33	0,81
FV-FR-V3D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,39	1,36	1,41	0,82	-0,36	1,24	1,37	1,49
FV-Fy	0,13	0,35	0,72	0,52	1,17	1,37	1,35	1,35
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	1,05	1,38	1,42	1,34	1,30	1,28	1,25	1,15
FV-Fy	1,42	1,53	1,60	1,98	1,81	1,65	1,32	1,24
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	0,97	1,42	-0,28	0,88	2,75	1,76	1,51	1,40
FV-Fy	1,27	1,34	1,43	1,39	1,54	1,52	1,38	1,06
FV-FR-V3D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,39	1,33	1,40	0,84	-0,23	1,14	1,32	1,51
FV-Fy	0,59	0,74	0,81	0,63	1,26	1,38	1,37	1,35
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	1,13	1,41	1,44	1,34	1,32	1,28	1,27	1,16
FV-Fy	1,42	1,53	1,63	1,93	1,65	1,50	1,36	1,26
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,00	1,36	-0,41	0,95	2,92	1,78	1,52	1,39
FV-Fy	1,30	1,36	1,44	1,40	1,58	1,52	1,39	0,92

Quadro D - 4: Fator de vizinhança das forças resultantes nos eixos para vizinhança V4

FV-FR-V4D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,47	1,53	1,61	1,60	0,20	0,82	0,37	0,83
FV-Fy	-1,00	-0,09	0,82	0,62	0,76	0,93	1,13	0,93
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	0,00	1,35	1,60	1,48	1,46	1,43	1,52	1,56
FV-Fy	0,74	0,63	0,70	1,42	1,30	1,18	1,55	1,50
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,79	0,49	0,80	0,78	2,63	1,74	1,59	1,47
FV-Fy	1,40	1,23	1,08	1,18	1,41	1,49	1,45	1,09
FV-FR-V4D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,44	1,50	1,54	1,66	0,24	-1,18	-1,04	-0,89
FV-Fy	-1,09	0,17	1,42	1,04	0,56	0,54	0,88	0,55
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	0,39	1,68	1,53	1,46	1,43	1,41	1,48	1,49
FV-Fy	0,50	0,94	1,30	1,40	1,46	1,48	1,51	1,48
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,51	0,99	0,35	1,03	1,34	1,65	1,53	1,45
FV-Fy	1,36	1,23	1,12	1,21	1,36	1,45	1,39	1,05
FV-FR-V4D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,42	1,49	1,53	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58
FV-Fy	-0,78	0,40	1,59	1,34	0,99	0,61	0,67	0,58
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	1,58	1,58	1,51	1,45	1,41	1,38	1,45	1,47
FV-Fy	0,92	1,28	1,50	1,44	1,41	1,37	1,44	1,45
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,41	1,08	0,38	1,18	1,38	1,59	1,52	1,43
FV-Fy	1,34	1,27	1,22	1,27	1,37	1,42	1,35	0,95
FV-FR-V4D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,42	1,50	1,55	1,57	1,56	1,56	1,56	1,56
FV-Fy	-1,17	0,26	1,69	1,43	1,18	0,71	0,63	0,65
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	1,56	1,56	1,52	1,46	1,40	1,42	1,46	1,47
FV-Fy	1,12	1,39	1,62	1,54	1,49	1,47	1,45	1,46
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,33	1,24	-0,02	1,31	1,45	1,59	1,54	1,46
FV-Fy	1,38	1,30	1,25	1,26	1,36	1,44	1,39	0,95

Quadro D - 5: Fator de vizinhança das forças resultantes nos eixos para vizinhança V5

FV-FR-V5D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	0,79	0,28	0,31	0,69	1,06	1,18	0,98	0,88
FV-Fy	1,33	1,05	0,76	0,46	0,47	1,07	1,20	1,38
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	0,79	0,95	1,11	1,05	0,99	0,93	0,89	0,82
FV-Fy	1,39	1,38	1,37	1,08	0,79	0,65	0,97	0,97
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	0,55	1,18	0,06	-1,06	0,13	1,31	1,15	1,09
FV-Fy	1,02	1,11	1,13	1,12	1,11	1,06	0,98	0,77
FV-FR-V5D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,05	0,51	0,26	0,48	0,47	1,00	1,16	1,31
FV-Fy	0,20	0,48	0,76	0,64	0,74	1,11	1,17	1,20
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	0,83	1,07	1,11	1,04	1,00	0,93	0,88	0,82
FV-Fy	1,16	1,27	1,32	1,12	1,03	0,93	0,93	0,96
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	0,65	1,24	-0,74	-0,30	0,52	1,34	1,16	1,11
FV-Fy	1,05	1,12	1,13	1,12	1,13	1,12	1,01	0,72
FV-FR-V5D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,08	0,63	0,28	0,41	0,23	1,06	0,94	0,89
FV-Fy	-0,28	0,20	0,68	0,70	0,92	1,21	1,26	1,28
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	0,83	1,10	1,11	1,04	1,01	0,95	0,90	0,83
FV-Fy	1,23	1,26	1,28	1,08	0,98	0,88	0,96	0,97
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	0,64	1,18	-1,29	-0,29	0,53	1,36	1,17	1,12
FV-Fy	1,05	1,16	1,14	1,13	1,15	1,12	0,97	0,63

Quadro D - 6: Fator de vizinhança das forças resultantes nos eixos para vizinhança V6

FV-FR-V6D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	0,40	0,56	0,75	1,06	0,23	-0,59	0,11	0,81
FV-Fy	1,30	1,05	0,81	0,47	0,41	0,70	0,99	0,94
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	-0,08	1,21	1,22	1,04	1,09	1,01	1,02	1,04
FV-Fy	0,59	0,37	0,45	0,14	0,15	0,16	1,11	1,07
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,13	0,76	0,96	1,06	1,12	1,17	1,10	0,96
FV-Fy	1,07	0,97	0,91	1,03	1,08	0,97	1,15	0,57
FV-FR-V6D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	0,73	0,32	0,42	0,60	0,32	1,05	0,12	-0,80
FV-Fy	1,23	1,09	0,96	0,64	0,76	1,11	1,11	0,80
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	0,38	1,56	1,27	1,12	1,06	0,99	1,01	0,97
FV-Fy	0,52	0,91	1,13	1,22	0,92	0,63	1,02	1,08
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	0,89	1,00	-0,77	-0,35	0,45	1,26	1,18	1,12
FV-Fy	1,07	1,08	1,08	1,01	1,06	1,04	0,97	1,04
FV-FR-V6D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,05	0,56	0,41	0,54	0,22	0,83	1,15	1,31
FV-Fy	-0,50	0,26	1,03	0,83	0,99	1,19	1,11	0,82
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	1,39	1,46	1,23	1,10	1,07	1,00	0,99	0,98
FV-Fy	0,82	1,17	0,89	0,75	0,68	0,61	0,95	1,04
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	0,86	1,12	-0,62	-0,06	0,62	1,30	1,18	1,14
FV-Fy	1,10	1,12	1,09	1,05	1,06	1,09	1,00	0,72
FV-FR-V6D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,10	0,68	0,51	0,60	0,38	0,70	1,05	1,23
FV-Fy	-0,84	0,10	1,03	0,86	1,02	1,22	1,16	0,90
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	1,32	1,40	1,21	1,10	1,08	1,00	0,99	0,97
FV-Fy	0,97	1,27	1,33	1,26	0,94	0,62	1,01	1,04
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	0,85	1,14	-0,96	-0,12	0,61	1,35	1,19	1,13
FV-Fy	1,09	1,13	1,10	1,09	1,08	1,09	0,97	0,53

Quadro D - 7: Fator de vizinhança das forças resultantes nos eixos para vizinhança V7

FV-FR-V7D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	0,34	0,44	0,82	1,24	0,69	0,14	0,33	0,52
FV-Fy	0,91	0,88	0,86	0,59	0,47	0,85	1,12	0,88
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	0,83	1,15	0,73	0,35	0,29	0,93	1,01	1,20
FV-Fy	0,49	0,59	0,81	1,00	1,09	1,14	1,19	1,11
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,34	0,26	0,59	-0,20	0,54	1,28	1,01	0,94
FV-Fy	1,15	1,09	1,05	1,02	1,05	1,00	0,95	0,48
FV-FR-V7D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	0,70	0,35	0,61	0,78	0,25	0,18	0,15	0,13
FV-Fy	1,09	1,03	0,97	0,66	0,84	1,31	1,33	1,30
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	0,11	0,73	0,52	0,29	0,72	1,02	1,03	1,06
FV-Fy	0,86	0,67	0,92	1,07	1,14	1,21	1,02	1,08
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,15	0,48	0,16	-0,16	0,50	1,16	1,06	1,02
FV-Fy	1,16	1,22	1,23	1,15	1,10	0,97	0,82	0,31
FV-FR-V7D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,02	0,54	0,43	0,57	0,04	-0,07	-0,13	-0,16
FV-Fy	-0,71	0,11	0,93	0,86	1,15	1,44	1,46	1,39
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	-0,19	0,54	0,41	0,47	1,03	1,03	1,01	1,04
FV-Fy	1,17	0,89	0,91	0,81	0,76	0,71	0,99	1,10
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,14	0,68	1,30	0,26	0,70	1,15	1,03	1,05
FV-Fy	1,22	1,25	1,25	1,19	1,17	1,01	0,84	0,21
FV-FR-V7D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,06	0,64	0,46	0,59	-0,09	-0,11	-0,13	-0,13
FV-Fy	-0,83	0,06	0,95	0,96	1,32	1,51	1,53	1,46
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	-0,14	0,56	0,39	0,56	1,07	1,04	1,03	1,05
FV-Fy	1,27	0,95	0,92	0,91	0,91	0,90	1,01	1,12
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	1,18	0,60	0,92	0,32	0,74	1,16	1,04	1,06
FV-Fy	1,21	1,24	1,24	1,21	1,17	1,02	0,84	0,30

Quadro D - 8: Fator de vizinhança das forças resultantes nos eixos para vizinhança V8

FV-FR-V8D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	0,15	0,17	0,28	0,86	1,04	1,13	1,18	1,23
FV-Fy	0,36	0,57	0,77	0,33	0,26	0,44	0,94	1,03
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	0,59	0,87	0,87	0,84	0,88	0,85	0,87	0,83
FV-Fy	1,02	0,99	0,99	1,32	1,25	1,22	1,18	1,05
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	0,55	1,20	1,07	1,01	0,97	0,94	0,37	0,23
FV-Fy	1,06	1,06	0,97	0,44	0,23	0,25	0,64	0,32
FV-FR-V8D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	0,92	0,58	0,50	1,02	0,50	-0,01	0,64	1,28
FV-Fy	0,07	0,46	0,85	0,82	0,65	1,15	1,21	1,21
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	0,53	0,88	0,94	0,96	0,95	0,99	0,92	0,81
FV-Fy	1,07	1,05	1,05	1,32	1,32	1,31	1,31	1,15
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	0,26	1,17	0,52	-0,13	2,69	1,06	0,51	0,60
FV-Fy	1,13	1,27	1,24	1,09	0,61	0,74	0,77	1,35
FV-FR-V8D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,13	0,76	0,53	0,77	1,07	0,52	0,88	1,25
FV-Fy	0,27	1,84	0,86	0,80	0,92	1,27	1,28	1,28
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	0,69	0,95	0,98	0,97	0,99	0,99	0,98	0,89
FV-Fy	1,11	1,08	1,09	1,09	-1,74	-0,21	1,32	1,18
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	0,40	1,26	0,76	0,26	1,48	0,83	0,54	0,77
FV-Fy	1,19	1,34	1,30	1,21	0,89	0,80	0,82	0,41
FV-FR-V8D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Fx	1,17	0,86	0,58	0,80	1,04	0,46	0,89	1,32
FV-Fy	0,13	0,49	0,84	0,89	1,02	1,29	1,30	1,30
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Fx	0,58	0,95	0,98	0,97	1,00	1,00	0,98	0,91
FV-Fy	1,16	1,14	1,16	0,99	1,17	1,26	1,35	1,20
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Fx	0,47	1,32	0,79	0,26	1,38	0,78	0,60	0,88
FV-Fy	1,22	1,35	1,32	1,25	0,99	0,82	0,78	1,06

APENDICE E – FV DA TORÇÃO

Quadro E - 1: Fator de vizinhança da torção para vizinhança V1

FV-T-V1D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	1,46	1,04	1,86	1,58	1,24	0,90	0,23	0,58
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	0,93	1,63	1,58	1,06	1,14	1,21	1,03	1,33
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	1,23	0,44	0,64	1,23	1,81	1,37	0,88	1,63
FV-T-V1D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	-2,09	1,04	2,09	1,59	2,53	1,21	-0,12	1,35
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	2,82	1,49	1,25	1,29	1,08	1,23	1,28	1,28
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	1,04	0,45	1,14	1,49	1,84	1,33	0,74	1,80
FV-T-V1D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	-2,38	1,26	1,54	2,12	2,01	-2,39	-0,01	-1,01
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	2,03	1,44	1,32	1,24	2,26	1,43	1,18	1,31
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	1,43	1,11	0,09	0,92	1,76	1,40	1,04	1,63
FV-T-V1D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	-1,47	1,23	1,59	1,42	1,83	-0,27	0,40	-1,34
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	1,94	1,45	1,38	1,25	1,30	1,36	1,13	1,37
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	1,14	0,84	-1,33	0,23	1,80	1,39	1,00	1,77

Quadro E - 2: Fator de vizinhança da torção para vizinhança V2

FV-T-V2D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	0,34	0,68	-0,50	-0,63	1,30	1,11	0,92	-0,67
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	0,52	1,24	0,87	0,50	0,91	1,31	1,47	1,10
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,86	0,75	1,09	1,26	1,34	1,43	0,61	0,31
FV-T-V2D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	0,66	1,32	0,09	0,17	0,19	-0,70	0,17	0,56
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	0,90	1,28	1,07	0,85	1,03	1,21	1,38	1,25
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,87	1,07	-0,59	-0,08	0,43	1,44	0,89	0,45
FV-T-V2D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	1,02	1,44	0,22	0,35	0,46	0,53	-0,98	-0,04
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	0,91	1,34	1,16	0,99	1,13	1,28	1,28	1,27
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	1,02	1,03	0,78	0,95	1,13	1,49	1,11	0,56
FV-T-V2D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	0,90	1,48	0,33	0,45	0,63	0,53	-0,94	1,28
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	1,06	1,34	1,20	1,07	1,29	1,24	1,24	1,25
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,90	1,16	1,36	1,41	1,46	1,56	1,11	0,56

Quadro E - 3: Fator de vizinhança da torção para vizinhança V3

FV-T-V3D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	0,31	1,69	0,44	-0,82	-0,75	0,19	0,65	0,89
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	1,12	1,33	0,76	0,19	0,64	1,10	1,20	1,31
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	1,14	0,31	-1,00	1,00	2,68	1,35	0,44	0,22
FV-T-V3D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	1,08	1,59	0,60	-0,39	-1,16	-0,92	-0,41	0,10
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	1,10	1,35	1,05	0,75	1,00	1,24	1,22	1,20
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,94	0,44	-0,09	0,68	1,06	1,45	0,80	0,40
FV-T-V3D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	0,41	1,52	-1,09	0,00	-0,45	-0,30	0,62	0,57
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	1,08	1,39	1,13	0,88	1,09	1,30	1,28	1,20
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,94	1,05	1,28	1,40	1,46	1,52	1,04	0,52
FV-T-V3D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	0,88	1,44	-0,78	0,09	-0,17	0,12	1,45	1,03
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	1,13	1,39	1,14	0,89	1,10	1,30	1,37	1,22
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,96	1,14	1,33	1,42	1,47	1,51	1,07	0,54

Quadro E - 4: Fator de vizinhança da torção para vizinhança V4

FV-T-V4D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	0,66	1,32	-0,86	-0,26	-0,28	-0,29	-0,29	-0,29
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	-0,29	-0,29	-0,57	1,27	0,84	0,63	0,42	1,22
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	1,04	0,86	1,11	1,23	1,29	1,35	0,46	0,23
FV-T-V4D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	0,58	1,16	1,23	1,30	0,98	0,93	0,91	0,90
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	0,88	1,29	1,12	0,96	0,88	0,85	0,81	1,28
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	1,31	1,15	1,33	0,48	0,93	1,37	0,72	0,36
FV-T-V4D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	0,58	1,17	1,36	1,55	1,56	1,57	1,57	1,57
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	1,57	1,57	1,26	0,95	1,23	1,50	0,95	1,33
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	1,27	1,19	-0,04	0,69	1,06	1,42	0,86	0,43
FV-T-V4D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	0,53	1,07	1,30	1,54	1,56	1,57	1,57	1,57
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	1,58	1,58	1,21	0,84	1,17	1,49	1,00	1,34
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	1,18	1,07	1,25	1,35	1,39	1,44	0,96	0,48

Quadro E - 5: Fator de vizinhança da torção para vizinhança V5

FV-T-V5D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	-1,06	-0,85	1,76	0,52	0,16	0,52	0,68	0,77
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	0,85	1,14	0,73	0,31	0,67	1,02	1,10	0,83
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,27	0,45	0,01	0,56	0,84	1,12	0,74	0,57
FV-T-V5D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	0,30	-0,60	-0,06	0,49	-0,06	-0,29	-0,40	-0,51
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	1,05	0,75	0,60	0,46	0,78	1,11	1,01	0,88
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,46	0,79	0,96	1,05	1,10	1,14	0,68	1,27
FV-T-V5D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	0,12	-0,25	0,96	0,39	-0,18	0,81	0,29	-0,24
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	0,97	1,13	0,84	0,55	0,78	1,01	1,00	0,90
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,57	0,94	1,04	1,09	1,12	1,14	0,79	1,26
FV-T-V5D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	0,86	0,13	0,78	0,34	-0,26	1,00	0,97	-0,58
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	0,86	1,15	0,92	0,69	0,85	1,01	1,09	0,92
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,59	0,51	0,83	0,98	1,06	1,14	0,67	1,31

Quadro E - 6: Fator de vizinhança da torção para vizinhança V6

FV-T-V6D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	0,96	-1,23	-0,40	0,43	0,02	-0,09	-0,14	-0,17
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	-0,18	-0,20	-0,42	1,22	1,24	1,27	0,50	0,84
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,64	0,89	1,01	1,07	1,10	1,13	0,60	0,28
FV-T-V6D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	1,19	-0,85	-0,23	0,38	-0,40	0,34	0,71	0,89
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	1,08	1,11	1,06	0,85	1,02	1,19	0,70	0,88
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,64	0,94	1,04	1,09	1,12	1,14	0,56	1,31
FV-T-V6D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	-0,68	-0,43	1,32	0,43	-0,19	1,05	1,13	1,17
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	1,19	1,22	1,00	0,78	1,00	1,21	0,65	0,95
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,64	0,99	1,06	1,09	1,11	1,13	0,71	1,35
FV-T-V6D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	-0,68	-0,12	1,23	0,46	-0,09	1,16	1,18	1,19
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	1,19	1,20	1,05	0,90	1,05	1,19	0,81	0,95
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,70	0,90	1,01	1,07	1,09	1,12	0,57	1,43

Quadro E - 7: Fator de vizinhança da torção para vizinhança V7

FV-T-V7D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	0,79	-1,09	-0,29	0,51	-0,04	0,11	0,18	0,22
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	0,26	0,68	0,29	-0,10	-0,88	0,51	0,96	1,09
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	1,04	1,07	1,09	1,10	1,11	1,11	0,67	0,61
FV-T-V7D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	1,30	-0,84	-0,28	0,28	-0,90	0,77	0,11	-0,56
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	-0,58	0,40	-0,39	-1,19	-0,05	1,08	0,87	1,04
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,97	1,03	1,06	1,08	1,08	1,09	0,59	1,33
FV-T-V7D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	-0,29	-0,34	1,15	0,28	-0,47	0,74	-0,11	-0,97
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	-0,15	0,42	1,09	-0,70	-0,94	1,21	0,83	1,02
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,90	1,00	1,05	1,07	1,08	1,09	0,70	1,35
FV-T-V7D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	-0,73	0,00	1,10	0,32	-0,39	0,84	0,11	-0,61
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	-0,03	0,47	0,99	-0,33	-1,13	1,12	0,89	1,04
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,99	1,04	1,06	1,07	1,08	1,08	0,65	1,34

Quadro E - 8: Fator de vizinhança da torção para vizinhança V8

FV-T-V8D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	-0,62	-0,93	-0,07	0,80	0,66	-0,54	0,08	0,39
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	0,70	0,98	1,27	0,66	-0,95	0,67	0,76	0,85
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,39	-0,94	-0,04	0,41	0,86	0,75	1,40	-1,47
FV-T-V8D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	-0,14	-0,03	1,10	0,60	0,53	0,91	1,28	-1,24
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	0,77	1,00	1,24	0,78	0,72	0,66	1,57	0,87
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,27	0,38	0,59	0,70	0,81	0,57	0,72	-0,05
FV-T-V8D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	0,06	0,40	1,00	0,56	0,16	1,25	0,89	-0,09
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	0,79	1,06	1,23	0,89	-0,66	0,72	0,83	0,94
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,32	0,79	0,72	0,66	0,60	0,63	0,70	0,43
FV-T-V8D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-T	0,06	0,66	0,77	0,61	0,29	1,07	0,92	-0,10
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-T	0,62	1,04	1,35	0,92	0,86	0,79	0,88	0,97
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-T	0,34	0,64	-0,11	-0,85	0,65	0,61	0,52	0,88

APENDICE F – FV DA FLEXÃO EM TORNO DOS EIXOS

Quadro F - 1: Fator de vizinhança da flexão em torno dos eixos para vizinhança V1

