

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**Análise em túnel de vento dos efeitos causados pela presença de  
varandas em um edifício alto**

**Débora Dala Maria Vizioli**

Porto Alegre  
2022

DÉBORA DALA MARIA VIZIOLI

**ANÁLISE EM TÚNEL DE VENTO DOS EFEITOS CAUSADOS  
PELA PRESENÇA DE VARANDAS EM UM EDIFÍCIO ALTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia.

Porto Alegre  
2022

**DÉBORA DALA MARIA VIZIOLI**

**ANÁLISE EM TÚNEL DE VENTO DOS EFEITOS CAUSADOS  
PELA PRESENÇA DE VARANDA EM UM EDIFÍCIO ALTO**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Área de Estruturas, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 25 de outubro de 2022

Prof. Acir Mércio Loredou-Souza  
Ph.D., University of Western Ontario, Canadá  
Orientador

Prof. Dr. Lucas Festugato  
Coordenador do PPGEC/UFRGS

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Adrián Roberto Wittwer (UNNE/Argentina)**  
D. Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

**Prof. Angela Borges Masuero (UFRGS)**  
D. Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

**Prof. Marcelo Maia Rocha (UFRGS)**  
Dr. Techn., Universität Innsbruck, Áustria

**Prof. Gustavo Javier Zani Núñez (UFRGS)**  
D. Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Dedico este trabalho a minha família.

## RESUMO

VIZIOLI, D. D. M. **Análise em túnel de vento dos efeitos causados pela presença de varandas em um edifício alto.** 2022. 184p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

O crescimento urbano acelerado causou transformações nas construções, desencadeando a verticalização das cidades. Esse fato somado ao avanço nas pesquisas em busca de materiais da construção civil mais leves e resistentes, resultou em prédios cada vez com maiores alturas. Paralelamente a essa conjuntura, no intuito de melhorar o conforto em suas residências, quase que em sua totalidade, os edifícios passaram a apresentar sacadas. Além disso, atualmente, há um aumento na tendência de realizar o fechamento completo das mesmas com vidro, afim de promover maior funcionalidade. Simultaneamente a isso, a consideração dos carregamentos derivados das ações do vento que são fundamentais na concepção estrutural, demandam ainda mais de atenção pois a inserção desses componentes altera a interação vento-estrutura, introduzindo certa rugosidade às superfícies. É de grande importância inteirar-se de tais variações pois em algumas circunstâncias é adicionado a varanda e, muitas vezes, o envidraçamento após a conclusão da obra e nota-se a falta de normativas que englobem tal situação. Nesse contexto, a presente pesquisa surge com o intuito de auxiliar na compreensão da modificação que a existência de sacada com guarda-corpo e a colocação de vidro, até o teto, causa nos coeficientes de pressão. Para isso, buscou-se comparar edificações com faces lisas com situações com a presença de sacada e posteriormente com varanda e fechamento, fazendo uso da mesma geometria para os três casos. Através de ensaios em túnel de vento, simulando 24 ângulos de incidência do vento, com variação de 15°, foram obtidos os coeficientes de pressão médio, r.m.s. e de picos. Ao relacionar os diagramas obtidos, notou-se que a incorporação dos elementos causa alteração significativa na distribuição das pressões. Ao comparar os modelos, destacou-se que: para os coeficientes de pressão média, com a adição dos elementos não houve alteração nas sobrepressões, todavia a sucção, apresentou reduções; para o coeficiente de pico máximo, os valores não variaram; a maior alteração é considerada no coeficiente de pico mínimo, apresentando diminuição significativa. Ademais, pode-se observar também que a presença de varanda na fachada, com e sem fechamento, apresenta os coeficientes com valores mais uniformes em comparação a edificação de faces lisas, onde a situação com sacada apresenta, em geral, menores coeficientes de pressão do vento em relação ao cenário fechado.

**Palavras-chave:** *varanda; fechamento em vidro; vento; edifícios; fachada.*

## ABSTRACT

VIZIOLI, D. D. M. **Wind tunnel analysis of the effects caused by the presence of balconies in a tall building**. 2022. 184p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

The accelerated urban growth caused transformations in the constructions, triggering the verticalization of the cities. This fact added to the advances in research in search of lighter and more resistant civil construction materials, resulted in increasingly taller buildings. At the same time, in order to improve comfort in their homes, almost all buildings began to feature balconies. In addition, there is currently an increasing tendency to completely close them with glass, in order to promote greater functionality. Simultaneously, the consideration of the loads derived from wind actions, which are fundamental in the structural conception, demand even more attention because the insertion of these components alters the wind-structure interaction, introducing some roughness to the surfaces. It is of great importance to be aware of such variations because in some circumstances the balcony and, many times, the glazing are added after the completion of the work and it is noted the lack of standards that encompass such situation. In this context, the present research aims to help in the understanding of the modification that the existence of a balcony with a guardrail and the placement of glass, up to the ceiling, causes in the pressure coefficients. For this, it was sought to compare buildings with smooth faces with situations with the presence of balcony and later with balcony and enclosure, using the same geometry for the three cases. Through wind tunnel tests, simulating 24 wind incidence angles, with a 15° variation, the average, r.m.s. and peak pressure coefficients were obtained. By relating the diagrams obtained, it was noted that the incorporation of the elements causes significant changes in the pressure distribution. When comparing the models, it was highlighted that: for the average pressure coefficients, with the addition of the elements there was no alteration in the overpressures, however the suction presented reductions; for the maximum peak coefficient, the values did not vary; the biggest alteration is considered in the minimum peak coefficient, presenting a significant decrease. Moreover, it can also be observed that the presence of balcony, with and without closure, on the facade, the coefficients present more uniform values compared to the building with smooth faces, where the situation with balcony presents lower wind pressure coefficients compared to the closed scenario.

**Key-words:** *balcony; glass closure; wind; buildings; facade.*

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
1.1 RELEVÂNCIA DA PESQUISA .....	24
1.2 OBJETIVOS .....	25
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>27</b>
2.1 HISTÓRICO DAS VARANDAS .....	27
2.2 ESTUDOS ANTERIORES .....	30
<b>3 AÇÃO DO VENTO EM FACHADAS .....</b>	<b>47</b>
3.1 CARACTERÍSTICAS DO VENTO.....	48
3.1.1 Camada Limite Atmosférica (CLA) .....	48
3.1.2 Velocidade média do vento .....	49
3.1.3 Turbulência .....	52
3.2 CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO .....	53
3.2.1 Geometria da edificação .....	53
3.2.2 Efeito de Vizinhança .....	54
3.2.2.1 Turbulência da esteira .....	56
3.2.2.2 Efeito Venturi .....	56
3.2.2.3 Deflexão do Vento na Direção Vertical .....	57
3.3 RESPOSTA DA EDIFICAÇÃO A AÇÃO DO VENTO .....	58
3.3.1 Martelamento .....	58
3.3.2 Galope .....	59
3.3.3 Drapejamento .....	60
3.3.4 Desprendimento de Vórtices .....	60
3.4 MEDIDAS DA INTERAÇÃO VENTO-ESTRUTURA .....	63
3.4.1 Coeficiente de forma .....	65

3.4.2 Coeficiente de força .....	66
3.4.3 Coeficiente de pressão .....	67
<b>4 PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>71</b>
4.1 TÚNEL DE VENTO .....	71
4.2 TÚNEL DE VENTO PROF. JOAQUIM BLESSMANN .....	74
4.3 SIMULAÇÃO DO VENTO NATURAL .....	78
4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS MODELOS .....	80
4.4.1 Modelo I: edificação com fachada lisa .....	80
4.4.2 Modelo II: edificação com sacada .....	82
4.4.3 Modelo III: edificação com sacada e fechamento .....	83
4.5 PROCESSAMENTO DE DADOS .....	85
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>87</b>
5.1 COEFICIENTE DE PRESSÃO MÉDIA .....	91
5.1.1 Face 1 .....	91
5.1.2 Face 2 .....	101
5.2 COEFICIENTE DE PRESSÃO R.M.S .....	107
5.2.1 Face 1 .....	107
5.2.2 Face 2 .....	110
5.3 COEFICIENTES DE PRESSÃO DE PICO MÍNIMO .....	115
5.3.1 Face 1 .....	115
5.3.2 Face 2 .....	123
5.4 COEFICIENTES DE PRESSÃO DE PICO MÁXIMO .....	132
5.4.1 Face 1 .....	132
5.4.2 Face 2 .....	141

5.5 RESUMO E COMENTÁRIOS .....	145
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>155</b>
6.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....	157
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>158</b>
<b>APÊNDICE I – COEFICIENTE MÉDIO, R.M.S E DE PICO, DAS FACES 1 E 2 DOS MODELOS I, II E III .....</b>	<b>164</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquema de casas com latada e alpendre (a) alpendre com uma água (b) alpendre com tacaniça (c) latada e alpendre de uma água .....	28
Figura 2.2: Sacadas isoladas e corrida adotadas no Brasil no século XVIII .....	29
Figura 2.3: Modelo com projeções verticais contínuas estudado por Leutheusser (1970) .....	31
Figura 2.4: Distribuição de pressão na face de prédios com sacada conforme Arens e Williams (1977) .....	31
Figura 2.5: Modelo simulado por Chand <i>et al.</i> (1998) .....	33
Figura 2.6: Variação do coeficiente de pressão do vento para a edificação retangular de 15m de altura com vento 90° ensaiada por Chand <i>et al.</i> (1998) (a) extremidades (b) centro .....	33
Figura 2.7: Diferentes configurações de edificações e sacadas analisadas por Browne e Kumar (2005) .....	35
Figura 2.8: Valores globais obtidos por Browne e Kumar (2005) para diferentes configurações de sacada e de edificações .....	35
Figura 2.9: Figura 2.9: Diferença, em porcentagem, do $C_{p_{médio}}$ do caso de faces lisas e com a adição de varanda verificado por Montazeri e Blocken (2013) (a) vento 45° com a face em análise e (b) vento 90° com a face em análise .....	38
Figura 2.10: Coeficiente de pressão na varanda com vento a 210° em relação a fachada principal analisado por Montazeri <i>et al.</i> (2013) (a, c, e) 15°, 10° e 5° andar com segunda pele na fachada (b, d, f) 15°, 10° e 5° somente com sacada .....	39
Figura 2.11: $C_{p_{médio}}$ externo verificado por Ludena <i>et al.</i> (2017) no 9° andar de um prédio de com direção do vento de 0° (a) escala 1/67 e (b) escala 1/25 .....	40
Figura 2.12: Configurações de prédios ensaiadas por Mohamed (2017) (a) Caso 04 – 2 janelas nas extremidades com parede divisória e varanda somente na parte central e (b) Caso 08 – 1 janela central com varanda em toda a parede .....	41
Figura 2.13: Sacada aberta e semi-fechada analisada por Omrani <i>et al.</i> (2017) .....	42
Figura 2.14: Modelo com varandas contínuas e descontínuas, com diferentes distâncias horizontal e vertical entre elas observado por Yuan <i>et al.</i> (2018) (a) esboço tridimensional dos edificios testados (b) configurações e parâmetros dos acessórios .....	43

Figura 2.15: Modelos com difentes tamanhos e ângulos de parede analisados por Ghadikolaie <i>et al.</i> (2020) (a) Caso 1 – Paredes nas extremidades de metade da largura (b) Caso 2 – Paredes nas extremidades, um lado metade da largura e um lado a largura inteira (c) Caso 3 – Paredes inclinadas nas extremidades (d) Caso 4 – Paredes centrais de metade da largura (e) Paredes inclinadas, de um lado no centro e de um lado na extremidade (f) Caso 5 – Janela normal e sem paredes .....	44
Figura 2.16: Edificações com diferentes configurações estudados por Liu <i>et al.</i> (2021) (a) esboço tridimensional dos modelos testados (b) Coeficiente médio dos Modelos 1, 2 e 3 .....	45
Figura 2.17: Alguns dos modelos testados por Cheng <i>et al.</i> (2021) .....	46
Figura 2.18: Coeficientes de pressão obtidos por Cheng <i>et al.</i> (2021) (a) Coeficiente de pressão mínimo (b) Coeficiente de pressão máximo .....	46
Figura 3.1: Corrente de carregamento do vento de Davenport .....	47
Figura 3.2: Perfil de vento deslizando e turbulento .....	49
Figura 3.3: Perfil de velocidades médias do vento .....	50
Figura 3.4: Velocidade do vento (a) variação da velocidade do vento no tempo (b) componentes da velocidade do vento .....	53
Figura 3.5: Regimes de escoamento .....	56
Figura 3.6: Afunilamento do vento, conhecido como efeito Venturi .....	57
Figura 1.7: Deflexão do vento na direção vertical .....	57
Figura 3.8: Diferença de escoamento de ar ao redor dos corpos (a) aerodinâmicos (b) rombudos .....	61
Figura 3.9: Vórtices aleatórios .....	61
Figura 3.10: Vórtices de Kàrmàn .....	62
Figura 3.11: Influência do desprendimento de vórtice na resposta de vento de um edifício .....	63
Figura 3.12: Vento ao redor de uma edificação alta .....	64
Figura 3.13: Sentido dos coeficientes aerodinâmicos em torno de um modelo genérico .....	66
Figura 3.14: Definição do coeficiente de pressão .....	67
Figura 3.15: Variação do coeficiente de pressão externa .....	68
Figura 2.1: Parte externa do túnel de vento Prof. Joaquim Blessmann localizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul .....	74

Figura 4.2: Configuração do túnel de vento Prof. Joaquim Blessmann .....	74
Figura 4.3: Mecanismo de simulação do vento natural .....	79
Figura 4.4: Perfis de velocidade média, intensidade e macroescala da componente longitudinal de turbulência, considerando os expoentes característicos da lei potencial de 0,11, 0,23 e 0,34 .....	80
Figura 4.5: Distribuição das tomadas de pressão do Modelo I .....	81
Figura 4.6: Vista Lateral do Modelo II com sacadas .....	82
Figura 4.7 Vista superior do Modelo II com as dimensões dos elementos adicionais, na escala 1/400 e a posição das tomadas de pressão .....	83
Figura 4.8: Vista superior do Modelo III com as dimensões dos elementos adicionais, na escala 1/400 e a posição das tomadas de pressão .....	84
Figura 4.9 Distância vertical entre as linhas horizontais de tomadas de pressão .....	84
Figura 4.10: Sistema de aquisição de dados do Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC) .....	85
Figura 4.11: Transdutor de pressões ZOC33 utilizado no Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC) .....	86
Figura 5.1: Modelo I no Túnel de Vento prof. Joaquim Blessmann .....	87
Figura 5.2: Modelo II no Túnel de Vento prof. Joaquim Blessmann .....	88
Figura 5.3: Modelo III no Túnel de Vento prof. Joaquim Blessmann .....	88
Figura 5.4: Referência para os ângulos de incidência do vento utilizada para os ensaios com o Modelo I, II e III .....	89
Figura 5.5: Setorização das faces 1 e 2 adotados para análise dos coeficientes aerodinâmicos dos Modelos I, II e III .....	90
Figura 5.6: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 15° .....	92
Figura 5.7: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 60° .....	94
Figura 5.8: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 90° .....	95
Figura 5.9: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 105° .....	97

Figura 5.10: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 150° .....	98
Figura 5.11: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 180° .....	100
Figura 5.12: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 105° .....	102
Figura 5.13: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 135° .....	103
Figura 5.14: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 180° .....	104
Figura 5.15: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 225° .....	105
Figura 5.16: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 255° .....	106
Figura 5.17: Distribuição de coeficientes de pressão r.m.s, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 0° .....	108
Figura 5.18: Distribuição de coeficientes de pressão r.m.s., externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 270° .....	110
Figura 5.19: Distribuição de coeficientes de pressão r.m.s., externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 90° .....	112
Figura 5.20: Distribuição de coeficientes de pressão r.m.s., externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 105° .....	113
Figura 5.21: Distribuição de coeficientes de pressão r.m.s., externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 255° .....	114
Figura 5.22: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 0° .....	116
Figura 5.23: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 15° .....	117
Figura 5.24: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 30° .....	118
Figura 5.25: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 150° .....	120
Figura 5.26: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 180° .....	121

Figura 5.27: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 270° .....	123
Figura 5.28: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 30° .....	125
Figura 5.29: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 45° .....	126
Figura 5.30: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 75° .....	127
Figura 5.31: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 90° .....	128
Figura 5.32: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 105° .....	129
Figura 5.33: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 255° .....	131
Figura 5.34: Distribuição de coeficientes de pressão de pico máximo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 30° .....	133
Figura 5.35: Distribuição de coeficientes de pressão de pico máximo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 60° .....	135
Figura 5.36: Distribuição de coeficientes de pressão de pico máximo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 75° .....	136
Figura 5.37: Distribuição de coeficientes de pressão de pico máximo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 105° .....	137
Figura 5.38: Distribuição de coeficientes de pressão de pico máximo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 120° .....	139
Figura 5.39: Distribuição de coeficientes de pressão de pico máximo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 165° .....	140
Figura 5.40: Distribuição de coeficientes de pressão de pico máximo, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 105° .....	142
Figura 5.41: Distribuição de coeficientes de pressão de pico máximo, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 165° .....	143
Figura 5.42: Distribuição de coeficientes de pressão de pico máximo, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 195° .....	144

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Valores sugeridos para $z_0$ e espessura de CLA para as diferentes categorias de terreno estabelecidas pela NBR 6123/1988 .....	51
Tabela 5.1: Coeficientes aerodinâmicos característicos por região da face 1 .....	147
Tabela 5.2: Ângulo de incidência em que está posicionado o coeficiente aerodinâmico característico por região da face 1.....	148
Tabela 5.3: Coeficientes aerodinâmicos característicos por região da face 2 .....	149
Tabela 5.4: Ângulo de incidência em que está posicionado o coeficiente aerodinâmico característico por região da face 2.....	150

## LISTA DE SÍMBOLOS

### Letras romanas maiúsculas

$A$	Área
$A_{ref}$	Área de referência
$C_a$	Coefficiente de arrasto
$C_{aerod.}$	Coefficiente aerodinâmico
$C_f$	Coefficiente de forma
$C_l$	Coefficiente lateral
$C_p$	Coefficiente de pressão
$C_{p_{max}}$	Coefficiente de pressão máximo
$C_{p_{med}}$	Coefficiente de pressão médio
$C_{p_{min}}$	Coefficiente de pressão mínimo
$\hat{C}_p$	Coefficiente de pressão de pico máximo
$\check{C}_p$	Coefficiente de pressão de pico mínimo
$\bar{C}_p$	Coefficiente de pressão média
$\tilde{C}_p$	Coefficiente de pressão r.m.s
$C_{p_{e}}$	Coefficiente de pressão externa
$C_s$	Coefficiente de sustentação
$F$	Força
$F_{aerod.}$	Forças aerodinâmicas
$F_e$	Força externa
$F_i$	Força interna
$P_{atm}$	Pressão atmosférica no momento do ensaio
$R$	Constante universal dos gases

$St$	Número de Strouhal
$T$	Período de amostragem
$V$	Velocidade do vento
$V(z)$	Velocidade médio do vento em uma altitude $z$
$V_{cr}$	Velocidade crítica do vento
$V(z_{ref})$	Velocidade média do vento na altura de referência
$\overline{V_H}$	Velocidade média do vento no topo do modelo
$\overline{V(r)}$	Velocidade média na posição $r$
$\underline{V(r,t)}$	Velocidade instantânea em uma posição $r$ e instante $t$

### **Letras romanas minúsculas**

$b$	Comprimento característico do corpo rombudo
$f_n$	Frequência natural de desprendimento de vórtices da estrutura
$f_s$	Frequência de desprendimento de um par de vórtices da estrutura
$g$	Fator de pico equivalente
$k_b$	Fator de bloqueio
$k_o$	Coefficiente que vincula $q$ e $\Delta p_a$
$p$	Expoente característico da lei potencial
$p_m$	Pressão no ponto $m$
$p_o$	Pressão no ponto $o$
$p(t)$	Pressão instantânea, na superfície da edificação
$\bar{p}$	Valor médio de $p(t)$ para o período de amostragem $T$ ;
$\tilde{p}$	Média quadrática das flutuações em torno da pressão média
$q$	Pressão dinâmica

$\bar{q}_r$	Pressão dinâmica média no topo do modelo
$\bar{q}$	Pressão dinâmica de referência, sobre um intervalo de aproximadamente uma hora
$\check{q}$	Pressão dinâmica de referência, com um intervalo de cerca três segundos
$t$	Tempo
$u_m$	Velocidade no ponto $m$
$u_o$	Velocidade no ponto $o$
$u^*$	Velocidade de fricção ou velocidade de corte
$\underline{v}(\underline{r}, t)$	Vetor flutuação de velocidade (vetor rajada)
$\underline{v}_1(\underline{r}, t)$	Vetor de velocidade longitudinal
$\underline{v}_2(\underline{r}, t)$	Vetor de velocidade lateral
$\underline{v}_3(\underline{r}, t)$	Vetor de velocidade vertical
$z_0$	Altura média da rugosidade do terreno
$z_d$	Deslocamento do plano-zero
$z_g$	Altura gradiente
$z_{ref}$	Altura de referência

### Letras gregas

$\alpha$	ângulo de incidência do vento, medido no plano horizontal, a partir do eixo $x$ e no sentido anti-horário
$\kappa$	Constante de von Kármán
$\Delta p$	Pressão efetiva
$\Delta p_a$	Diferença de pressão estática
$\Delta p_e$	Pressão efetiva externa
$\Delta p_i$	Pressão efetiva interna

$\theta$  Temperatura durante o ensaio

$\rho_{ar}$  Massa específica do ar

$\rho$  Massa específica



## 1 INTRODUÇÃO

Na última metade de século, a população mundial duplicou e as previsões, segundo dados da ONU, indicam que sofrerá um aumento de 26% até por volta de 2050 (UNITED NATIONS, 2019). De acordo com o Atlas do Planeta Humano 2019, referente a estudos de 1975-2015, mais de três quartos do número atual, cerca de 76%, aproximadamente 5,6 bilhões de pessoas, vive hoje em áreas urbanas (FREIRE *et al.*, 2020). Dentro desse contexto global de forte crescimento de habitantes somadas as necessidades dos mesmos de morar próximo aos centros, resulta em espaços urbanos congestionados. Como solução para melhorar a concentração das pessoas nas cidades, o processo de verticalização dos empreendimentos intensificou-se e neles, frequentemente, apareceram as varandas. Também denominadas popularmente como sacadas, elas se apresentam como detalhes arquitetônicos, sendo uma plataforma suspensa situada na fachada.

As varandas foram se transformando simultaneamente as modificações no modo de vida das pessoas. Com a diminuição do tamanho das famílias e o alto valor do conjunto habitacional devido à escassez de lotes disponíveis, a demanda por casas diminuiu. As sacadas também aparecem nas residências unifamiliares, mas no propósito de ser um complemento do quintal ou para possibilitar uma melhor vista, diferentemente dos apartamentos, onde proporciona o aumento da área, pois esses apresentam cada vez menores dimensões. As mesmas possuem diversas funcionalidades aos ocupantes, fornecendo principalmente vistas pitorescas e a interação com o exterior, atuando como elemento de transição entre os ambientes. Devido a suas características, entre as tantas vantagens, incorporar a varanda concede uma melhor ventilação natural do ar interior e benefícios no conforto térmico nos cômodos adjacentes (OMRANI *et al.*, 2017).

Muitos acreditam que o objetivo da introdução de varandas em edificações é para melhorar a imagem visual, mas o intuito vai muito além, aparecendo até mesmo como elemento que auxilia na proteção do ambiente natural e construído. O governo de Hong Kong, por exemplo, divulgou uma série de notas práticas afim de incentivar a construção de edifícios verdes e inovadores. No primeiro, na parte destinada as atribuições dos prédios, juntamente com a incorporação de jardins, no topo da lista de propostas está a inclusão de varanda (HONG

KONG, 2001). Tal papel significativo é destinado as sacadas devido ao fato dela proporcionar economia de energia, pois o elemento do andar superior provoca sombreamento no nível inferior, deixando o ambiente mais fresco, possibilitando reduzir a utilização do ar condicionado. Devido a isso, uma edificação com esse componente se manifesta como uma construção verde pois mitiga a emissão de gases do efeito estufa (CHAN, 2015).

Atualmente, os projetos arquitetônicos, quase que em sua totalidade, apresentam sacada ou varanda. Foi-se o tempo em que elas eram tidas somente como espaço para apreciar a paisagem, com algumas cadeiras e plantas, sendo um local pouco frequentado. Frente a tantas vantagens com a presença de varanda em edifícios, o imóvel com esse elemento adicional pode apresentar valores mais elevados. Dessa forma, na escolha do imóvel, seja compra ou construção, esses ambientes tornaram-se cobiçados, estando entre as preferências e sendo fator decisivo.

De coadjuvantes e sem serventia, as varandas tornaram-se protagonistas, recebendo decoração condizente a espaço de convivência. Com isso, além de jardins suspensos, elas passaram a ganhar diversos propósitos, oferecendo uma área externa que possibilita relaxar e se divertir sem sair de casa, ideal para reunir os amigos e familiares. Com tantos benefícios, até mesmo os proprietários dos imóveis já existentes estão optando pela adição das sacadas, destacando-se tanto em concreto armado quanto em estrutura metálica. Um fator determinante no aumento de importância das varandas foi o fechamento completo das mesmas.

Com o intuito de aumentar a finalidade da varanda aos ocupantes, a tendência, há alguns anos, é realizar o fechamento da varanda, do piso até o teto, o qual normalmente é feito com a utilização de vidro. Por serem discretas, não prejudicam a visão do meio externo e pela colocação ser, normalmente, de maneira correção, permite a abertura do vão, proporcionando ventilação no calor e proteção no frio. O envidraçamento da varanda favorece a proteção contra raios solares e poluição, vedação contra chuva e ventos, isolamento acústico devido à diminuição do ruído oriundo da parte externa e vice-versa, melhora da climatização pois os vidros causam o equilíbrio da temperatura, sendo ainda mais eficiente com a utilização do material de forma dupla. A luz natural é mais um dos pontos positivos, gerando economia de energia e causando bem-estar aos ocupantes. Além dessas, um dos principais benefícios é a segurança, pois por provocar o fechamento completo diminui consideravelmente a ocorrência

de acidentes. Sendo assim, devido às diversas vantagens causadas pelo envidraçamento das varandas, também provoca a valorização do imóvel (CASELLI, 2011).

Estando presente nos projetos arquitetônicos dos edifícios mais sofisticados e também nos mais populares, as varandas com fechamento em vidro alcançam até mesmo os empreendimentos antigos. No entanto, diferente dos prédios em que as sacadas estão presentes nos cálculos e na elaboração da fachada, nos prédios já construídos, o envidraçamento provoca mudanças estéticas na fachada e nas cargas estruturais. Pelo fato do material a ser instalado provocar um peso extra na estrutura, é necessário, portanto, averiguar junto a um especialista, se a transformação é suportada pela estrutura existente, garantindo que a mudança seja realizada de maneira segura. Devido a alteração visual causada, a adição dos vidros necessita ser discutida frente a todo condomínio, onde deve ser decidido os tipos de instalação e de material, visando a padronização das unidades. Além disso, tem-se modificação também no carregamento aerodinâmico, a qual é completamente negligenciada.

Com o intuito de garantir a segurança, tanto de prédios novos como antigos, tanto de quem reside quanto de quem trafega próximo as edificações, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) colocou em vigor a NBR 16259/2014 focada no sistema de envidraçamento de sacadas, enfatizando os requisitos e métodos de ensaio. Nela estão contidos os padrões de qualidade e a pressão do vento que os vidros necessitam suportar sem que ocorra o desprendimento conforme a região do país que está localizado, a altura máxima e a quantidade de pavimentos. No entanto, o intuito da norma está nas particularidades do material, ignorando a modificação que a adição de vidro em varandas possa vir a provocar na pressão do vento da estrutura.