FV-MF-V1D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	1,92	2,31	1,14	1,00	0,93	0,58	-0,09	0,49
FV-My	1,33	1,36	1,34	1,30	1,72	-2,14	-2,14	-2,13
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	0,88	0,96	1,04	1,37	1,52	1,60	1,67	1,56
FV-My	1,74	1,31	1,30	1,33	1,39	1,43	1,46	1,44
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,41	1,24	1,27	1,21	1,42	1,53	1,57	1,66
FV-My	1,25	1,72	0,55	1,55	1,88	1,61	1,54	1,45
FV-MF-V1D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	-2,32	3,03	1,49	1,32	1,23	0,85	0,15	0,83
FV-My	1,41	1,45	1,47	1,43	1,76	-1,84	-1,92	-2,00
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	1,09	1,14	1,13	1,25	0,02	0,79	1,56	1,49
FV-My	2,01	1,40	1,34	1,35	1,36	1,38	1,40	1,32
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,35	1,19	1,18	1,14	1,34	1,38	1,33	1,08
FV-My	1,13	1,50	-0,17	1,32	1,87	1,55	1,46	1,44
FV-MF-V1D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	-1,64	1,86	1,33	1,17	1,21	0,99	0,64	0,99
FV-My	1,44	1,39	1,38	1,53	1,64	-1,23	-1,13	-1,04
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	-3,99	-3,54	-2,45	-0,65	0,07	0,35	2,30	3,72
FV-My	-1,40	-2,36	-2,93	-2,97	-2,82	-2,99	-2,98	-2,57
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,33	1,26	1,29	1,24	1,40	1,45	1,39	1,19
FV-My	1,57	1,38	0,71	1,24	1,83	1,54	1,47	1,40
FV-MF-V1D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	-0,87	2,24	1,38	1,31	1,27	1,11	0,72	1,04
FV-My	1,37	1,42	1,40	1,40	1,62	-0,37	-0,46	-0,56
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	1,26	1,30	1,29	1,38	1,39	1,40	1,40	1,46
FV-My	1,71	1,40	1,38	1,38	1,38	1,38	1,41	1,40
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,37	1,31	1,33	1,28	1,37	1,42	1,36	0,75
FV-My	1,20	1,42	-0,36	1,31	1,81	1,52	1,47	1,40

Quadro F - 2: Fator de vizinhança da flexão em torno dos eixos para vizinhança V2

FV-MF-V2D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	1,09	-1,48	0,35	0,89	1,38	1,36	1,25	1,39
FV-My	1,33	1,22	0,10	-0,04	-0,88	1,04	1,21	1,37
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	1,44	1,65	1,90	3,22	2,55	1,87	1,45	1,20
FV-My	0,85	1,43	1,49	1,38	1,26	1,22	1,28	1,33
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,42	1,41	1,43	1,48	1,55	1,35	1,14	-0,10
FV-My	1,18	1,30	-0,01	-1,31	3,44	1,69	1,43	1,34
FV-MF-V2D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	0,41	-1,42	0,66	1,35	1,32	1,35	1,31	1,37
FV-My	1,31	1,24	0,29	-0,05	-0,55	1,28	1,32	1,37
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	1,41	1,51	1,60	2,07	2,10	2,13	1,26	1,32
FV-My	1,11	1,40	1,41	1,29	1,24	1,21	1,19	1,22
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,40	1,40	1,43	1,41	1,52	1,41	1,26	0,89
FV-My	1,11	1,44	0,86	0,27	2,79	1,65	1,44	1,35
FV-MF-V2D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	0,55	-0,14	0,93	1,37	1,37	1,37	1,35	1,39
FV-My	1,32	1,29	0,62	0,31	0,26	1,31	1,33	1,35
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	-4,85	-4,40	-3,05	-0,96	0,08	0,24	2,01	3,36
FV-My	-0,94	-2,45	-2,98	-2,88	-2,68	-2,74	-2,57	-2,20
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,39	1,38	1,44	1,40	1,58	1,49	1,34	1,03
FV-My	1,16	1,44	-1,26	0,80	2,84	1,68	1,46	1,38
FV-MF-V2D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	0,43	0,29	1,07	1,40	1,38	1,39	1,36	1,42
FV-My	1,35	1,32	0,72	0,44	0,54	1,32	1,35	1,38
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	1,52	1,54	1,56	1,81	0,66	2,06	1,24	1,29
FV-My	1,30	1,44	1,40	1,32	1,28	1,26	1,20	1,20
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,38	1,42	1,46	1,44	1,60	1,51	1,34	1,02
FV-My	1,03	1,50	-0,90	0,68	2,93	1,74	1,48	1,39

Quadro F - 3: Fator de vizinhança da flexão em torno dos eixos para vizinhança V3

FV-MF-V3D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	0,40	-1,98	0,04	-0,06	-0,09	0,40	1,11	1,24
FV-My	1,44	1,35	1,32	1,49	0,73	-0,89	-0,61	1,52
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	1,28	1,35	1,66	3,57	4,33	5,09	1,61	1,46
FV-My	0,73	1,20	1,37	1,39	1,33	1,35	1,36	1,26
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,35	1,18	1,26	1,35	1,61	1,57	1,39	0,60
FV-My	1,16	1,11	-1,25	0,49	3,16	1,89	1,57	1,42
FV-MF-V3D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	0,96	-0,54	0,36	0,20	0,42	1,29	1,29	1,32
FV-My	1,38	1,35	1,36	1,05	0,50	1,35	1,40	1,44
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	1,39	1,49	1,63	2,47	2,93	2,94	1,45	1,30
FV-My	1,02	1,34	1,42	1,36	1,30	1,30	1,30	1,16
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,22	1,31	1,36	1,37	1,57	1,51	1,31	0,73
FV-My	1,06	1,56	-0,63	0,66	2,89	1,76	1,50	1,41
FV-MF-V3D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	0,22	0,21	0,69	0,59	1,20	1,37	1,34	1,34
FV-My	1,37	1,35	1,38	0,86	-0,29	1,26	1,33	1,40
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	-4,71	-4,32	-3,15	-1,06	0,11	0,33	2,11	3,18
FV-My	-0,87	-2,39	-3,04	-2,95	-2,66	-2,76	-2,65	-2,07
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,26	1,33	1,41	1,37	1,54	1,52	1,39	1,07
FV-My	0,99	1,39	-0,45	0,98	2,59	1,72	1,49	1,38
FV-MF-V3D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	0,70	0,61	0,78	0,68	1,27	1,37	1,36	1,35
FV-My	1,37	1,32	1,38	0,88	-0,20	1,20	1,29	1,39
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	1,42	1,53	1,64	2,08	1,96	1,83	1,34	1,24
FV-My	1,19	1,43	1,45	1,34	1,30	1,27	1,26	1,15
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,28	1,34	1,42	1,39	1,58	1,51	1,39	0,87
FV-My	1,01	1,35	-0,45	1,01	2,76	1,75	1,50	1,38

Quadro F - 4: Fator de vizinhança da flexão em torno dos eixos para vizinhança V4

FV-MF-V4D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	-1,76	2,84	0,81	0,56	0,70	0,86	1,15	0,88
FV-My	1,44	1,52	1,59	1,56	0,41	0,58	-0,55	0,57
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	0,67	0,57	0,69	1,77	1,61	1,45	1,54	1,49
FV-My	0,24	1,33	1,59	1,48	1,43	1,41	1,49	1,52
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,40	1,21	1,10	1,16	1,41	1,47	1,43	0,97
FV-My	1,68	0,83	0,78	1,02	2,39	1,68	1,56	1,45
FV-MF-V4D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	-1,65	-0,12	1,42	1,02	0,53	0,47	0,88	0,50
FV-My	1,42	1,49	1,52	1,62	2,52	-1,40	-1,23	-1,05
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	0,48	0,92	1,29	1,40	1,45	1,48	1,51	1,47
FV-My	2,59	1,64	1,52	1,45	1,40	1,40	1,45	1,46
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,33	1,21	1,10	1,18	1,34	1,44	1,37	0,93
FV-My	1,43	1,23	0,27	1,18	2,05	1,59	1,50	1,43
FV-MF-V4D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	-1,07	0,26	1,59	1,32	1,00	0,62	0,67	0,58
FV-My	1,40	1,48	1,52	1,55	2,29	-2,04	-1,94	-1,83
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	-3,10	-3,57	-2,93	-1,05	0,18	0,26	2,31	3,75
FV-My	-1,95	-2,68	-3,23	-3,20	-2,88	-2,99	-3,05	-2,62
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,32	1,24	1,20	1,24	1,34	1,41	1,35	0,83
FV-My	1,36	1,22	0,26	1,26	1,41	1,56	1,49	1,42
FV-MF-V4D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	-1,60	0,04	1,68	1,41	1,17	0,75	0,62	0,67
FV-My	1,40	1,48	1,53	1,54	2,04	-2,03	-1,96	-1,90
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	1,12	1,36	1,60	2,20	2,21	2,22	1,44	1,45
FV-My	2,25	1,55	1,52	1,45	1,38	1,40	1,45	1,45
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,36	1,27	1,22	1,24	1,34	1,43	1,39	0,87
FV-My	1,30	1,30	-0,35	1,39	1,83	1,55	1,51	1,43

Quadro F - 5: Fator de vizinhança da flexão em torno dos eixos para vizinhança V5

FV-MF-V5D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	-0,68	-0,10	0,47	0,25	0,14	0,30	0,96	1,07
FV-My	0,35	0,28	0,47	0,83	1,89	1,56	1,40	1,23
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	1,12	1,26	1,38	1,24	1,16	1,13	1,09	0,95
FV-My	0,60	1,07	1,13	1,03	0,97	0,95	0,92	0,86
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,00	1,03	1,07	1,13	1,09	0,91	0,97	0,49
FV-My	0,71	1,01	1,04	1,05	1,06	1,07	1,02	0,94
FV-MF-V5D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	0,98	0,87	0,76	0,46	0,47	1,05	1,19	1,36
FV-My	0,75	0,33	0,36	0,67	1,00	1,15	1,03	0,97
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	1,38	2,26	1,37	0,87	0,62	0,37	0,94	0,97
FV-My	0,91	2,01	1,14	1,06	0,99	0,93	0,89	0,85
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,00	1,09	1,12	1,11	1,11	1,06	0,98	0,73
FV-My	0,62	1,08	0,20	-0,68	0,29	1,27	1,11	1,06
FV-MF-V5D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	0,37	0,58	0,79	0,66	0,74	1,09	1,16	1,18
FV-My	1,03	0,55	0,29	0,48	0,47	1,07	1,10	1,14
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	-3,84	-3,60	-2,62	-0,93	0,08	0,15	1,46	2,44
FV-My	-0,74	-1,90	-2,43	-2,32	-2,08	-2,03	-1,88	-1,50
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,03	1,10	1,13	1,12	1,13	1,12	1,02	0,70
FV-My	0,71	1,17	-1,38	-0,04	0,63	1,30	1,13	1,09
FV-MF-V5D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	-0,19	0,26	0,71	0,74	0,92	1,19	1,24	1,26
FV-My	1,06	0,67	0,29	0,42	0,22	1,14	1,17	1,21
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	1,22	1,26	1,28	1,15	1,03	0,95	0,94	0,96
FV-My	0,95	1,14	1,13	1,06	1,01	0,95	0,89	0,83
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,04	1,14	1,13	1,13	1,15	1,12	0,98	0,58
FV-My	0,69	1,09	0,52	-0,05	0,64	1,32	1,14	1,10

Quadro F - 6: Fator de vizinhança da flexão em torno dos eixos para vizinhança V6

FV-MF-V6D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	1,30	1,05	0,79	0,40	0,32	0,62	0,98	0,92
FV-My	0,40	0,58	0,73	1,00	1,68	-0,72	-0,14	0,45
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	0,53	0,33	0,43	0,09	-0,16	-0,42	1,05	1,04
FV-My	0,17	1,19	1,21	1,05	1,08	1,01	1,01	1,01
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,04	0,96	0,91	1,00	1,04	0,95	1,11	0,55
FV-My	1,04	0,87	-0,08	-1,02	2,26	1,11	1,07	0,94
FV-MF-V6D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	1,15	1,05	0,94	0,64	0,71	1,09	1,11	0,75
FV-My	0,70	0,37	0,44	0,58	0,37	1,08	0,05	-0,98
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	0,48	0,87	1,12	1,30	0,84	0,38	0,98	1,03
FV-My	2,41	1,53	1,29	1,13	1,05	0,98	0,98	0,93
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,03	1,05	1,06	0,99	1,06	1,05	0,97	0,99
FV-My	0,85	1,04	0,51	-0,01	1,81	1,22	1,14	1,08
FV-MF-V6D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	-0,41	0,31	1,04	0,86	0,97	1,17	1,11	0,80
FV-My	1,03	0,59	0,43	0,54	0,20	0,93	1,67	2,04
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	-2,71	-3,27	-2,65	-0,77	0,12	0,07	1,49	2,59
FV-My	-1,91	-2,48	-2,68	-2,45	-2,22	-2,17	-2,08	-1,75
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,07	1,09	1,07	1,03	1,06	1,10	1,02	0,67
FV-My	0,85	1,11	0,68	0,26	0,76	1,27	1,15	1,11
FV-MF-V6D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	-0,79	0,13	1,05	0,91	1,01	1,21	1,16	0,89
FV-My	1,08	0,71	0,51	0,59	0,33	0,83	-1,00	-1,42
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	0,96	1,24	1,32	1,31	0,89	0,47	0,99	1,02
FV-My	2,21	1,41	1,22	1,11	1,07	1,00	0,98	0,95
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,07	1,11	1,09	1,07	1,07	1,10	0,99	0,45
FV-My	0,86	1,09	0,63	0,16	1,79	1,31	1,17	1,11

Quadro F - 7: Fator de vizinhança da flexão em torno dos eixos para vizinhança V7

FV-MF-V7D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	0,96	0,90	0,83	0,52	0,37	0,78	1,09	0,82
FV-My	0,32	0,46	0,81	1,17	1,65	-0,12	-0,02	0,08
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	0,39	0,53	0,78	0,96	1,05	1,09	1,14	1,08
FV-My	1,65	1,13	0,74	0,39	0,30	0,93	0,99	1,20
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,11	1,06	1,04	1,00	1,03	0,97	0,92	0,46
FV-My	1,31	0,44	-0,09	0,14	0,69	1,25	0,98	0,92
FV-MF-V7D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	1,31	1,11	0,91	0,64	0,81	1,29	1,31	1,27
FV-My	0,67	0,39	0,65	0,73	0,28	0,26	0,25	0,24
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	0,82	0,65	0,89	0,94	0,97	0,98	1,00	1,08
FV-My	0,24	0,71	0,57	0,36	0,71	1,00	1,00	1,06
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,14	1,18	1,20	1,11	1,08	0,97	0,79	0,11
FV-My	1,13	0,65	1,01	0,21	0,67	1,14	1,01	0,98
FV-MF-V7D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	-0,61	0,15	0,91	0,89	1,14	1,41	1,42	1,36
FV-My	1,00	0,58	0,46	0,54	0,02	-0,05	-0,08	-0,10
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	-3,83	-2,61	-1,79	-1,34	0,03	0,10	1,56	2,78
FV-My	0,09	-0,97	-0,96	-1,17	-2,12	-2,22	-2,12	-1,86
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,20	1,22	1,22	1,16	1,14	0,99	0,82	0,05
FV-My	1,14	0,77	0,60	0,49	0,80	1,10	0,99	1,03
FV-MF-V7D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	-0,91	0,01	0,94	0,99	1,30	1,48	1,49	1,42
FV-My	1,04	0,68	0,48	0,57	-0,12	-0,11	-0,10	-0,10
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	1,25	0,98	0,92	0,99	1,02	1,05	1,00	1,09
FV-My	-0,09	0,59	0,42	0,62	1,07	1,03	1,01	1,03
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,19	1,22	1,22	1,18	1,16	1,00	0,83	0,17
FV-My	1,18	0,66	0,23	0,52	0,81	1,10	1,01	1,03

Quadro F - 8: Fator de vizinhança da flexão em torno dos eixos para vizinhança V8

FV-MF-V8D1								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	0,55	0,65	0,75	0,32	0,22	0,38	0,93	1,02
FV-My	0,16	0,19	0,25	0,80	1,99	-4,16	-1,56	1,03
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	1,00	0,96	0,97	1,20	-0,55	0,29	1,14	1,01
FV-My	0,74	0,92	0,89	0,86	0,90	0,87	0,89	0,87
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,03	1,04	0,95	0,38	0,20	0,25	0,62	0,31
FV-My	0,67	1,05	-1,65	-4,34	2,69	0,89	0,34	0,26
FV-MF-V8D2								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	0,03	0,46	0,89	0,83	0,61	1,14	1,20	1,19
FV-My	0,88	0,52	0,43	0,94	1,84	0,03	0,57	1,10
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	1,05	1,03	1,00	1,15	1,19	1,22	1,24	1,12
FV-My	0,66	0,92	0,93	0,95	0,95	0,97	0,90	0,84
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,11	1,25	1,22	1,07	0,58	0,75	0,79	0,39
FV-My	0,36	1,03	0,47	-0,08	2,45	0,98	0,44	0,56
FV-MF-V8D3								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	0,20	0,54	0,87	0,82	0,90	1,25	1,27	1,26
FV-My	1,10	0,74	0,50	0,71	0,98	0,59	0,84	1,09
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	-3,67	-3,02	-2,08	-0,48	0,00	0,59	2,05	2,98
FV-My	-0,64	-1,67	-2,09	-2,16	-2,06	-2,14	-2,08	-1,63
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,17	1,31	1,28	1,19	0,88	0,82	0,82	0,41
FV-My	0,50	1,12	0,74	0,36	1,39	0,76	0,52	0,75
FV-MF-V8D4								
Ângulo	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°
FV-Mx	0,05	0,46	0,86	0,91	1,00	1,27	1,29	1,27
FV-My	1,15	0,84	0,56	0,73	0,96	0,56	0,84	1,13
Ângulo	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°
FV-Mx	1,14	1,12	1,12	0,87	1,09	1,19	1,30	1,17
FV-My	0,69	0,97	0,98	0,97	1,00	1,00	0,98	0,93
Ângulo	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
FV-Mx	1,20	1,32	1,30	1,22	0,98	0,84	0,78	1,33
FV-My	0,56	1,17	0,79	0,40	1,28	0,71	0,59	0,86

APENDICE G – GRÁFICOS DO FV DAS FORÇAS RESULTANTES

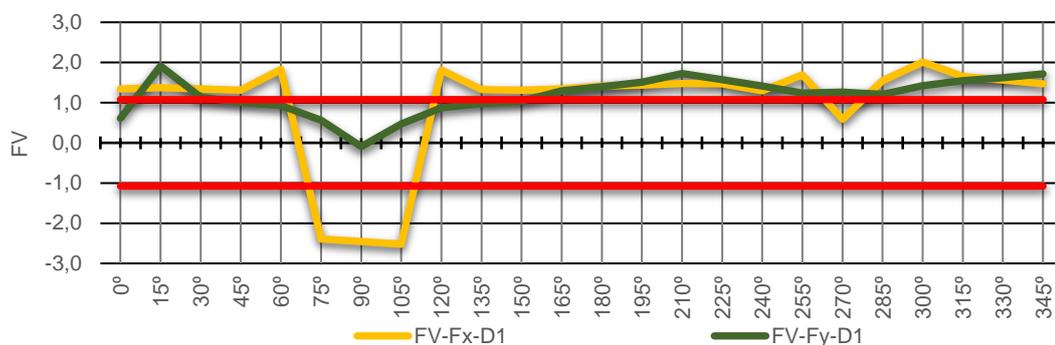


Figura G. 1: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V1D1

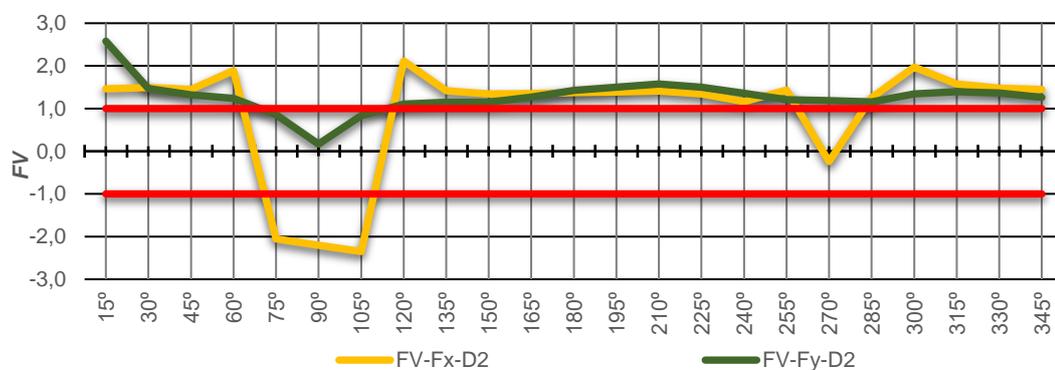


Figura G. 2: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V1D2

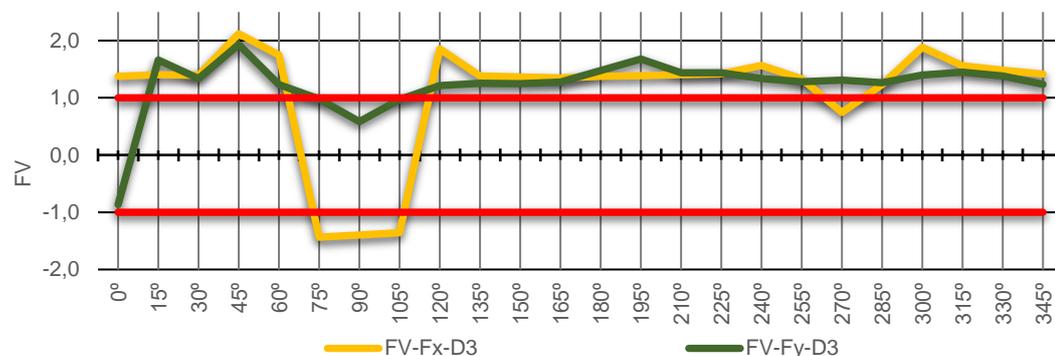


Figura G. 3: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V1D3

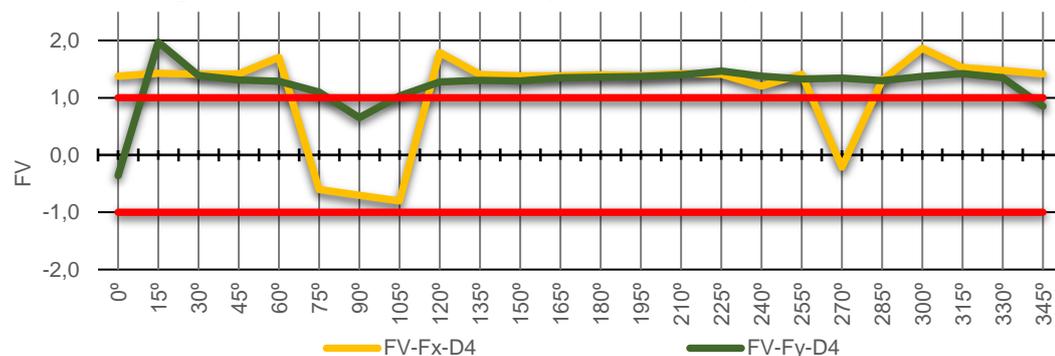


Figura G. 4: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V1D4

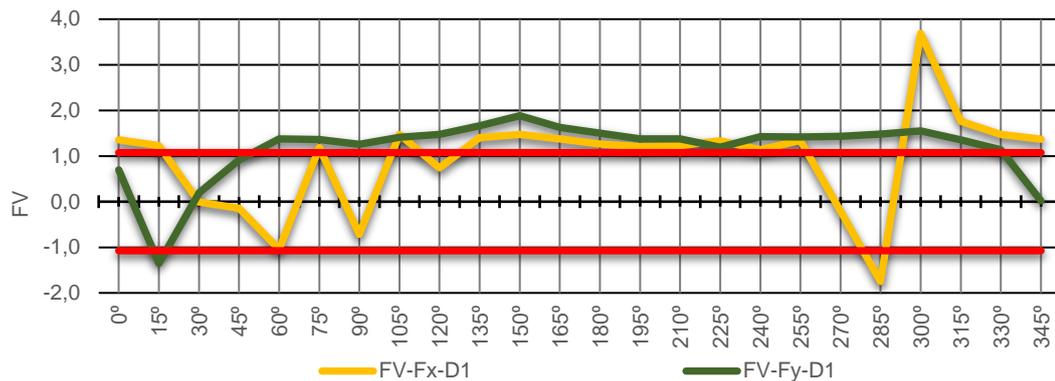


Figura G. 5: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V2D1

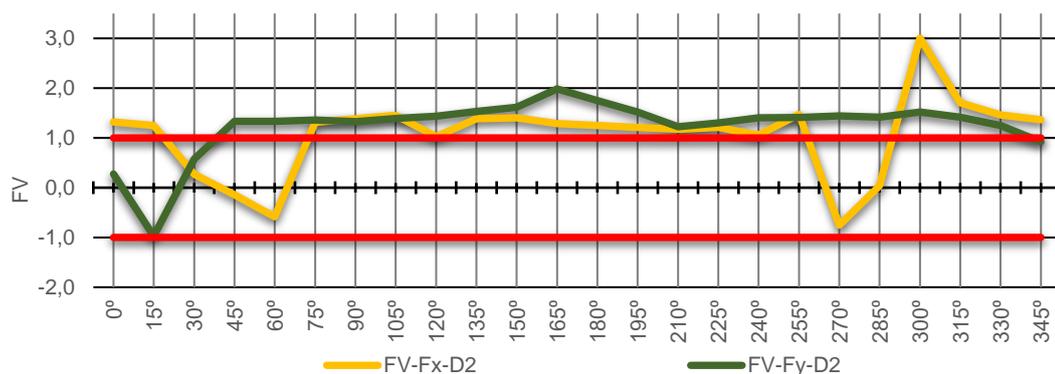


Figura G. 6: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V2D2

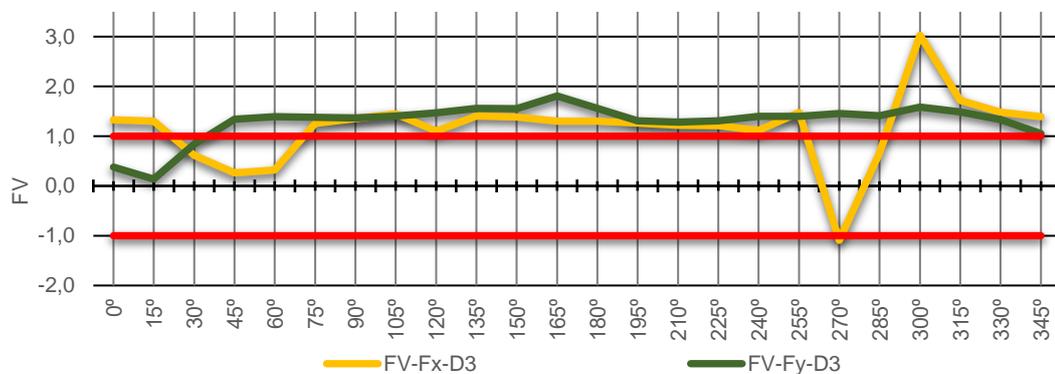


Figura G. 7: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V2D3

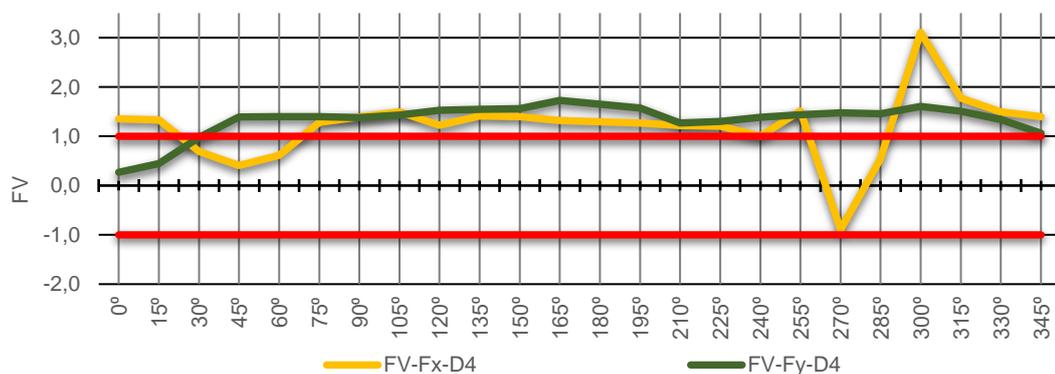


Figura G. 8: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V2D4

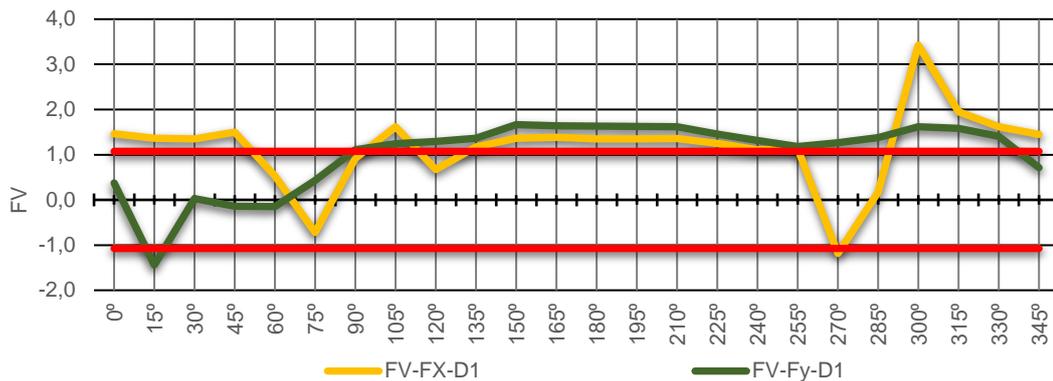


Figura G. 9: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V3D1

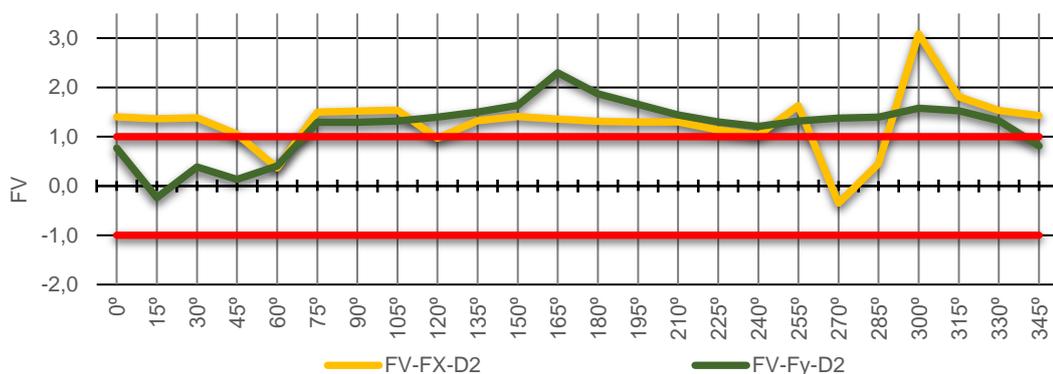


Figura G. 10: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V3D2

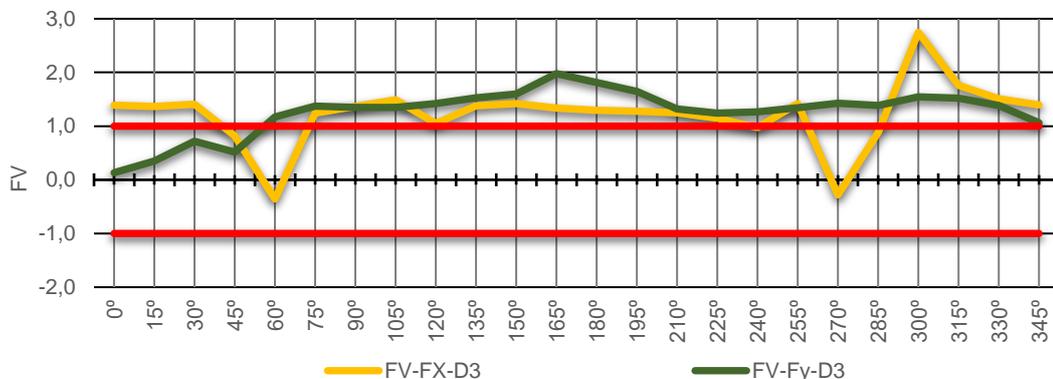


Figura G. 11: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V3D3

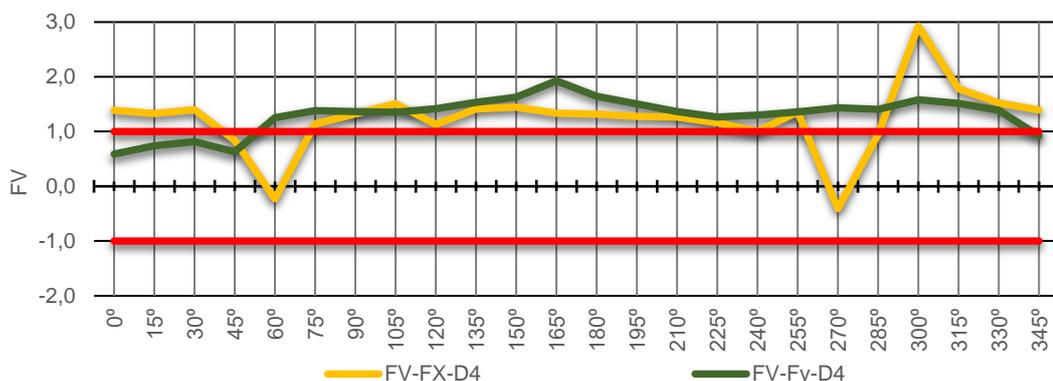


Figura G. 12: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V3D4

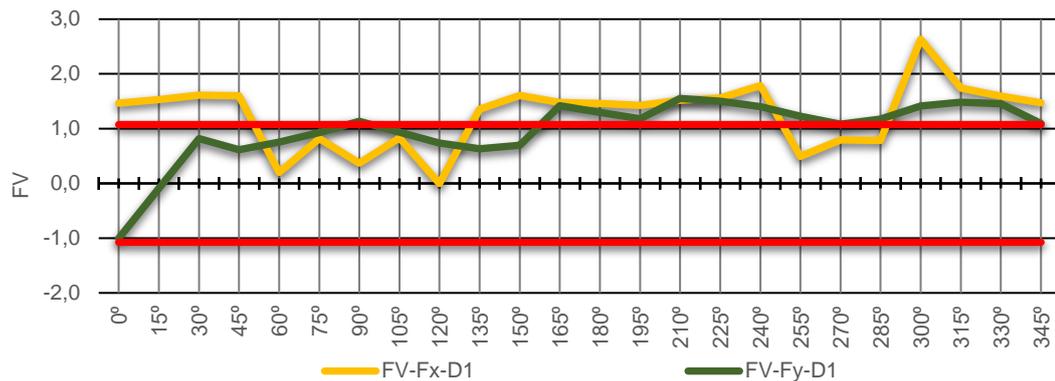


Figura G. 13: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V4D1

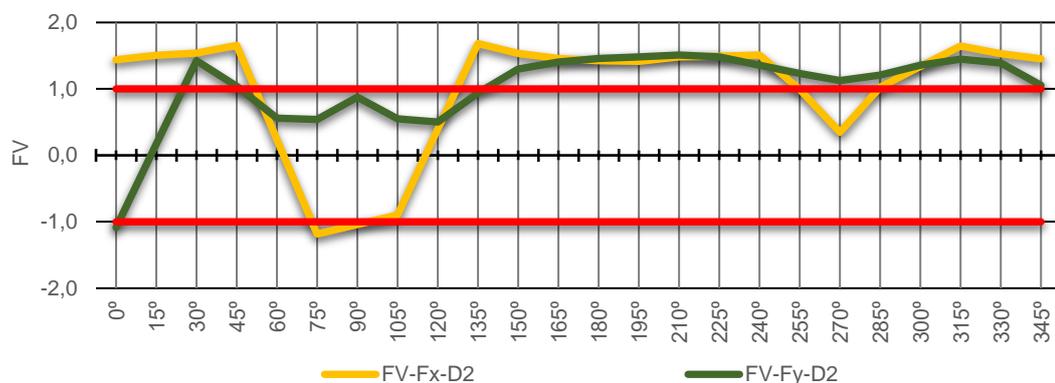


Figura G. 14: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V4D2

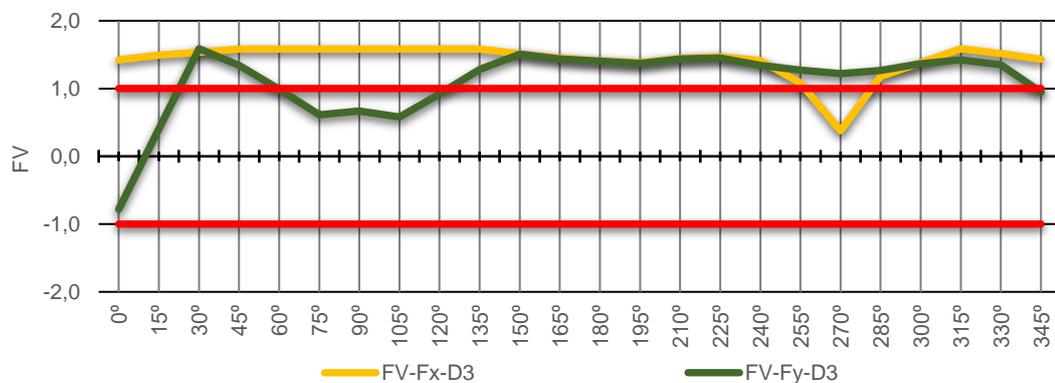


Figura G. 15: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V4D3

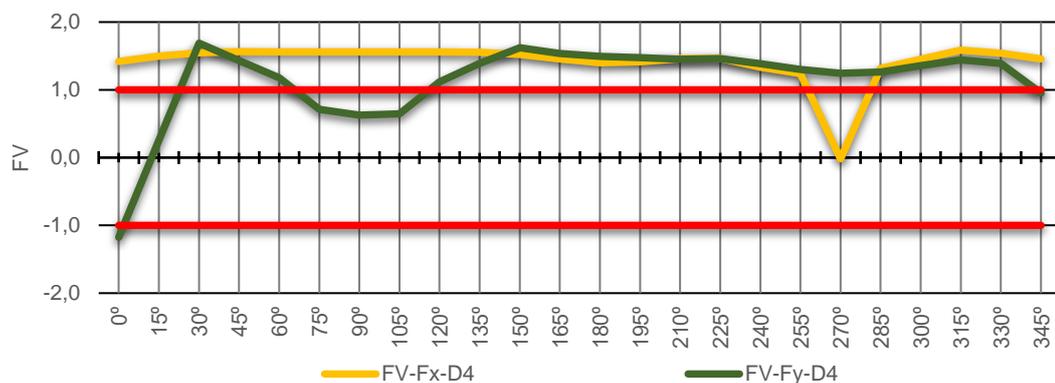


Figura G. 16: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V4D4

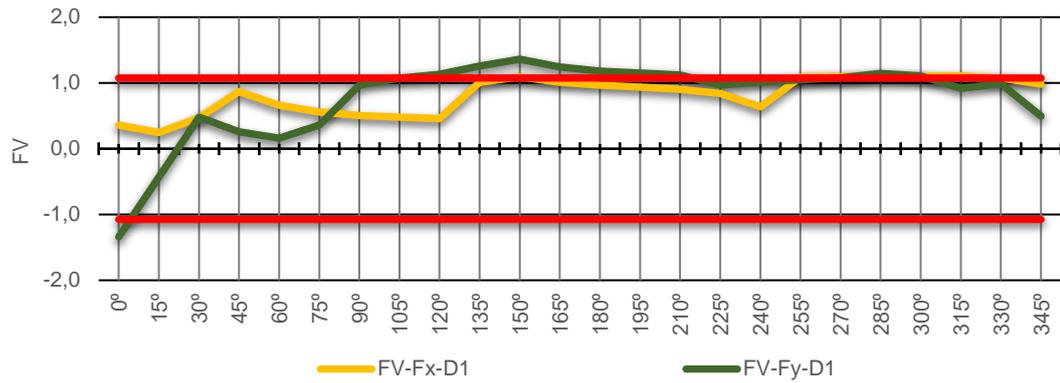


Figura G. 17: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V5D1

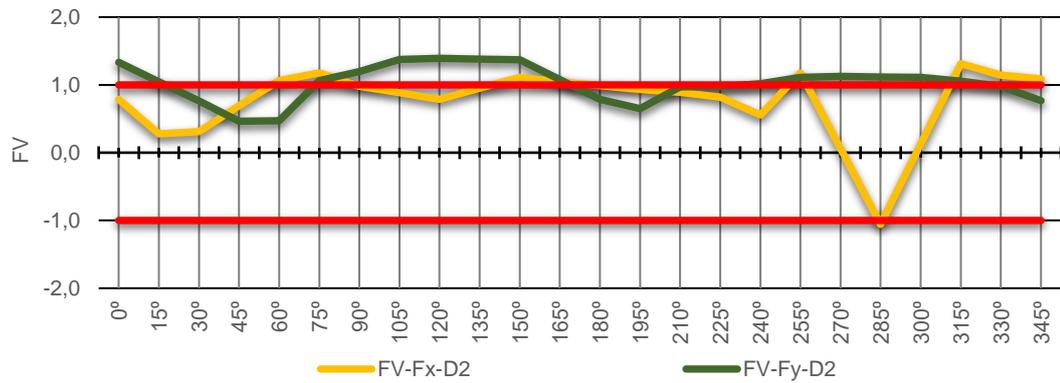


Figura G. 18: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V5D2

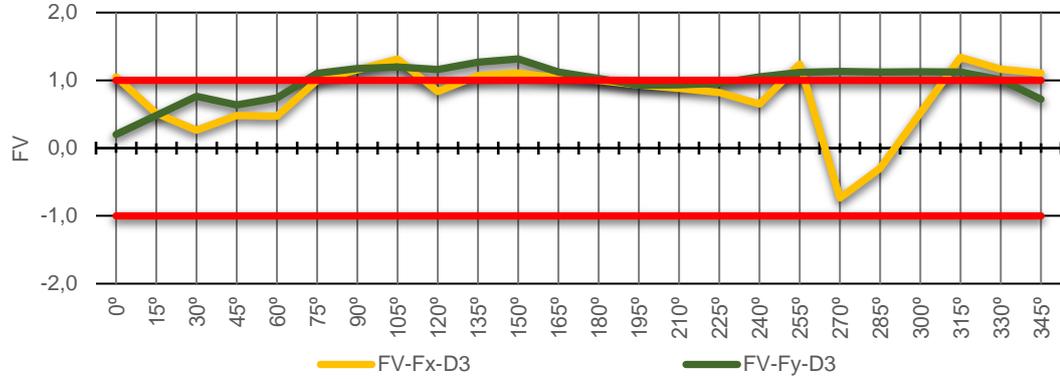


Figura G. 19: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V5D3

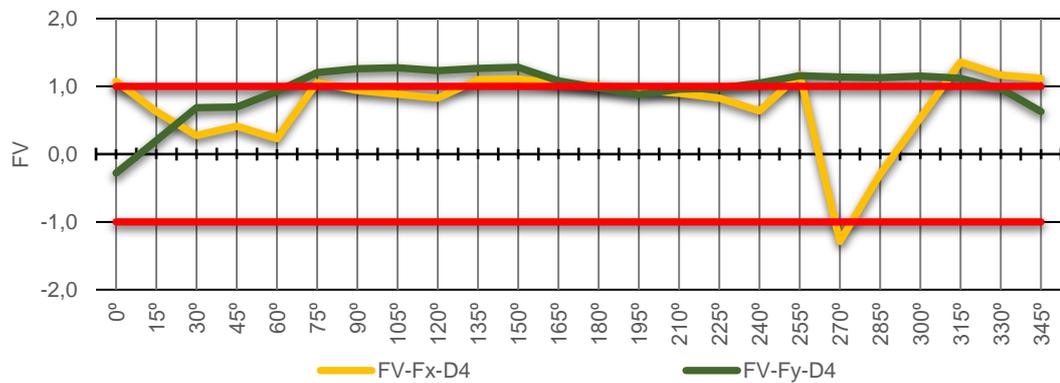


Figura G. 20: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V5D4

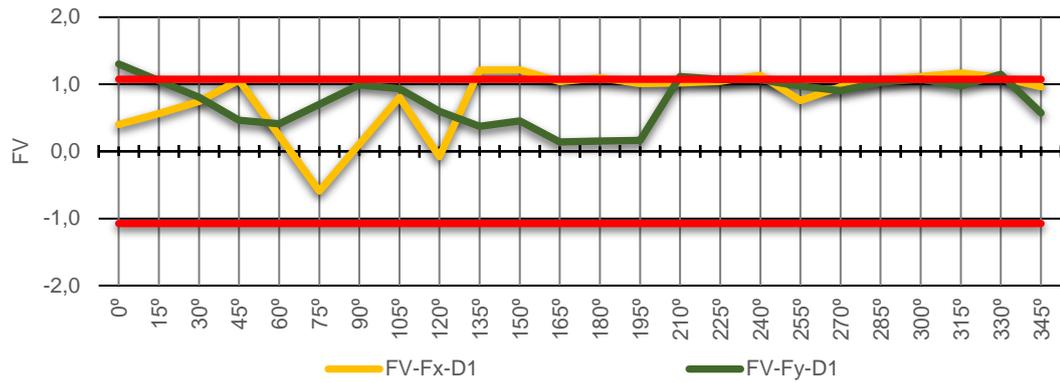


Figura G. 21: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V6D1

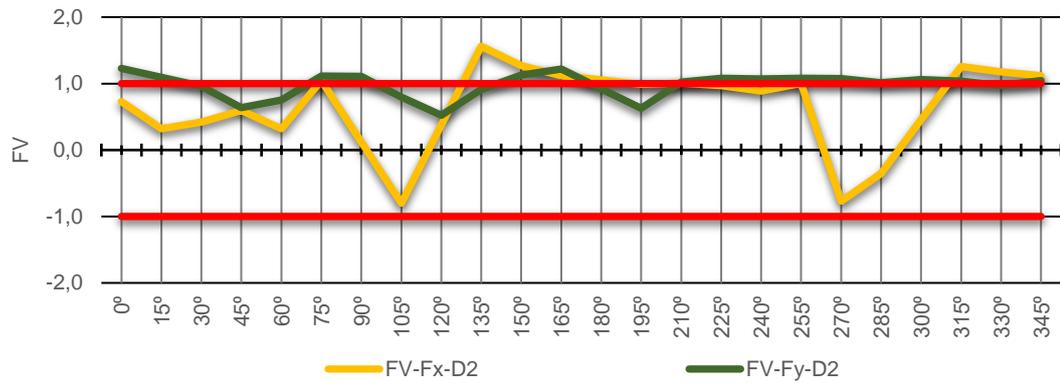


Figura G. 22: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V6D2

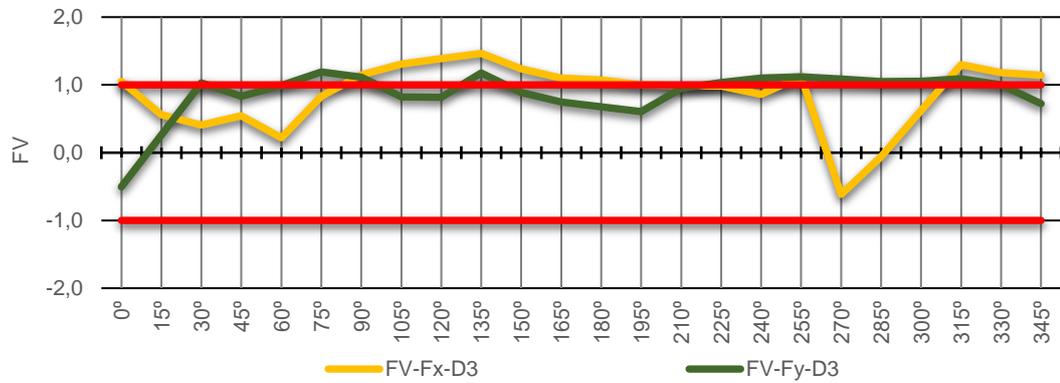


Figura G. 23: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V6D3

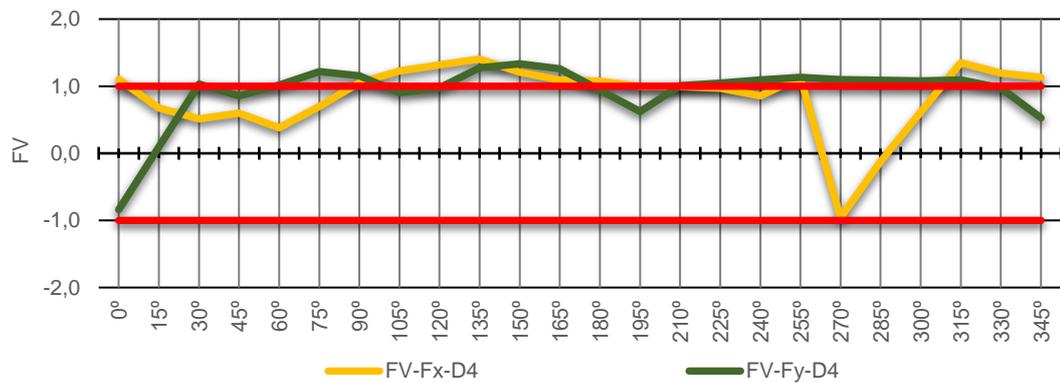


Figura G. 24: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V6D4

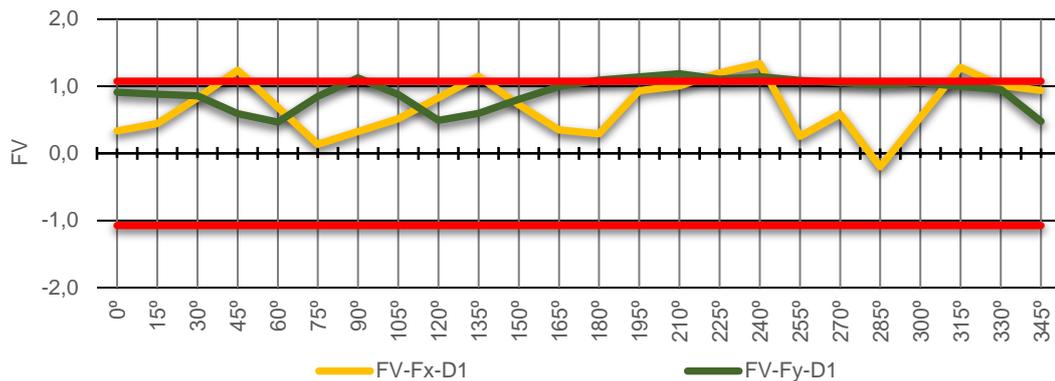


Figura G. 25: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V7D1

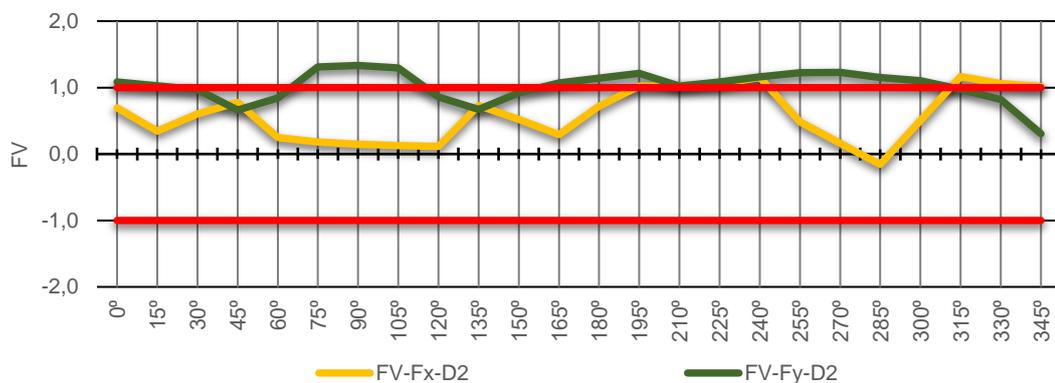


Figura G. 26: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V7D2

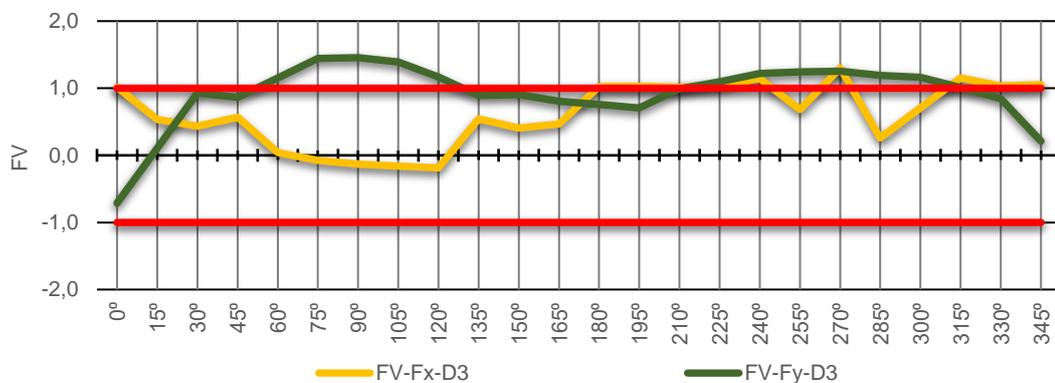


Figura G. 27: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V7D3

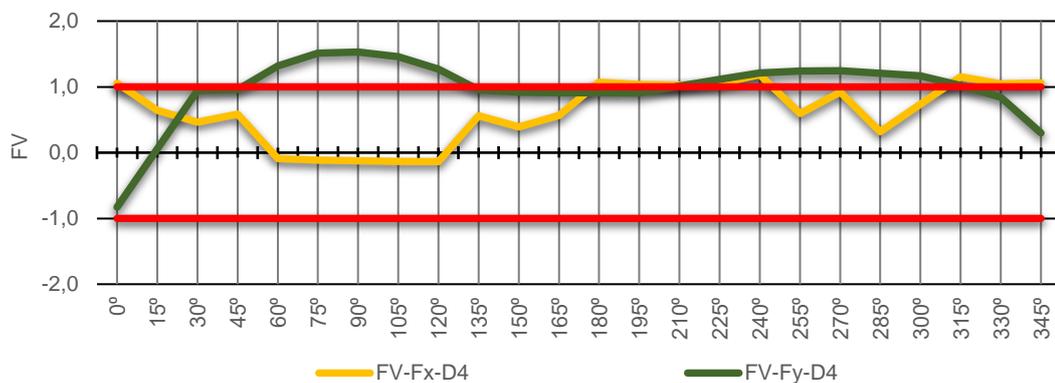