A ação dinâmica do vento corresponde aos carregamentos horizontais predominantes nos arranha-céus, ocupando a posição de solicitação principal (BLESSMANN, 2001). De acordo com Li et al. (2018), já é largamente conhecido que, em edifícios altos, a carga resultante devido ao vento é fortemente influenciada pelo formato externo da estrutura. Sabe-se que são diversos os fatores que alteram a distribuição de pressão na fachada, onde os detalhes geométricos estão entre os principais, sendo assim, a existência de varandas nas habitações também provoca modificações nesses efeitos. Conforme Montazeri e Blocken (2013), as mudanças causadas com a adição dos elementos suspensos, as varandas, são grandes pois produzem várias áreas de separação e recirculação do escoamento nas fachadas. Ademais,

incluir o fechamento, influência no índice de permeabilidade, que é um fator que também intervêm nos coeficientes de pressão. Por ser um quesito que atua durante toda a vida útil, é de extrema importância a compreensão dos efeitos do vento, possibilitando aos profissionais uma melhor otimização do projeto (STATHOPOULOS e ZHU, 1988).

A enorme relevância das ações do vento tornou-as parte dos códigos normativos. A NBR 6123/1988 é destinada as forças devido ao vento em edificações, mas como na maioria delas, as instruções estão restritas a padrões regulares e simétricos, o que se afasta muito da realidade. As regulamentações são destinadas somente a obras simplificadas devido ao fato de que seria difícil normatizar as inúmeras características que variam de uma situação para outra, onde qualquer detalhe diferente já produz resultados distintos. Dessa forma, a norma não cita a influência provocada pela existência de varandas em edificações. No entanto, como na prática, trata-se de um elemento presente na maioria das edificações, é necessária a compreensão dos efeitos, através de resultados mais precisos do que as indicações que são para situações aproximada.

Cada vez com geometrias mais diferenciadas, com novas formas e proporções arquitetônicas, é importantíssimo o conhecimento das ações causadas pelo vento em estruturas. Para esses casos não convencionais que fogem das regras estabelecidas na NBR 6123/1988, como é o caso das varandas em fachadas, os efeitos frequentemente tem seus valores estimados por meio de simulações numéricas ou por ensaios experimentais. A primeira delas, de acordo com Irwin *et al.* (2013), é ideal para avaliação qualitativa, no entanto, para respostas quantitativas não apresenta precisão suficiente. Segundo Loredou-Souza (2007, p. 64), a ferramenta mais eficaz na obtenção dos coeficientes da força do vento é o teste em túneis de vento. Com esse ensaio é possível realizar a verificação das ações estáticas e dinâmicas através da representação das estruturas e de suas características peculiares. Fazendo uso do modelo reduzido, obtém-se uma previsão dos possíveis valores a serem atingidos com a estrutura construída.

## 1.1 RELEVÂNCIA DA PESQUISA

O entendimento aprimorado do efeito que as sacadas causam nos coeficientes do vento de edificações é de grande importância. A compreensão das ações do vento para esse cenário é

cada vez mais fundamental devido ao fato de que atualmente tem-se casos em que são adicionadas sacadas posteriormente a sua construção e, principalmente, situações em que varandas recebem o fechamento total quando já concluídas. Sendo assim, essas modificações nas fachadas podem provocar tanto a diminuição dos efeitos como acarretar na piora dos valores, os quais podem acarretar problemas mais localizados, como picos que podem ocasionar o arrancamento do vidro e também a modificação no campo aerodinâmico global com efeitos para a estrutura como um todo. Com o conhecimento, caso for negativo, é possível recomendar que não seja acrescentado o elemento e aconselhado a não realização do fechamento. Mas, em contrapartida, se a situação resultar em benefícios na interação vento-estrutura, o entendimento torna-se essencial na elaboração de projetos, possibilitando a otimização, podendo resultar em economia em razão da melhor posição dos componentes e segurança em virtude da redução dos efeitos do vento.

A presente pesquisa propõe a análise das alterações causadas nos coeficientes de pressão de uma edificação com sacadas, abertas e fechadas. Para tal fim, foram adicionados os componentes no modelo tido como padrão, denominado de *CAARC Standard Tall Building*. Com isso, foi realizada a comparação entre a situação lisa sem saliências, com varanda e com envidraçamento. Para conhecer esses efeitos, foram realizados ensaios no Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), que é referência na determinação dos carregamentos devidos ao vento em estruturas por meio de ensaios experimentais, sendo executados com o túnel de vento *Professor Joaquim Blessmann*, o primeiro da América Latina.

## 1.2 OBJETIVOS

Mesmo que a interação vento-estrutura já tenha sido abordada por diversos pesquisadores, trata-se de um assunto complexo e, devido ao fato de apresentar uma grande quantidade de variáveis envolvidas, há ainda muitas lacunas que precisam ser preenchidas quando é adicionado um elemento na fachada. Dessa forma, o objetivo principal deste trabalho é estudar a influência das sacadas com e sem fechamento nas distribuições das pressões nas fachadas de um edifício alto, através da análise dos coeficientes de pressão média, rms e picos, máximo e mínimo.

Com a compreensão desses dados, tem-se um melhor entendimento das pressões desenvolvidas por elementos localizados na fachada, conforme sua disposição. Consequentemente, essa pesquisa possui como intuito formar uma base de informações a ser utilizadas pelos profissionais no desenvolvimento de novos projetos com varanda e auxiliando na compreensão da adição do fechamento para os casos em que a edificação possui originalmente somente sacada, tratando-se assim de informações complementares a norma vigente envolvendo o vento e as edificações, a ABNT NBR 6123:1988.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Acredita-se que os primeiros estudos de edificações em túneis de vento foram realizados na década de 1930. Utilizando o *Empire State Building*, famoso prédio no centro de Manhattan, em Nova York, Harris (1934) supôs a construção de duas unidades de empreendimentos vizinhos afim de verificar a influência do posicionamento deles no prédio já construído, concluindo que o momento torçor dobraria de valor e causaria a diminuição da força resultante caso existisse a presença dos modelos simulados. De lá para cá, com o aumento significativo da verticalização das cidades, diversas pesquisas, com modelo reduzido em túnel de vento ou simulação em softwares específicos, têm sido efetuadas com foco na ação do vento em arranha-céus.

Em virtude da existência de inúmeros edifícios altos e, em sua maioria, eles apresentarem um elemento adicional conhecido popularmente por sacada, o assunto em questão entrou em pauta há vários anos, por diversos pesquisadores, constituindo assim um considerável acervo bibliográfico. Sendo assim, nesta seção será apresentada um histórico da utilização das varandas conforme a época e uma revisão cronológica com as pesquisas pertinentes. Para o último caso, somente será resumido as metodologias e alguns resultados obtidos, de forma que se justifiquem os estudos aqui apresentados.

### 2.1 HISTÓRICO DAS VARANDAS

As varandas compõem os detalhes arquitetônicos das edificações desde o período de colonização do território brasileiro até os tempos atuais. Inicialmente, surgiram no intuito de adaptação das casas aos costumes portugueses em virtude da nacionalidade dos moradores e, devido a suas características, representava a única forma de conforto ambiental aos ocupantes pois não existiam sistemas artificiais de iluminação e condicionamento interno de ar (BRANDÃO, 2012). Com o passar do tempo, diferentes denominações foram dadas a esses elementos devido as diversas serventias que as mesmas exerceram, de acordo com o contexto de cada época.

Na época colonial, que abrange desde o descobrimento no século XVI até o começo do século XIX, as residências eram todas similares, sendo assim, as características das varandas se

repetiam (BRANDÃO, 2012). De acordo com Saia (1939 apud BRANDÃO *et al.*, 2007), nesse período, elas eram designadas por latada ou alpendre. Quando a edificação apresentava um apêndice composto por uma estrutura isolada, porém encostada na mesma, com suportes verticais de ferro ou madeira e cobertura marcada por folhagens, o anexo recebia o nome de latada. Diferente dessa, a alpendre costumeiramente se localizava na parte da frente da casa, antecedendo ou embutida, sendo um prolongamento do telhado, normalmente de uma água, conforme Figura 2.1(a), ou de tacaniça, telhado em formato piramidal, como ilustrado na Figura 2.1(b). As peças de sustentação eram semelhantes, no entanto, no segundo caso elas poderiam ser de alvenaria, apresentando também piso junto a edificação. Uma moradia poderia contar com os dois tipos de varanda, como mostrado na Figura 2.1(c).

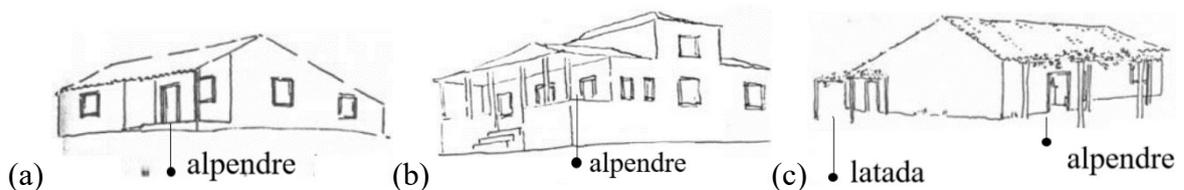


Figura 2.1: Esquema de casas com latada e alpendre (a) alpendre com uma água (b) alpendre com tacaniça (c) latada e alpendre de uma água (fonte: adaptado de Brandão *et al.*, 2007)

Em seguida, por volta do final do século XVII, iniciou-se as áreas urbanas e, junto, os elementos adicionais na fachada passaram a atender pelos nomes de sacada e balcão. Servindo como um anteparo, entre a casa e a rua, elas possuíam a atribuição de filtro e posto de vigília, pois o objetivo era proteger a habitação e a família, representando o único local que a mulher podia ser vista publicamente porque, nessa época, ela ocupava posição de submissa. Sendo assim, era fazendo uso dela que os habitantes participavam dos acontecimentos das ruas, tais como procissões, festas religiosas, julgamentos públicos, condenações e enforcamentos. Quanto a posição, elas deixavam de estar em todo no contorno da edificação, devido ao tamanho do terreno (BRANDÃO *et al.*, 2008).

Com o objetivo de proteger ainda mais a intimidade do lar, as varandas passaram a receber fechamentos e a serem denominadas de galeria (BRANDÃO *et al.*, 2007). Posicionadas adjacente as janelas, as sacadas apresentavam elementos de vedação conhecidos como muxarabiês e gelosias, influenciadas pelas referências que Portugal absorveu no tempo em que ficou sob domínio árabe. Tais adicionais eram utilizados afim de prejudicar a vista do

interior pelos indivíduos localizados na parte externa, todavia permitia a visão de quem estava dentro, sem ser observado. Além dessas, ainda apresentavam a vantagem de melhorar a entrada de ar e luz (BRANDÃO *et al.*, 2008).

Com a vinda da família real para o Brasil, no final do século XVIII e início do século seguinte, a arquitetura brasileira passou por alterações importantes. Um ano após o desembarque, D. João VI determinou a retirada dos muxarabiês e gelosias pois trazia lembrança aos anos em que os portugueses não eram livres. No entanto, a população resistiu, cumprindo a solicitação somente quando a coroa era ocupada por D. Pedro I. Somada as memórias ruins, estava o intuito de comercializar os vidros oriundos da Inglaterra, sendo assim, passou-se a adotar a forma de varanda ) exemplificado na Figura 2.2. (BRANDÃO *et al.*, 2008).



Figura 2.2: Sacadas isoladas e corrida adotadas no Brasil no século XVIII (fonte: adaptado de Ávila *et al.*, 1980)

A transformação ocorrida com as varandas provocou mudanças nos costumes, na cultura e no modo de vida da população. No final do século XIX e começo do século XX, diminuiu-se a privacidade do lar e aumentou-se o contato com a rua, tanto dos homens, como das mulheres e também das crianças. As vias tornaram-se espaço de lazer e convívio, provocados pela diminuição das horas de trabalho, restando assim tempo ao entretenimento. Com as alterações, as sacadas perderam as antigas funções, ganhando assim mais dimensões ao se atualizar aos hábitos dos ocupantes (BRANDÃO *et al.*, 2008).

No entanto, ao passar dos anos, as ruas sofreram variação no seu uso, recebendo cada vez mais tráfego e agitação. Com isso, novamente as varandas tornaram-se ponto de filtro e vigília. Todavia, hoje em dias são idealizadas por permitem que o habitante tenha contato com o meio externo mesmo em seu espaço privado, podendo desfrutar de maior ventilação e aumentando a área útil das edificações (BRANDÃO *et al.*, 2008).

Atualmente, é comum as denominações de varanda e sacada. Muitas vezes, utilizam-se os termos como sinônimos, mas há distinção. A principal diferença entre eles está na forma de sustentação, pois a sacada possui efeito tridimensional, não seguindo o alinhamento da parede e não contando com a presença de pilares, ficando “em balanço” por não apresentar apoios visíveis. Essa está conectada a portas ou janelas, sempre ligado a um cômodo, tanto em residências como em apartamentos. Ademais, é trivial aparecerem em dormitórios dando ao proprietário mais intimidade e aconchego. Além disso, normalmente as sacadas são de dimensões reduzidas, sendo costumeiramente vista como um abrigo que visa melhorar a ventilação na parte interior, enquanto as varandas são maiores, tidas como local de entretenimento, destinado a confraternização. Essa finalidade é facilitada pois a varanda geralmente é coberta, sendo uma extensão em que pelo menos um dos lados precisa seguir o alinhamento com a fachada do empreendimento. Essa última, habitualmente, em casas é localizada no térreo, na parte da frente ou de trás, enquanto em prédios, comumente aparece interligada a sala. Recentemente, quando a estrutura recebe churrasqueira, forno ou cooktop, passam a receber o complemento gourmet na denominação e estão sendo cada vez mais desejadas pelos ocupantes.

## 2.2 ESTUDOS ANTERIORES

Um dos primeiros estudos referente a projeções em fachadas levando em conta as pressões ocasionadas pelo vento através de testes em túnel de vento, foi publicado por Leutheusser (1970). O autor dedicou-se a observação dos efeitos da platibanda e também de projeções verticais contínuas, a qual denominava de *mullions*. Em tal pesquisa, vale destacar que na distribuição dos acessórios as arestas não possuíam elementos e que estes só estavam presentes na parte superior da construção, conforme pode ser verificado na Figura 2.3. Os ensaios indicaram que o vento causa sucções nas extremidades, as quais variam conforme o espaçamento entre elas, sendo superiores quanto maior for o distanciamento.

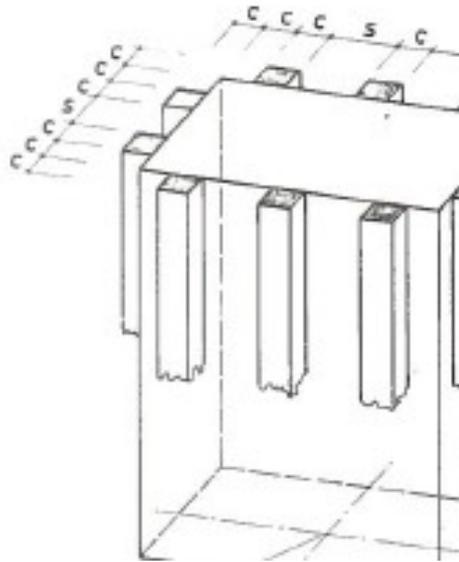


Figura 2.3: Modelo com projeções verticais contínuas estudado por Leutheusser (1970)  
(fonte: Leutheusser, 1970)

Arens e Williams (1977) relataram as quatro maneiras que o vento influencia no consumo de energia em uma edificação através da análise do coeficiente de pressão. Tais autores concluíram que a infiltração e a exfiltração devido ao vento causam a perda de calor primária do prédio com janelas e portas que abrem para a varanda, nos casos em que essa aberta. A explicação para tal diminuição é apresentada pelos autores através da Figura 2.4, onde mostra que o diagrama esquemático da distribuição de pressão de um prédio alto com sacada é em formato zigzag.

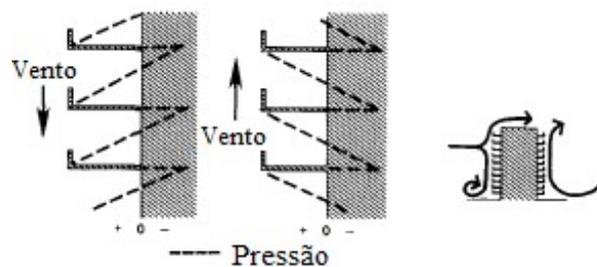


Figura 2.4: Distribuição de pressão na face de prédios com sacada conforme Arens e Williams (1977) (fonte: adaptado de Arens e Williams, 1977)

Alguns anos depois, Stathopoulos e Zhu (1988) analisaram o quanto as varandas e a rugosidade presente em edifícios afetam a pressão do vento nos mesmos. Para a realização de testes em túneis de vento, utilizaram edifício quadrado em escala 1/400, alterando algumas características, tais como: campo aberto e terreno urbano, alturas de 15m e 120m, varandas

com largura de 2m e 4m, com e sem muro vertical nas bordas livres, o qual possuía dimensão de 1m e de 2m, além de rugosidades uniformes de 0,15 e 0,30. Os valores de pressão medidos são semelhantes para os ambientes em questão, para edificações baixas os efeitos da varanda são menores e a variação não é significativa para as larguras examinadas. Já a presença de barreiras, na forma de muro vertical, causa diminuição dos coeficientes, no entanto a altura dela não é importante. Além disso, as varandas são mais eficazes que a rugosidade na redução das pressões nas paredes externas. Os dados experimentais indicaram que, para as situações analisadas, a zona superior foi a que mais divergiu na face de barlavento, apresentando redução das sobrepressões nos valores médios, e para sotavento e nos lados, a parte inferior foi a que mais sofreu modificações, onde pode-se observar aumento nas sucções médias e de pico. No final, os resultados encontrados foram comparados com as recomendações do Código Nacional da Construção do Canadá (NBCC) e com o Instituto Nacional Americano de Padrões (ANSI), constatando que para o  $C_{p_{max}}$  das edificações os dados das normas são conservadores, ou seja, são maiores que os obtidos nos ensaios, entretanto, para o  $C_{p_{min}}$  os testes apresentaram valores maiores para 15m e 18% maior nas bordas para 120m quando confrontado com os da NBCC.

Em seu artigo, Murakami (1990) apresentou a análise numérica para avaliação do impacto de uma cerca quebra-vento localizada no canto da varanda de uma edificação. Ele retratou que além da existência de guarda-corpo, a adição de uma parede na diagonal do prédio reduz o escoamento de ar dentro da varanda, fazendo jus a própria denominação. Sendo assim, para reduzir o desconforto, uma excelente forma é através da adição de parede divisória na sacada.

Um dos principais artigos relacionados a ação do vento em varandas foi publicado por Chand *et al.* (1998). Com o intuito de analisar a pressão do vento e a força ventilatória nas extremidades e na zona central, os autores optaram por realizar testes em túnel de vento, na escala 1/30, de uma edificação retangular de 15m de altura, conforme mostrado na Figura 2.5, para casos com sacada descontínua e sem a presença da mesma, para ventos normal e oblíquo, focando nas faces de barlavento e sotavento. Para a situação de barlavento, a adição de sacadas afeta os quesitos analisados e a face de sotavento não sofre tanta variação. O vento com direção de 90° a barlavento, reduz os coeficientes de pressão no solo e no espaço coberto pela última sacada e aumenta esse fator no topo e nas áreas intermediárias, tanto nas extremidades quanto no centro. Por outro lado, para o vento a 45°, a pressão do vento aumenta no canto a montante nos andares do meio, no topo e a jusante acima da última sacada,

enquanto que diminuem na extremidade a montante no térreo, no espaço da varanda no topo, a jusante em todos os pontos no térreo e também nos pisos intermediários. A Figura 2.6 apresenta a variação dos coeficientes de pressão, para vento normal, nas extremidades e no centro.

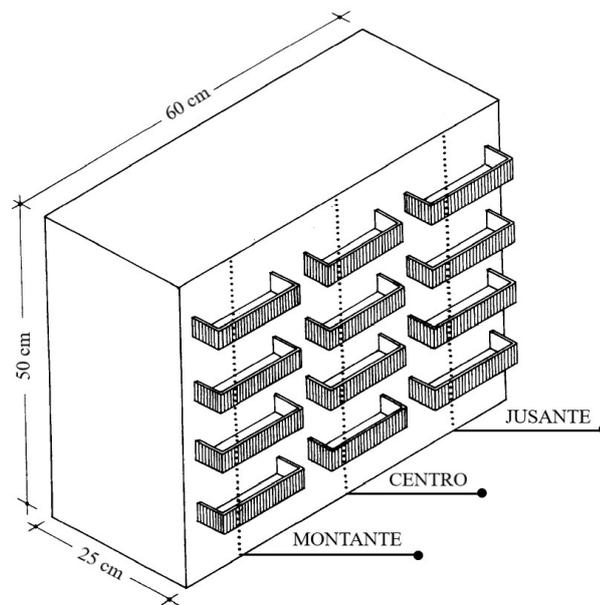


Figura 2.5: Modelo simulado por Chand *et al.* (1998) (fonte: adaptado de Chand *et al.*, 1998)

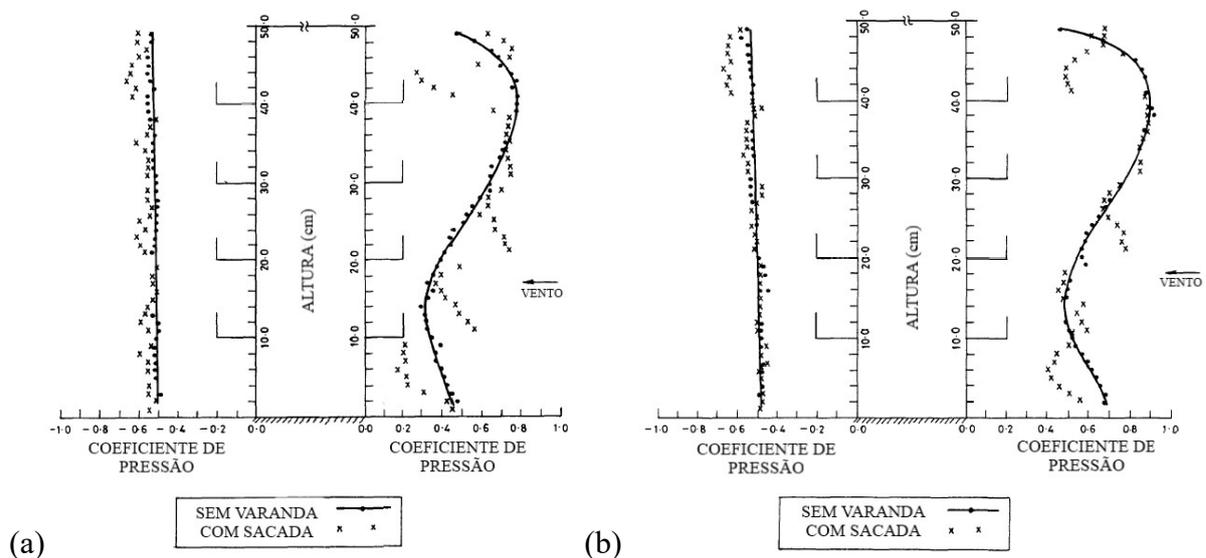


Figura 2.6: Variação do coeficiente de pressão do vento para a edificação retangular de 15m de altura com vento 90° ensaiada por Chand *et al.* (1998) (a) extremidades (b) centro (fonte: adaptado de Chand *et al.*, 1998)

Maruta *et al.* (1998) também buscaram esclarecer a influência da rugosidade e de varandas em edificações. Dedicaram-se a análise dos coeficientes de pressão do vento, as pressões

flutuantes e ao espectro de potência para o vento a 0° e 13°. Eles descreveram os resultados de testes em túneis de vento de uma edificação quadrada para seis situações. Uma delas com a superfície lisa, outra com rugosidade de 0,21 e as demais somente com a presença de sacada contínua com larguras de 0,63m, 1,25m e 2,5m. Além dessas, o último caso com a adição de paredes para dividir a de menor dimensão. O primeiro fator observado, o coeficiente de pressão, apresentou a maioria dos valores de  $C_{p_{min}}$  próximo as bordas, em razão das bolhas de separação. Observou-se também que, para todos os casos, os valores foram inferiores quando testados a direção de 13° e que os menores foram encontrados com a existência de varanda de 2,5m de largura. Quanto as pressões flutuantes, a magnitude do espectro de potência diminui com o aumento da rugosidade da superfície, sendo essa medida pela largura da varanda dividido pela dimensão da edificação, sendo assim, os maiores valores são encontrados para o caso sem varanda e sem rugosidade. O fator de decaimento é apresentado através de três níveis, indicados de baixo para cima, onde os valores diminuem à medida que aumenta a altura do prédio para a situação sem sacada e para o caso com varandas, os números são menores na altura intermediária, enquanto que quando adicionada a parede divisória, o valor aumenta na mesma proporção que a elevação. Ademais, para o fator de decaimento, os valores são maiores para 13° de ângulo de incidência do vento, diminuindo com a adição de sacada e diminuindo ainda mais com a presença da parede.

Cochran e Peterka (1999) desenvolveram testes em túneis de vento de edificações com sacadas, os quais já haviam sido construídas. O condomínio Marbella, Salerno e Coronado, de geometria retangular, curva e retangular, respectivamente, em escala 1/300 foram analisados a fim de verificar a pressão de revestimento para a situação de varanda com persiana de chuva e vento instalada. Os autores afirmaram que nos cantos, onde há a presença de varanda, os casos abertos apresentaram valores 35-40% menores quando comparada com os prédios com persianas de tempestade e diferença de 45-50% com a edificação com sacada segundo as recomendações da norma ASCE 7-95. No entanto, por outro lado, para varandas no centro, a existência das persianas não causa modificações.

Em meados de 2005, Browne e Kumar (2005) buscaram quantificar a redução das cargas induzidas pelo vento devido a existência de varandas. Foram investigados nove modelos, indicados na Figura 2.7, com diferentes dimensões, sem a presença de acessórios, com sacada de canto ou com sacada contínua. Eles revelaram que tais acessórios agem como uma espécie de rugosidade geral, interrompendo a formação do fenômeno de desprendimento de vórtices.

As cargas provenientes do vento são menores com a presença da sacada, e diminuíram ainda mais com a maior largura dela, tanto para o caso contínua quanto para a situação em que está somente localizado no canto. Como pode ser observado na Figura 2.8, com as mesmas dimensões, a situação com varanda contínua apresenta melhores resultados de momento que a situação com o elemento localizado no canto. Pode-se verificar também, que com o mesmo tamanho de varanda, a estrutura com menor dimensão apresentou reduções maiores para os valores de momento. Para os casos analisados, a maior variação foi encontrada no cenário com sacada nos cantos na situação com menores dimensões, onde a redução para a face contrária ao vento foi de 5-35% e para a carga torsional de 15-45%. Porém, para situações retangulares, onde uma dimensão é maior que outra, a torção aumenta com a adição de varanda de canto, como mostrado em T9XT8. Vale destacar que no estudo em questão levou-se em conta os momentos de força, enquanto no estudo em questão o foco é para coeficiente de pressão.

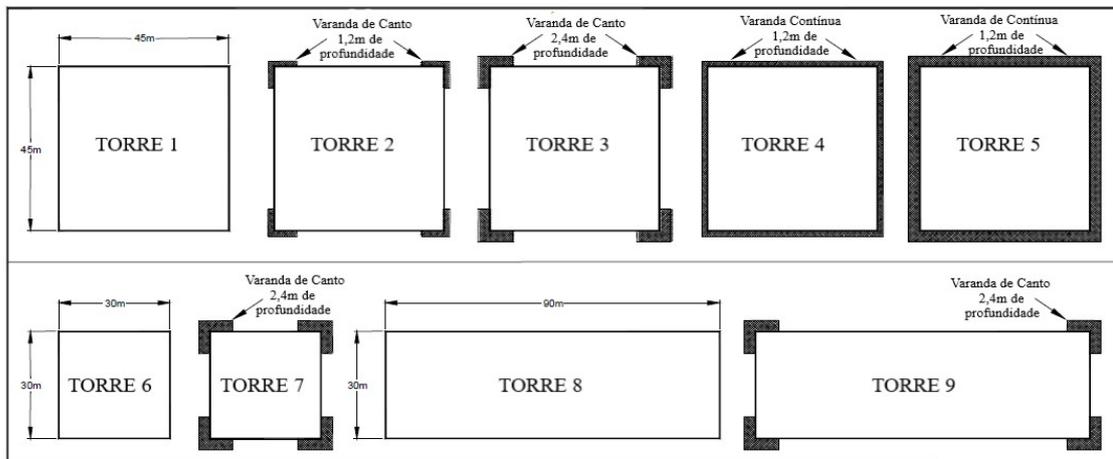


Figura 2.7: Diferentes configurações de edificações e sacadas analisadas por Browne e Kumar (2005) (fonte: adaptado de Browne e Kumar, 2005).

CASO	TAMANHO DA VARANDA (D/L)	RAZÃO DE ESBELTEZ (H/L)	% REDUÇÃO (Valores negativos = aumento da carga)				
			CONTRÁRIO AO VENTO		AO LONGO DO VENTO		TORÇÃO
			Mx	My	Mx	My	Mz
1 (T2 X T1)	0.027	3.33	1%	4%	-2%	0%	15%
2 (T3 X T1)	0.053	3.33	11%	16%	3%	9%	33%
3 (T4 X T1)	0.027	3.33	6%	11%	-2%	4%	25%
4 (T5 X T1)	0.053	3.33	23%	27%	18%	12%	46%
5 (T7 X T6)	0.080	5.00	35%	36%	6%	12%	37%
6a (T9 X T8)	0.027	1.67	—	—	8%	—	-22%
6b (T9 X T8)	0.080	5.00	—	24%	—	-5%	-22%

Figura 2.8: Valores globais obtidos por Browne e Kumar (2005) para diferentes configurações de sacada e de edificações (fonte: adaptado de Browne e Kumar, 2005).

Kotani e Yamanaka (2007) possuíam o intuito de analisar a alteração que a utilização de parapeitos, cerca e divisória de paredes entre as varandas em edifícios podem causar na velocidade e no coeficiente de pressão do vento da estrutura. Os experimentos de um prédio de cinco andares foram realizados em túnel de vento, tendo a variação do tipo de varanda, do formato da mesma e a direção do vento. Para o coeficiente de pressão do vento, a presença da varanda apresenta um pequeno efeito, o parapeito não influencia e a direção do vento tem grande influência. A presença de varanda afeta a velocidade quando a direção do vento é  $0^\circ$ , já a divisória a torna uniforme e causa diminuição de cerca de  $1/5$ , bem como, a adição de parapeito também provoca redução. Os valores para a presença de parapeito ou cerca são próximos.

Mohamed *et al.* (2009) investigaram o impacto da introdução de varandas no escoamento de ar natural externo e interno em várias alturas. O prédio examinado foi o mesmo utilizado por Chand *et al.* (1998), porém desta vez foi por meio do *Computational Fluid Dynamics (CFD)*, com alteração dos tamanhos de sacada e com adição de aberturas verticais e horizontais, analisadas separadamente. A existência de sacadas causa mudança significativa na turbulência do ar externo e nas características do escoamento de ar. Além disso, os autores declararam que quanto maior for o aumento da profundidade da sacada menor será o coeficiente de pressão do vento e que o conjunto de varandas somadas a ventilação somente de um lado causa redução na ventilação natural interna, necessitando assim de novas soluções. Como uma opção, aparecem as janelas, testadas nesse artigo nas dimensões de  $0,9\text{m} \times 2,5\text{m}$ , nas configurações vertical e horizontal, constatando que a maneira vertical é o melhor arranjo para o aumento da velocidade.

Ai *et al.* (2011a) elaboraram situações afim de verificar o efeito do desempenho da ventilação para um prédio baixo com o auxílio do CFD. Definiram então dois tipos de ventilação, de um lado e cruzada, e três situações de aberturas: varanda e janela de chão, somente janela de chão, e apenas janela com peitoril pois na prática, quando não há varanda, a janela apresenta uma distância entre a mesma e o piso. Para cada andar, foram analisados a extremidade e o centro. Com a adição de varanda, para o caso de ventilação unilateral, verificou-se um aumento na taxa de fluxo de massa em todas as alturas a sotavento e a barlavento no térreo, primeiro pavimento e topo, além de uma redução na velocidade média, tendo os andares intermediários como piores situações. Por outro lado, para a ventilação cruzada, os efeitos são menos significativos, notando apenas uma alteração na taxa de fluxo de massa no piso

superior pois as forças ventilatórias diminuem devido ao aumento na rugosidade das paredes ocasionado pelas varandas.

Os mesmos autores publicaram outro artigo, novamente fazendo uso do CFD, onde o objetivo era verificar o desempenho da ventilação. Ai *et al.* (2011b) analisaram duas situações sob várias direções do vento, tamanhos de varandas e alturas de construções, com 10 andares e 15 andares. Para a ventilação unilateral, a adição de varanda altera completamente a força no primeiro e no último pavimento para todas as direções de vento testadas. Já para a ventilação cruzada, devido a presença de varanda, os casos de vento abaixo de  $67,5^\circ$  causam aumento na força para os pisos intermediários e diminuição no térreo e no superior, além disso, os autores atentam que vento com maior ângulo provocando ventilação cruzada devem ser evitados. O aumento do tamanho da varanda não provoca modificações na ventilação natural, mas causa redução na pressão nos andares mais altos na face de barlavento. A alteração na altura do edifício muda a localização dos pontos extremos de pressão, diminuindo a altura do local com a menor pressão e elevando a localização da pressão mais alta. Além disso, a função de ventilação da varanda é menor quanto mais alto é o edifício.

Xie (2012) propôs a otimização aerodinâmica de prédios altos através de modificações nas seções para reduzir as respostas ao vento, a fim de garantir a segurança da estrutura quando submetidas a ventos fortes. O autor mostrou primeiramente que alterações para afilar torção e recuos são formas de obter menos excitações pois o desprendimento de vórtice varia com a altura e é inversamente proporcional a largura do edifício. Além dessa, outra mudança que é utilizada para suprimir a excitação de vórtice nas chaminés é o ataque helicoidal, no entanto é pouco usado devido a preocupações com problemas estéticos. Para completar, o autor citou que varandas de canto podem desempenhar funções semelhantes, citando Browne e Kumar (2005) e expondo outra situação, onde um prédio localizado em área de tufões muito fortes, devido a adição de varandas reduziu as cargas de vento do projeto em cerca de 20%.

Kumar *et al.* (2013) retrataram a situação da Índia, onde não é comum a realização de testes em túneis de vento e com isso os projetos têm como base as provisões de carga eólica da norma IS 875/1987. Dessa forma, o intuito do artigo é indicar particularidades que influenciam na carga do vento. Os três primeiros casos analisados apresentam diferentes geometrias, o quarto exhibe barbatanas, o quinto aponta orifícios de escoamento e varandas, o sexto mostra o estudo de Browne e Kumar (2005) que apresentavam varandas de canto e no

último tem-se modificações estruturais ao adicionar massa ao topo. O quinto caso é composto por um edifício oval alongado, com orifícios e varanda por toda a fachada, onde as forças induzidas pelo vento encontradas foram significativamente inferiores as previstas no código, comprovando assim a eficiência das alterações e a importância do ensaio em túnel de vento.

Num estudo comparativo, Montazeri e Blocken (2013) reproduziram em simulações de CFD o que Chand (1998) testou em túnel de vento, afim de verificar a precisão do método computacional. Entre os tipos de medições, os valores para o prédio com e sem sacada diferem em 12% e 10%, respectivamente. Os autores relataram, conforme apresentado na Figura 2.9, as diferenças encontradas com a adição de varanda para a direção do vento perpendicular e oblíquo em relação a situação com as faces lisas. Pode-se atentar que quando a direção do vento é 90°, a presença de varanda apresenta valores mais próximos enquanto que para 45°, os números diferem, atingindo diminuição elevada no topo e ainda maiores em uma das extremidades do térreo, onde apresentou alteração de -676%.

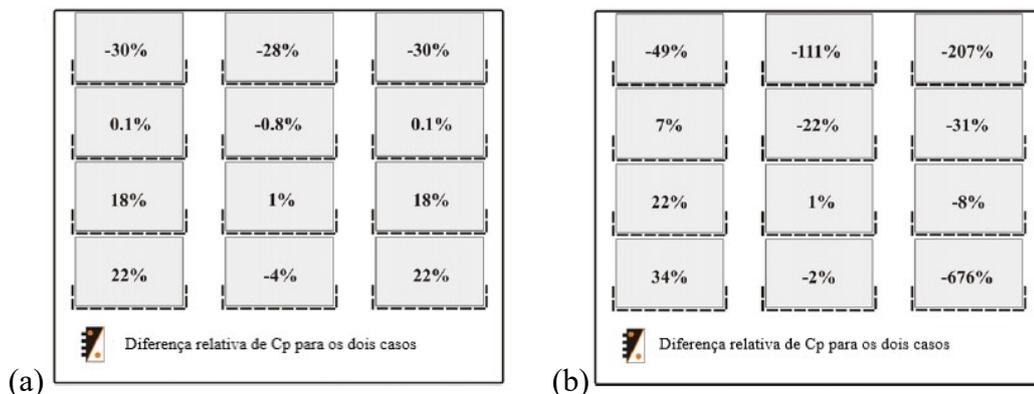


Figura 2.9: Diferença, em porcentagem, do  $C_{p\text{méd}} do caso de faces lisas e com a adição de varanda verificado por Montazeri e Blocken (2013) (a) vento 45° com a face em análise e (b) vento 90° com a face em análise (fonte: adaptado de Montazeri e Blocken, 2013)$

Na Bélgica, Montazeri *et al.* (2013) apresentaram as alterações de um edifício através da implantação de segunda-pele semi-aberta escalonada em frente as varandas. Esse conceito atua como uma barreira semipermeável, protegendo parcialmente do vento, fornecendo equalização de pressão, diminuindo a velocidade e o conforto, em até duas classes conforme o padrão holandês, em diversas posições. Na região de barlavento, há redução dos gradientes de pressão, sendo assim ocorre a diminuição na velocidade do vento e no fator de amplificação. Entretanto, na face de sotavento, houve aumento nos gradientes de pressão, conseqüentemente, aumenta o fator de amplificação. As medições foram feitas no 5°, 10° e

15º andar constatando que quanto mais alto, mais eficaz é o efeito de blindagem, como mostra a Figura 2.10.

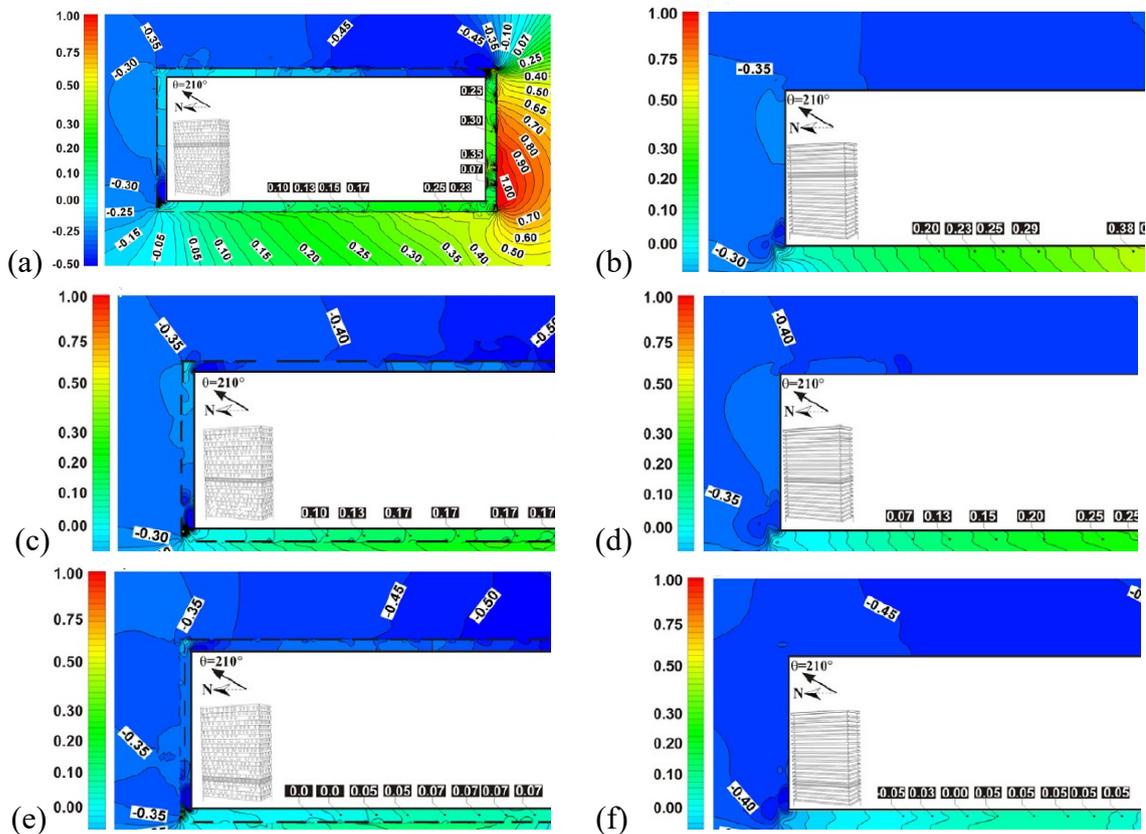


Figura 2.10: Coeficiente de pressão na varanda com vento a 210º em relação a fachada principal analisado por Montazeri *et al.* (2013) (a, c, e) 15º, 10º e 5º andar com segunda pele na fachada (b, d, f) 15º, 10º e 5º andar somente com sacada (fonte: Montazeri *et al.*, 2013)

Cui *et al.* (2014) utilizaram o método da dinâmica dos fluidos computacional para, através do meio numérico, verificar o efeito causado pela presença de varandas e aberturas. Eles focaram no 4º, 5º e 6º andar de um edifício de dez pavimentos. No primeiro caso havia somente aberturas superiores e inferiores nos pavimentos analisados, no segundo caso foi adicionado varanda e ornamentação simplificada equivalente a varandas do 7º ao 10º pavimento, enquanto o terceiro foi retirado a varanda, mantendo as aberturas e a ornamentação nos outros níveis. A presença de sacadas aumentou a ventilação natural nos andares examinados, provocou melhora nos pisos de cima, sendo ainda mais significativas nos inferiores. Todavia, varandas somadas a aberturas ajudam a melhorar a ventilação natural, alterando o padrão de escoamento de ar dentro e ao redor do edifício, além das varandas afetarem o transporte de poluentes e reduzir a fração de massa de CO<sub>2</sub>. Além disso, declararam que a presença de

varandas em outros pavimentos, 1º ao 3º e 7º ao 10º, apresentaria um resultado negativo nos andares centrais.

Ludena *et al.* (2017) avaliaram o efeito das varandas nas cargas eólicas de edifícios com guarda-corpo em vidro. Realizaram os testes com foco voltado para o 9º, 12º e 15º andar de um prédio quadrado de 15 pavimentos, com varandas contínuas e descontínuas, utilizando diferentes escalas, 1:180, 1:67 e 1:25, e direções do vento de 0º e 45º. Eles observaram que para as alturas examinadas, na parte central não há grande alteração, no entanto nos cantos a diferença chega a 30%. Quanto a diferença nos tamanhos ensaiados, como indicado na Figura 2.11, concluíram que as varandas são sensíveis ao dimensionamento do modelo, recomendando ensaios em grandes escalas de varandas, onde geralmente aparecem as maiores sucções. Notaram também que o sentido do vento afeta a distribuição, apresentando maiores reduções para a direção 0º. Também como resultado, informaram que a adição de sacada reduz a pressão negativa de pico devido ao efeito de blindagem.

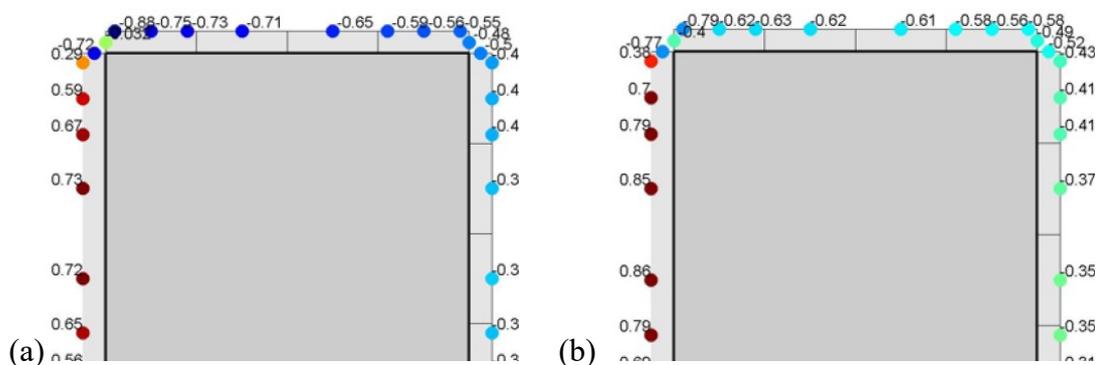


Figura 2.11:  $C_{p\text{méd}}_{\text{ext}}\text{méd}$  externo verificado por Ludena *et al.* (2017) no 9º andar de um prédio com direção do vento de 0º (a) escala 1/67 e (b) escala 1/25 (fonte: Ludena *et al.*, 2017)

Mohamed (2017) simulou computacionalmente dezesseis casos, o qual possuía o intuito de verificar o desempenho da ventilação natural. Para tal demonstração foram alternadas situações como: janelas em uma face e em lados opostos, quantidade, dimensão e posição das aberturas, dimensão das sacadas, adição de paredes, cobertura e parapeito. O autor concluiu que a ventilação unilateral pode ser melhorada com a adição de paredes laterais e sacadas, porém, a introdução de configurações inadequadas pode resultar em reduções significativas nesse desempenho, o que não é desejado. A Figura 2.12 apresenta a configuração 04 e 08 que foram as que apresentaram melhor e pior resultado, respectivamente, entre as opções testadas

para uma construção quadrada de 6,5mx6,5m, onde a primeira possui duas janelas nas extremidades com parede divisória e varanda somente na parte central e a segunda apresenta – uma janela central com varanda em toda a parede.

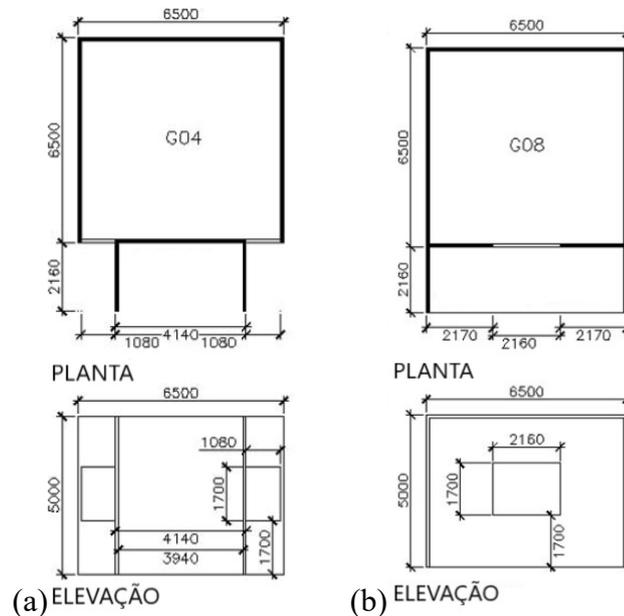


Figura 2.12: Configurações de prédios ensaiadas por Mohamed (2017) (a) Caso 04 – 2 janelas nas extremidades com parede divisória e varanda somente na parte central e (b) Caso 08 – 1 janela central com varanda em toda a parede (fonte: adaptado de Mohamed, 2017)

Ainda no ano de 2017, Morton e Mara (2017) determinaram as pressões de um prédio de geometria diferenciada. Com base retangular e a torre elíptica, formando uma espécie de ‘D alongado’, a edificação em questão, foi avaliada com e sem varanda. A forma da edificação possibilita diversas situações em que se pode analisar varandas arredondadas no canto, canto afiado com ventos normais, cargas estruturais e respostas para momentos de flexão e torção. Para as pressões locais de revestimento em um canto arredondado, há reduções tanto com varandas a barlavento como a sotavento, mas a diminuição dos picos negativos de pressões, as sucções, são maiores para o último caso. Para ocorrências com canto afiado, as reduções dos picos das sucções são proporcionais à distância da esquina do prédio, ou seja, são maiores quanto mais longe. As maiores diminuições nos momentos de flexão e torção na base são encontradas para os casos em que a varanda está a sotavento da direção do vento, essa redução na torção se dá pela diminuição da sucção na face de sotavento devido a ruptura da formação organizada e recolocação de vórtices.

Omriani *et al.* (2017) mediram em escala real uma unidade residencial localizada no quinto pavimento de um edifício de trinta e seis andares em Brisbane, na Austrália. Com o intuito de

validar o modelo em CFD, foram analisados diversos parâmetros tais como: modos de ventilação (unilateral e cruzada), tipos de varanda (semi-fechada e aberta), profundidades da varanda (10%, 20%, 30% e 40%) e direções do vento ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  e  $180^\circ$ ). Quanto as opções de varanda, conforme Figura 2.13, o que difere nos tipos é a parede localizada nas extremidades. Os autores descreveram que uma varanda aberta resulta em maior velocidade interna do que a varanda semi-fechada e o aumento da profundidade da varanda leva a diminuição dessa grandeza. Os valores mais baixos são encontrados quando o vento é perpendicular à abertura, sendo assim, é indicado orientar a construção na direção predominante do vento para melhorar a ventilação natural pois tanto para ventilação unilateral quanto para a cruzada, o fator que mais causa alteração na velocidade é a direção do vento. No entanto, as alterações dos parâmetros investigados causam maior efeito na ventilação unilateral, em média 300%, em comparação com a cruzada, cerca de 50%, mostrando a importância do design apropriado.

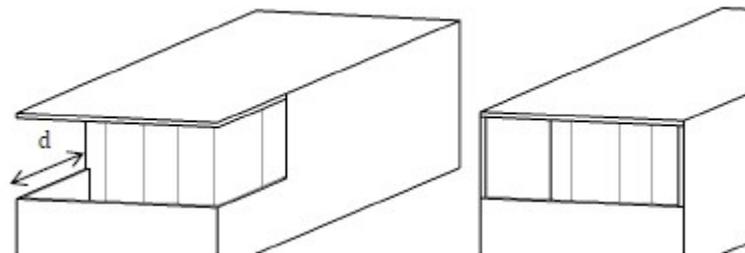
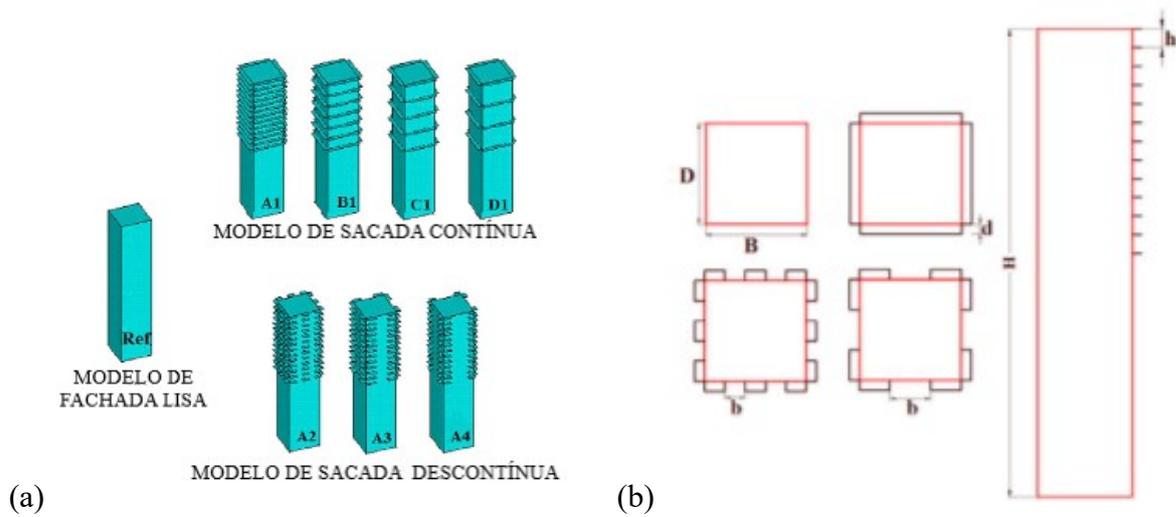


Figura 2.13: Sacada aberta e semi-fechada analisada por Omrani *et al.* (2017) (fonte: Omrani *et al.*, 2017)

Yuan *et al.* (2018) dedicaram-se a análise dos coeficientes de pressão de prédios com varanda. Para isso, definiram 21 configurações, simulando com diferente distância vertical e horizontal entre sacadas, conforme Figura 2.13. Quanto as pressões de pico positivas, os acessórios não apresentam fortes efeitos no  $C_{p_{max}}$ , no entanto, provocam mudança na localização do mesmo. Já nos picos negativos, há grande influência da varanda, para o caso de diferentes separações verticais provoca reduções no  $C_{p_{min}}$  em 22%-42 e para a situação horizontal também há severa redução para o  $C_{p_{min}}$ , onde os menores espaçamentos provocam maiores reduções.



(a) Figura 2.14: Modelo com varandas contínuas e descontínuas, com diferentes distâncias horizontal e vertical entre elas constatado por Yuan *et al.* (2018) (a) esboço tridimensional dos edifícios testados (b) configurações e parâmetros dos acessórios (fonte: adaptado de Yuan *et al.*, 2018)

Hui *et al.* (2019) seguiram os mesmos modelos de Yuan *et al.* (2018), porém dedicaram-se a análise dos coeficientes de pressão média, flutuante e o espectro de potência de prédios com varanda. Os resultados dos espectros de potência indicam que o desprendimento de vórtice se apresenta melhor organizado devido à presença dos componentes, no entanto, os picos são mais altos quando comparado a superfície lisa e as larguras de banda mais estreitas.

Através das simulações computacionais, Ghadikolaie *et al.* (2020) descreveram o efeito da adição de paredes laterais em sacadas afim de melhorar o desempenho da ventilação para prédios de média altura, medindo quatro profundidades e três ângulos para paredes na parte central e nas extremidades, conforme Figura 2.14. Quando adicionada no canto, quanto maior a largura, melhor o resultado e alterar o ângulo não apresenta mudança nos efeitos. Para a parede no meio, os valores são melhores e mudar o ângulo melhora os resultados. A variação na profundidade traz benefícios para desempenho da ventilação e o desvio de ângulo de até  $22,5^\circ$  apresenta melhores resultados do que as paredes perpendiculares para a direção de  $45^\circ$ .