Figura G. 28: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V7D4

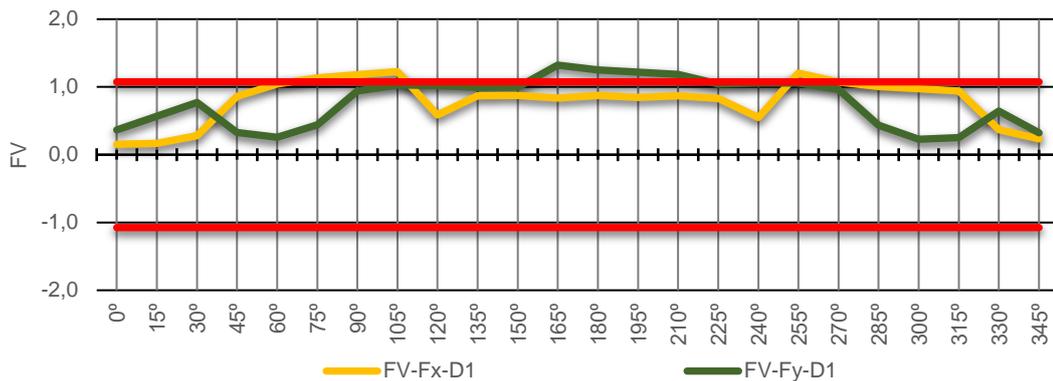


Figura G. 29: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V8D1

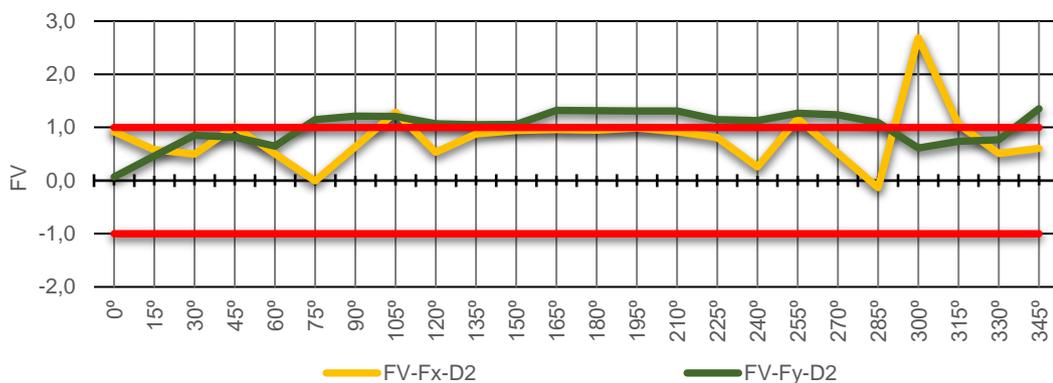


Figura G. 30: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V8D2

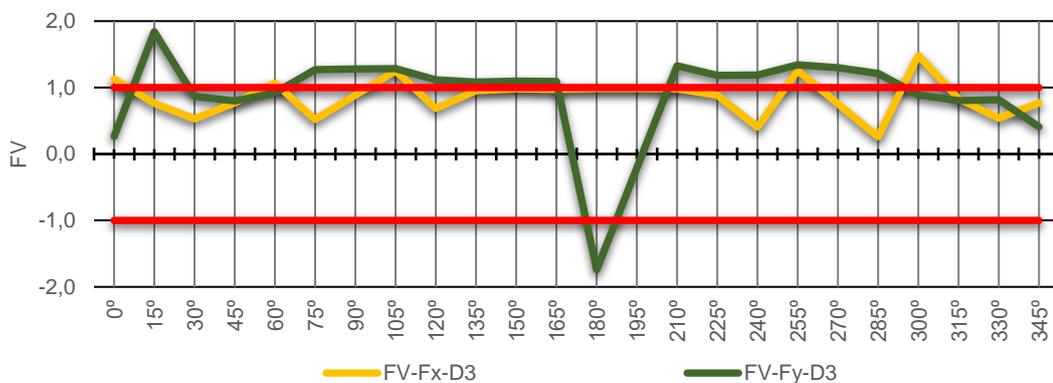


Figura G. 31: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V8D3

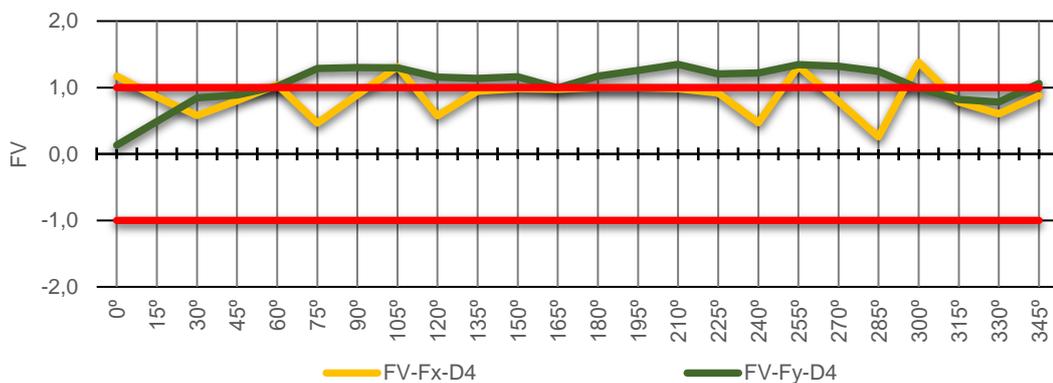


Figura G. 32: Fator de vizinhança para força resultante na direção X e Y - V8D4

APENDICE H – GRÁFICOS DO FV DA TORÇÃO

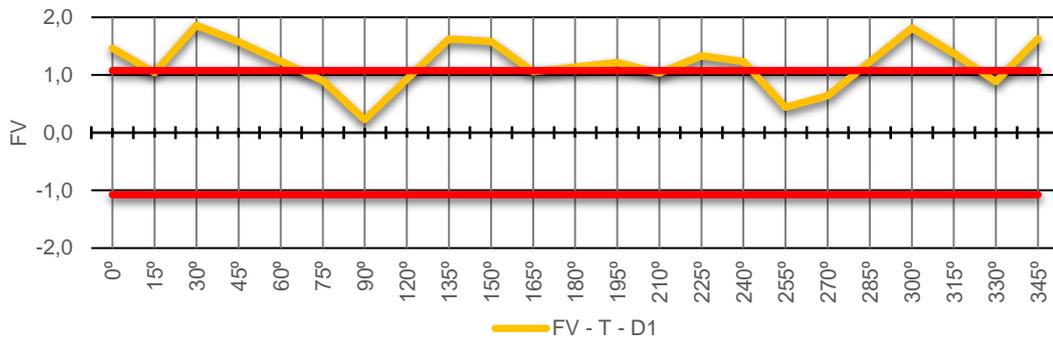


Figura H. 1: Fator de vizinhança para a torção - V1D1

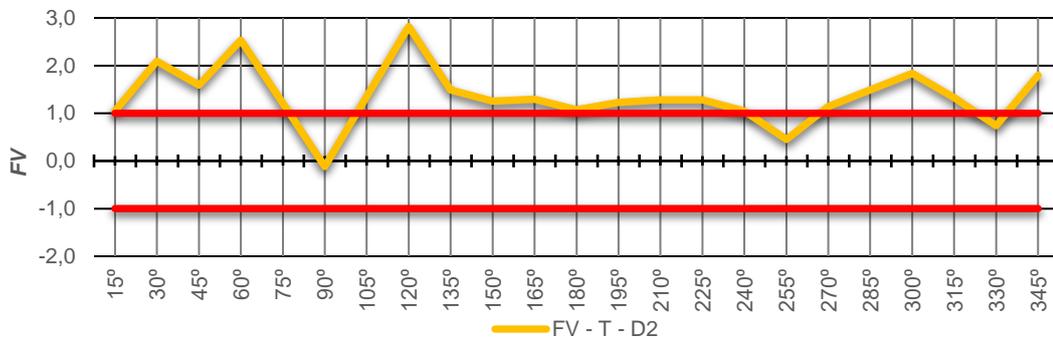


Figura H. 2: Fator de vizinhança para a torção - V1D2

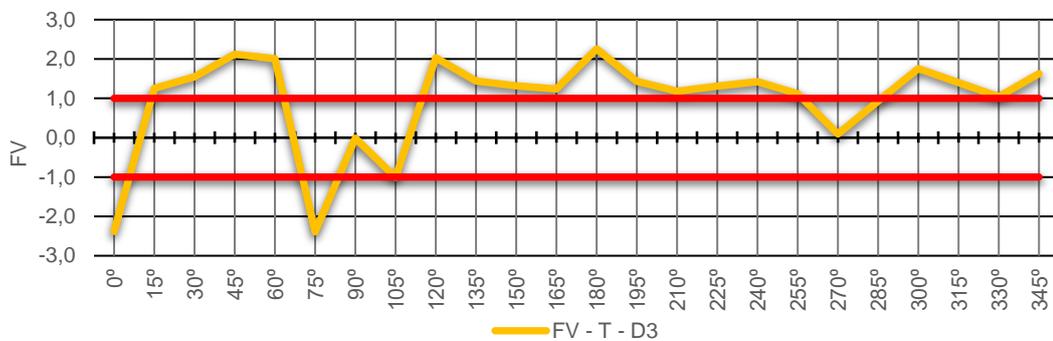


Figura H. 3: Fator de vizinhança para a torção - V1D3

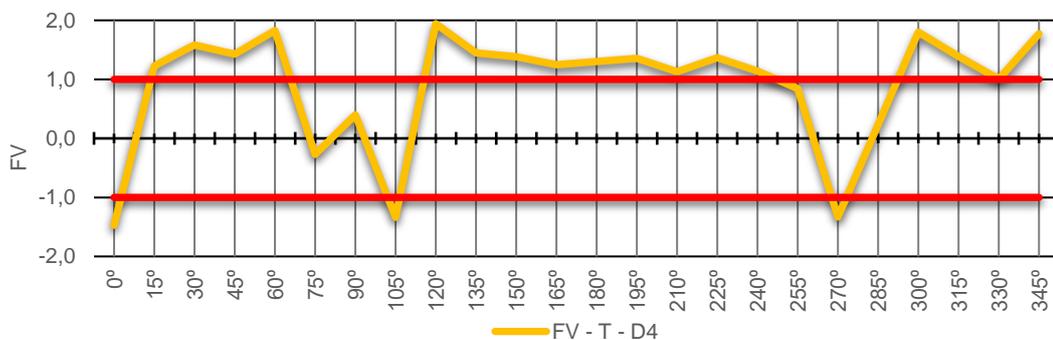


Figura H. 4: Fator de vizinhança para a torção - V1D4

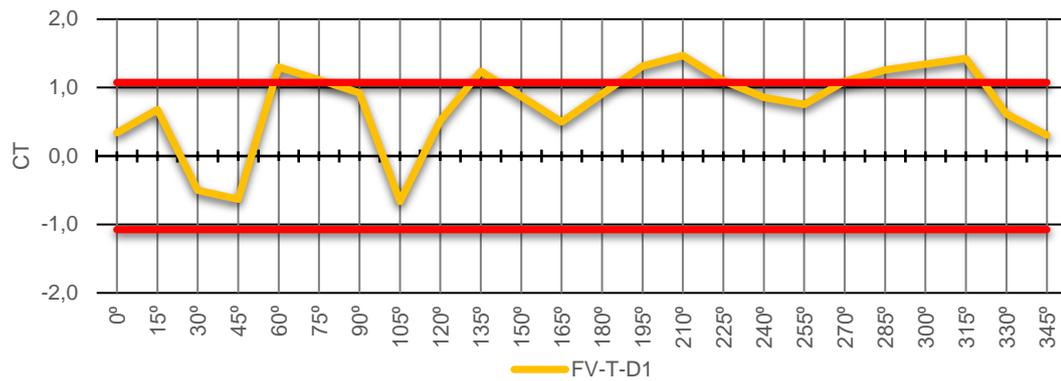


Figura H. 5: Fator de vizinhança para a torção - V2D1

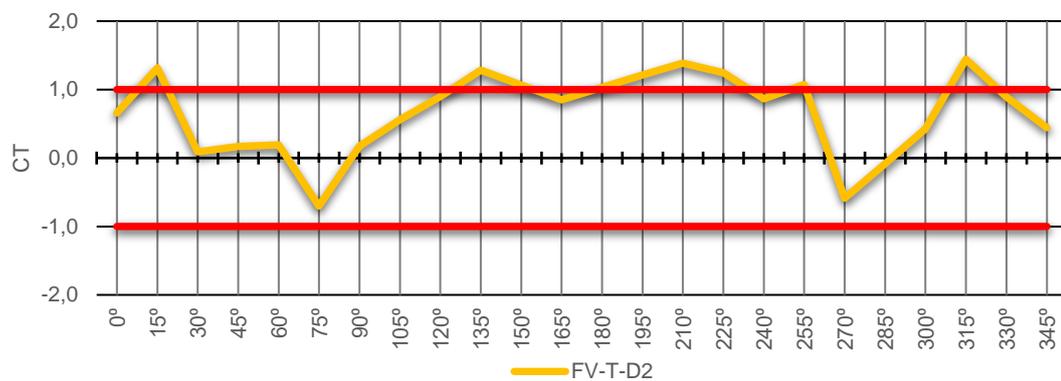


Figura H. 6: Fator de vizinhança para a torção - V2D2

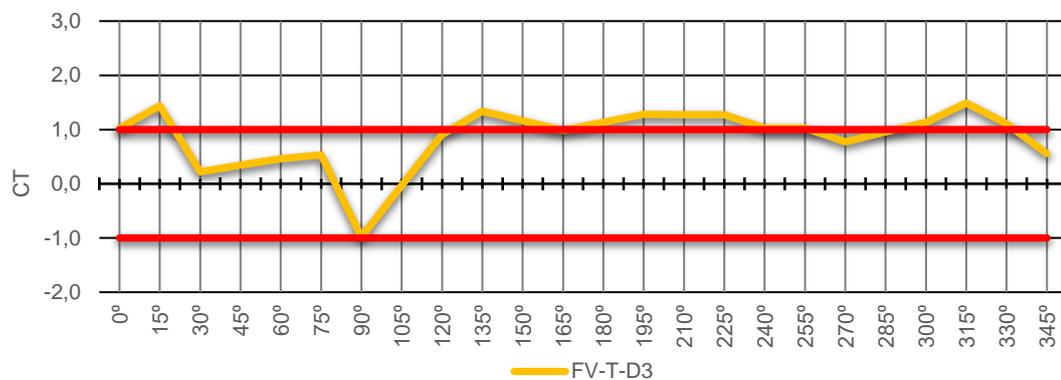


Figura H. 7: Fator de vizinhança para a torção - V2D3



Figura H. 8: Fator de vizinhança para a torção - V2D4

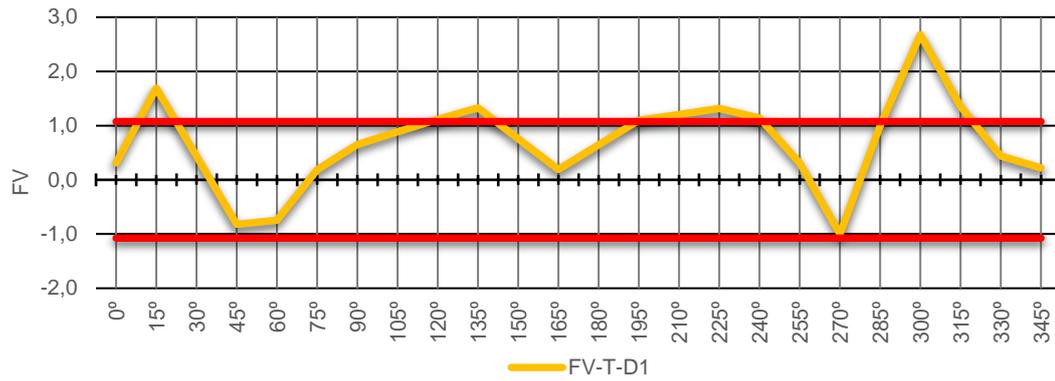


Figura H. 9: Fator de vizinhança para a torção - V3D1

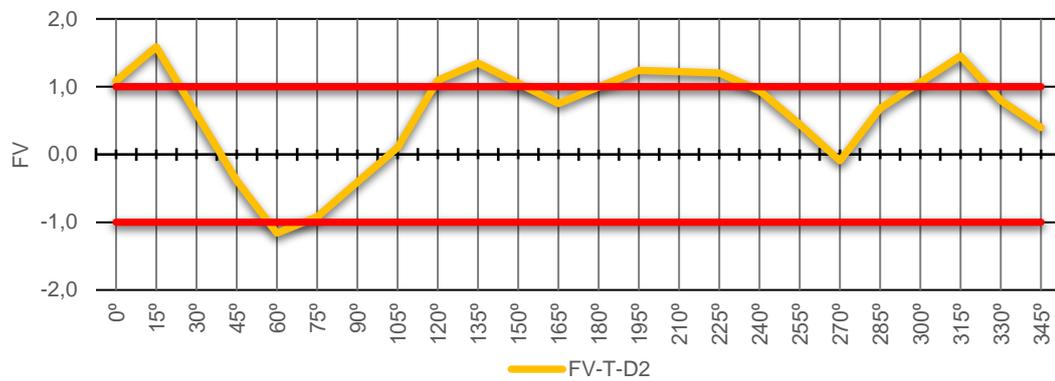


Figura H. 10: Fator de vizinhança para a torção - V3D2

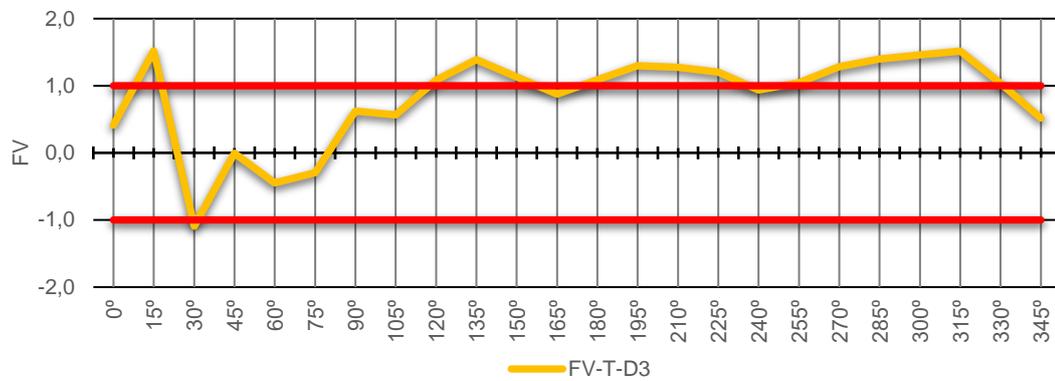


Figura H. 11: Fator de vizinhança para a torção - V3D3

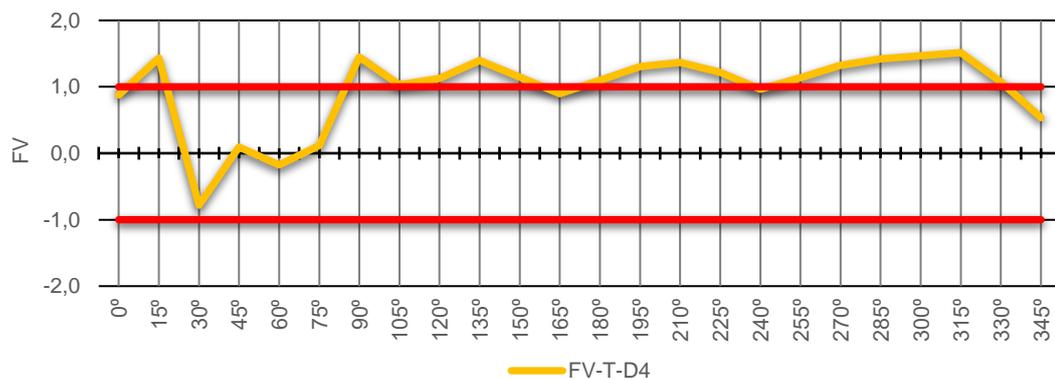


Figura H. 12: Fator de vizinhança para a torção - V3D4

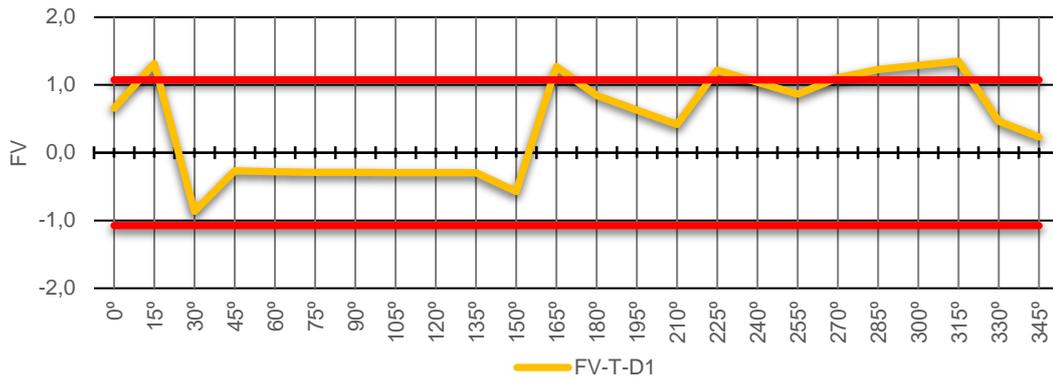


Figura H. 13: Fator de vizinhança para a torção - V4D1

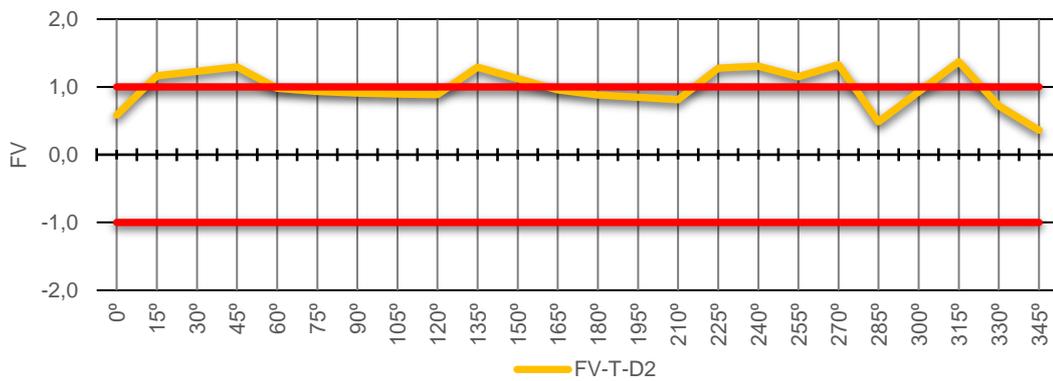


Figura H. 14: Fator de vizinhança para a torção - V4D2

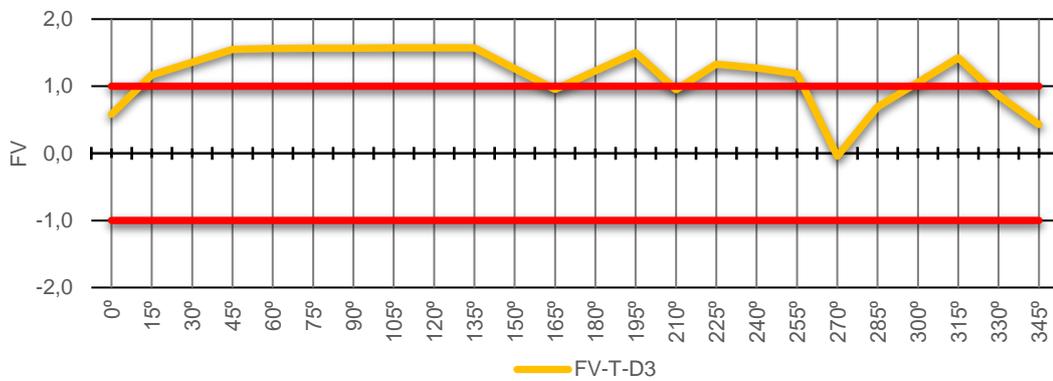


Figura H. 15: Fator de vizinhança para a torção - V4D3

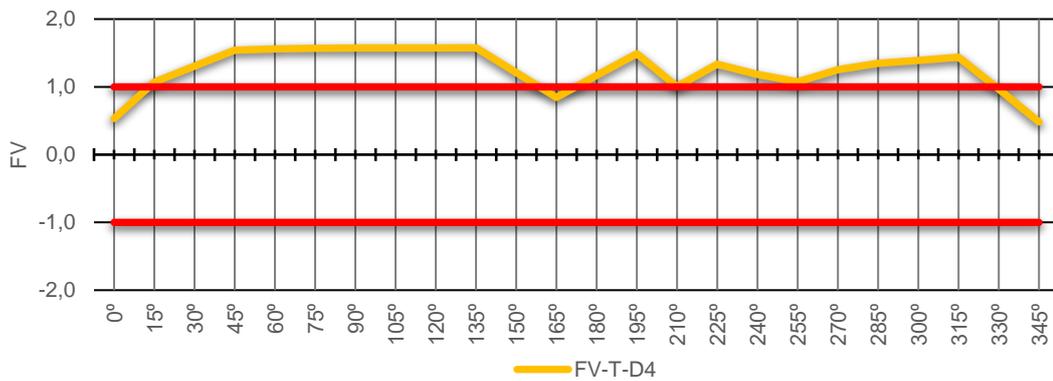


Figura H. 16: Fator de vizinhança para a torção - V4D4

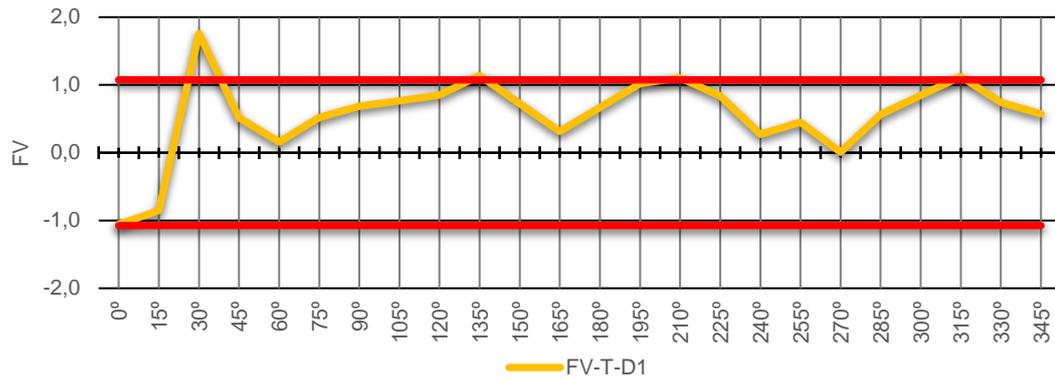


Figura H. 17: Fator de vizinhança para a torção - V5D1

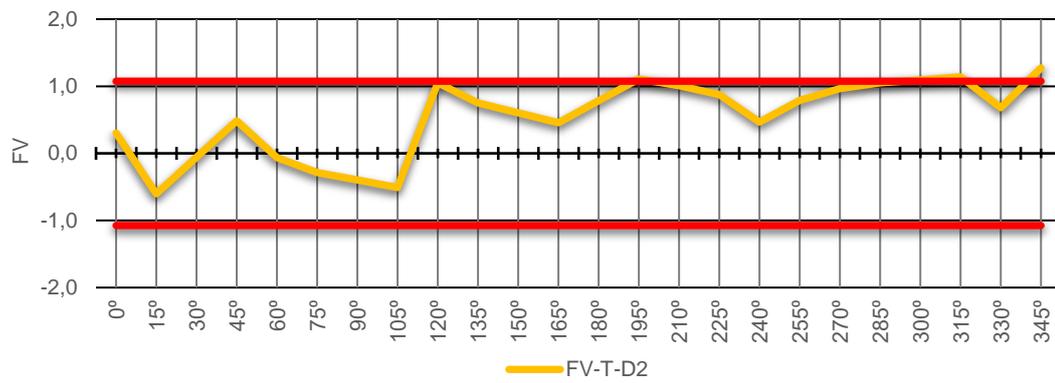


Figura H. 18: Fator de vizinhança para a torção - V5D2

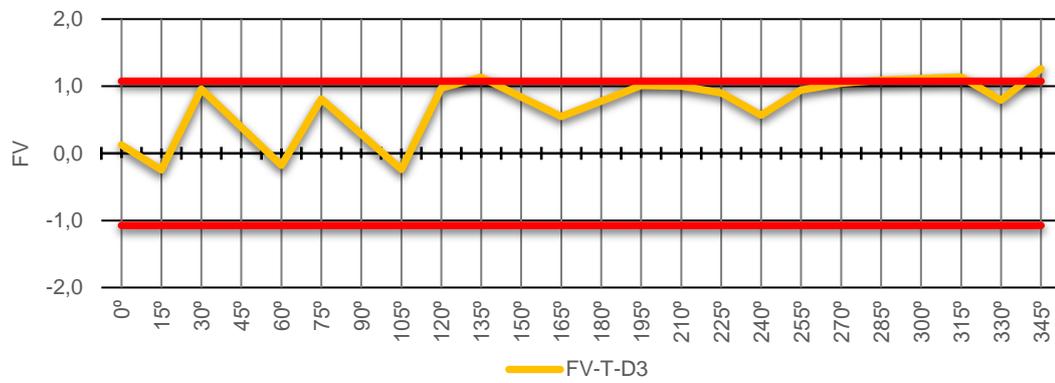


Figura H. 19: Fator de vizinhança para a torção - V5D3

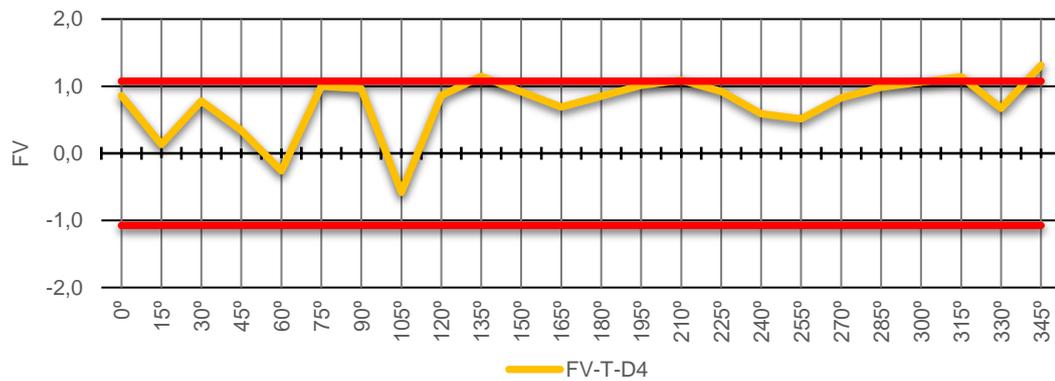


Figura H. 20: Fator de vizinhança para a torção - V5D4

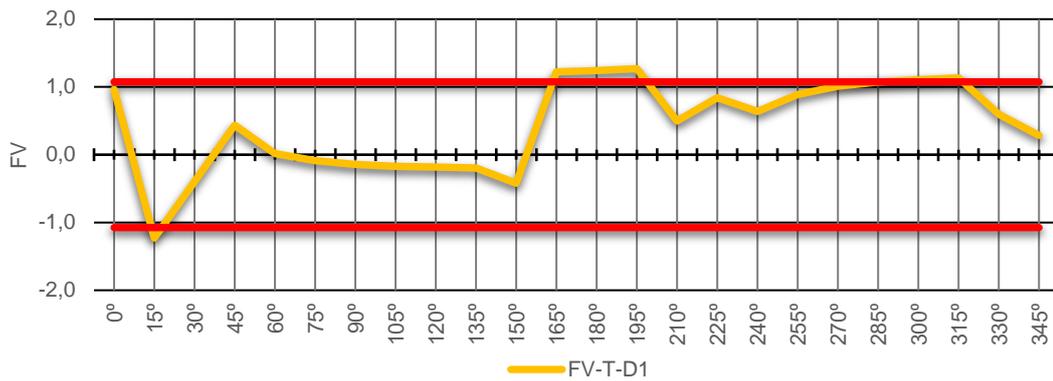


Figura H. 21: Fator de vizinhança para a torção - V6D1

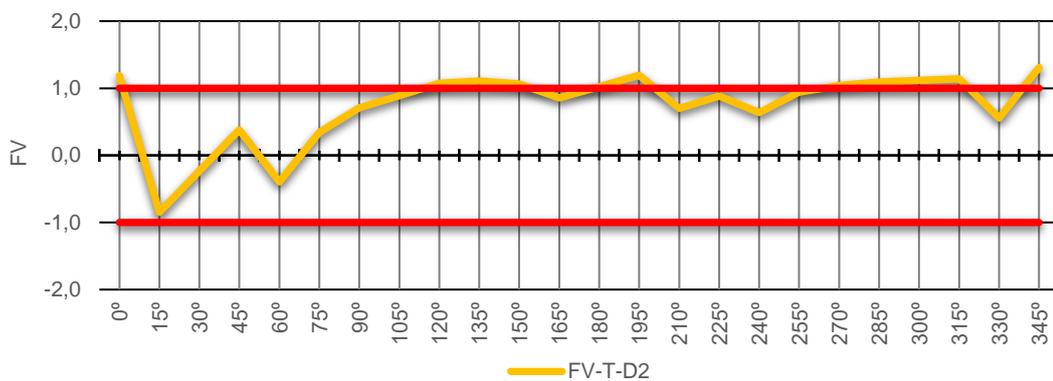


Figura H. 22: Fator de vizinhança para a torção - V6D2

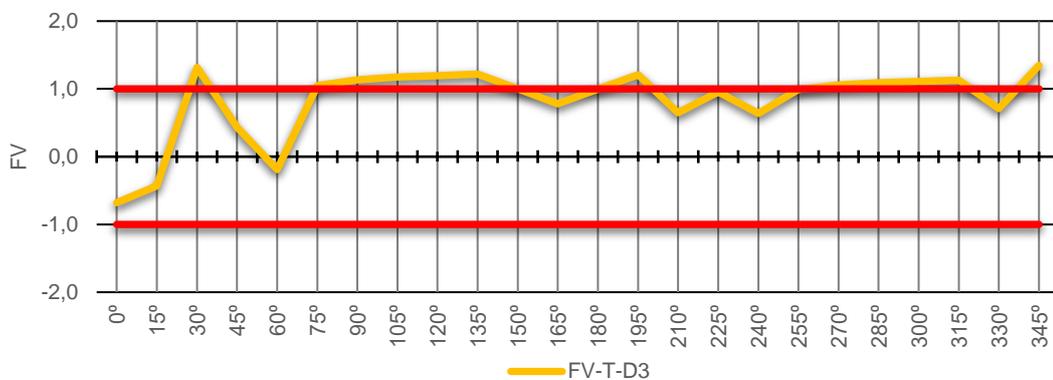


Figura H. 23: Fator de vizinhança para a torção - V6D3

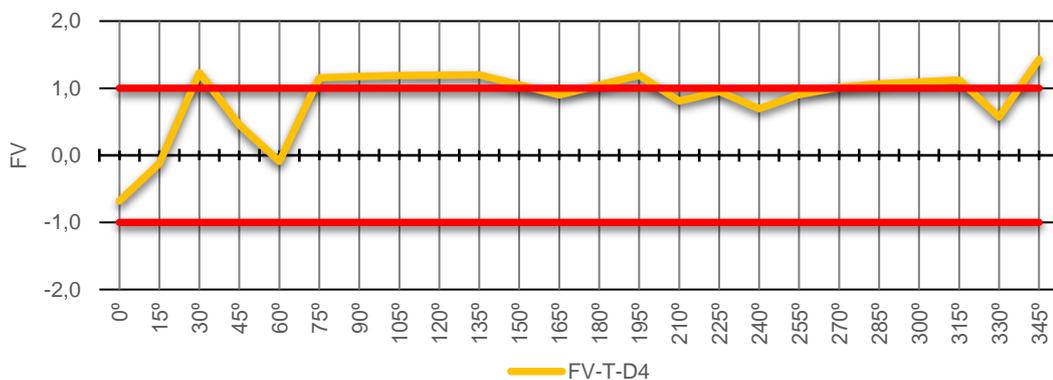


Figura H. 24: Fator de vizinhança para a torção - V6D4



Figura H. 25: Fator de vizinhança para a torção - V7D1

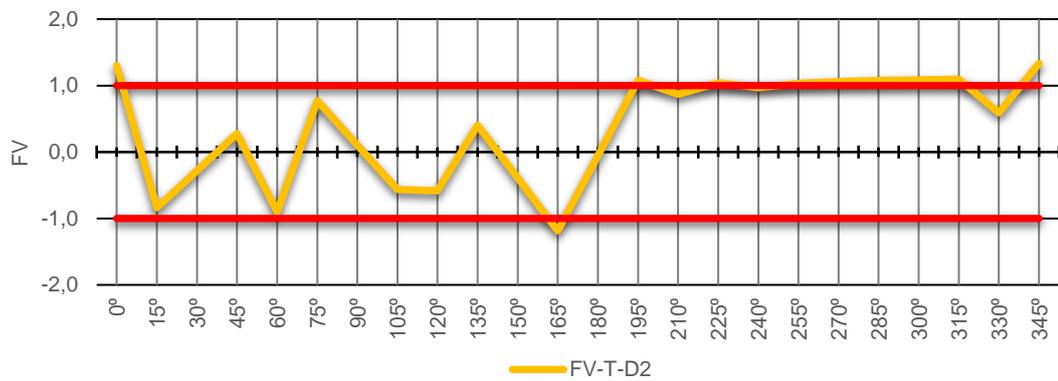


Figura H. 26: Fator de vizinhança para a torção - V7D2

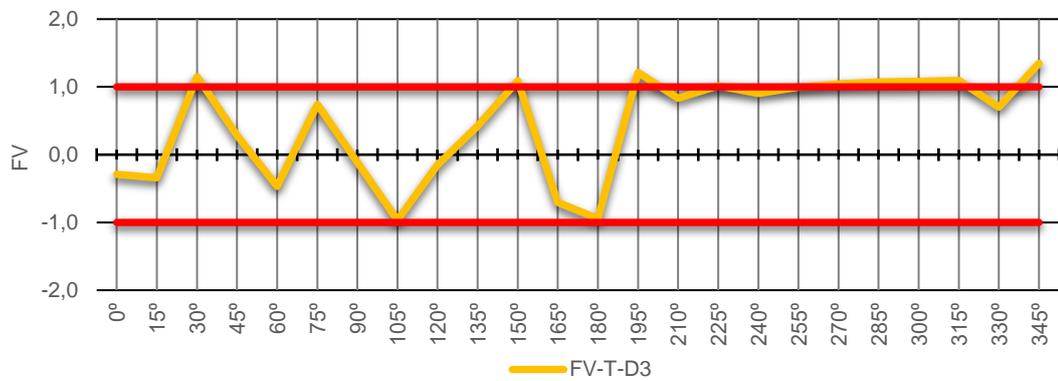


Figura H. 27: Fator de vizinhança para a torção - V7D3

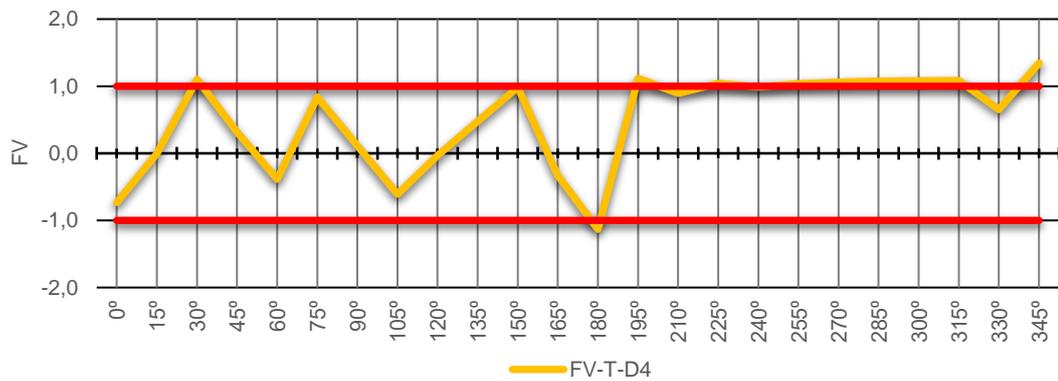