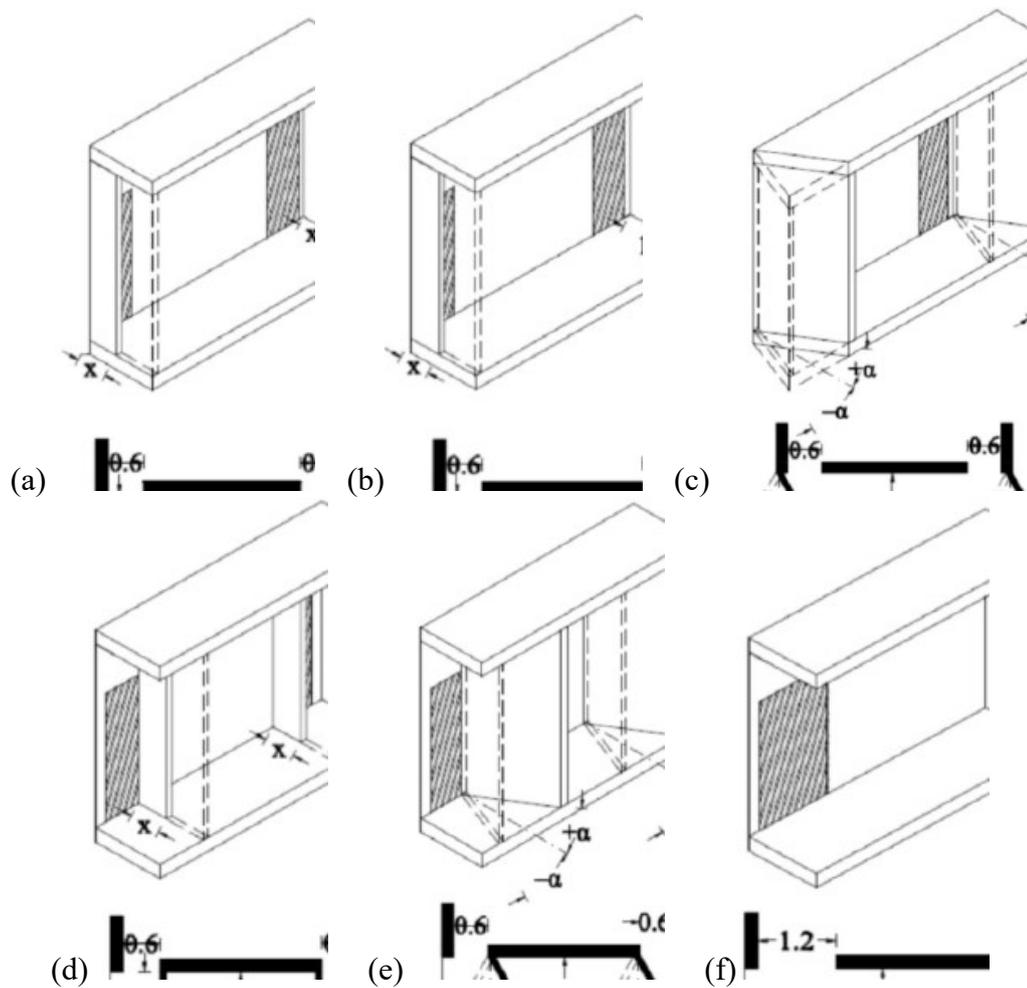


Figura 2.15: Modelos com diferentes tamanhos e ângulos de parede analisados por Ghadikolaie *et al.* (2020) (a) Caso 1 – Paredes nas extremidades de metade da largura (b) Caso 2 – Paredes nas extremidades, um lado metade da largura e um lado a largura inteira (c) Caso 3 – Paredes inclinadas nas extremidades (d) Caso 4 – Paredes centrais de metade da largura (e) Paredes inclinadas, de um lado no centro e de um lado na extremidade (f) Caso 5 – Janela normal e sem paredes (fonte: Ghadikolaie *et al.*, 2020)

Liu *et al.* (2021) buscaram analisar, por meio de estudo experimental, modelos anteriormente observados por Yuan *et al.* (2018), Hui *et al.* (2019), já citados anteriormente, e Yang *et al.* (2020). Para as cinco edificações, as quais constam na Figura 2.16(a) juntamente com a edificação modelo, constatou-se que com a adição dos elementos houve redução dos coeficientes de pressão a sotavento e na lateral para a região do topo, onde tem-se os elementos verticais e horizontais. Comparando os casos sem acessórios com as situações com nervuras horizontais, onde tem-se configuração somente no canto e de forma contínua, os quais correspondem ao Modelo 1, 2 e 3, conforme pode-se observar na Figura 2.16(b), o coeficiente de pressão médio na face de barlavento varia de 0,84 para 0,85 e 0,74, e observa-

se também a diminuição da posição em que é encontrado tal valor, em relação ao modelo de referência. Entre todos os modelos, a maior diminuição é verificada no Modelo 5, sendo de 44% nas faces lateral e 33% a sotavento.

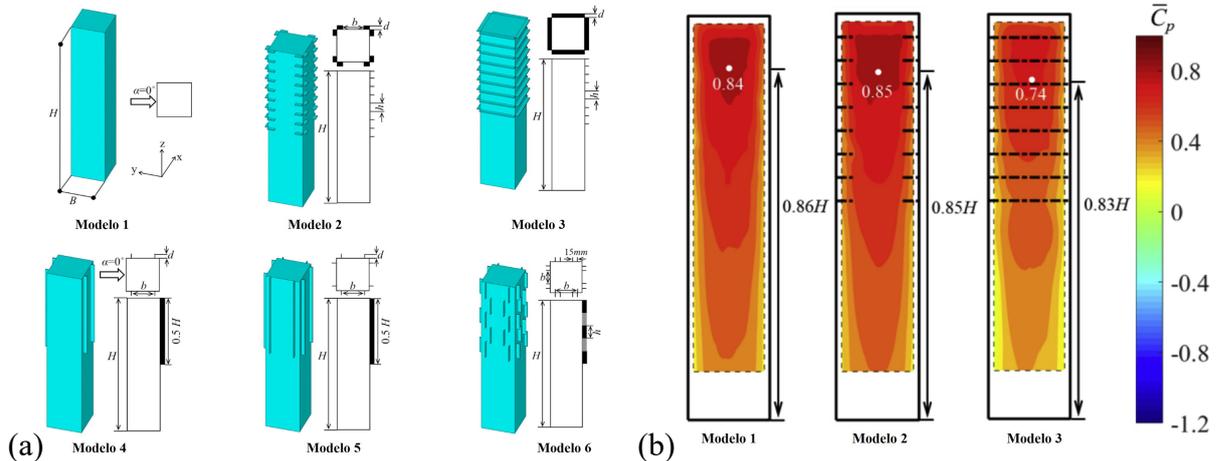


Figura 2.16: Edificações com diferentes configurações estudados por Liu *et al.* (2021) (a) esboço tridimensional dos modelos testados (b) Coeficiente médio dos Modelos 1, 2 e 3 (fonte: Liu *et al.*, 2021)

Recentemente, Cheng *et al.* (2021) buscaram analisar alguns complementos utilizados na parte externa de edificações tais como varandas, montantes, nervuras e placas de sombreamento. O intuito dos autores era identificar o quanto esses elementos influenciam na carga de vento como pressão do vento local e força aerodinâmica, primeiramente através de ensaios em túneis de vento e experimento conhecido como *High Frequency Force Balance* (HFFB) e posteriormente com a ajuda da metodologia para análise numérica denominada *Large Eddy Simulation* (LES), contando com 408 tomadas de pressão divididas ao longo de 17 camadas, onde receberam 44 direções de vento testadas. Para isso, adotou diversos modelos quadrados, entre eles um exemplar de referência sem acessórios denominado S, outros chamados de H1, H2, V1 e V2 com fachadas horizontais ou verticais, conforme a letra inicial, com diferentes profundidades extensionais, sendo inferiores para os números menores, Hh com uma distância oca, V3 com elementos verticais e a adição de sacadas na borda, e C2 e C3 que é a soma de elementos horizontais em V2 e V3. Em tal pesquisa, foi observado que os valores máximos, comparando S, com V1, V2 e C2, possuem aumento nos coeficientes, enquanto V3 e C3, devido a existência de borda, tendem a diminuir, enquanto H1 e H2 também aumentaram. Todavia, para os valores mínimos, as maiores sucções ocorrem nas fachadas verticais (V1, V2, V3 e C2) e as menores com fachadas horizontais (H1, H2, Hh).

Com isso, os autores concluíram que a fachada horizontal apresenta pouca influência na distribuição de valores médio e r.m.s. das pressões do vento, mas torna os valores mais uniformes, enquanto a fachada vertical causa alteração, principalmente nas fachadas com elementos nas bordas. Além disso, apontaram que com o aumento da profundidade dos elementos horizontais, tem-se a diminuição da pressão mínima do vento, a qual pode ser explicada por restringir a separação de vórtices e, por outro lado, a sucção aumenta com a maior profundidade, atingindo diferença de 25,8%.

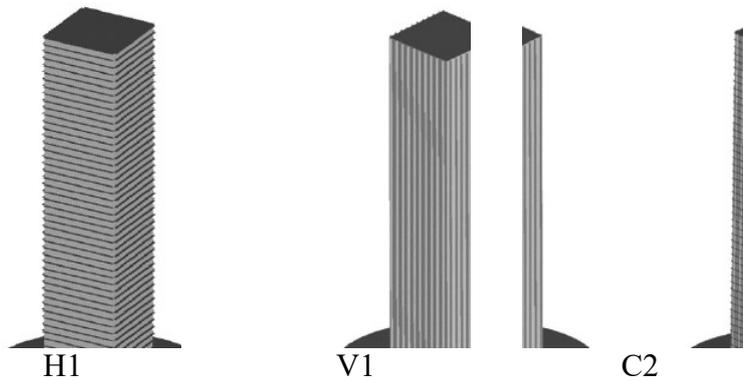


Figura 2.18: Alguns modelos testados por Cheng *et al.* (2021) (fonte: Cheng *et al.*, 2021)

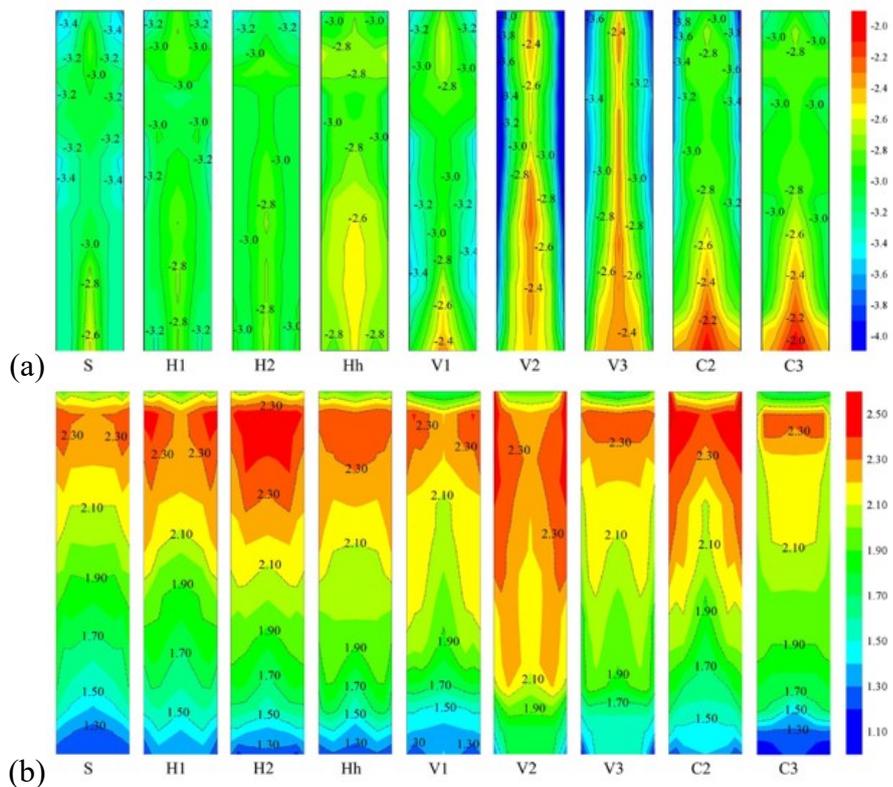


Figura 2.18: Coeficientes de pressão obtidos por Cheng *et al.* (2021) (a) Coeficiente de pressão mínimo (b) Coeficiente de pressão máximo (fonte: Cheng *et al.*, 2021)

### 3 AÇÃO DO VENTO EM FACHADAS

São inúmeros os fatores que influenciam na resposta de um arranha-céu aos efeitos do vento. Esses parâmetros envolvidos necessitam ser compreendidos pois interferem diretamente no conforto de quem ocupa o ambiente e na segurança da edificação. Em situações extremas, em que a estrutura não resiste as ações provocadas, o resultado pode ser problemas catastróficos. Além disso, pelo vento ser um fator que atua durante toda a vida útil, a clareza do comportamento fluído-estrutura é de extrema importância.

Entre as contribuições de Davenport para a engenharia, uma das mais importantes é a corrente para estimar a ação do vento, nomeada oficialmente de “*Alan G. Davenport Wind Loading Chain*” pela Associação Internacional de Engenharia Eólica. Em seus estudos, Davenport avaliou que a carga eólica e seus efeitos dependem de etapas que estão interligadas, tal qual uma corrente, conforme mostrado na Figura 3.1. A confiabilidade do resultado final varia conforme a eficácia da componente mais fraca, por conseguinte, aperfeiçoar os elos fortes contribui menos que um melhoramento na parte frágil (ISYUMOV, 2012).

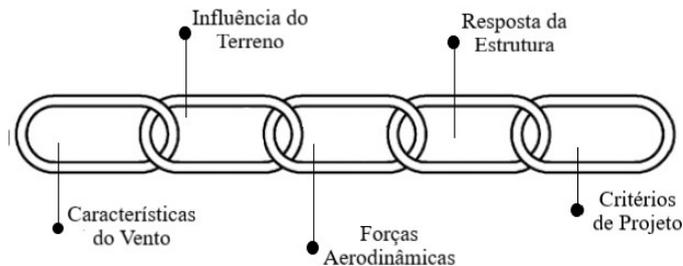


Figura 3.1: Corrente de carregamento do vento de Davenport (fonte: adaptado de Isyumov, 2012)

A corrente revelada por Davenport é composta de cinco argolas. A primeira é marcada pelas características do vento, designado para a velocidade e direção do vento no local em que a edificação está posicionada. O subsequente é destinado a influência do terreno, englobando a rugosidade e a topografia da superfície em questão. O próximo elo é caracterizado pelas propriedades aerodinâmicas e a interferência com a vizinhança. O quarto ponto abrange a resposta da própria estrutura à ação do vento, ou seja, os efeitos dinâmicos. E finalmente, o último envolve os critérios de projeto usados para realizar as avaliações (IRWIN *et al.*, 2013).

Ainda, para Irwin *et al.* (2013), o principal método para a quantificação das cargas do vento são os testes de túneis de vento. Tais ensaios devem ser realizados buscando atingir a máxima precisão em todas as etapas, pois a falta de atenção em qualquer uma delas influencia diretamente no resultado final. Desse modo, nesse tópico serão abordados os segmentos citados pois o conhecimento das partes é fundamental ao entendimento do efeito das cargas do vento em estruturas.

### 3.1 CARACTERÍSTICAS DO VENTO

De acordo com Holmes (2015) a denominação de vento é dada ao movimento do ar na superfície terrestre, ocasionada por diversas forças. Para essas, uma das principais é a diferença de pressão atmosférica, resultado do aquecimento solar não uniforme nos diferentes pontos, em conjunto com as forças produzidas pela rotação da Terra. A velocidade média do vento e as flutuações que oscilam em torno desta tem influência direta na engenharia estrutural, sendo fundamental seu conhecimento (BLESSMANN, 2013).

#### 3.1.1 Camada Limite Atmosférica (CLA)

A camada limite atmosférica (CLA) é a região da troposfera impactada pela existência de obstáculos na superfície terrestre, reagindo por meio de forças superficiais. Tais respostas são arrasto, evaporação, evapotranspiração, transferência de calor, emissão de poluentes e alterações do escoamento induzidos pelas particularidades do terreno (LOREDO-SOUZA *et al.*, 2004). Dessa forma, essa zona engloba a influência do terreno, envolvendo as propriedades da topografia e rugosidade que causam modificações nas ações do vento.

A espessura da camada limite atmosférica é designada de altura gradiente ( $z_g$ ). A mesma sofre influência da rugosidade do terreno e do *fetch*, o qual é o espaço disponível sobre o terreno para o vento percorrer a barlavento (LOREDO-SOUZA *et al.*, 2004). Percebe-se que essa grandeza e a agitação do ar, conhecida como turbulência, são maiores quanto maior a rugosidade do solo e as dimensões dos obstáculos. Essa relação é mostrada na NBR 6123:1988, a qual é destinada as forças devidas ao vento em edificações, onde a elevação da camada limite atmosférica varia conforme as categorias nela estabelecidas. A divisão, de I a V, apresenta a numeração crescente conforme a quantidade de empecilhos, indo de superfícies lisas a espaços cobertos, de campo aberto a meio urbano, variando de 250m a 500m.

Dessa forma, tem-se que a velocidade do vento é influenciada por diversos fatores. Na camada limite atmosférica, além das características do terreno, o escoamento sofre variações também da forma das dimensões e maneira em que estão organizados os obstáculos, tanto naturais quanto artificiais. Sendo assim, a rugosidade superficial e a variação da temperatura na direção vertical têm grande influência na ação do vento. No entanto, com o aumento da altura, há a diminuição dos efeitos, até o ponto que podem ser desprezados, concluindo que a rugosidade funciona como um elemento que desacelera o vento (BLESSMANN, 2011).

Um bom entendimento da camada limite atmosférica é fundamental para uma apropriada interpretação da interação fluido-estrutura através de perfis de vento conforme a aplicabilidade que está sendo analisada. No âmbito da construção civil, busca-se um perfil deslizante e turbulento, e esse ao decorrer da altura, é dividido em médio e flutuante, conforme indicado na Figura 3.2. Sendo assim, para a concepção das características do vento é necessário a reprodução fiel da camada limite atmosférica juntamente com as ações que atuam nela e essas são explicadas a seguir, nos itens 3.1.2 e 3.1.3.

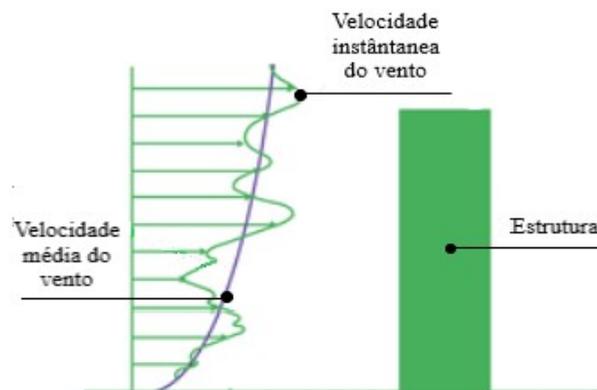


Figura 3.2: Perfil de vento deslizante e turbulento (fonte: adaptado de Irwin *et al.*, 2013)

### 3.1.2 Velocidade média do vento

A velocidade é fator determinante na caracterização do vento. Conforme Loredou-Souza *et al.* (2004), o perfil de velocidades médias do vento depende da variação da velocidade do ar em relação à altura dentro da camada limite atmosférica, aumentando a intensidade do fluido com o aumento da altitude, conforme representado na Figura 3.3. Segundo os mesmos autores, na Engenharia do Vento costumeiramente são utilizados dois tipos de perfis de velocidade média, podendo esses serem obtidos através da lei de potência e do perfil logarítmico.

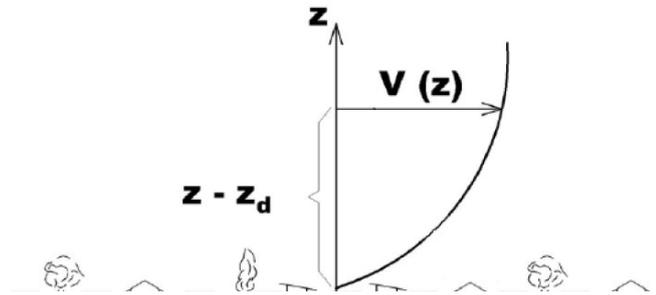


Figura 3.3: Perfil de velocidades médias do vento (fonte: adaptado de Loredou-Souza *et al.*, 2004)

O perfil de velocidades média do vento encontrado através da lei logarítmica, é obtido através da Equação 3.1, onde  $u^*$  é a velocidade de corte,  $z_0$  é a altura média da rugosidade do terreno,  $z_d$  representa o deslocamento do plano-zero e  $k$  é constante de von Kàrman, onde para esse último costumeiramente atribuído como 0,4. Para esses, o primeiro indica a intensidade de turbulência e a quantidade de movimento causado, onde tem-se maiores valores quanto mais rugoso for o terreno, enquanto a segunda leva em conta a elevação média dos obstáculos e o espaçamento entre eles. Essa opção não representa corretamente a grandeza acima da camada limite atmosférica, mas por outro lado, expõe fielmente os valores perto da superfície. A principal vantagem dessa alternativa é que há um fator de escala, através de  $z_0$ , no entanto não representa a transição entre duas rugosidades diferentes (LOREDO-SOUZA *et al.*, 2004). Para Holmes (2015), a lei logarítmica é a indicada para os casos de ventos extremos.

$$V(z) = \frac{u_*}{k} \ln\left(\frac{z - z_d}{z_0}\right) \quad (3.1)$$

Sendo:

$V(z)$  velocidade média do vento em uma altitude  $z$ ;

$u^*$  velocidade de corte, fricção ou cisalhamento;

$k$  constante de von Kàrman;

$z_0$  altura média de rugosidade do terreno;

$z_d$  deslocamento do plano-zero;

$z$  cota acima do terreno;

Diferente dessa, tem-se o perfil em lei de potência, frequentemente utilizada pela maioria dos profissionais da Engenharia do Vento, a qual pode ser obtida através da Equação 3.2. O expoente da curva da potência apresenta valores estabelecidos na NBR 6123:1988, sendo baseada conforme a categoria a que se enquadra a situação em questão. Tal alternativa apresenta ampla variação, tendo em vista que varia de acordo com o tipo de terreno, elevação, hora do dia, velocidade do vento, estação do ano, temperatura e demais quesitos relacionados com o escoamento.

$$\frac{V(z)}{V(z_{ref})} = \left( \frac{z - z_d}{z_{ref}} \right)^p \quad (3.2)$$

Sendo:

$V(z_{ref})$  velocidade média do vento na altura de referência;

$z_{ref}$  altura de referência;

$p$  expoente característico da lei potencial;

A lei potencial não apresenta justificativa teórica, mas reproduz satisfatoriamente o perfil médio de velocidades. Outro ponto negativo dessa alternativa é que devido ao fato de ser aplicável para qualquer valor positivo ou nulo, a velocidade do vento aumenta de maneira indefinida, sem levar em conta o fim da camada limite atmosférica. Além desses, o terceiro problema é que perto da superfície o ajuste é insatisfatório. Todavia, mesmo de forma mais simplificada, essa alternativa se apresenta como de fácil aplicação, sendo baseada em dados empíricos (LOREDO-SOUZA *et al.*, 2004). A Tabela 3.1 apresenta dados sugeridos para a utilização desse método.

Tabela 3.1: Valores sugeridos para  $z_0$  e espessura de CLA para as diferentes categorias de terreno estabelecidas pela NBR 6123/1988

Categoria de Terreno NBR 6123/1988	Rugosidade Superficial - $z_0$ (m)	Largura da CLA (m)
I	0,005	250
II	0,070	300
III	0,300	350
IV	1,000	420
V	2,500	500

(fonte: adaptado de NBR 6123/1988)

### 3.1.3 Turbulência

Outro aspecto que influencia nas propriedades do vento no interior da camada limite atmosférica, conforme Blessmann (2011), é as flutuações de velocidade que o vento sofre ao redor da média. Essa alteração ocorre devido as agitações mecânicas, dando origem a grande quantidade de turbilhões. Essa excitação do escoamento médio, formado pelos turbilhões, é denominada de turbulência e para vento natural, a ocorrência pode ser oriunda de duas situações: movimentos circulatorios da atmosfera ou rugosidade superficial. O primeiro deles é provocado por alterações termodinâmicas e pela rotação da Terra, enquanto a outra opção é resultado da modificação do homem e dos obstáculos naturais, tais como florestas, árvores isoladas ou em forma de quebra-ventos, montanhas, morros, ondas, plantações e principalmente edificações. Com isso, pode-se afirmar que há ligação direta entre a camada limite atmosférica, a velocidade do vento e a turbulência (BLESSMANN, 2011).

Quando os fatores determinantes são a rugosidade natural e artificial do solo, os turbilhões gerados normalmente apresentam tamanho variável, indo de milímetros até a altura da camada limite atmosférica. Essas características próprias da superfície provocam diminuição do vento natural nessa zona e o aumento dessa grandeza com o acréscimo da altura, conforme já citado anteriormente (BLESSMANN, 2013).

Ainda segundo Blessmann (2011), ao representarmos a velocidade do vento em um ponto  $r$  e no instante  $t$  de forma vetorial, temos o somatório do vetor velocidade média nessa posição e do vetor flutuação, conforme Equação 3.4. A última soma apresentada na fórmula, é resultado da adição entre três componentes escalares nas direções longitudinal, lateral e vertical, representadas por 1, 2 e 3. O melhor entendimento pode ser obtido através da Figura 3.3.

$$\underline{V}(r,t) = \overline{V}(r) + \underline{v}(r,t) \quad (3.3)$$

Sendo:

$\underline{V}(r,t)$  Vetor velocidade instantânea em uma posição  $r$  e instante  $t$ ;

$\overline{V}(r)$  Vetor velocidade média na posição  $r$ ;

$\underline{v}(r,t)$  Vetor flutuação de velocidade (vetor rajada);

$$\underline{v}(r,t) = \underline{v}_1(r,t) + \underline{v}_2(r,t) + \underline{v}_3(r,t) \quad (3.4)$$

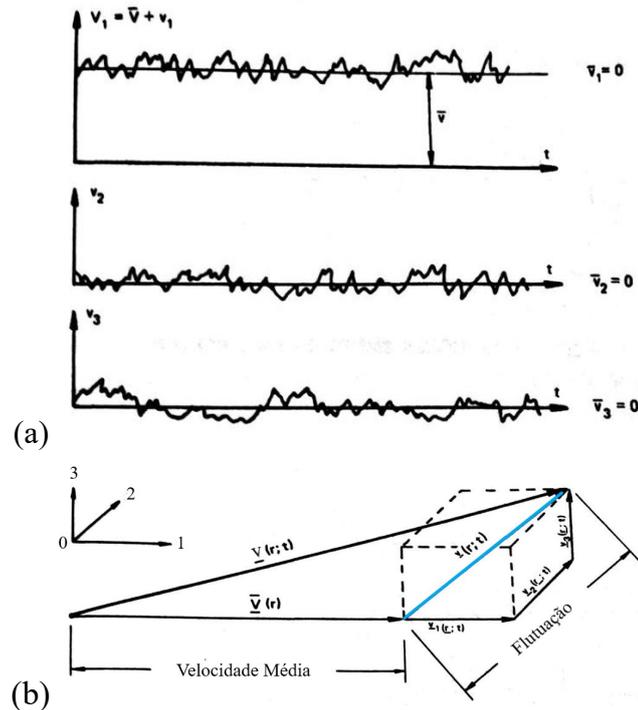


Figura 3.4: Velocidade do vento (a) variação da velocidade do vento no tempo (b) componentes da velocidade do vento (fonte: adaptado de Blessman, 2011).

## 3.2 CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO

As características aerodinâmicas dos edifícios dependem da maneira como o escoamento sofre separação ao colidir com obstáculos. Dessa forma, além das propriedades do terreno, a forma do próprio prédio (TAMURA *et al.*, 1999) e o seu entorno (HUI *et al.*, 2017) também tem grande influência no carregamento devido ao vento, podendo apresentar benefícios ou causar prejuízo a estrutura.

### 3.2.1 Geometria da edificação

As pressões do vento que atuam nas fachadas das estruturas são complexas de serem determinadas, variando conforme o cisalhamento do vento, turbulência devido a aspereza do terreno, interação aerodinâmica pela proximidade com outras edificações e, além dessas, dependem da forma da própria estrutura. De acordo com Irwin *et al.* (2013), uma edificação alta apresenta pressões de vento flutuante, não somente pelo fato do vento que circula ser turbulento, mas porque a estrutura produz sua turbulência própria.

A geometria das estruturas e suas dimensões influenciam nos esforços e deformações, sendo assim, devem ser levados em conta na análise estrutural. Pelo fato da colisão do vento com elementos localizados em seu escoamento serem decisivos no efeito do vento em edificações, diversos autores estudaram alterações nas formas a fim de tirar proveito da geometria da estrutura. Li *et al.* (2018), por exemplo, concluiu que cantos chanfrados e recuados são eficazes na redução das cargas do vento. Além disso, Tanaka *et al.* (2012) afirmou que modelos ousados e nada convencionais são classificados como bons no quesito propriedades aerodinâmicas para excitações de vento cruzado.

Segundo Xie (2014), a largura e a altura das edificações intervêm nas ações do vento atuantes na própria estrutura. A primeira delas é inversamente proporcional a frequência do desprendimento de vórtice, sendo esse o fenômeno tido como problema principal relacionado ao vento em edifícios altos, o qual projetistas estão constantemente na tentativa de reduzir. A outra, tem relação com o afunilamento, onde tem-se a frequência variável conforme a altura do prédio. O mesmo autor afirma que uma boa modificação aerodinâmica é obtida através do equilíbrio entre os aspectos dos projetos, pois diversas vezes um quesito que provoca diminuição nos efeitos ao ser avaliado no conjunto torna-se prejudicial.

### 3.2.2 Efeitos de Vizinhança

Por razões econômicas, religiosas ou afetivas, a população, desde os períodos remotos, tem o desejo de morar na parte central das cidades. Para atender a vontade da grande maioria e como solução para aproveitar melhor os espaços, surgiram as edificações altas e essas, passaram a ser construídas cada vez com menores espaçamentos entre si. Ao viverem perto, as pessoas tornam-se vizinhas e as edificações passaram a fazer parte do entorno uma das outras. Edificações próximas geram incertezas na análise da influência do vento pois elas alteram o comportamento do vento. Esses efeitos de interferência ao escoamento do vento são modificados de maneira aleatória, ora positivamente, ora negativamente (HUI *et al.*, 2013).

Segundo Khanduri *et al.* (1998), é importante estudar os efeitos de vizinhança devido a três principais motivos, são eles:

1. O tamanho e o formato das estruturas, suas posições de interferência, direções de incidência do vento e fatores topográficos fazem com que cada caso seja influenciado de maneira diferente pelo vento;
2. A falta de valores experimentais;

3. O pensamento errôneo de grande parte dos profissionais de que o fato de ter vizinhança diminui as cargas devido ao vento;

As normas em atual vigência referente as ações do vento nas edificações apresentam estimativas conservadoras para o dimensionamento das construções, todavia não dão a importância necessária ao detalhamento dos efeitos de vizinhança. Não levar em consideração essa característica pode ser prejudicial, resultando no superdimensionamento da estrutura pois a carga dos ventos pode ser benéfica a estrutura. No entanto, por outro lado, também tem-se situações em que a normatização pode levar a um dimensionamento inferior ao solicitado pela edificação, podendo ocasionar danos catastróficos.

Para Mara *et al.* (2014), os motivos pela qual a norma não leva em consideração as ações do vento na vizinhança são devido ao grande número de especificações envolvidas, são elas: geometria dos edifícios, posições relativas das estruturas de interferência, direções de incidência do vento, topografia dos terrenos, entre outros. Dessa forma, seria difícil os códigos apresentarem um valor para cada caso e generalizar o valor continuaria resultando em edificações superdimensionadas ou subdimensionadas.

A NBR 6123:1988 indica a utilização de túneis de vento para melhor conhecimento dessas grandezas pois através de normas tem-se somente uma aproximação devido ao modo genérico. No entanto, a mesma fornece que o Fator de Efeito de Vizinhança (FV) é encontrado através da divisão do Coeficiente Aerodinâmico na edificação com vizinhança pelo Coeficiente Aerodinâmico na edificação isolada. Além disso, a norma estabelece valores representativos para esse fator baseados na relação  $s/d$  que é o afastamento entre os planos das faces confrontantes dividido ou pelo lado menor ou pela semi-diagonal, conforme a menor delas. Para o caso de paredes confrontantes quando  $s/d$  for menor igual que 1,0 e para o caso da cobertura o  $s/d$  for menor igual a 0,5, o FV é igual 1,3 e quando o  $s/d$  maior igual que 3,0 em qualquer um dos casos, o FV é 1,0. Para valores intermediários de  $s/d$ , deve-se optar pelo método da interpolação linear. Além disso, nesse código, no anexo G, são descritos os três modos que aumentam a força do vento, sendo eles: turbulência da esteira, efeito Venturi e deflexão do vento na direção vertical.

### 3.2.2.1 Turbulência da esteira

Segundo a NBR 6123:1988, a turbulência da esteira ocorre principalmente em circunstâncias que contam com cobertura e painéis de vedação feitos de materiais leves. Esse fenômeno apresenta como característica uma estrutura a sotavento de outra que, provavelmente, será afetada pela turbulência gerada na esteira da edificação de barlavento. Na situação em que as edificações estão alinhadas à barlavento pode ocorrer três cenários: regime de escoamento de corpo isolado, de interferência na esteira e deslizante. A Figura 3.5 retrata, respectivamente, os casos. É possível verificar que quanto mais próximo as edificações, maior é a interferência dos esforços do vento.

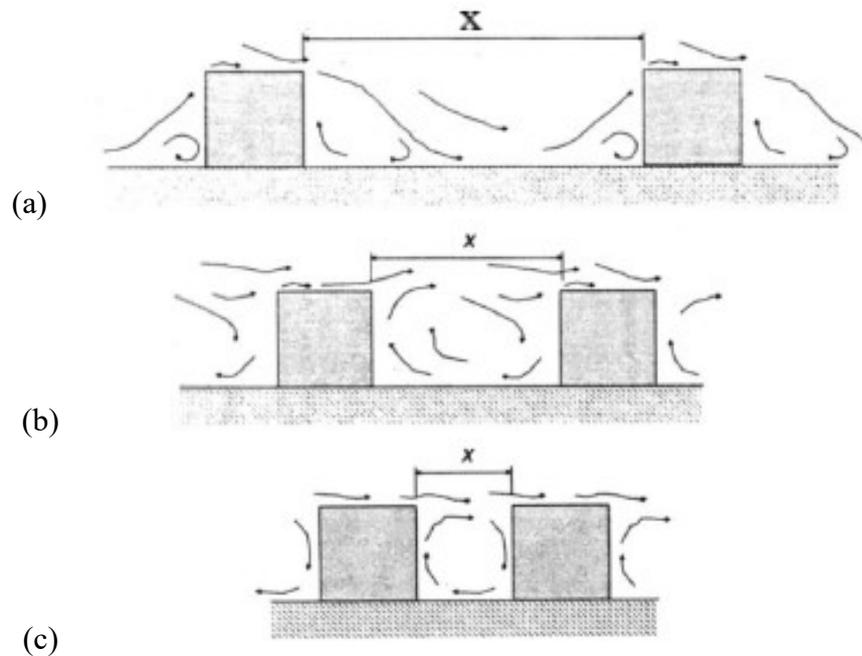


Figura 3.5: Regimes de escoamento (fonte: COOK, 1990)

### 3.2.2.2 Efeito Venturi

Conforme a NBR-6123:1988, o efeito Venturi é uma aceleração no escoamento do vento causado pela proximidade das estruturas. Esse aumento na distribuição das pressões acontece onde há o “afunilamento” entre as edificações, resultando em sucção nas paredes confrontantes, mais precisamente no canto de barlavento. De acordo com esse código normativo, os coeficientes de pressão dessas estruturas podem apresentar valores negativos superiores, em módulo, a 2,0. A Figura 3.6 apresenta uma ilustração desse fenômeno.

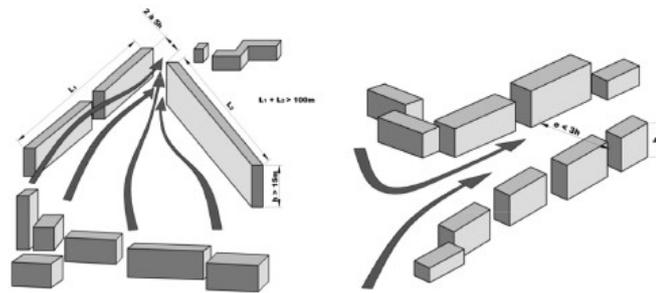


Figura 3.6: Afunilamento do vento, conhecido como efeito Venturi (fonte: CARPEGGIANI, 2004)

Conforme Xie (2014) e como já mencionado anteriormente, o estreitamento faz com que a frequência da excitação do vento atuante na estrutura varie conforme a altura da própria edificação, causando redução na magnitude da excitação geral.

### 3.2.2.3 Deflexão do Vento na Direção Vertical

A NBR-6123:1988 define que ao receberem ventos a barlavento, as edificações altas defletem parte dele para baixo, causando assim aumento na velocidade nas regiões próximas ao solo. Em casos de prédio baixos, esse efeito provoca o aumento das cargas do vento, onde os coeficientes de forma chegam a -1,5 e -2,0. A Figura 3.7 apresenta a deflexão do vento incidente.

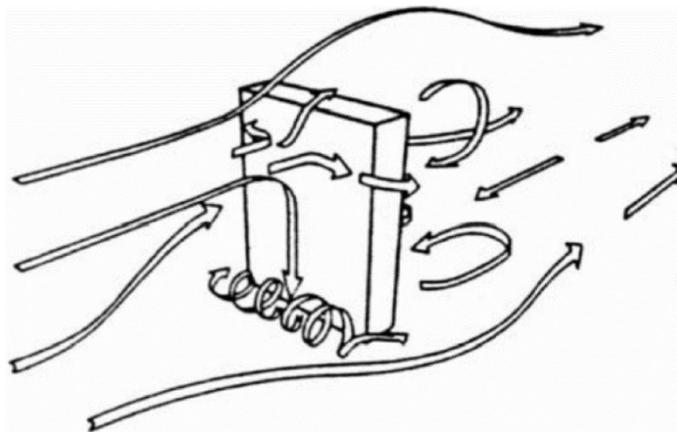


Figura 3.7: Deflexão do vento na direção vertical (fonte: CARPEGGIANI, 2004)

Segundo Wise (1971), quando o escoamento de vento se depara com uma construção, o mesmo se divide para as laterais e para a superfície da estrutura, chegando a atingir duas vezes a velocidade do vento correspondente em campo aberto e até quatro vezes em áreas

urbanas. O mesmo autor declarou que uma opção para reduzir a deflexão é a adição de telas ou a construção de coberturas nos pontos mais críticos.

### 3.3 RESPOSTA DA EDIFICAÇÃO A AÇÃO DO VENTO

De acordo com Chamberlain (2006), as respostas das edificações as ações do vento, principalmente de estruturas esbeltas e flexíveis, ocorrem com maior magnitude em situações que apresentam baixas frequências naturais, sendo essas com valores inferiores a 1Hz. Essas vibrações devido aos efeitos do vento são de caráter dinâmico, podendo ser substituídas, para facilitar a análise, por ações estáticas equivalentes. Os principais fenômenos que costumemente ocorrerem são: martelamento, galope, drapejamento e desprendimento de vórtices. Tais efeitos referem-se a efeitos dinâmicos, os quais não foram levados em conta na presente pesquisa, onde somente analisaram-se os efeitos estáticos.

#### 3.3.1 Martelamento

Ao se localizarem próximas, como já comentado anteriormente, as edificações passam a ser imersas nas esteiras uma das outras. Conforme as configurações desse posicionamento, as construções dispostas ao longo do escoamento sofrem impactos devido aos turbilhões que a edificação a barlavento provoca. Esse feito é denominado de martelamento (em inglês, “*buffeting*”), tratando-se de uma força excitadora que age de maneira compassada, resultando em efeitos de diferentes intensidades. A pior situação é encontrada quando a frequência gerada coincidir com a frequência natural da edificação situada na corrente (COOK, 1985).

De acordo com Blessmann (2005), além da frequência, a turbulência do vento também é importante no fenômeno do martelamento. Para os casos em que a intensidade é pequena, a influência na ação do vento também é baixa, ocorrendo de forma bem organizada e produzindo uma força excitadora praticamente periódica, onde o espectro de energia é estreito. Diferente dessa, em situações em que a grandeza for grande, provoca a desordem dos turbilhões resultando em agitações de amplitude menor e em espectro de potências largo.

Blessmann (2005) declarou que uma atenção maior deve ser dedicada ao martelamento quanto menor for a rugosidade do terreno e quanto maior o distanciamento entre as edificações, pois essas grandezas resultam em maiores vibrações. Mesmo estando com uma

distância dez vezes a dimensão da edificação, ainda assim pode-se notar os efeitos dinâmicos desse fenômeno.

### 3.3.2 Galope

Para Holmes (2015), o efeito de galope é uma maneira de instabilidade de um único grau de liberdade, a qual trata-se de uma vibração de translação e vento cruzado, acontecendo principalmente em corpos longos. Esse efeito ocorre quando o amortecimento aerodinâmico apresentar valores negativos maiores que o amortecimento da estrutura em módulo, obtendo uma resultante negativa que causa a instabilidade da estrutura (IRWIN *et al.*, 2013).

Os efeitos de galope estão associados as oscilações de cabos ou torres de transmissão, mas as construções civis prismáticas de seção quadrada, retangular, triangular, poligonal, semi-circular e cantoneiras também são suscetíveis a esse fenômeno. Os edifícios mais leves, flexíveis e com pequeno amortecimento são os mais vulneráveis. Devido as características atuais das edificações, o amortecimento das estruturas apresenta menores valores, resultando numa velocidade mínima do vento, denominada de velocidade de disparo, cada vez mais próxima da velocidade de projeto, sendo essa, a principal causa da formação do galope (BLESSMANN, 2005).

Ainda conforme Blessmann (2005) as principais propriedades do fenômeno de galope são: sua intensidade violenta, seu subido aparecimento quando atinge a velocidade de disparo, o aumento da amplitude de vibração devido ao aumento da velocidade do vento e o movimento oscilatório que ocorre de modo simples, não acoplado, sendo essa perpendicular à direção do vento médio. Então, para diminuir os efeitos desse fenômeno, tem-se as seguintes medidas: aumentar o amortecimento ou a rigidez estrutural, aumento da massa, modificação da forma ou orientação da edificação.

Para Irwin *et al.* (2013) o galope deve ser evitado de qualquer maneira. Normalmente, para as dimensões e frequências dos edifícios, a velocidade crítica do vento para que ocorra o fenômeno de galope é alta, sendo difícil de ser atingida pelo projeto. Por outro lado, para edifícios super altos que possuem frequências naturais muito baixas, a ocorrência é perigosa, devendo assim ser bem avaliada.

### 3.3.3 Drapejamento

Com características próximas ao galope, o movimento oscilatório do drapejamento também ocorre quando o amortecimento aerodinâmico possui valores negativos, apresentando dois ou mais graus de liberdade, sendo esse maior, em módulo, que o amortecimento da própria estrutura (HOLMES, 2015; MELO, 2020). Para Kawai (1992) esse efeito ocorre com velocidades menores que as fundamentais para o fenômeno de galope e em situações em que a frequência natural de torção e flexão são parecidas.

De acordo com Wardlaw (1994) o drapejamento é observado principalmente em seção transversal rasa, ou seja, onde a dimensão transversal ao vento é menor que a longitudinal. Devido a isso, trata-se de um fenômeno bastante raro na construção civil, acontecendo costumeiramente em tabuleiros de pontes que apresentam grandes vãos.

### 3.3.4 Desprendimento de Vórtices

O principal problema dos projetos é o desprendimento de vórtices. Esse fenômeno nada mais é que a separação da camada limite do corpo imerso em um escoamento, onde vórtices são desprendidos alternadamente, podendo resultar em movimentos laterais elevados de sentido transversal à direção do vento. Pontes e edifícios altos, cada vez com geometrias mais diferenciadas, são as estruturas que mais sofrem influência desses acontecimentos (XIE, 2014).

Segundo a NBR 6123:1988, as ações do desprendimento de vórtices são maiores com a diminuição da turbulência do vento e do amortecimento estrutural. Além disso, também está declarado na norma que a frequência desse fenômeno é influenciada pela altura, devido ao fato de a velocidade também variar, apresentando diminuição devido à falta de sincronismo.

Os corpos que possuem escoamento de ar em volta de si recebem dois tipos de classificação. A primeira delas é denominada de aerodinâmicos, onde os principais exemplos são as asas de aviões e as velas de embarcações, sendo situações em que as linhas de corrente seguem o contorno do corpo, sendo separados por uma fina camada. O outro conjunto é formado pelas seções retangulares, sendo designadas de corpos rombudos, onde ocorre a divisão do escoamento nos cantos. Nessa camada de desprendimento, além da instabilidade, há alto cisalhamento e vorticidade. O sentido é a esteira, local a sotavento do ponto de estagnação,

onde se dá origem aos vórtices concentrados para em seguida serão desprendidos. Quando uma das dimensões desse último caso é grande, possibilita que a camada que anteriormente havia se afastado, retorne à superfície (HOLMES, 2015). A Figura 3.8 expressa essa diferença.

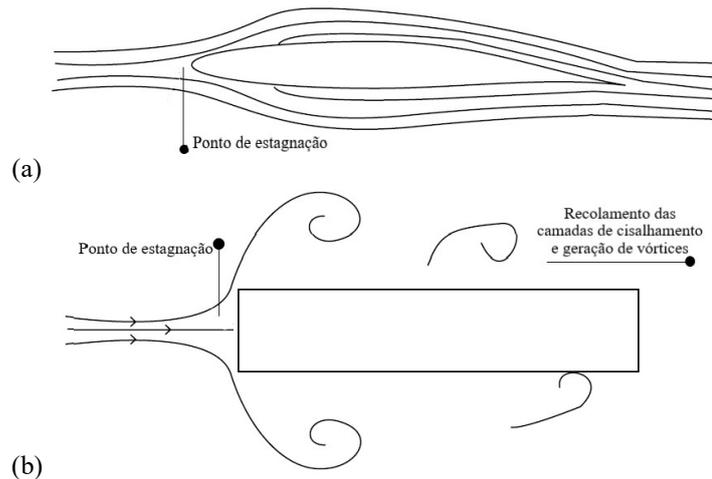


Figura 3.8: Diferença de corrente de ar ao redor dos corpos (a) aerodinâmicos (b) rombudos (fonte: adaptado de Holmes, 2015)

Segundo Roshko (1961) *apud* Blessmann (2011), os turbilhões gerados desprendem-se do corpo quando o número de Reynolds atinge,  $3,5 \times 10^6$ . Essa separação pode ocorrer de maneira aleatória ou de forma alternada e ordenada, onde para o segundo caso recebe o nome de vórtices de Kàrmàn e apresenta frequência característica bem definida. Ambos as situações estão expressos na Figura 3.9 e 3.10. Os pontos de separação e as vibrações por desprendimento de vórtice possuem relação com a forma da estrutura, além disso na última há o sincronismo do desprendimento enquanto a primeira há a interceptação dos pulsos de pressão na esteira.

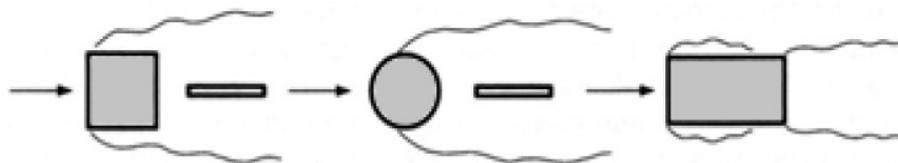


Figura 3.9: Vórtices aleatórios (fonte: Blessmann, 2005)

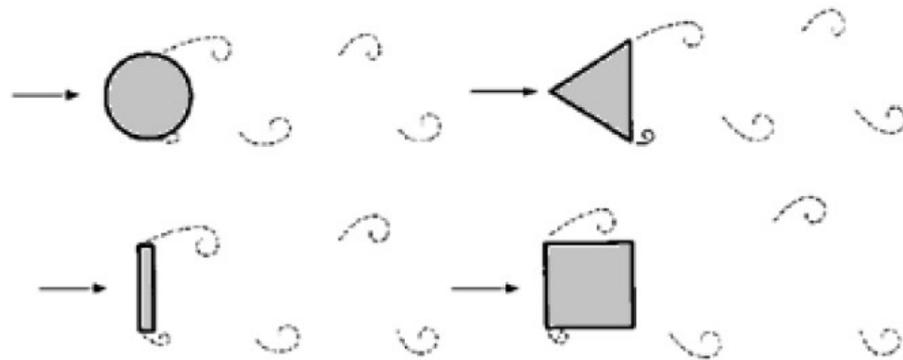


Figura 3.10: Vórtices de Kármán (fonte: Blessmann, 2005)

Blessmann (2011) relata que os vórtices dão origem a forças periódicas, que aparecem de maneira alternada nos dois lados. Quando na direção do vento, essas forças ocorrem na mesma frequência do desprendimento individual de vórtices, enquanto na direção transversal corresponde à frequência de desprendimento de um par de vórtices. Essas ações, em seguida, causam oscilações nas suas direções de atuação. O maior problema está quando ocorre ressonância entre as forças periódicas na direção transversal ao fluxo com a frequência natural da própria edificação, resultando assim em oscilações com ordem de grandeza elevada.

De acordo com Irwin *et al.* (2013) e como pode ser observado na Figura 3.11, quando não há presença da excitação de vórtice, a resposta transversal de uma estrutura cresce proporcionalmente à velocidade do vento, aumentando na potência de dois ou mais. Por outro lado, a existência causa resposta amplificada quando a velocidade crítica do vento é dada pela Equação 3.5, formada pela frequência natural, largura do edifício e número de Strouhal. Esse último é obtido através pela Equação 3.6 e relaciona a frequência do desprendimento de vórtices a um comprimento característico e a velocidade do vento na qual esse par de vórtices se desprende, variando de 0,1 a 0,3, conforme a geometria da edificação, indo de 0,1 a 0,14 para seção quadrada e 0,2 para cilindro circular rugoso. Dessa forma, tem-se que a velocidade crítica é a velocidade do vento quando a frequência de desprendimento de um par de vórtices ( $f_s$ ) coincide com a frequência natural de desprendimento de vórtices da estrutura ( $f_n$ ).

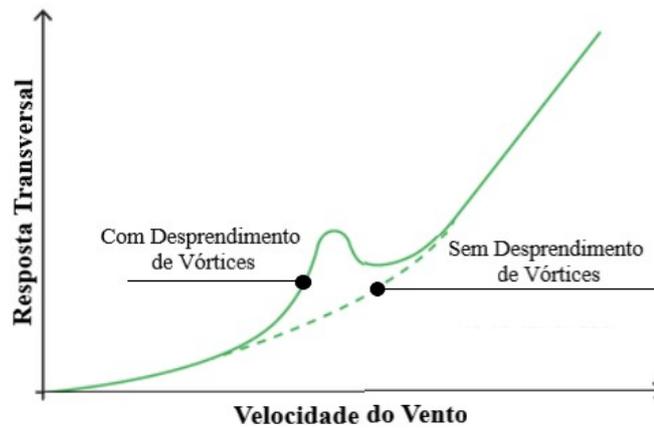


Figura 3.11: Influência do desprendimento de vórtice na resposta de vento de um edifício (fonte: adaptado de Irwin *et al.*, 2013)

$$V_{cr} = \frac{f_n \times b}{St} \quad (3.5)$$

Sendo:

$V_{cr}$  velocidade crítica do vento;

$f_n$  frequência natural de desprendimento de vórtices da estrutura;

$b$  comprimento característico do corpo rombudo;

$St$  número de Strouhal;

$$St = \frac{f_s \times b}{V} \quad (3.6)$$

Sendo:

$St$  número de Strouhal;

$f_s$  frequência de desprendimento de um par de vórtices da estrutura;

$V$  velocidade do vento;

### 3.4 MEDIDAS DA INTERAÇÃO VENTO-ESTRUTURA

O entendimento da colisão entre a edificação e o vento, variável conforme as características do escoamento na camada limite atmosférica, as propriedades do terreno, os detalhes da

geometria e a maneira com que a vizinhança é arranjada, é necessária a concepção de um projeto, pois a ação do vento atua durante toda a vida útil, por vezes com menor intensidade e em outras de forma mais perigosa. Somada a isso, é de extrema importância seu conhecimento, tendo em vista que os diferentes pontos da construção são atingidos pelo fluido de maneira diferente, uns de forma mais acentuada que outros, variando conforme as peculiaridades de cada elevação.

Levando em conta essa variabilidade dos efeitos do vento, o ideal é que a elaboração do mapeamento das ações seja o mais próximo da realidade possível, possibilitando verificar se a edificação resiste aos efeitos que será submetida. Dessa forma, quanto a sua acentuação, utiliza-se a força do vento na pior situação, com valores retirados da NBR 6123:1988. As informações são fornecidas conforme cada localização, por meio do mapa das isopletas, onde estão os dados da máxima velocidade medida sobre três segundos que pode ser excedida uma vez em cinquenta anos, a dez metros sobre o nível do terreno em lugar aberto e plano.

Ademais, quanto a velocidade do vento, tem-se que o comportamento divergente nos espaços da fachada, variando em conformidade com a conjuntura da altura, detalhes existentes e, principalmente, devido a direção de incidência do vento. Nesse sentido, de acordo com Holmes (2015), em arranha-céus, o vento ao chocar com a construção, na face de barlavento, entre 70% e 80% da altura total, causa um forte escoamento descendente do fluido, ou seja, o ar em alta velocidade é baixado para o nível da rua, conforme ilustrado na Figura 3.12, podendo resultar em sérios problemas na base. Diferente dessa, no lado posterior, trata-se de uma região de pressão negativa onde os valores são de magnitude inferior e apresentam baixo nível de pressões flutuantes.

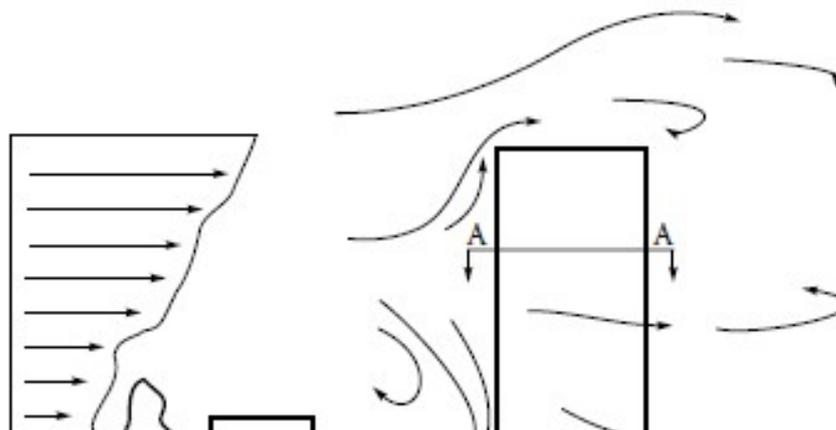


Figura 3.12: Vento ao redor de uma edificação alta (fonte: Holmes, 2015)

Sabe-se que ao colidir com edificações, o vento dá origem a forças e momentos e essas apresentam variação em virtude das individualidades de cada construção. Por conseguinte, em normas, tem-se os coeficientes aerodinâmicos como grandezas adimensionais que estimam os efeitos do vento sobre estruturas, reproduzindo as ações através de valores, facilitando assim a compreensão da interação vento-estrutura. Para a obtenção deles, adota-se o método numérico ou experimental, capazes de reproduzir todas as particularidades das edificações, gerando resultados confiáveis.

### 3.4.1 Coeficientes de forma

Segundo a NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 4), “a força do vento sobre um elemento plano de edificação de área  $A$  atua em direção perpendicular a ele”. Com isso, da mesma forma que para os coeficientes de pressão, a força é obtida pela subtração da força externa e interna, conforme a Equação 3.7, enquanto os coeficientes de forma externo e interno são obtidos através da Equação 3.8.

$$F = F_e - F_i \quad (3.7)$$

$$C_f = \frac{F}{q \times A} \quad (3.8)$$

Sendo:

$C_f$  coeficiente de forma;

$F$  força;

$F_e$  força externa;

$F_i$  força interna;

$q$  pressão dinâmica;

$A$  área;

Igualmente aos coeficientes de pressão, quando positivos os coeficientes de forma representam a sobrepressão e negativos refletem sucções. E quando a força apresenta valor positivo atua para o interior, e em contrapartida, quando negativo para o exterior (NBR 6123, 1988).

### 3.4.1 Coeficientes de força

De acordo com Núñez *et al.* (2012), a distribuição das pressões resulta nas forças, as quais são decompostas nos diversos sentidos. Um escoamento é marcado pelas forças de arrasto, lateral e de sustentação onde respectivamente, se localizam no eixo longitudinal, eixo transversal e vertical, conforme apresentado na Figura 3.13. As forças provocam os coeficientes aerodinâmicos correspondentes.

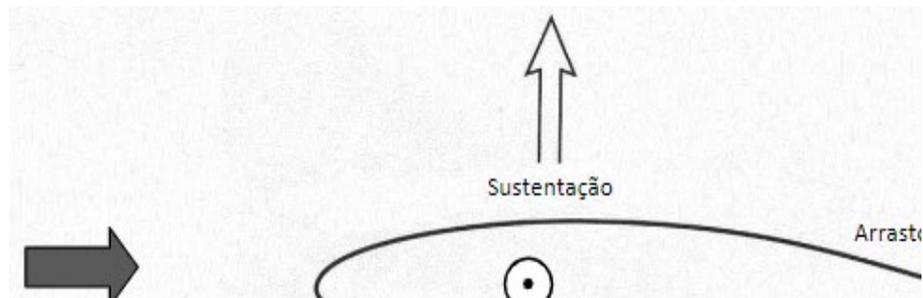


Figura 3.13: Sentido dos coeficientes aerodinâmicos em torno de um modelo genérico (fonte: Katz, 1995 *apud* Núñez *et al.*, 2012)

Em uma edificação, o intuito dos profissionais responsáveis é que a força de arrasto seja pequena, pois a mesma resulta em esforços atuantes baixos, o que representa menor consumo de ferragem e requer menor resistência do concreto, ocasionando economia (NÚÑEZ *et al.*, 2012).