Figura H. 28: Fator de vizinhança para a torção - V7D4

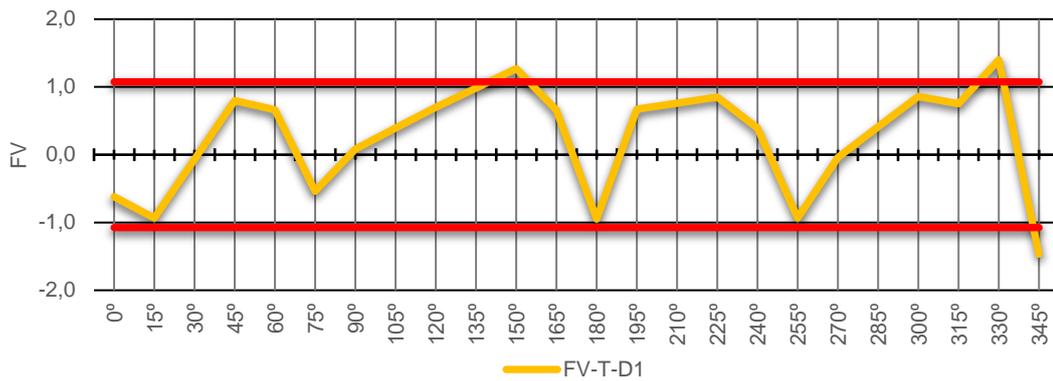


Figura H. 29: Fator de vizinhança para a torção - V8D1

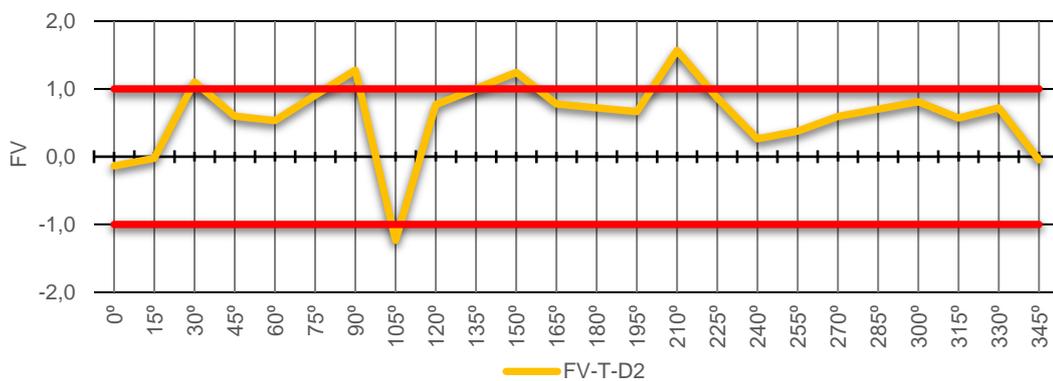


Figura H. 30: Fator de vizinhança para a torção - V8D2

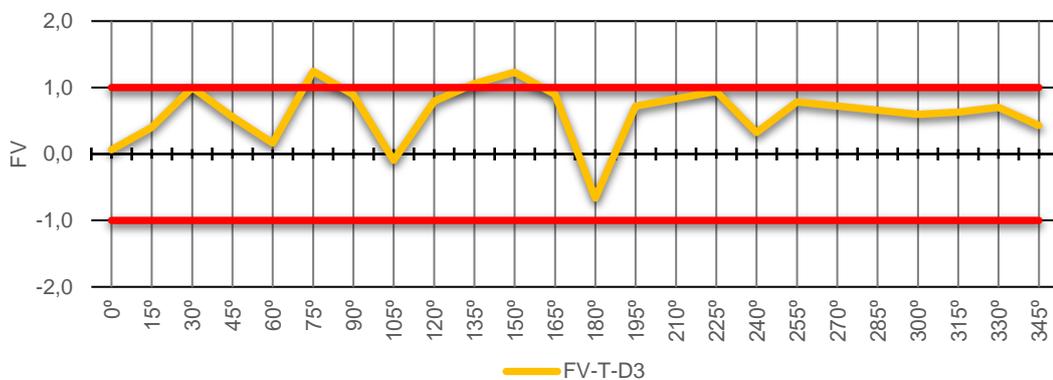


Figura H. 31: Fator de vizinhança para a torção - V8D3

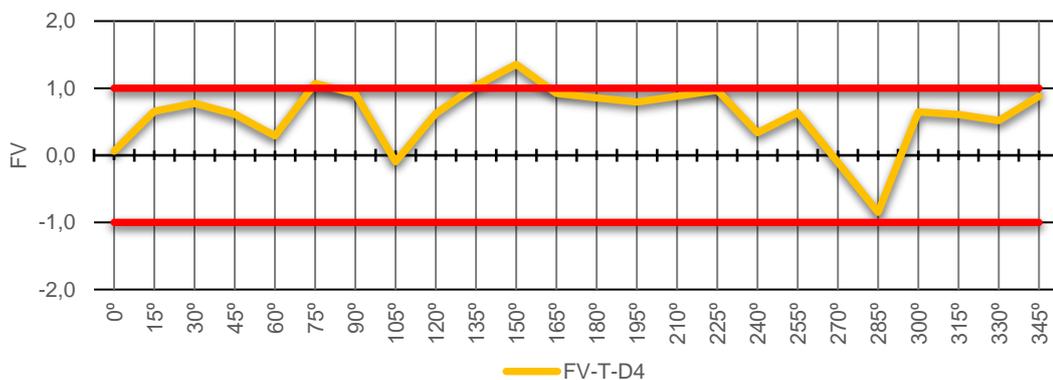


Figura H. 32: Fator de vizinhança para a torção - V8D4

APENDICE I – GRÁFICOS DO FV DA FLEXÃO EM TORNO DOS EIXOS

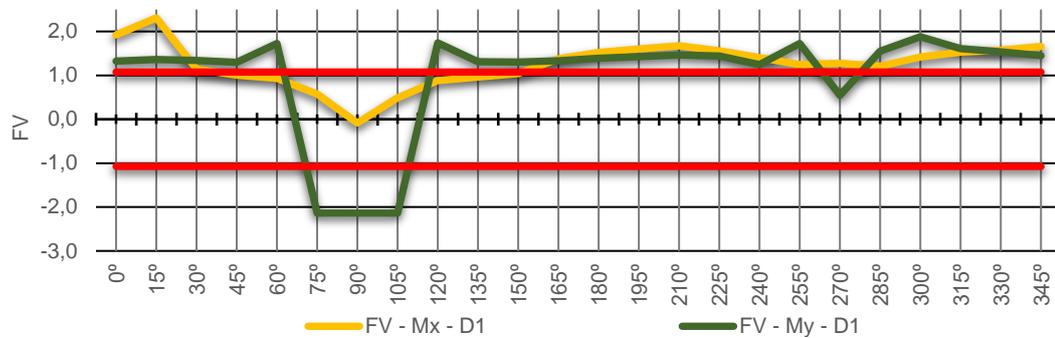


Figura I. 1: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V1D1



Figura I. 2: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V1D2

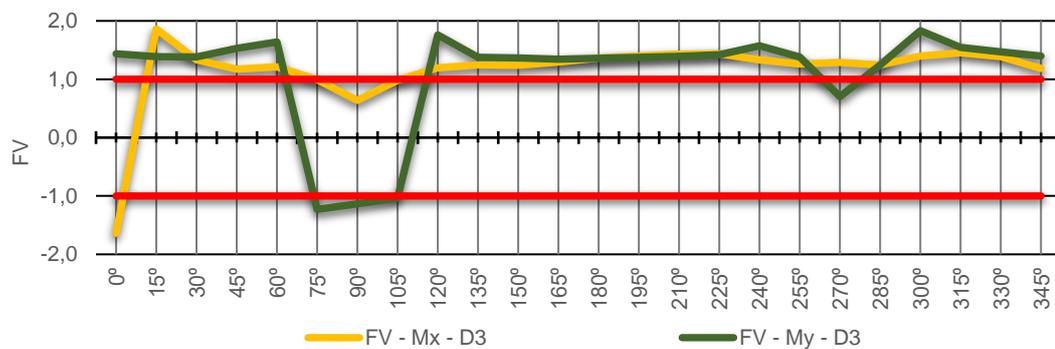


Figura I. 3: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V1D3

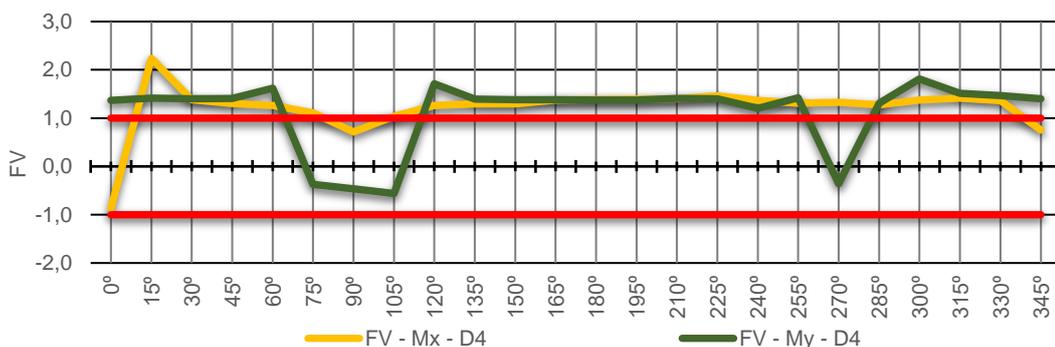


Figura I. 4: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V1D4

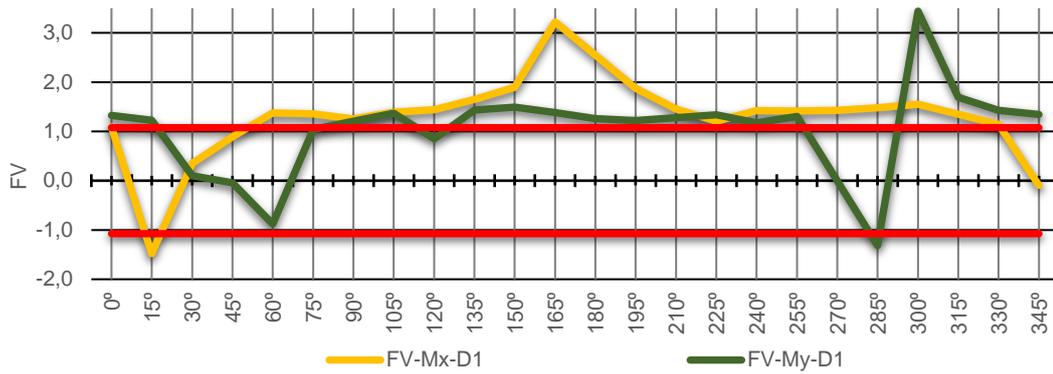


Figura I. 5: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V2D1

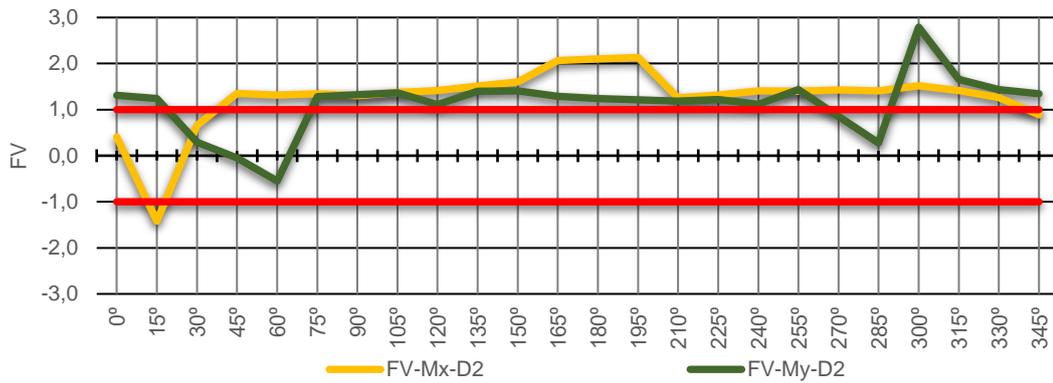


Figura I. 6: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V2D2

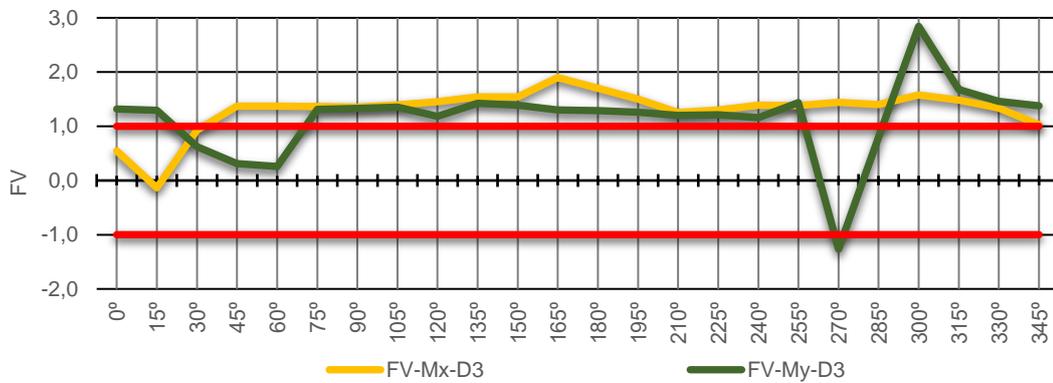


Figura I. 7: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V2D3

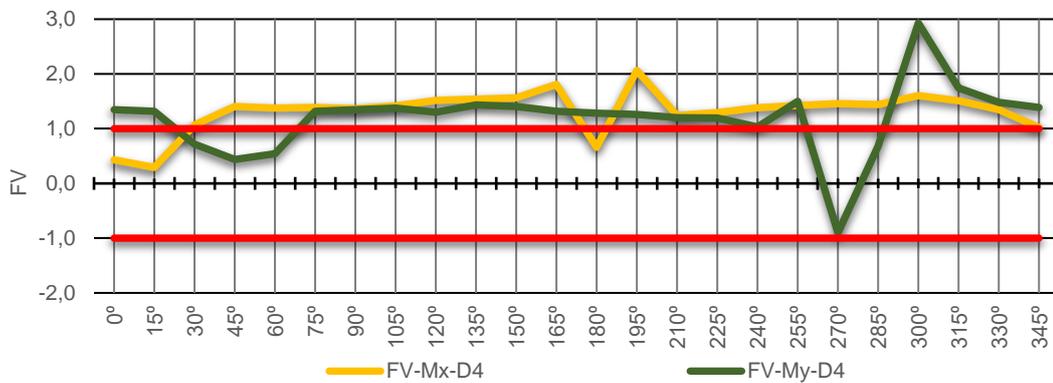


Figura I. 8: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V2D4

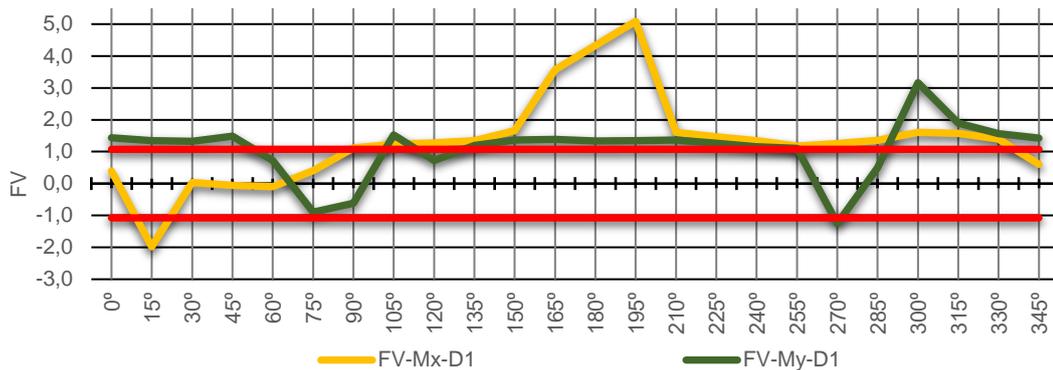


Figura I. 9: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V3D1

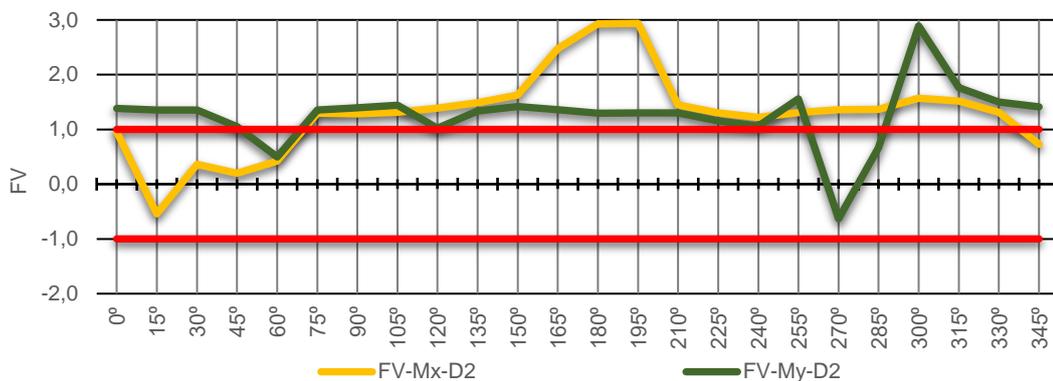


Figura I. 10: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V3D2

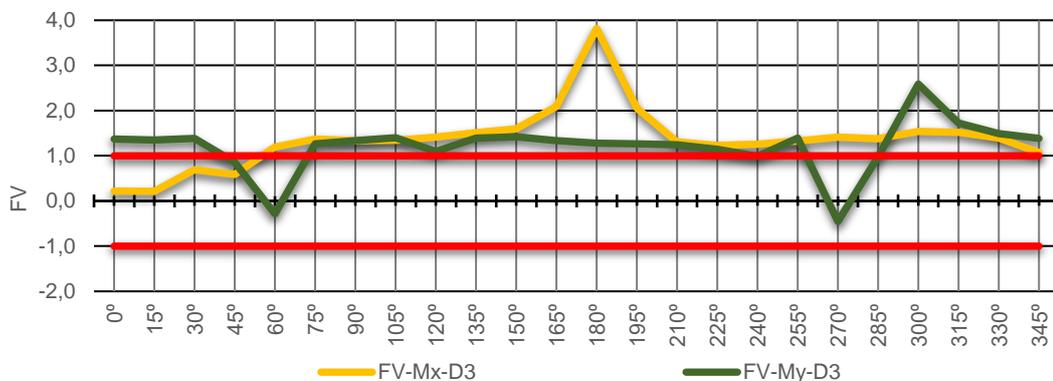


Figura I. 11: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V3D3

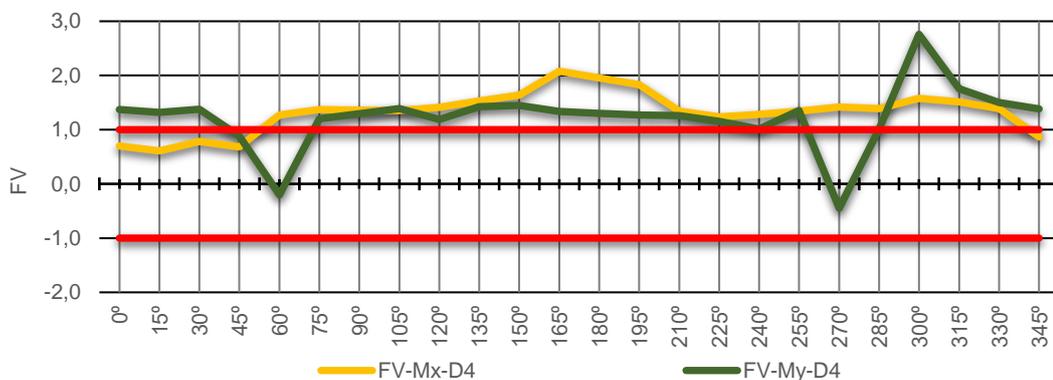


Figura I. 12: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V3D4

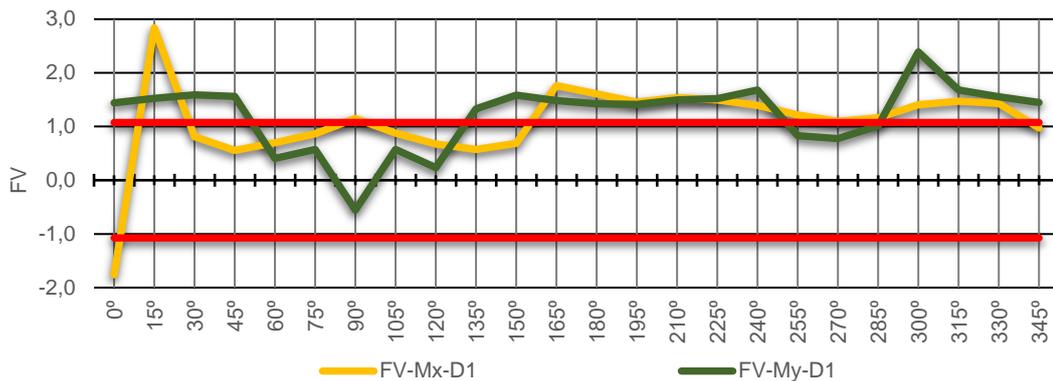


Figura I. 13: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V4D1

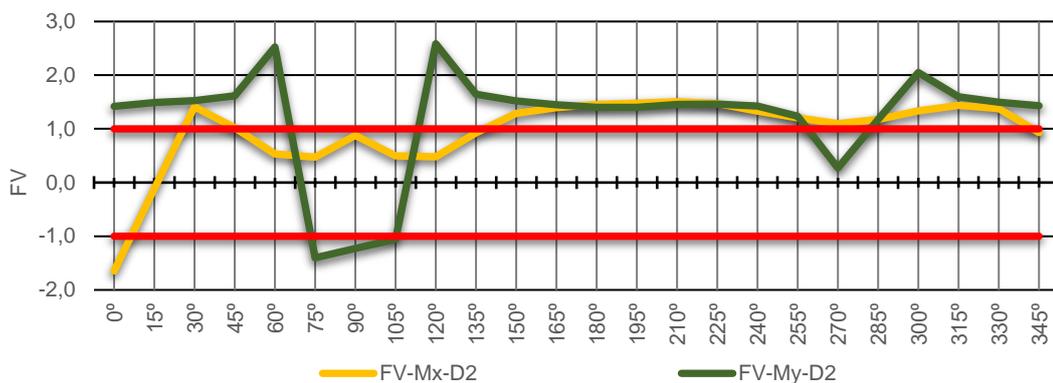


Figura I. 14: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V4D2

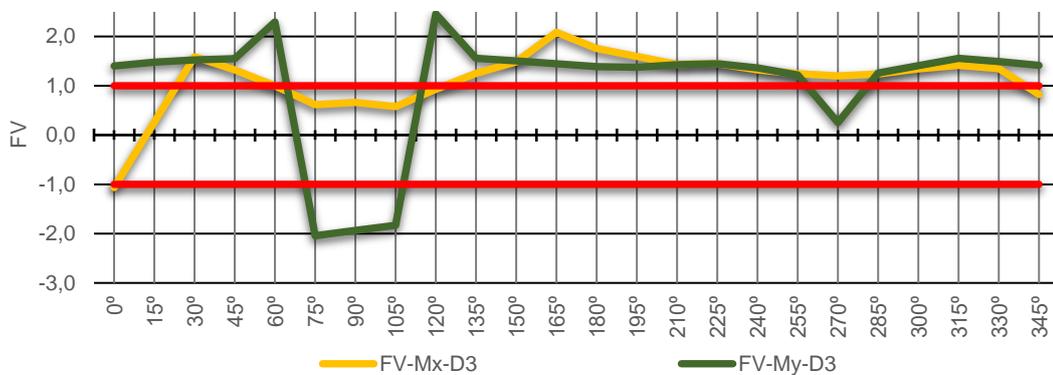


Figura I. 15: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V4D3



Figura I. 16: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V4D4

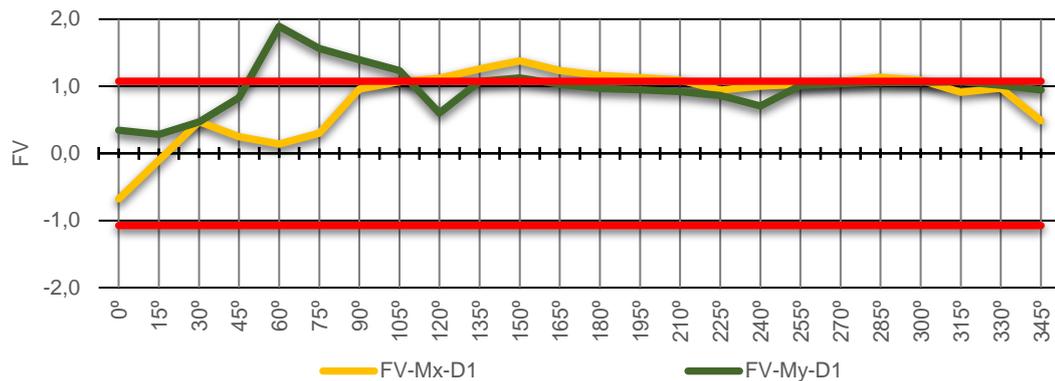


Figura I. 17: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V5D1

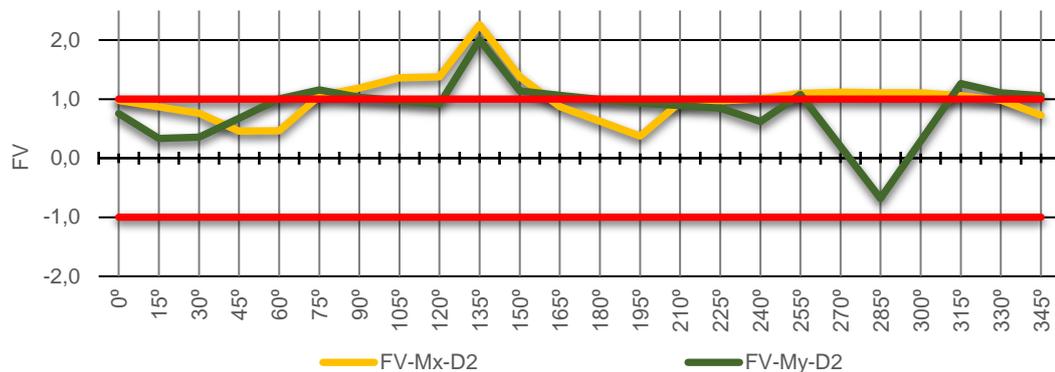


Figura I. 18: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V5D2

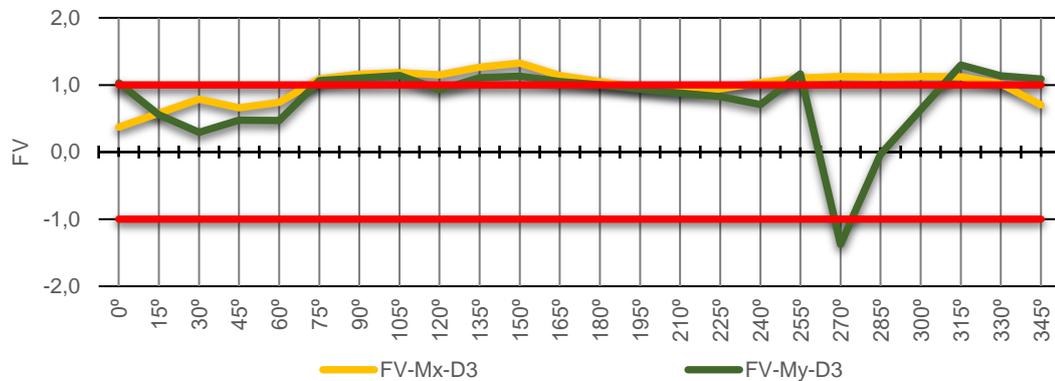


Figura I. 19: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V5D3

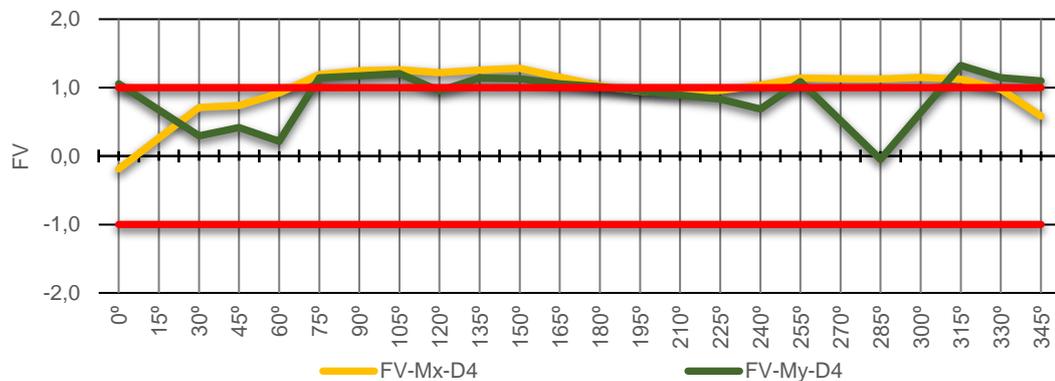


Figura I. 20: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V5D4

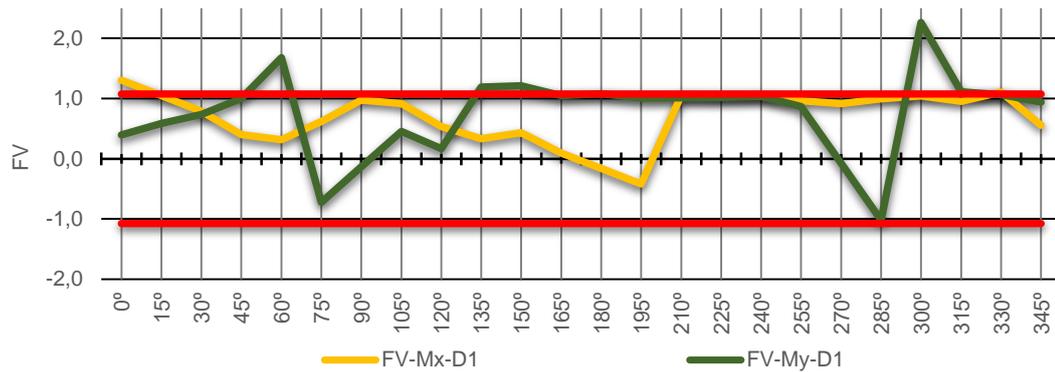


Figura I. 21: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V6D1

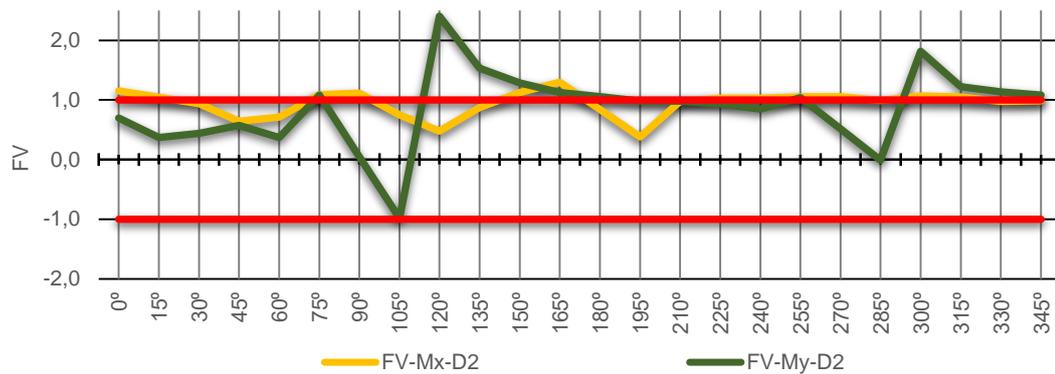


Figura I. 22: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V6D2



Figura I. 23: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V6D3

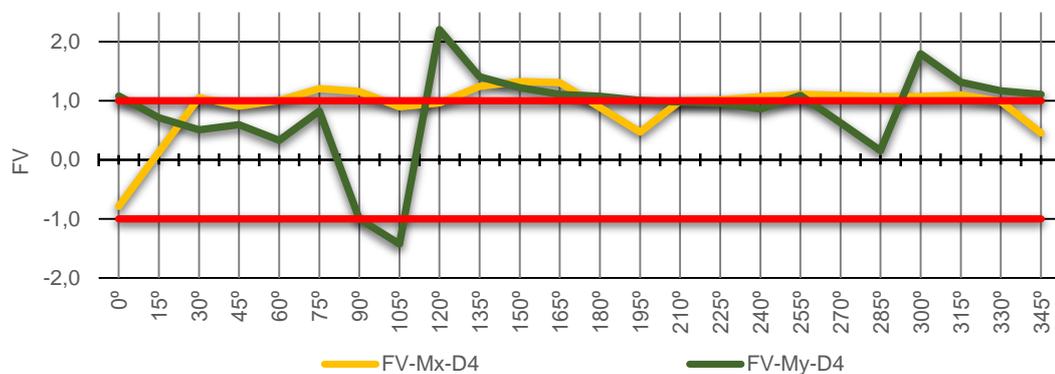


Figura I. 24: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V6D4

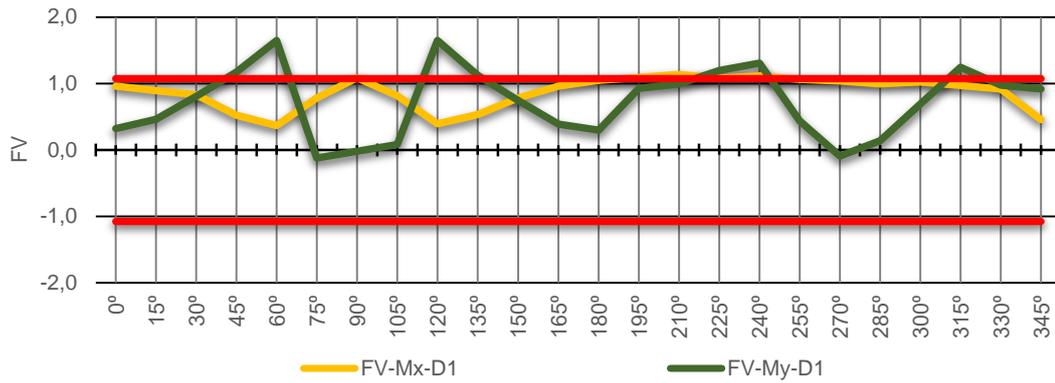


Figura I. 25: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V7D1