A obtenção dos coeficientes aerodinâmicos pode ser dada através da Equação 3.9 onde  $C_{aerod.}$  é adimensional e corresponde ao arrasto, sustentação ou lateral sendo definidos, respectivamente como  $C_a$ ,  $C_s$  e  $C_l$ ,  $F_{aerod.}$  são as forças para cada caso em N,  $q$  é a pressão dinâmica em  $N/m^2$  e  $A_{ref.}$  é a área de referência em  $m^2$  (NÚÑEZ *et al.*, 2012).

$$C_{aerod.} = \frac{F_{aerod.}}{q \times A_{ref.}} \quad (3.9)$$

Sendo:

$C_{aerod.}$  coeficiente aerodinâmico (arrasto, sustentação e lateral);

$F_{aerod.}$  força aerodinâmica (arrasto, sustentação e lateral);

$q$  pressão dinâmica;

$A_{ref.}$  área de referência;

### 3.4.3 Coeficientes de pressão

Qualquer corpo, ao estar imerso em um escoamento, apresenta coeficientes de pressão. Os valores diferem de um ponto para outro devido as diversas particularidades envolvidas, sendo amortecidos ou amplificados. Para uma obra civil, essa grandeza é influenciada principalmente pela direção do vento e pelo índice de permeabilidade. Esse último trata-se de um fator importante pois é por onde o ar circula, sendo a relação entre a área das aberturas e a área total da edificação. Sendo assim, quanto maior essa taxa mais propicio a conduzir a valores nocivos (NBR 6123, 1988).

De acordo com Blessmann (2011), para o conhecimento do coeficiente de pressão é necessária a compreensão de que a pressão efetiva,  $\Delta p$ , é obtida através da diferença entre a pressão estática em um ponto da superfície do sólido,  $p_m$ , e em um local a barlavento,  $p_o$ , onde a corrente não é influenciada pela existência do objeto. A ilustração da Figura 3.14 indica a posição das grandezas envolvidas.

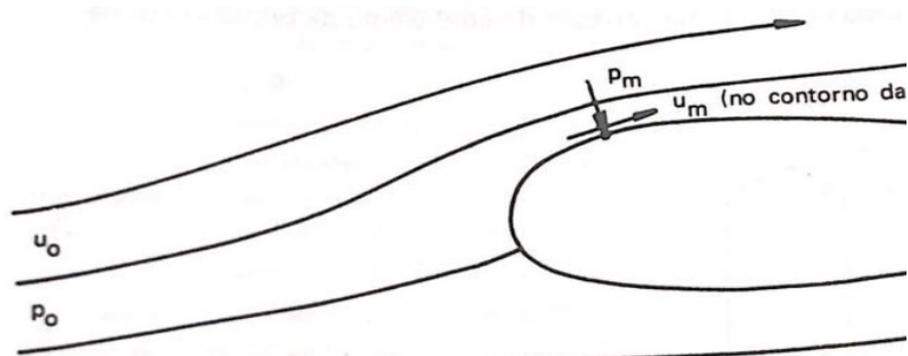


Figura 3.14: Definição do coeficiente de pressão (fonte: Blessmann, 2011)

A pressão, a velocidade e a massa específica, que são as medidas vinculadas ao escoamento que aparecem na imagem, podem ser relacionadas através do Teorema de Bernoulli, conforme apresentado na Equação 3.10, sendo esse igual a pressão efetiva externa,  $\Delta p_e$ . Segundo Blessmann (2011, p. 47), “evidentemente, o valor de  $C_{p_e}$  refere-se àquele ponto m em que se mediu a pressão”.

$$\frac{1}{2} \rho u_o^2 + p_o = \frac{1}{2} \rho u_m^2 + p_m \quad (3.10)$$

Sendo:

- $\rho$  massa específica;
- $u_o$  velocidade no ponto o;
- $p_o$  pressão no ponto o;
- $u_m$  velocidade no ponto m;
- $p_m$  pressão no ponto m;

O impacto vento-estrutura gera áreas de pressão positivas e negativas. Segundo Blessmann (2011), o maior valor positivo do coeficiente de pressão, +1, é encontrado no ponto de estagnação, onde  $u_o = 0$ , sendo assim  $\Delta p_e$  é igual a pressão dinâmica. Para o caso em que as velocidades nos dois pontos são iguais,  $u_m = u_o$ , é nulo tanto a pressão efetiva quanto o coeficiente de pressão. Diferente desses, para situações em que  $u_m < u_o$  tem-se que a pressão efetiva e o coeficiente de pressão apresentam valores positivos enquanto para os casos que  $u_m > u_o$ , ambas as grandezas possuem valores negativos. Essas variações dos coeficientes de pressão externos estão mostradas na Figura 3.15.

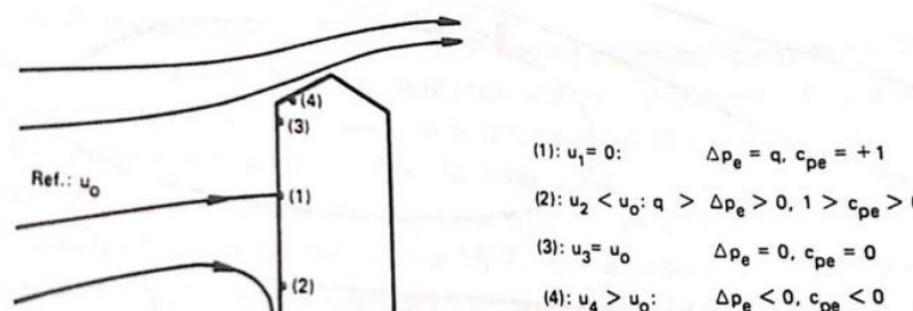


Figura 3.15: Variação do coeficiente de pressão externa (fonte: Blessmann, 2011)

De acordo com a NBR 6123:1988, os coeficientes de pressão são obtidos através da diferença da grandeza externa com a interna onde a pressão efetiva,  $\Delta p$ , é encontrada através da Equação 3.11 e coeficiente de pressão por meio da Equação 3.12. Para o conhecimento do coeficiente de pico máximo adota-se a Equação 3.13 e para o coeficiente de pico mínimo opta-se pela Equação 3.14. Além disso, segundo Alan G. Davenport Wind Engineering Group (2007), a obtenção dos coeficientes de pressão média e o coeficiente de pressão r.m.s. são

obtidos através da Equação 3.15 e 3.16, respectivamente. Ademais, adota-se também  $\sigma_{c_p}$ , sendo essa denominação adotada para desvio padrão, a qual refere-se ao valor r.m.s. Nessa pesquisa, tais dados de coeficientes foram calculados para diferentes ângulos de incidência do vento,  $\alpha$ .

$$\Delta p = \Delta p_e - \Delta p_i \quad (3.11)$$

$$c_p = \frac{\Delta p}{q} \quad (3.12)$$

Sendo:

- $c_p$       coeficiente de pressão;
- $\Delta p$ .    pressão efetiva;
- $\Delta p_e$     pressão efetiva externa;
- $\Delta p_i$ .    pressão efetiva interna;
- $q$         pressão dinâmica;

$$\hat{c}_p = \frac{p_{max}}{q} \quad (3.13)$$

$$\check{c}_p = \frac{p_{min}}{q} \quad (3.14)$$

Sendo:

- $\hat{c}_p$       coeficiente de pressão de pico máximo;
- $p_{max}$ .    máximo valor de  $p(t)$  para um período de amostragem  $T$ ;
- $\check{c}_p$       coeficiente de pressão de pico mínimo;
- $p_{min}$ .    mínimo valor de  $p(t)$  para um período de amostragem  $T$ ;
- $q$         pressão dinâmica;

$$\bar{c}_p = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt}{q} \quad (3.15)$$

$$\tilde{c}_p = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (p(t) - \bar{p})^2 dt}}{q} \quad (3.16)$$

Sendo:

- $\bar{c}_p$      coeficiente de pressão média;
- $\tilde{c}_p$      coeficiente de pressão r.m.s.;
- $\bar{p}$      valor médio de  $p(t)$  para o período de amostragem T;
- $p(t)$     pressão instantânea, na superfície da edificação;
- t        tempo;
- T        período de amostragem;

Quando os coeficientes de pressão, tanto internamente ou externamente, apresentarem valores positivos correspondem a sobrepressões e, por outro lado, quando negativos indicam sucções. Já para a pressão efetiva, quando for positiva indica o sentido de uma sobrepressão externa e quando é negativo indica uma sucção externa (NBR 6123, 1988). Na pesquisa em questão somente levou-se em conta os coeficientes de pressão.

## 4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Em virtude da carência de dados e dispositivos normativos que especifiquem a ação do vento em edificações com a presença de varandas abertas e fechadas, são necessários novos estudos englobando tal situação. Com tais informações, é possível prevenir acidentes e promover a melhor otimização dos projetos, o que pode resultar até mesmo em diminuição nos custos.

Quando os estudos teóricos não contemplam a quantidade de informações necessárias para descrever o comportamento das estruturas, recorre-se a análise experimental. De acordo com Loredou-Souza (2007), para obras civis, a melhor forma de conhecer a interação vento-estrutura é através de testes em equipamentos denominados de túneis de vento. Segundo Holmes (2015), entre os principais propósitos de sua utilização em edificações está a determinação dos coeficientes de pressão e de força nos modelos reduzidos.

### 4.1 TÚNEL DE VENTO

O fato de compreender determinado assunto nos permite utilizá-lo de maneira a tirar proveito máximo de suas características. O vento, através da sua interação com o meio ambiente e com o ser humano, conforme seu ângulo de incidência e demais particularidades, pode ser prejudicial ou benéfico às edificações. Tendo em vista as diferentes características dos imóveis e com isso, os coeficientes não constarem em normas de vento em razão da complexidade, para determinar a interação vento-estrutura pode-se optar pela realização de testes em túneis de vento.

O ensaio no túnel permite determinar o comportamento das estruturas aos efeitos do vento. Trata-se de um estudo experimental, capaz de prever possíveis situações que possam vir a ocorrer quando a edificação real for submetida a ação do vento. Não é um procedimento tido como obrigatório, mas é recomendável para estruturas não convencionais pois as pressões do vento são complexas de serem analisadas visto que diferentes formas resultam em valores distintos.

A realização dos ensaios em túneis tem como intuito a produção de obras cada vez mais otimizadas, seguras e econômicas, impedindo assim custos desnecessários para a obra, afinal

a estrutura representa grande parte do valor total (LOREDO-SOUZA et al., 2007). Além disso, submeter a edificação ao túnel de vento permite ao projetista não depender mais da sua experiência ou da própria intuição, possibilita que suas escolhas deixem de ser incertas e passem a ter fundamentação em ensaios específicos, pois as normas atualmente disponíveis apresentam valores relacionados aos casos simplificados.

Durante o ensaio em túneis de vento são distribuídos sensores no modelo reduzido, com o intuito de medir informações para os diversos ângulos de incidência, possibilitando conhecer os efeitos do carregamento do vento. Conforme o interesse, como resultado podem ser obtidos os prognósticos de pressões, tensões, deformações, deslocamentos e características das vibrações. Além disso, com esse instrumento é possível realizar estudo para diferentes tipos de vento, efeitos em pedestres, dispersão da poluição atmosférica, transporte e deposição de areia, solo e poeira, interação entre vento e chuva, erosão eólica, vento em plantas, análise da topografia para geradores de energia, bem como de pontes, torres, linhas de transmissão, entre outros (LAC, 2020).

De acordo com Loredou-Souza *et al.* (2007) estima-se que o preço do teste em túnel de vento é inferior a 1% do custo total da obra. Quando comparado custo-benefício do mesmo, o número torna-se pequeno pois com as informações adquiridas pode-se tomar medidas a fim de diminuir os valores em outros itens da edificação, como o consumo de aço e concreto. O ideal é que o estudo dos efeitos seja realizado na etapa de concepção, onde o mesmo pode representar um maior nível de confiabilidade e segurança. No entanto, o ensaio também pode ser utilizado para resolução de problemas de edificações já construídas, indicando aonde estão as falhas (NÚÑEZ *et al.*, 2012).

Tendo em vista que os túneis de vento não dispõem de grandes espaços em seu interior, e somado ao fato de ser elevado o custo para desenvolver protótipo em tamanho real, é necessário que o teste seja realizado em modelos com escala reduzida. No entanto, os detalhes da estrutura devem ser fielmente mantidos pois qualquer minúcia pode gerar grande interferência nas ações do vento que atuará no prédio que está sendo estudado. A escolha da escala é um fato de grande importância e bastante complexo, dependendo do tamanho real da edificação e do nível de detalhamento desejável, dos materiais a serem utilizados e sendo muito restritivo a escada do vento simulado.

Segundo Blessmann (1990), é preciso que entre o real e o modelo desenvolvido haja certa correlação de semelhança para que os resultados tenham credibilidade, sendo fundamental a semelhança geométrica, cinemática e dinâmica. Para que ocorra semelhança geométrica é preciso que os corpos possuam contornos de geometria próximos, ou seja, semelhança nas formas, de detalhes e rugosidade. A semelhança cinemática entre o modelo reduzido e a estrutura real indica que a distribuição de velocidades médias e a turbulência são análogos, ou seja, há semelhança do escoamento da estrutura do vento. A correspondência entre as forças indica a existência de semelhança dinâmica. Em um escoamento conta-se com a presença de forças de gravidade, de pressão, viscosidade e inércia.

O primeiro exemplar da América Latina, foi desenvolvido no Laboratório de Aerodinâmica das Construções – LAC de propriedade da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, em Porto Alegre – RS e é classificado como túnel de vento de circuito fechado, o qual apresenta configuração em que o ar recircula. O túnel é denominado de Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann e realiza ensaios estáticos e dinâmicos até os dias atuais, sendo atualmente uma referência nesse quesito.

## 4.2 TÚNEL DE VENTO PROF. JOAQUIM BLESSMANN

O Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann está situado no Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O mesmo está em operação desde 1977 e está apresentado na Figura 4.1. Esse instrumento, simula a camada limite atmosférica e é do tipo circuito com retorno fechado, o qual possui duas seções: uma de alta velocidade e outra de baixa velocidade (BLESSMANN, 1990). Esse equipamento é tido como referência internacional e permite o estudo dos efeitos estáticos e dinâmicos das mais diversas obras no ramo da construção civil.



Figura 4.1: Parte externa do túnel de vento Prof. Joaquim Blessmann localizado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (fonte: LAC, 2020).

As mesas para fixação dos modelos possuem características distintas e aplicações particulares. A Figura 4.2 retrata um esquema de planta baixa do circuito aerodinâmico do túnel de vento Prof. Joaquim Blessmann, apresentando a localização das mesas e outras características físicas.

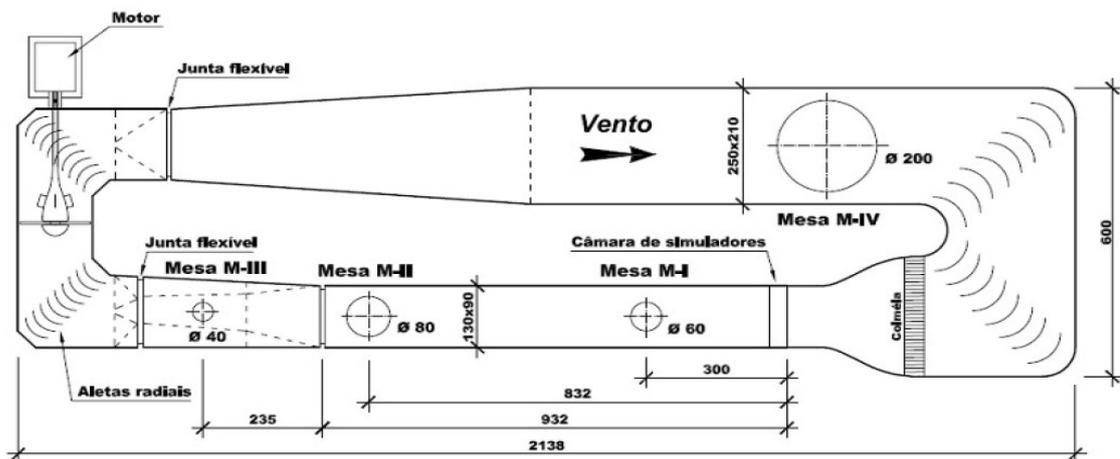


Figura 4.2: Configuração do túnel de vento Prof. Joaquim Blessmann (fonte: Blessmann, 2011)

Como pode ser observado, o túnel em questão dispõe de quatro mesas giratórias que possibilitam medições segundo diversas direções de vento incidente, as quais normalmente ocorrem a cada 15°. Segundo Blessmann (2011) quanto aos usos, divide-se em:

- a) Mesa M-I: ensaios com finalidade aeronáutica, realizado no piso do túnel, com camada limite de pequena espessura e escoamento de ar de baixa turbulência; modelos com formas geométricas simples, bi ou tridimensionais; para os testes na área da construção civil são utilizados geradores de turbulência na câmara de simuladores.
- b) Mesa M-II: ensaios com finalidade aeronáutica, realizado no eixo do túnel; nos testes para a área da construção civil, são utilizados blocos no piso e/ou geradores de turbulência na câmara de simuladores; para ensaios com finalidade de fenômenos de instabilidade aerodinâmica, os modelos bidimensionais devem ser colocados horizontalmente.
- c) Mesa M-III: ideal para estudos dinâmicos em estruturas em grande alteamento, tais como chaminés, pilares de viadutos, torres de televisão e mastros.
- d) Mesa-IV: indicada para ensaios de dispersão de poluentes, gases industriais, efeitos topográficos.

Os ensaios das edificações da construção civil são concentrados nas mesas M-I e M-II. Essas seções, quanto ao tamanho, possuem para largura, altura e comprimento, respectivamente, as dimensões de 1,30m, 0,90m e 9,32m, apresentando assim relação comprimento/altura igual a 10,3. O motor elétrico que aciona as hélices do ventilador possui 100HP e a velocidade de escoamento é controlada através de inversor de frequências. O ventilador está localizado no eixo do motor elétrico e a velocidade máxima do escoamento de ar, com vento uniforme e suave, sem modelos, pode ser superior a 42m/s, o que corresponde a 150km/h, sobre as plataformas giratórias M-I e M-II, 28m/s sobre a mesa M-III, e 9m/s sobre compartimento M-IV (BLESSMANN, 1982).

Para a desenvolvimento da presente pesquisa, os ensaios necessários serão realizados na mesa M-II. Segundo Blessmann (2011), a mesma é ideal para testes da construção civil simulando fielmente a camada limite atmosférica através do auxílio de blocos de madeira e componentes verticais. Esses elementos adicionais indicados para obtenção de melhores resultados serão explicados a seguir no item 4.3.

Durante cada teste no túnel de vento, dá-se ênfase para três variáveis: diferencial de pressão estática,  $\Delta p_a$ , temperatura,  $\Theta$ , e a pressão atmosférica  $P_{atm}$ . O primeiro deles é resultante da medição de dois anéis piezométricos que são localizados nos extremos da entrada da seção principal de trabalho, sendo de extrema importância seu conhecimento pois posteriormente é

usado para conhecer a pressão dinâmica através da Equação 4.1. Para o coeficiente adimensional,  $k_o$ , que apresenta variação conforme a altura e o tipo de perfil de velocidade média do vento, serão utilizados valores pré-determinados por curvas de calibração de conhecimento do Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC).

$$q = k_o \times \Delta pa \quad (4.1)$$

Sendo:

- $q$  pressão dinâmica correspondente à altura do topo do modelo [ $N/m^2$  ou  $Pa$ ];
- $k_o$  coeficiente que vincula  $q$  e  $\Delta pa$ ;
- $\Delta pa$  diferença de pressão estática [ $Pa$ ];

Além da pressão dinâmica, com a medida desses valores, também é possível obter a massa específica do ar durante o ensaio por meio da Equação 4.2.

$$\rho_{ar} = \frac{P_{atm}}{R(\Theta + 273.15)} \quad (4.2)$$

Sendo:

- $\rho_{ar}$  massa específica do ar ( $kg/m^3$ );
- $P_{atm}$  pressão atmosférica no momento do ensaio ( $Pa$ );
- $R$  constante universal dos gases (para o ar seco, igual a  $287,05K/kgK$ );
- $\Theta$  temperatura durante o ensaio ( $^{\circ}C$ );

Com a pressão dinâmica e a massa específica do ar, obtém-se a velocidade média do vento no topo do modelo, mediante a Equação 4.3. Quanto ao fator de bloqueio, o mesmo é dependente da seção transversal do túnel ocupado pelo modelo a ser ensaiado, podendo causar elevação significativa na velocidade, influenciando na pressão e nas forças aerodinâmicas (IRWIN *et al.*, 2013).

$$\overline{V_H} = k_b \sqrt{\frac{2\overline{q_H}}{\rho_{ar}}} \quad (4.3)$$

Sendo:

$\overline{V}_H$	velocidade média do vento no topo do modelo (m/s);
$\overline{q}_r$	pressão dinâmica média no topo do modelo;
$k_b$	fator de bloqueio;
$\rho_{ar}$	massa específica do ar (kg/m <sup>3</sup> );

Sabe-se que, na grande maioria dos casos, as pressões médias são inferiores as sucções ou sobrepressões de pico, em um determinado período de uma hora. Dessa forma, tem-se que para o desenvolvimento do projeto, é necessário o conhecimento das pressões locais a que a edificação estará submetida quando a mesma for construída, sendo obtido através da combinação dos coeficientes aerodinâmicos medidos por meio de ensaios em túneis de vento.

De acordo com Alan G. Davenport Wind Engineering Group (2007), as opiniões sobre o procedimento a ser utilizado para encontrar as pressões locais não apresentam unanimidade entre os profissionais. São três os métodos disponíveis para a determinação das pressões locais, onde o primeiro utiliza o fator de pico adotado através de valores experimentais conservadores, a segunda alternativa visa a utilização dos valores de pico e o último busca usar os valores médios dos coeficientes de pressão combinados com pressões dinâmicas. As fórmulas das opções estão expressas na Equação 4.4, 4.5 e 4.6.

$$p_0 = \overline{p} \times g\tilde{p} \quad (4.4)$$

Sendo:

$\overline{p}$	carga causada pelo vento médio (usualmente, sobre uma hora);
$\tilde{p}$	média quadrática das flutuações em torno da pressão média;
$g$	fator de pico equivalente;

$$p_0 = \overline{q} \times \overline{C_p} \quad (4.5)$$

Sendo:

$\overline{q}$	pressão dinâmica de referência, com intervalo de aproximadamente uma hora;
$\overline{C_p}$	coeficiente de pressão de pico medido no túnel de vento (mínimo ou máximo);

$$p_0 = \overline{q} \times \overline{C_p} \quad (4.6)$$

Sendo:

- $\tilde{q}$       pressão dinâmica de referência, com intervalo de cerca de três segundos;  
 $\overline{C_p}$     coeficiente de pressão médio medido no túnel de vento (média temporal);

### 4.3 SIMULAÇÃO DO VENTO NATURAL

A soma entre a irradiação de calor, que parte da superfície terrestre para a atmosfera, e o calor absorvido diretamente pela atmosfera, resultam em um aquecimento não uniforme da Terra, ou seja, numa variação na temperatura do ar. Devido a estas diferenças causadas na pressão atmosférica, dá-se início ao movimento do ar, o qual trata-se do deslocamento de parcelas de ar das zonas de maior pressão para as de menor pressão. Dessa maneira, conclui-se que o vento natural consiste de um escoamento de ar médio ao qual se superpõem flutuações de velocidade, denominadas popularmente por rajadas (BLESSMANN, 1988).

Para que a simulação em túnel de vento gere resultados próximos aos reais é necessário que as características do vento a ser produzido de maneira mecânica no túnel de vento sejam equivalentes ao vento natural (DAVENPORT E INSYMOV, 1967). A forma ideal é que tal fosse simulado de maneira natural, no entanto, devido a inviabilidade econômica na construção de túneis de camada limite suficientemente longos, houve a necessidade de buscar maneiras de contornar esse problema.

Para uma boa representação das particularidades do vento pode-se utilizar uma série de obstáculos a serem combinados a fim simular uma situação próxima ao que ocorre na localidade desejada. Para Blessmann (2011), o indicado para simular o vento natural de é empregar obstáculos a barlavento do modelo, geralmente no início da câmara onde são realizados os ensaios. Conforme apresentado na Figura 4.3, os elementos geralmente usados são os blocos de rugosidade, as grelhas verticais e as barreiras. Os componentes citados possuem como semelhança a finalidade de, em maior ou menor grau, provocarem a diminuição da velocidade média.

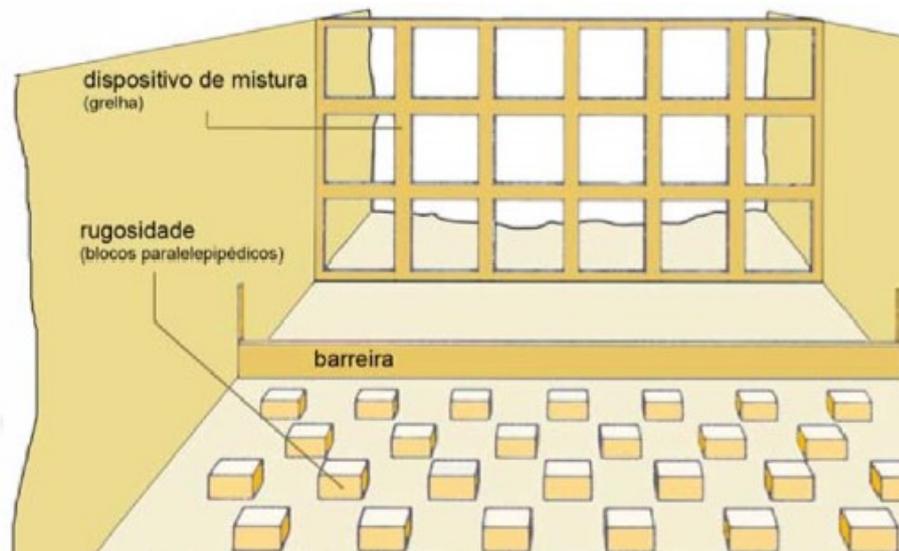


Figura 4.3: Mecanismo de simulação do vento natural (fonte: Loredou-Souza *et al.*, 2004)

A colocação de grelha no início da câmara, utilizada para os testes, possui como intuito a geração de turbulência. Para tal situação, pode ser usada telas curvas ou telas planas de malha variável, grelhas de malha quadrada ou retangular, grelha única de malha variável ou várias grelhas organizadas de forma superpostas (BLESSMANN, 2011). Contudo, conforme Blessmann (1990), a principal forma de criar agitação em baixa altitude é através do efeito de rugosidade ao escoamento provocado por meio da disposição de tacos de madeira no piso do túnel, gerando assim diversas camadas limites. Outro meio de tornar o vento mecânico próximo ao real é através da injeção de ar, onde a entrada do jato é perpendicularmente à direção do próprio escoamento. A última opção apresentada possui como vantagem o fato de não apresentar diminuições da velocidade média da corrente e o fácil controle das características do vento (BLESSMANN, 2011).

O vento a ser simulado no ensaio em túnel de vento, deve seguir a rugosidade do terreno estabelecida conforme as categorias da NBR 6123:1988, tendo seus valores citados anteriormente. A Figura 4.4 apresenta as principais características dos ventos comumente simulados na mesa giratória M-II, apresentando o perfil de velocidade média,  $V(z)/V(z_{ref})$ , os perfis de intensidade,  $I_1$  e da macroescala da componente longitudinal de turbulência,  $L_1$ . Na imagem tem-se as lei potenciais de 0,11, 0,23 e 0,34, apresentadas em diferentes cores, onde para o estudo em questão adotou-se 0,23.

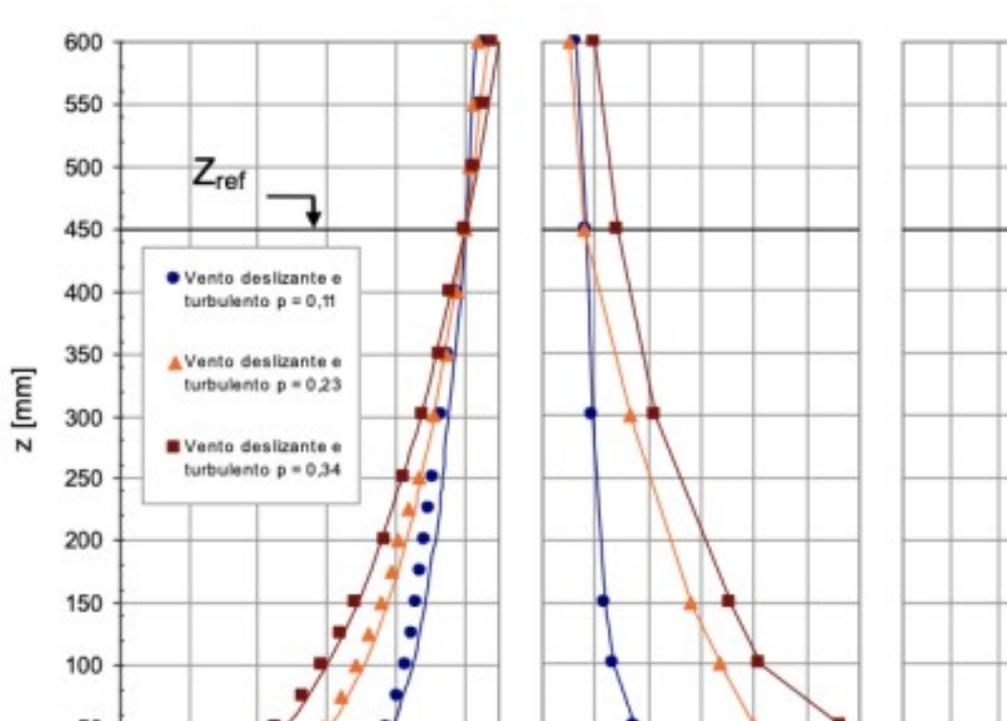


Figura 4.4: Perfis de velocidade média, intensidade e macroescala da componente longitudinal de turbulência, considerando os expoentes característicos da lei potencial de 0,11, 0,23 e 0,34 (fonte: Núñez *et al.*, 2012)

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS MODELOS

Com o intuito de conhecer a influência que as sacadas abertas e fechadas provocam na distribuição da pressão externa em fachadas, adotou-se um modelo com as faces lisas e, para promover a comparação com esse, utilizou-se uma edificação com as mesmas dimensões, somente incluindo as varandas e fechamentos. Ademais, visou-se simular as configurações reais em túnel de vento, através da elaboração de modelos em escala, bem como a representação das diversas condições. Para esses, considerou-se as edificações sem efeitos de vizinhança.

##### 4.4.1 Modelo I: edificação com fachada lisa

De acordo com Melbourne (1980), durante uma reunião da *Commonwealth Advisory Aeronautical Research Council in the Field of Aerodynamics*, um conselho destinado a avanço da engenharia aeronáutica, realizada em 1969, R. L. Wardlaw e G. F. Moss lançaram a ideia da concepção de um modelo de edifício alto, afim de padronizá-lo. O modelo possuía como finalidade criar um banco de dados de diversas situações obtidas em túneis de vento, e

através dessas informações normatizar os ensaios realizados em diferentes localizações, buscando unifica-los, servindo assim como uma calibração técnica.

A edificação elaborada recebeu a denominação de *CAARC Standard Tall Building*, devido as letras iniciais da denominação da associação fundadora. A geometria padrão adotada foi de um prisma retangular com dimensões de 100ft x 150ft x 600ft, o que corresponde a 30,48m x 45,72m x 182,88m. A primeira medida representa a dimensão paralela a direção do vento, enquanto a segunda é perpendicular e a última refere-se a altura. O modelo apresenta a fachada plana, sem janelas e parapeitos ou quaisquer modificações geométricas (MELBOURNE, 1980).

Levando em conta o intuito da criação da edificação padrão CAARC e a existência de um modelo já disponível no acervo do LAC, para o desenvolvimento dessa pesquisa adotou-se tais dimensões e a escala de 1/400. Essa modelo conta com 280 tomadas, as quais estavam distribuídas em 28 unidades por linha horizontal, ilustradas na Figura 4.5. Atenta-se que tem-se as 20 tomadas na posição determinada para o CAARC, e além disso, é adicionada quatro tomadas por fachada, estando essas localizadas nos cantos (SARTORI, 2010). O modelo foi reprocessado na presente pesquisa.

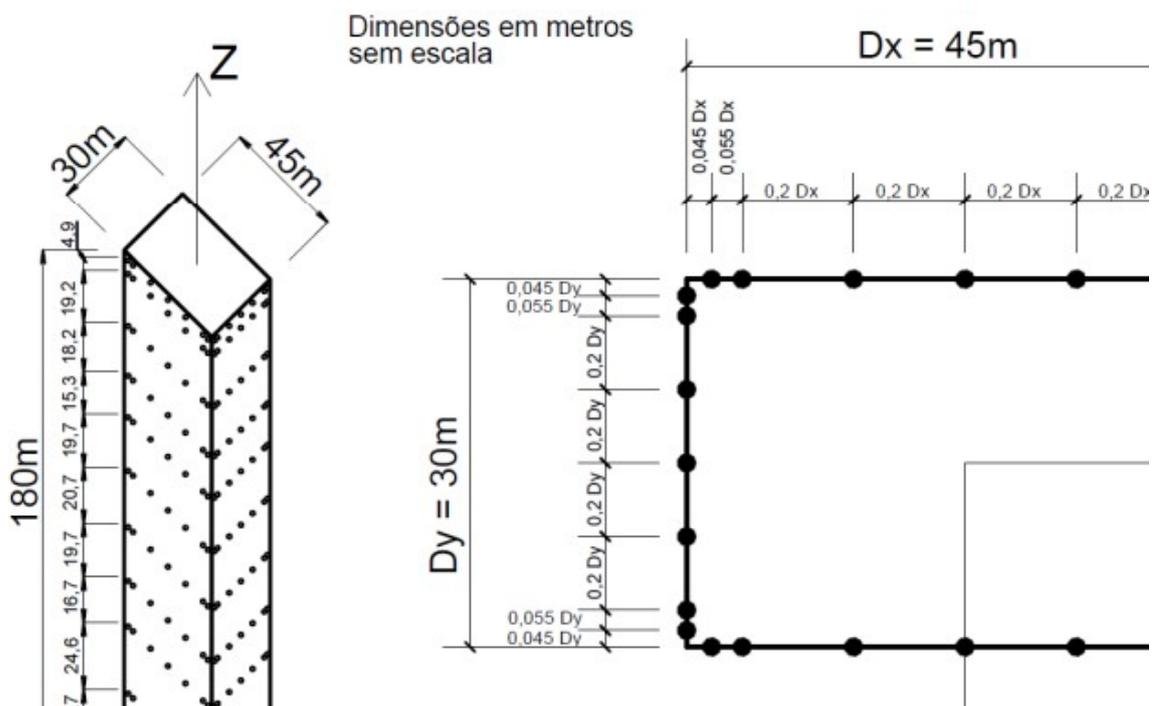


Figura 4.5: Distribuição das tomadas de pressão do Modelo I (fonte: Sartori, 2010)

#### 4.4.2 Modelo II: edificação com sacada

Mantendo a proposta do modelo CAARC e a escala de 1/400, montou-se um novo modelo, afim de não estragar o acervo pertencente ao LAC. Para esse, dividiu-se em 60 pavimentos, possuindo assim cerca de 3,05m cada andar na escala real. Para cada pavimento, adicionou-se varanda de 5m x 2m, as quais correspondem a comprimento e largura. Ademais, foram incluídos os guarda-corpos, possuindo esses 1,1m de altura, conforme recomendado pela NBR 14718/2019. Tendo em vista a escala adotada, a dimensão do conjunto das sacadas foi de 500 mm x 1250 mm x 275 mm. Uma vista lateral do Modelo II está ilustrada na Figura 4.6.

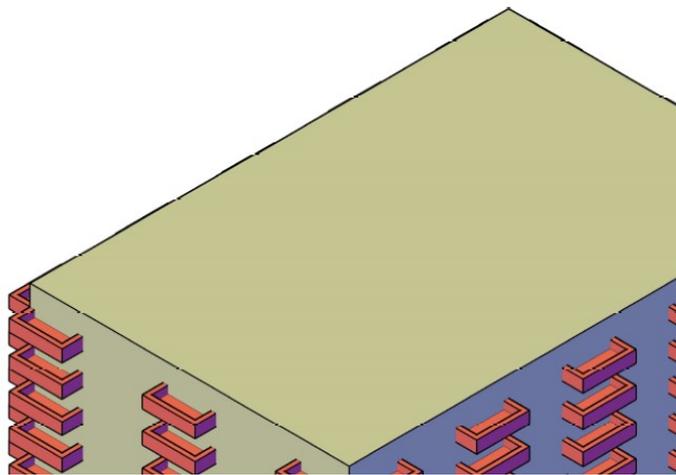


Figura 4.6: Vista Lateral do Modelo II com sacadas (fonte: autora)

A Figura 4.7 apresenta a vista superior do modelo com o objetivo de apresentar as distâncias horizontais entre os elementos adicionados, onde as medidas estão apresentadas em milímetros. Pode-se observar que as superfícies horizontal e vertical da edificação apresentam disposição diferente, onde as dimensões entre as varandas possuem valores distintos, afim de provocar a melhor distribuição delas com o mesmo tamanho de varanda. No entanto, as faces opostas apresentam a mesma distribuição. Na mesma imagem, em azul, tem-se a posição das tomadas onde, da mesma forma que Sartori (2010) e Melbourne (1980), adotou-se 10 linhas horizontais, englobando 12 unidades em cada, onde a localização dessas foi estabelecida no centro entre as sacadas.

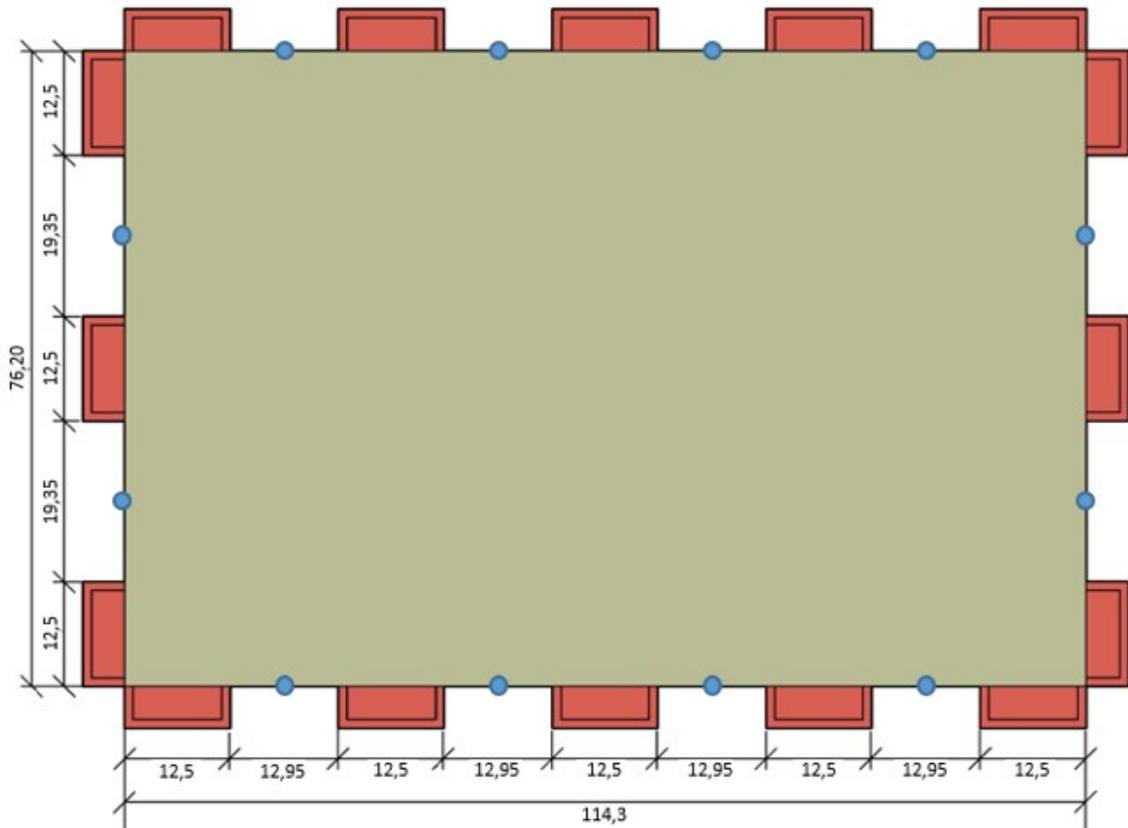


Figura 4.7 Vista superior do Modelo II com as dimensões dos elementos adicionais, na escala 1/400 e a posição das tomadas de pressão (fonte: autora)

#### 4.4.3 Modelo III: edificação com sacada e fechamento

Com as mesmas dimensões do CAARC, para o Modelo III, além da presença da sacada, já presentes no Modelo II, completou-se a altura do pé direito com outro elemento, simulando os fechamentos em vidros, tendência atual nas edificações, as quais já foram citadas anteriormente. Com 5 metros de comprimento e 2 metros de largura, com dimensões igual a sacada, adicionou tal complemento. De tal forma, caracteriza-se como um elemento vertical contínuo.

Afim de obter uma melhor noção da maneira que a edificação com sacada fechada se comporta, optou-se por incluir, em relação ao Modelo II, tomadas centralizadas em cada fechamento, bem como pontos laterais nas sacadas do centro e das extremidades, resultando na configuração da Figura 4.8, onde tem-se a posição das tomadas incluídas nesse modelo demonstradas em preto e verde. Com isso, totalizou-se 520 tomadas no Modelo III, as quais também são distribuídas ao longo de 10 linhas horizontais.

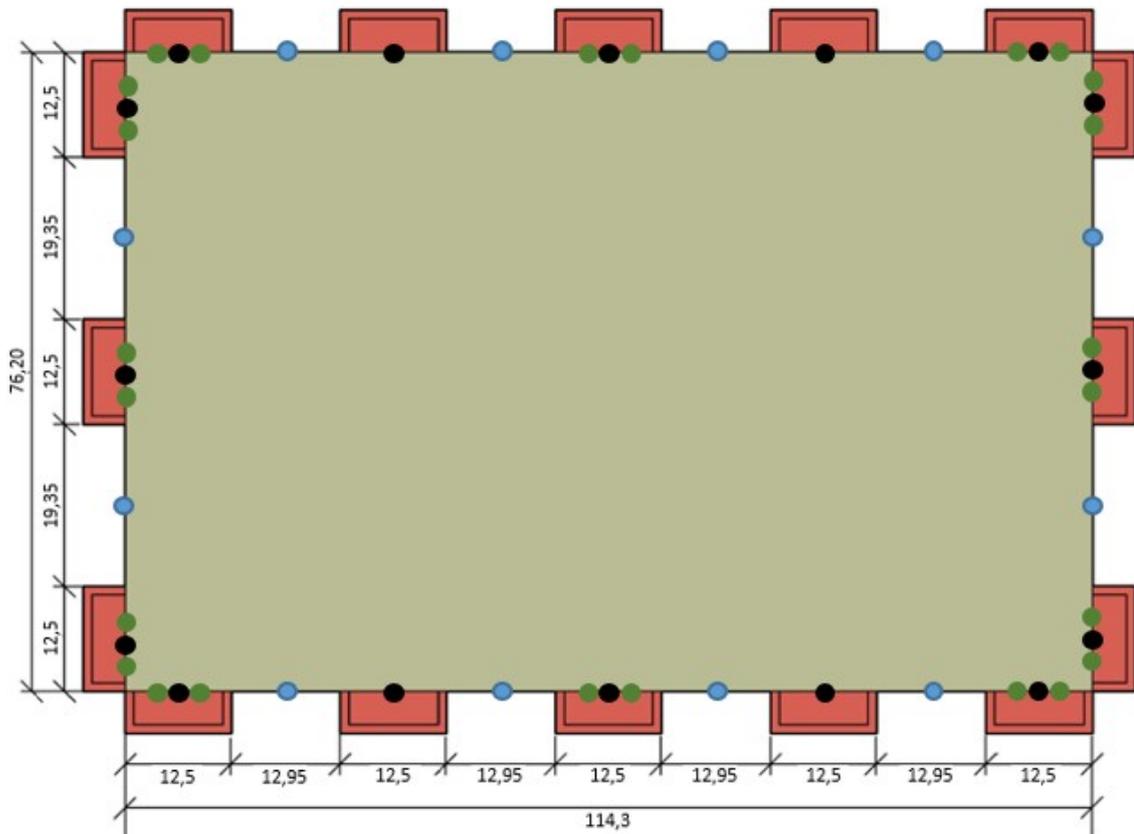


Figura 4.8 Vista superior do Modelo III com as dimensões dos elementos adicionais, na escala 1/400 e a posição das tomadas de pressão (fonte: autora)

A Figura 4.9 apresenta a distância vertical entre as 10 linhas horizontais referente as tomadas de pressão, as quais foram adotadas para o Modelo II e III, tendo em vista ser a disposição presente no Modelo I, o qual estava disponível no acervo do LAC.

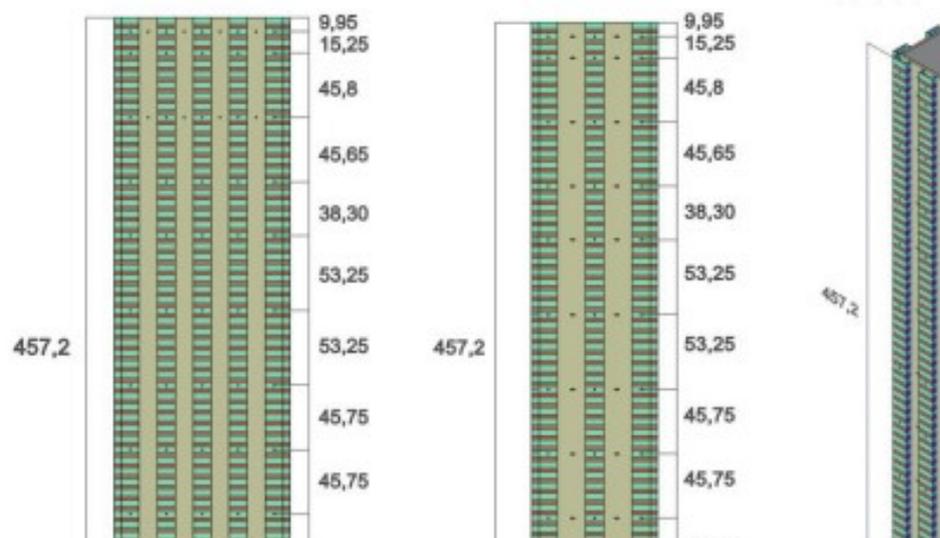


Figura 4.9 Distância vertical entre as linhas horizontais de tomadas de pressão (fonte: autora)

## 4.5 PROCESSAMENTO DE DADOS

De posse dos modelos, o próximo passo foi a obtenção dos dados, através dos ensaios em túnel de vento para se obterem os coeficientes de pressão. Tal teste é caracterizado pelo processamento das informações, onde são integradas as pressões referente a cada tomada afim de ter compreensão das forças e dos momentos. Por meio desse procedimento é possível combinar as informações obtidos com o túnel de vento com valores teórico-numérico da estrutura, possibilitando uma estimativa dos deslocamentos, velocidades e acelerações (ROCHA e LOREDO-SOUZA, 2008).

A Figura 4.10 apresenta os instrumentos de propriedade do LAC para leitura das tomadas de pressões, os quais foram utilizados no procedimento experimental da presente pesquisa. Ao computador, é conectado os seis módulos do aparelho ZOC33 da marca *Scanivalve*, apresentado na Figura 4.11, onde cada um conta com 64 sensores de pressão, sendo ligados ao modelo por tubos pneumáticos. A aquisição é feita pelo *software* RAD4000, onde nessa pesquisa adotou-se, em cada ensaio, a coleta, a uma taxa de aquisição de 488,28Hz, amostras de 16,78 segundos. Cada tomada de pressão é relacionada a sua respectiva área de referência. E finalmente, para obtenção, adotou-se um script na linguagem de programação *Python*.



Figura 4.10: Sistema de aquisição de dados do Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC) (fonte: Sartori, 2010)

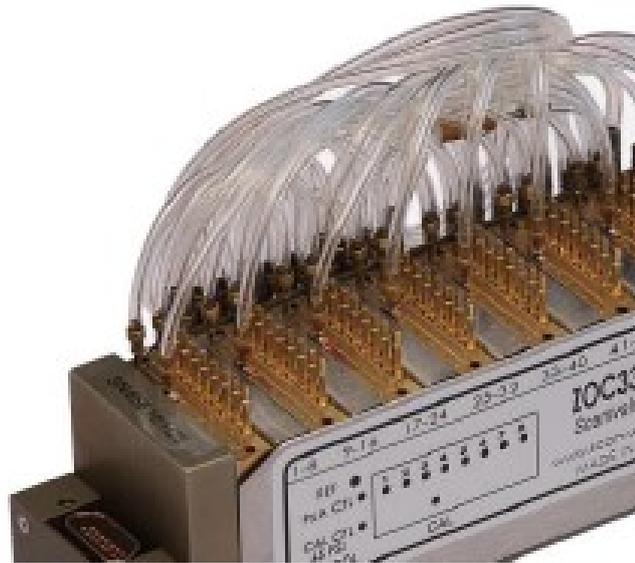


Figura 4.11: Transdutor de pressões ZOC33 utilizado no Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC) (fonte: *Scanivalve*, 2016)

Para cada modelo, foram realizadas 24 coletas de dados, sendo essas referentes aos diferentes ângulos do vento, onde adotou-se intervalos de 15°, de 0° a 345°. Quanto aos valores de diferencial de pressão estática,  $\Delta Pa$ , mediu-se em cada ensaio, enquanto que para o coeficiente adimensional,  $k_0$ , adotou-se 1,185, referente ao topo da edificação. Ademais, considerou-se um perfil de velocidade média do vento com expoente característico da lei potencial  $p=0,23$  referente a um terreno entre as Categorias III e IV, para situações entre poucas árvores e edificações baixas e terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada.

## 5 RESULTADOS

Com o intuito de estudar a influência das sacadas sem e com fechamento na distribuição das pressões nas fachadas do edifício, bem como nos próprios elementos (sacadas e vidros de fechamento) foram realizados testes na mesa II do Túnel de Vento Prof. Joaquim Blesmann, com a incidência do vento de  $0^\circ$  a  $345^\circ$ , variando a cada  $15^\circ$ . Nos três grupos de ensaios realizados o modelo estava isolado, ou seja, sem a presença de vizinhança, e foi simulado o escoamento deslizante e turbulento com expoente  $p=0,23$ . Apenas os coeficientes de pressão (coeficientes de carga localizados) foram verificados, onde o tipo de análise visa a resposta estática. Ademais, o método de integração HFPI mencionado no capítulo anterior não é usado. A Figura 5.1, 5.2 e 5.3 apresentam os modelos durante a realização dos ensaios.



Figura 5.1: Modelo I na mesa II do Túnel de Vento prof. Joaquim Blesmann (fonte: autora)

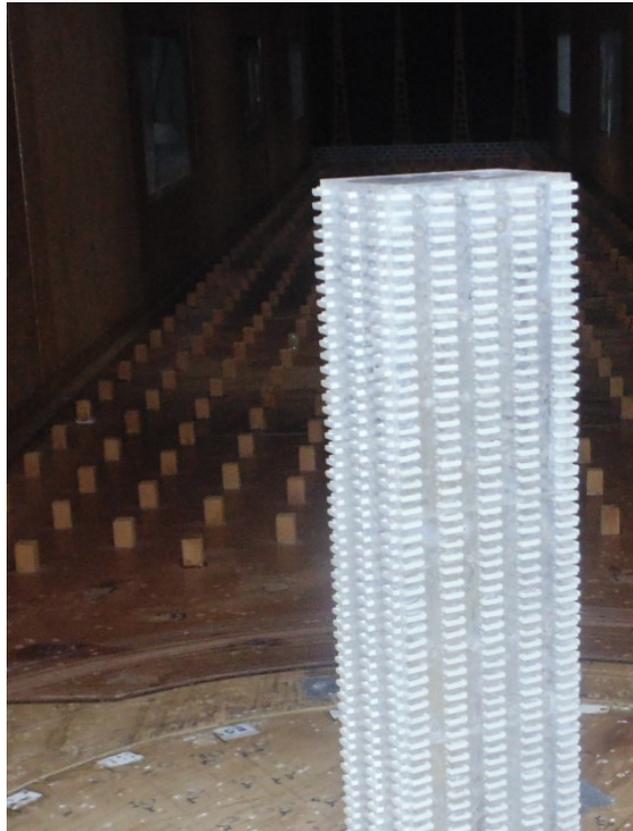


Figura 5.2: Modelo II no Túnel de Vento prof. Joaquim Blessmann (fonte: autora)

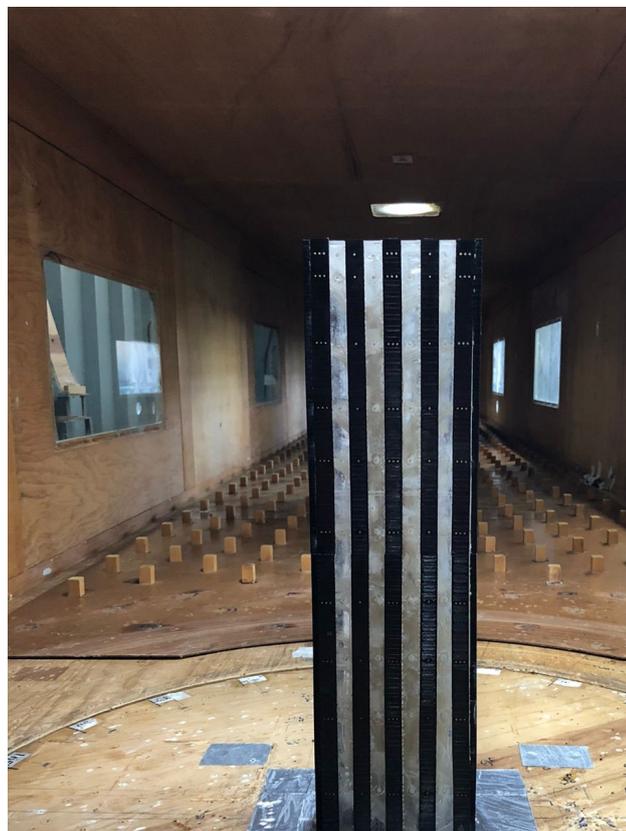


Figura 5.3: Modelo III no Túnel de Vento prof. Joaquim Blessmann (fonte: autora)

Para a obtenção da pressão estática,  $\Delta p_a$ , temperatura,  $\Theta$ , e a pressão atmosférica  $P_{atm}$ , os quais são determinados durante o ensaio em túnel de vento e nos permitem encontrar os coeficientes de pressão externa máximo, mínimo, médio e r.m.s, adotou-se referência dos ângulos expressa na Figura 5.4, onde  $\alpha$  é o ângulo medido no plano horizontal, no sentido anti-horário. Com isso, tem-se situações em que o vento atinge as faces de forma perpendicular e de forma paralela, variando conforme a fachada em que está sendo tomada como ponto de referência.

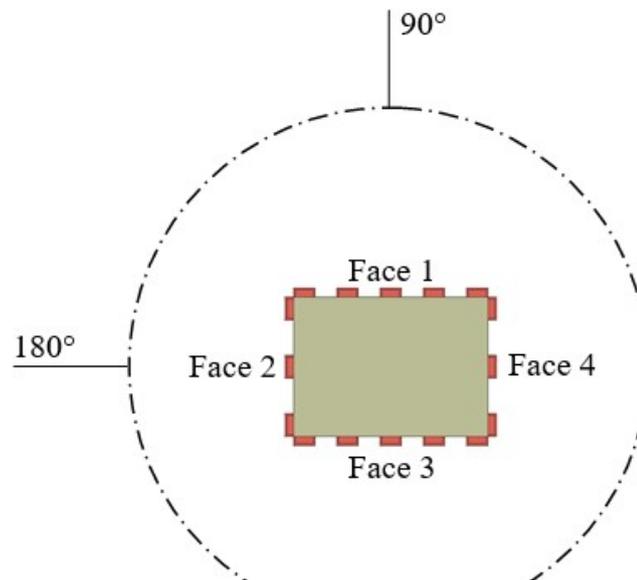


Figura 5.4: Referência para os ângulos de incidência do vento utilizada para os ensaios com o Modelo I, II e III (fonte: autora)

Na sequência, de posse dos coeficientes de pressão, visando facilitar a comparação entre os modelos em questão e melhorar a compreensão dos resultados, adotou-se a face 1 e 2 de cada modelo para análise, tendo em vista a simetria entre as fachadas, e dessas determinou-se a setorização. As delimitações escolhidas estão retratadas na Figura 5.5, onde é possível observar as áreas de influência de cada tomada de pressão e o conjunto dessas que foi empregado nas comparações. Além disso, vale destacar que para a perfeita apresentação dos dados, conta-se com uma escala de cores, onde tem-se variação levando em conta a magnitude. A confrontação dos modelos para cada ângulo, tendo em vista a setorização, é descrita ao longo desse capítulo e todos os dados estão expressos no Apêndice I. Observa-se que foram descritos todos os ângulos de incidência, todavia somente foram apresentados os diagramas das questões mais extremas.