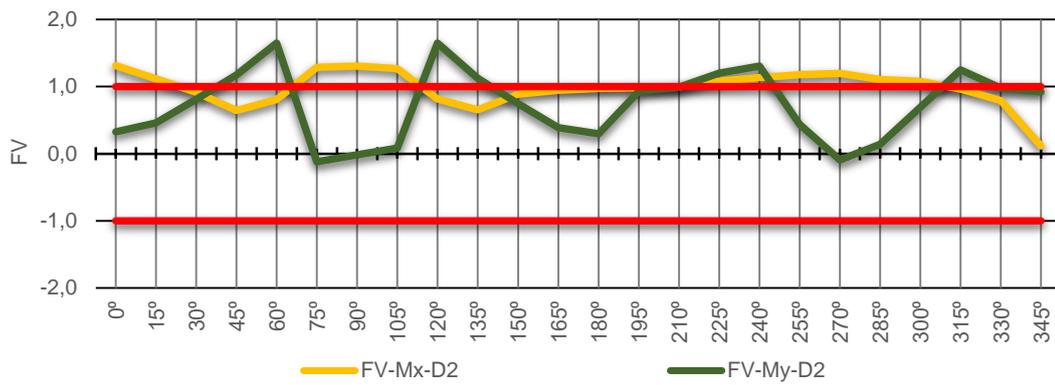


Figura I. 26: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V7D2

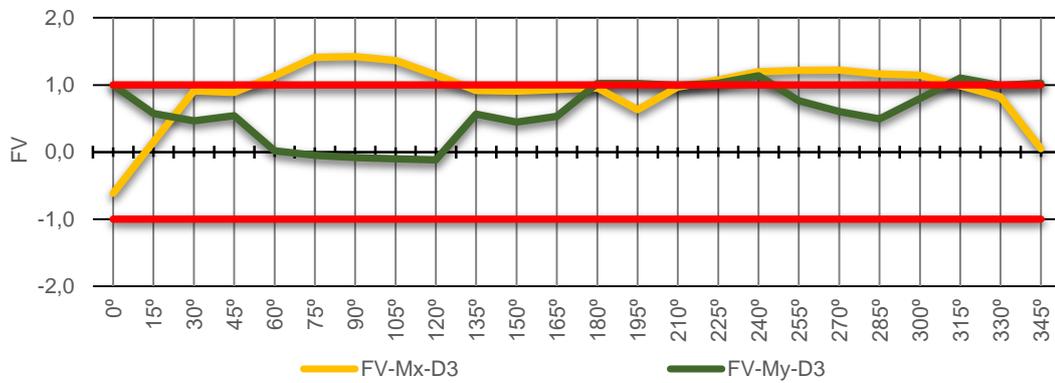


Figura I. 27: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V7D3

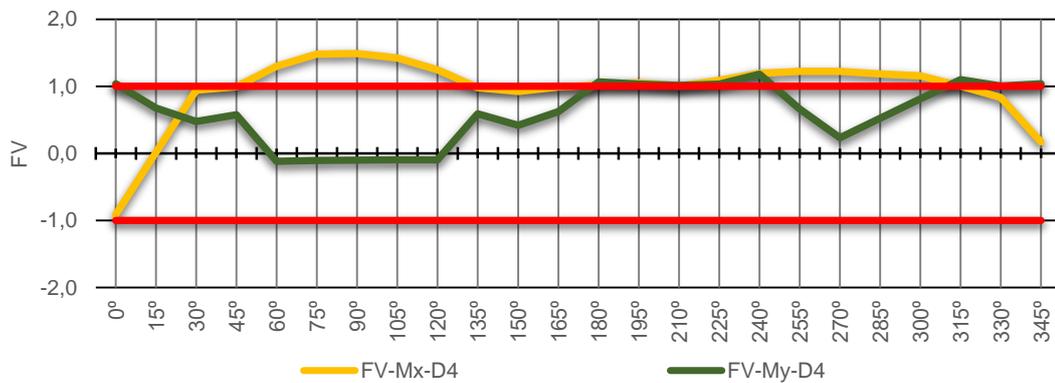


Figura I. 28: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V7D4

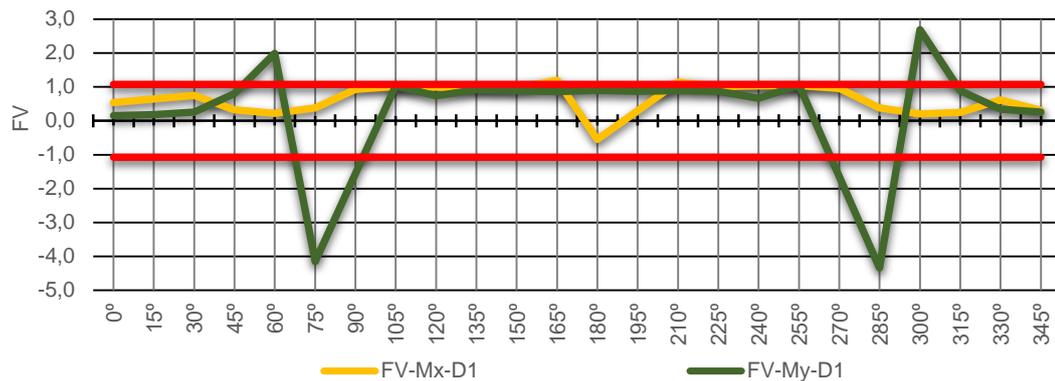


Figura I. 29: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V8D1

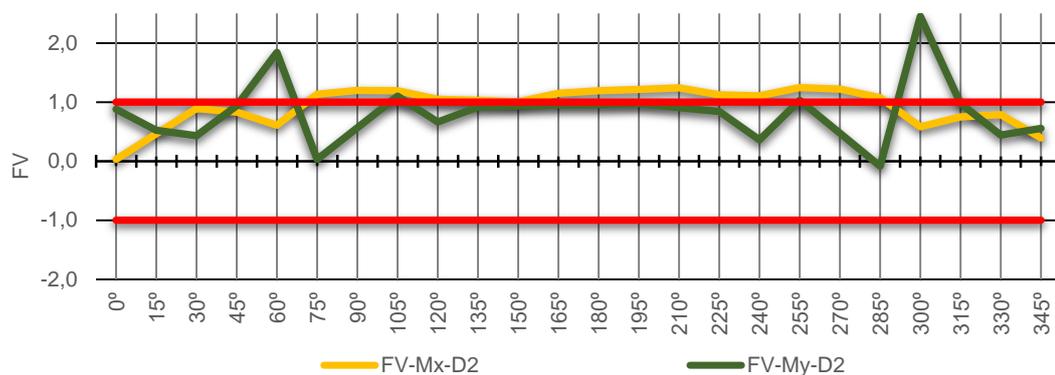


Figura I. 30: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V8D2

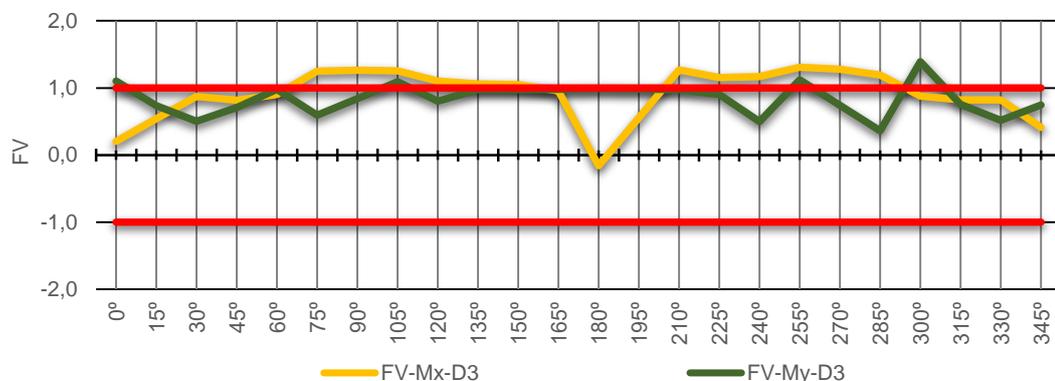


Figura I. 31: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V8D3

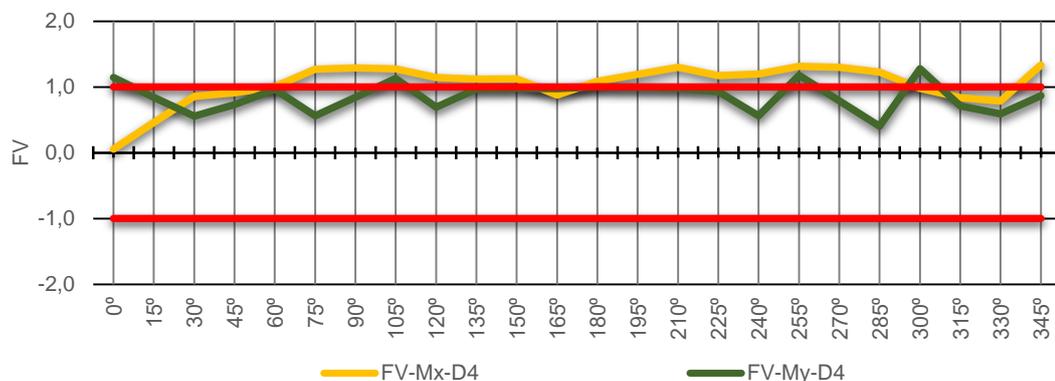


Figura I. 32: Fator de vizinhança para a flexão em torno de X e Y - V8D4

APENDICE J – DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE PRESSÃO AERODINÂMICOS

Conforme descrito na seção 3 deste trabalho, o modelo reduzido do *CAARC Standard Tall Building* utilizado nos ensaios experimentais conta com 280 tomadas de pressão. Para cada direção do vento a aparelhagem experimental faz 8192 leituras de pressão em cada uma das tomadas do *CAARC Standard Tall Building*.

Após as leituras, o programa computacional que comanda os aparelhos de ensaio gera um arquivo para cada direção do vento contendo todas as 8192 leituras tanto das pressões para todas as tomadas, quanto para as leituras de pressão nos dois anéis piezométricos situados nos extremos do túnel de vento.

Uma vez com de posse dos dados determina-se a pressão média atuante em cada tomada para cada direção de incidência do vento, conforme indicado na expressão J.1.

$$\Delta p_{e-m\u00e9dio} = \frac{\sum p_i}{8192} \quad (\text{J.1})$$

Com racioc\u00ednio an\u00e1logo, calcula-se a press\u00e3o m\u00e9dia em cada anel piezom\u00e9trico do t\u00fanel, a partir das leituras do arquivo no momento do ensaio. A varia\u00e7\u00e3o da press\u00e3o din\u00e2mica ser\u00e1 dada pela diferen\u00e7a entre as press\u00f5es m\u00e9dias em cada anel, conforme apresentado pela express\u00e3o J.2.

$$\Delta p_a = \frac{\sum p_{anel\ 1}}{8192} - \frac{\sum p_{anel\ 2}}{8192} \quad (\text{J.2})$$

Uma vez que a press\u00e3o din\u00e2mica do t\u00fanel for determinada, e de posse do fator de calibra\u00e7\u00e3o do t\u00fanel de vento, “ k_0 ”, calcula-se a press\u00e3o din\u00e2mica ao longe conforme apresentado na se\u00e7\u00e3o 3 pela express\u00e3o 3.3.

Para se determinar o coeficiente de press\u00e3o atuante na tomada no momento do ensaio, multiplica-se a press\u00e3o m\u00e9dia na tomada por um fator de corre\u00e7\u00e3o (FC) da unidade, uma vez que as tomadas no aparelho de leitura de press\u00e3o do t\u00fanel de vento fornecem o resultado em uma unidade (mmH₂O) que \u00e9 diferente da press\u00e3o medida

nos anéis piezométricos (N/m²). O coeficiente de pressão na tomada será a razão entre estes dois valores, conforme apresentado pela expressão J.3. Este coeficiente de pressão será dado por um valor adimensional.

$$c_p = \frac{\Delta p_{e-m\u00e9dio} FC}{q} \quad (J.3)$$

A pr\u00f3xima etapa consiste em determinar o esfor\u00e7o atuante na \u00e1rea de influ\u00eancia de cada tomada de press\u00e3o. Esta \u00e1rea \u00e9 determinada a partir dos segmentos m\u00e9dios entre a tomada de press\u00e3o considerada e as tomadas de press\u00e3o a ela adjacentes conforme apresentado na figura J.1. No caso de a tomada ser adjacente \u00e0 borda da fachada, deve-se considerar a largura entre a tomada e a borda.

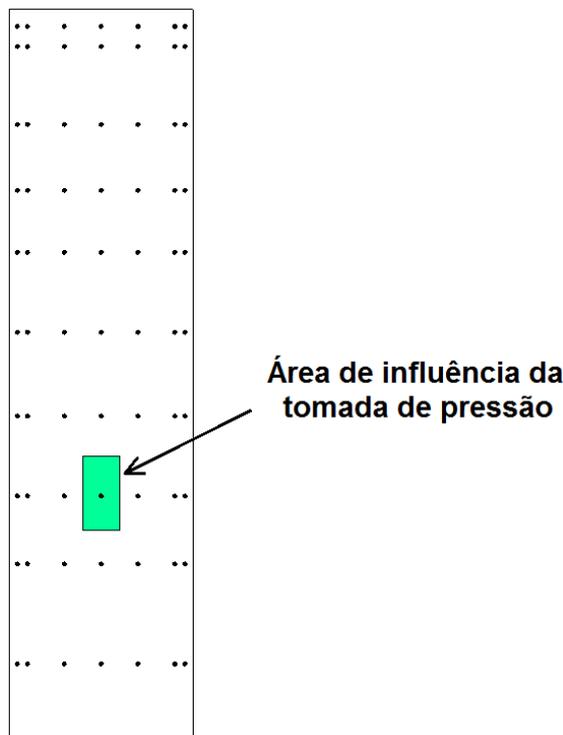


Figura J. 1: \u00c1rea de influ\u00eancia da tomada.

Depois de coletados todos os dados da press\u00e3o e da \u00e1rea de influ\u00eancia da tomada, passa-se ao c\u00e1lculo dos esfor\u00e7os de interesse. A for\u00e7a atuante na tomada, apresentada na figura J.2, \u00e9 dada pelo produto do coeficiente press\u00e3o na tomada por sua \u00e1rea de influ\u00eancia e pela press\u00e3o din\u00e2mica ao longe no momento do ensaio, conforme apresentado pela express\u00e3o J.4. Uma vez determinada a for\u00e7a atuante em

cada tomada pode-se calcular a força resultante na direção de um eixo do edifício em estudos utilizando a expressão 2.7.

$$F_i = c_{p_i} A_i q \quad (\text{J.4})$$

Onde:

- F_i : força atuante em uma tomada "i";
- c_{p_i} : coeficiente de pressão em uma tomada "i";
- A_i : área de influência da tomada "i";
- q : pressão dinâmica ao longe;

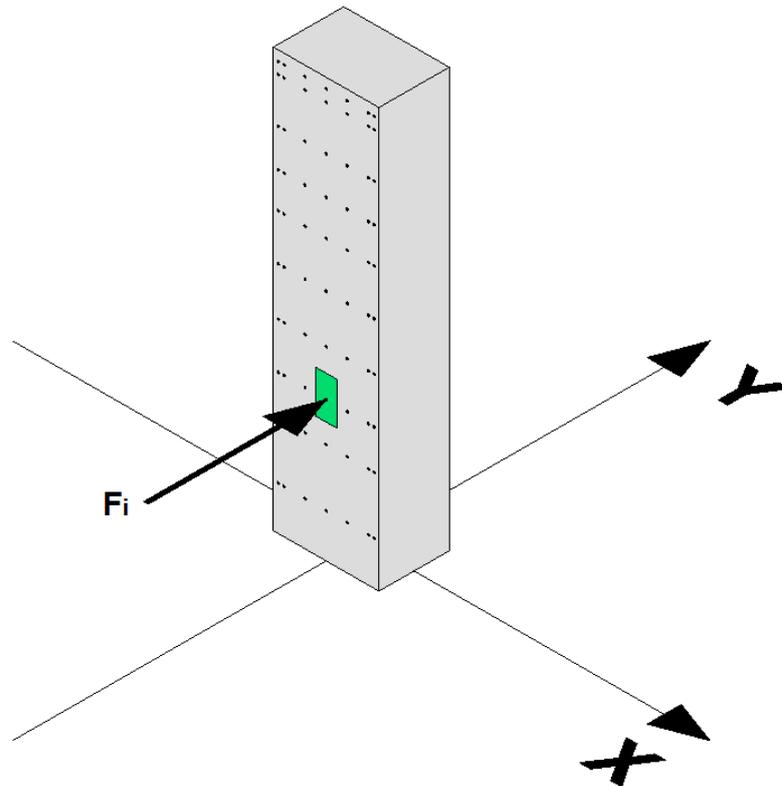


Figura J. 2: Força F_i atuante na tomada "i"

Já no caso do cálculo do momento fletor produzido pela força atuante na tomada em relação ao eixo X ou Y, ou no caso do momento torçor produzido por esta mesma força e calculado em relação ao eixo Z, conforme apresentado na figura J.3, eles são determinados pelo produto do coeficiente pressão na tomada por sua área de

influência, pela pressão dinâmica ao longe no momento do ensaio e pela distância entre a direção da linha de ação da força e o eixo considerado, conforme apresentado pela expressão J.5. Uma vez determinado o momento produzido pela força atuante em cada tomada, pode-se calcular o momento torçor resultante em torno do eixo Z dado pela expressão 2.10, ou os momentos fletores em torno dos eixos X e Y dado na expressão 2.12.

$$M_i = c_{p_i} A_i q d \quad (\text{J.4})$$

Onde:

- F_i : força atuante em uma tomada “i”;
- c_{p_i} : coeficiente de pressão em uma tomada “i”;
- A_i : área de influência da tomada “i”;
- q : pressão dinâmica ao longe;
- d : distância entre a linha de ação da força e o eixo considerado.

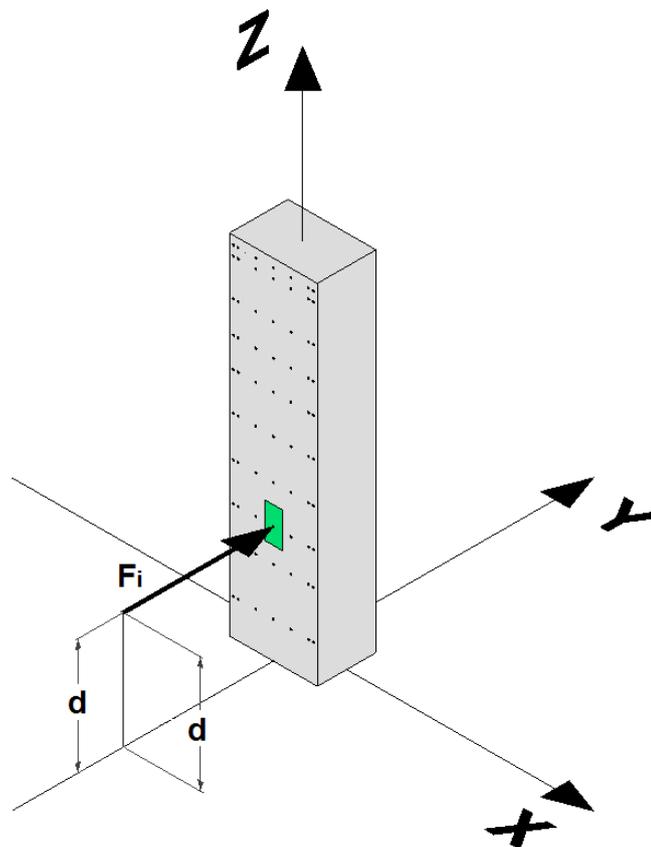


Figura J. 3: Indicação da distância entre a força F_i e os eixos ordenados

ANEXO A – ANEXO G DA NORMA BRASILEIRA DE VENTO NBR6123:1988

ANEXO G - Efeitos de vizinhança

Há certas situações em que é necessário considerar a influência de edificações situadas nas vizinhanças daquela em estudo. Estas edificações podem causar aumento das forças do vento de três modos diferentes:

G.1 Por efeito Venturi

Edificações vizinhas podem, por suas dimensões, forma e orientação, causar um "afunilamento" do vento, acelerando o fluxo de ar, com conseqüente alteração nas pressões. Este efeito aparece principalmente em edificações muito próximas, caso em que já foram observados coeficientes de pressão negativos (sucções) excedendo, em módulo, o valor 2,0. Estas pontas de sucção verificaram-se nas paredes confrontantes das duas edificações, próximo à aresta de barlavento.

G.2 Por deflexão do vento na direção vertical

Edificações altas defletem para baixo parte do vento que incide em sua fachada de barlavento, aumentando a velocidade em zonas próximas ao solo. Edificações mais baixas, situadas nestas zonas, poderão ter as cargas do vento aumentadas por este efeito, com os coeficientes de forma atingindo valores entre - 1,5 e - 2,0,

G.3 Pela turbulência da esteira

Uma edificação situada a sotavento de outra pode ser afetada sensivelmente pela turbulência gerada na esteira da edificação de barlavento, podendo causar efeitos dinâmicos ("efeitos de golpe") consideráveis e alterações nas pressões. Estes são particularmente importantes em edificações com coberturas e painéis de vedação feitos de materiais leves.

G.4 Determinação dos efeitos de vizinhança

Não é possível indicar valores numéricos para efeitos de vizinhança de um modo genérico e normativo.

Estes efeitos podem ser determinados por ensaios em túnel de vento, em que se reproduzem as condições de vizinhança e as características do vento natural que possam influir nos resultados. O problema é agravado pela possibilidade de alterações desfavoráveis das condições de vizinhança durante a vida útil da edificação em estudo.

Uma indicação aproximada dos aumentos que podem sofrer os coeficientes aerodinâmicos por efeitos de vizinhança será dada a seguir.

Seja:

s = afastamento entre os planos das faces confrontantes de duas edificações altas vizinhas, sendo a x b as dimensões em planta das edificações (a x b entre 1 x 1 e 4 x 1)

d^* = a menor das duas dimensões:

- lado menor b;

- semidiagonal $\frac{1}{2} \sqrt{a^2 + b^2}$

FV = fator de efeito de vizinhança, definido pela relação:

$$FV = \frac{C \text{ na edificação com vizinhança}}{C \text{ na edificação isolada}}$$

C = coeficiente aerodinâmico em estudo (C_e , c_{pe} médio, C_s)

Os valores representativos de FV são os seguintes:

- para coeficiente de arrasto, C_e (ver Figuras 4 e 5); para coeficiente de forma, C_e , e para valor médio do coeficiente de pressão, c_{pe} médio, em paredes confrontantes (faces paralelas ao vento na Tabela 4):

$$s/d^* \leq 1,0 \dots\dots\dots FV = 1,3$$

$$s/d^* \geq 3,0 \dots\dots\dots FV = 1,0$$

- para coeficiente de forma, C_e , e para valor médio do coeficiente de pressão, C_{pe} médio, na cobertura (ver Tabela 5):

$$s/d^* \leq 0,5 \dots\dots\dots FV = 1,3$$

$$s/d^* \geq 3,0 \dots\dots\dots FV = 1,0$$

Interpolarm linearmente para valores intermediários de s/d^* .

Os fatores de efeito de vizinhança são considerados até a altura do topo dos edifícios vizinhos.

Os ensaios em que se baseiam as recomendações anteriores foram feitos com dois ou alguns poucos modelos de alturas aproximadamente iguais. Para o caso de muitos edifícios vizinhos nestas condições, os fatores de vizinhança geralmente serão menores, podendo ficar abaixo de 1,0. Entretanto, pode haver incidências do vento que causem valores de FV próximos aos indicados anteriormente, principalmente quando há "vazios" nas vizinhanças do edifício em estudo.

Efeitos de vizinhança no coeficiente de torção, C_t , foram considerados em 6.6.