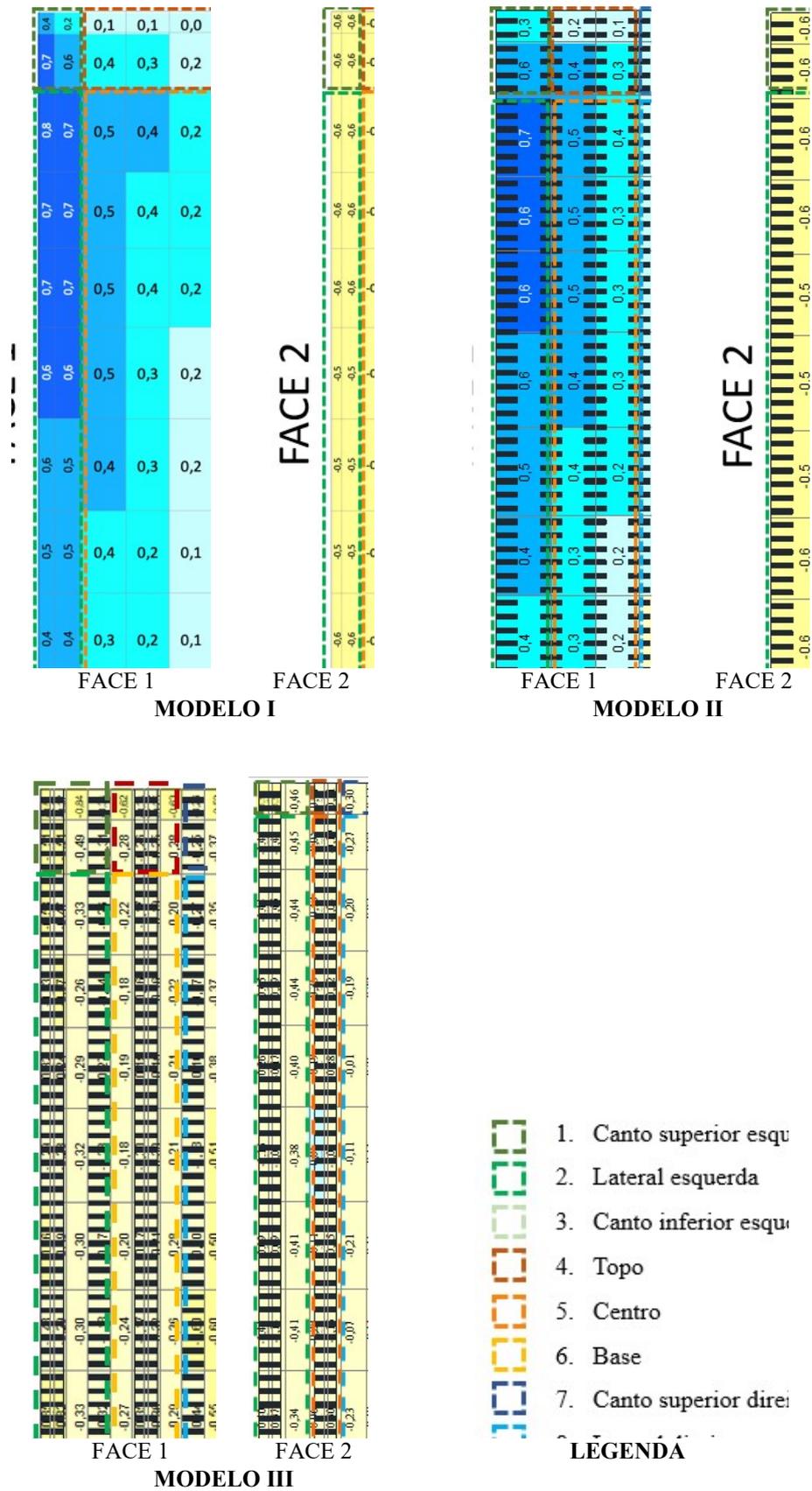


Figura 5.5: Setorização das faces 1 e 2 adotados para análise dos coeficientes aerodinâmicos dos Modelos I, II e III (fonte: autora)

## 5.1 COEFICIENTE DE PRESSÃO MÉDIA

### 5.1.1 Face 1

Quando o vento incide paralelamente a face 1 da edificação, ou seja, no caso em que a direção do vento é  $0^\circ$ , observa-se ocorrência apenas de sucção, apresentando menores valores na metade direita. Ao comparar os modelos de referência (Modelo I), com os casos com sacada (Modelo II) e com fechamento (Modelo III), nota-se aumento da magnitude dos coeficientes de pressão média em alguns pontos para as situações com acessórios, sendo na lateral direita para o primeiro, enquanto que ao promover a vedação ocorre em ambas as extremidades. Ademais, no topo central, para o Modelo I obteve-se -0,94, enquanto para o Modelo II e Modelo III, respectivamente, é encontrado -0,79 e -0,89, verificando-se assim diminuição com a presença da varanda e, ao incluir o fechamento, os valores aumentam em relação ao segundo caso, todavia ainda são inferiores a edificação lisa. Entretanto, no canto esquerdo, para a mesma ordem, tem-se -0,89, -0,81 e finalmente -1,05, observando novamente que os menos valores são obtidos quando tem-se somente sacada, todavia para sacada e fechamento apresenta-se aumento, até mesmo, em relação ao Modelo I.

Na sequência, para o ângulo do vento de  $15^\circ$ , nota-se apenas a ocorrência de sucções para os modelos analisados, com valores entre -0,22 e -1,11. Em relação a edificação lisa, o Modelo II apresentou diminuição na magnitude dos coeficientes de pressão média, enquanto para o Modelo III houve aumento na parte direita e esquerda. No canto superior esquerdo, nota-se que estão localizados os valores mais expressivos, exibindo -0,99 para o Modelo I, -0,70 no Modelo II e -1,11 no Modelo III enquanto no topo central, adotando a mesma hierarquia, evidenciou-se o decréscimo de -0,64 para -0,48 e em seguida para -0,51, observando assim situação semelhante que para incidência do vento a  $0^\circ$ . Ademais, dá-se destaque também ao menor número para cada caso, localizados no canto superior, apresentando -0,20, -0,25 e -0,23, de acordo com a ordem especificada anteriormente, conforme indicado na Figura 5.6. Para esse último, diferente dos demais exibidos, verifica-se que tem-se aumento em comparação a conjuntura plana, sendo superior para o cenário em que há somente a presença de varanda.



Para o Modelo I, os coeficientes médios positivos surgem no centro e na parte lateral esquerda, sendo próximos a zero, enquanto para os Modelo II e III tem-se valor com maior magnitude, os quais também estão localizados no canto superior e inferior esquerdo. No entanto, para a metade direita da fachada em questão, tem-se somente sucção, sendo de menor magnitude para o Modelo II e maior para o Modelo III, onde na lateral direita encontrou-se -0,16, -0,33 e -0,44, partindo da edificação com menor número e seguindo para o mais elevado deles.

Para 45°, há a predominância de sobrepressões, as quais intensificam-se a cada incremento de 15° no ângulo do vento, ou seja, apresentam valores maiores que os casos anteriormente descritos. Nota-se aumento da magnitude dos coeficientes médios na face 1 partindo da metade esquerda, aumentando até a lateral direita, conforme a inclinação do vento. Para a inclinação do vento em questão, analisando em relação ao modelo de referência, observa-se quando tem-se a introdução de sacada há o aumento da magnitude para o valor mínimo e diminuição para o máximo, diminuindo assim o intervalo de valores. Diferente desse, atenta-se que para o caso em que é adicionado o fechamento, tornando o elemento vertical contínuo, os valores obtidos são inferiores, até mesmo do modelo sem acessórios. Além disso, é importante salientar que para esse último, denominado de Modelo III, consta diversos valores negativos, atingindo -0,29 no centro.

No ângulo de 60°, tem-se domínio total de sobrepressão para o Modelo II, todavia no Modelo I encontrou-se áreas de sucção na lateral e no canto inferior, ambos na face direita, enquanto para o Modelo III é observada a presença de valores negativos na faixa central direita e meio e também em toda a extremidade direita, conforme é possível constatar na Figura 5.7. O coeficiente médio mais alto, para todos os modelos, é avistado na lateral esquerda, onde apresenta-se 0,80 para os Modelos I e II e 0,83 para o Modelo III.

Ao incidir com 75°, o vento provoca sobrepressões na totalidade do Modelo II, enquanto para o Modelo I tem-se valor negativo próximo a zero no canto inferior direito e no Modelo III nota-se exceção em ambos os cantos inferiores. Em relação ao azimute anterior, para a parte central e a metade direita, nota-se elevações sutis com o aumento do ângulo, em relação ao modelo de referência, entretanto a metade esquerda diminui. Para tal, verifica-se que os maiores valores estão localizados na lateral esquerda, onde para o Modelo I, II e III, respectivamente, o coeficiente médio é de 0,67, 0,76 e 0,84.

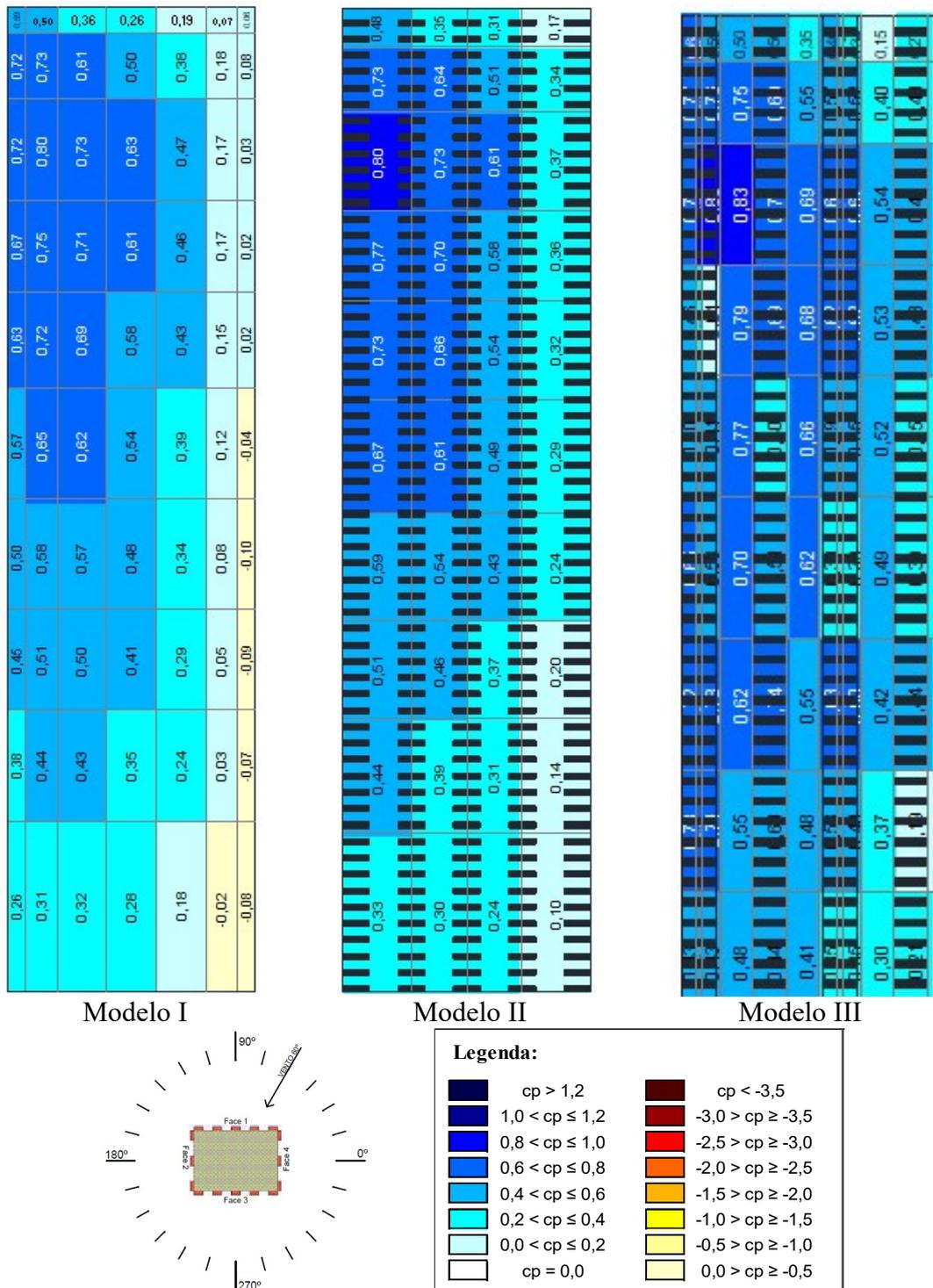


Figura 5.7: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 60° (fonte: autora)

Na ocasião em que o vento atinge a face 1 de maneira perpendicular, à 90°, nota-se os maiores valores de sobrepessão na parte central, com 0,81 para os Modelos I e II e 0,83 para o Modelo III. Para o Modelo III, destoando dos demais, tem-se sucção nos cantos inferiores,

conforme verifica-se na Figura 5.8. Atenta-se que para todas as posições, em relação ao Modelo I, tem-se aumento dos coeficientes médios com a presença da sacada e valores superiores com a adição da vedação.

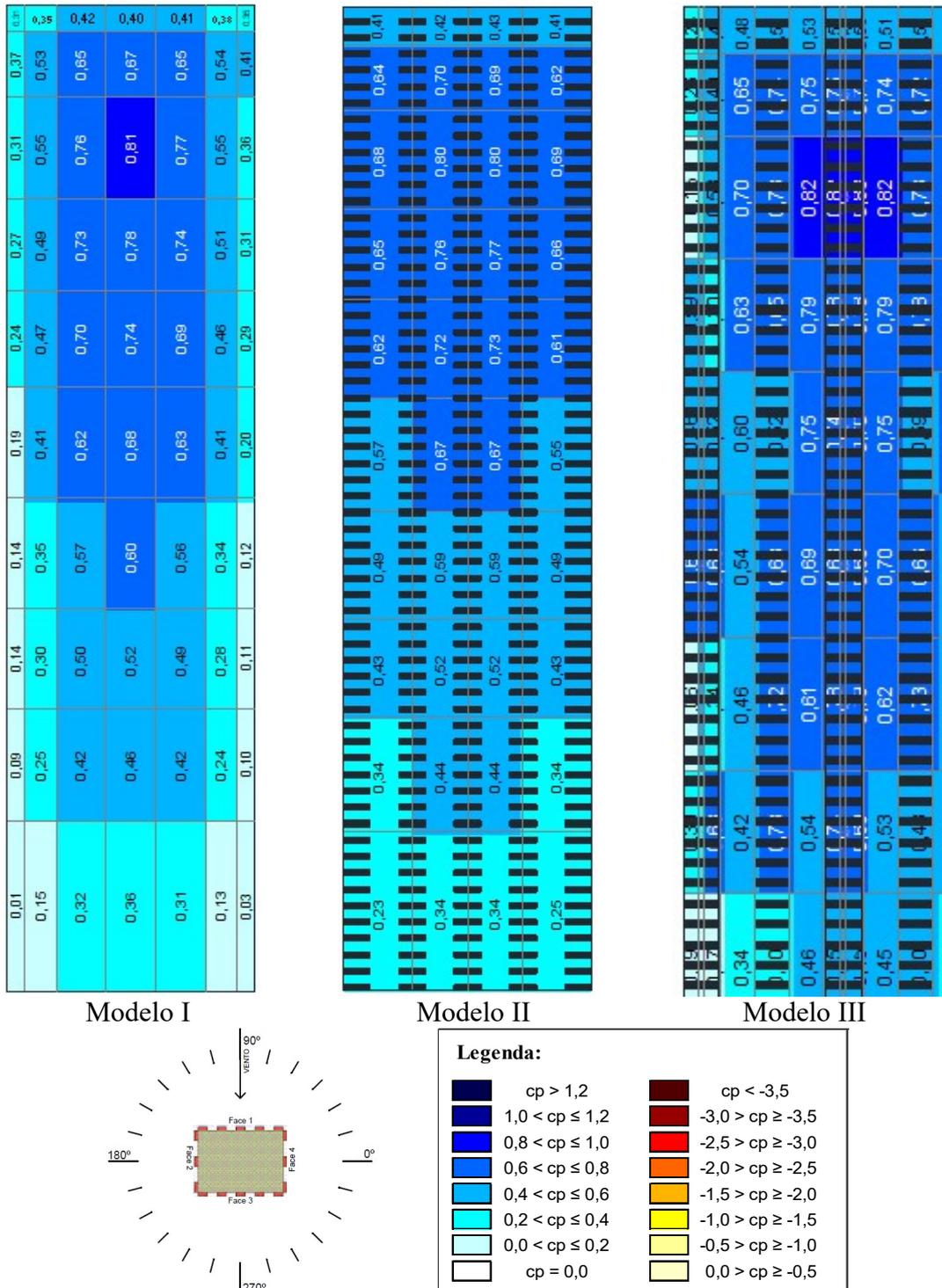


Figura 5.8: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 90° (fonte: autora)

Para azimute do vento de  $105^\circ$ , tem-se coeficientes médios de sobrepressão no Modelo II e verifica-se alguns pontos de sucção no Modelo I e III, sendo em maior quantidade nesse último. Vale destacar que em todas as áreas os valores das edificações com sacada são superiores ao Modelo I, sendo mais significativa a diferença para a situação com varanda e fechamento, conforme pode-se verificar na Figura 5.9. Nota-se que para esse ângulo de incidência, os valores com maior magnitude concentram-se na metade direita e, como nos demais ângulos, é ainda mais elevado na faixa central, onde para o Modelo I tem-se 0,79, para o Modelo II e III encontra-se, respectivamente, 0,81 e 0,83, indicando assim que para tal área o aumento não foi tão relevante com o incremento de varanda e fechamento. Quanto as sucções, somente é encontrado no canto inferior esquerdo, onde no Modelo I tem-se -0,04, enquanto que para a mesmo setor, no Modelo III há -0,28.

Já para o ângulo de  $120^\circ$ , verificou-se o aumento das áreas de sucção no Modelo I e III, sendo para esses na parte esquerda, enquanto no Modelo II ainda nota-se a sobrepressão em sua totalidade. Além disso, para os modelos analisados, tem-se que a maior magnitude está localizada na lateral direita, possuindo pequena diferença com a adição dos acessórios, variando de 0,81 para 0,82 e 0,83, respectivamente, para o Modelo I, II e III. Para tal azimute, a maior sucção do modelo de referência é de -0,12 e está localizado no canto inferior esquerdo, todavia para a edificação com sacada e fechamento é de -0,18, para o mesmo posicionamento.

Para  $135^\circ$ , tem-se para todos os casos, sucção na parte esquerda e sobrepressão no centro e na direita. Os coeficientes negativos apresentam valores superiores aos azimutes anteriores, sendo o máximo no Modelo I de -0,23, -0,08 no Modelo II e -0,43 no Modelo III, estando todas localizadas na área referente ao canto inferior esquerdo. Quanto aos coeficientes positivos, os maiores valores continuaram a serem encontrados na lateral direita, apresentando 0,74 para o Modelo I e III e 0,65 no Modelo II.

Para o azimute subsequente, com ângulo de  $150^\circ$ , tem-se a intensificação das áreas de sucção, conforme pode-se averiguar na Figura 5.10. Para o todos os modelos em análise, liso e com acessórios, os valores de sobrepressão são inferiores a 0,2. Ainda, quanto aos coeficientes negativos, observa-se que é inferior na situação com varanda, sendo de -0,21, enquanto para o modelo de referência tem-se -0,4 no canto superior direito e para o caso em que além da

varanda adiciona-se também fechamento, tem-se valor superior, atingindo -0,54 no canto superior esquerdo.

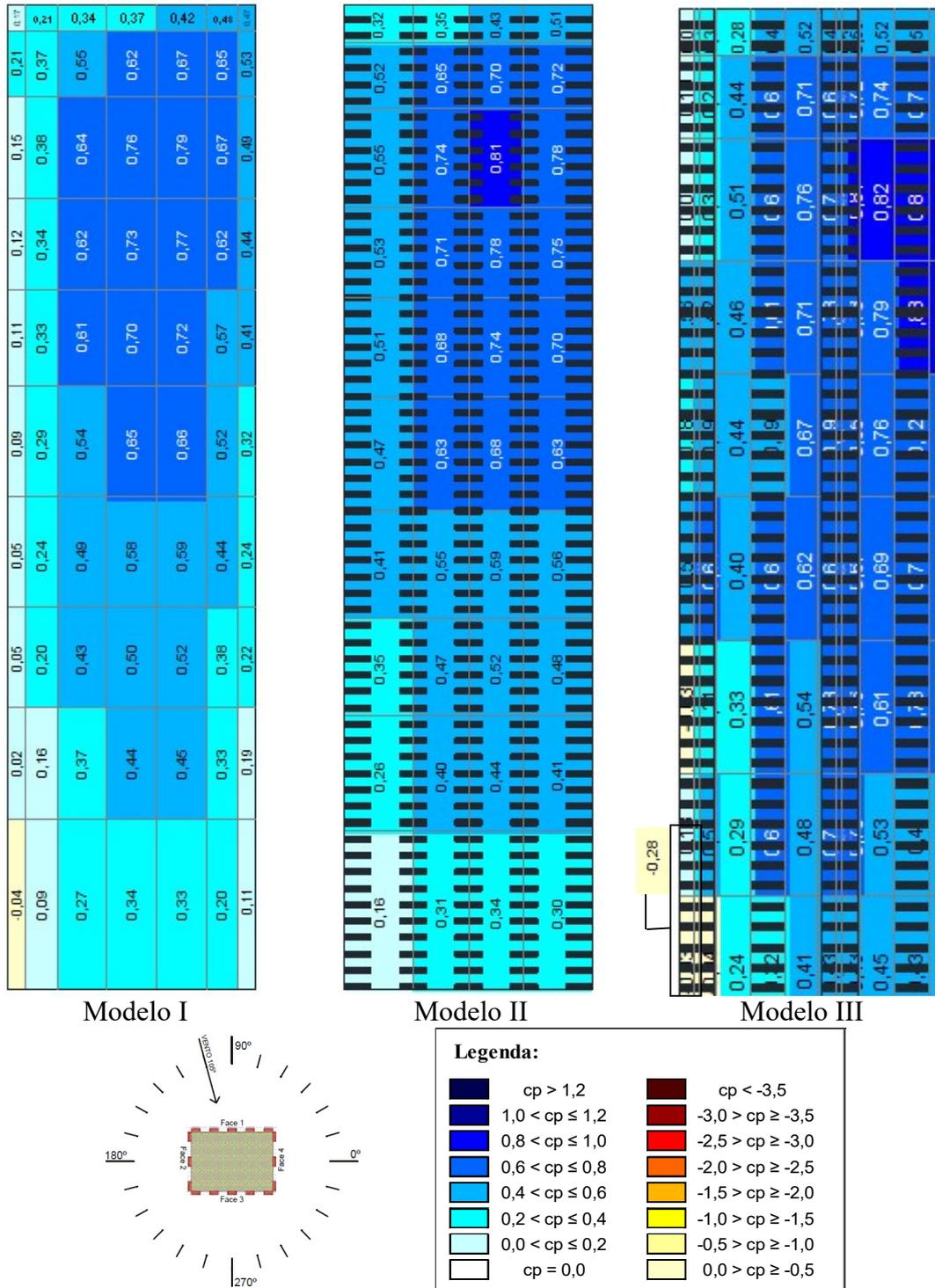


Figura 5.9: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 105° (fonte: autora)

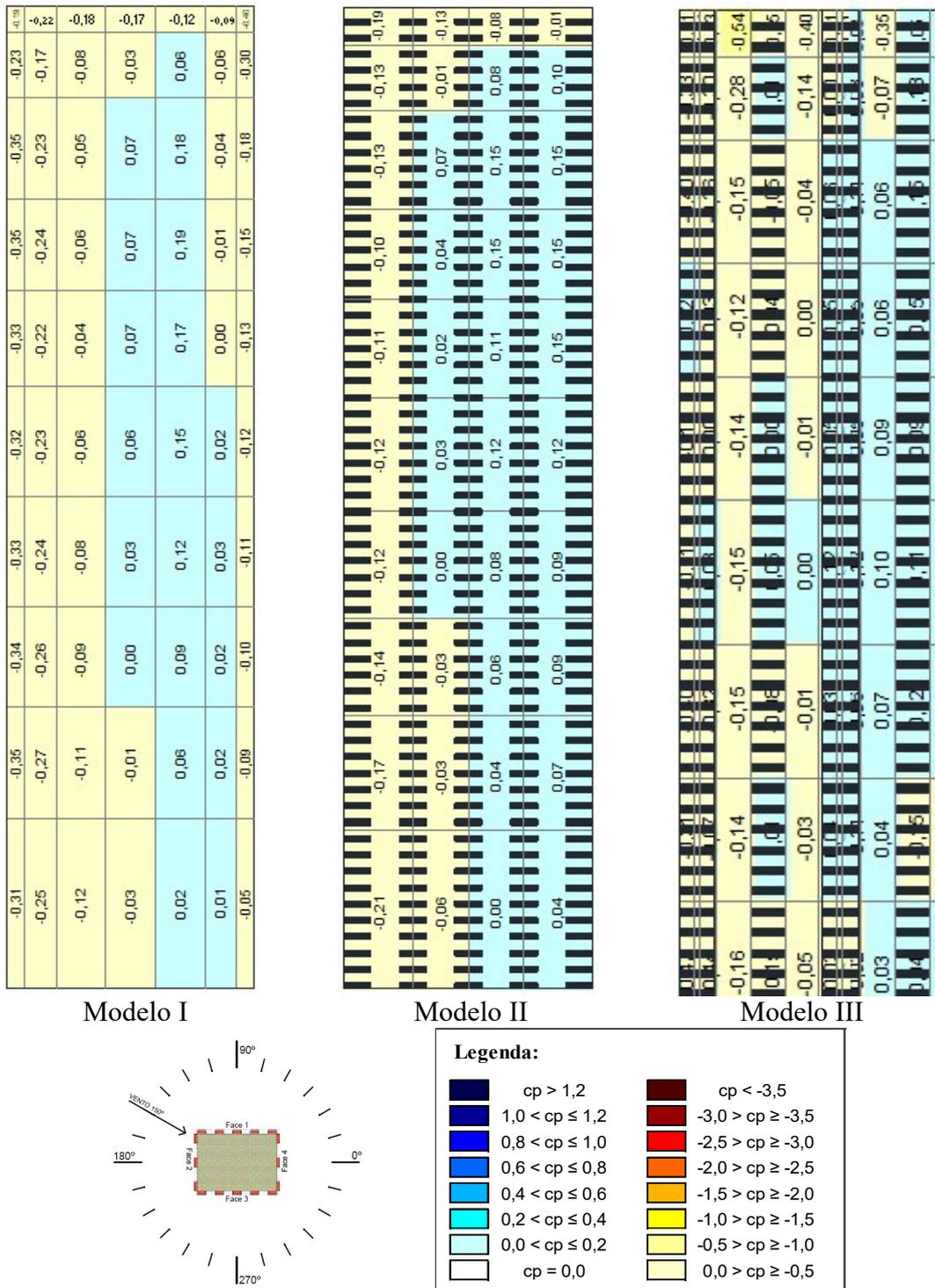


Figura 5.10: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 150° (fonte: autora)

Na sequência, para o ângulo de 165°, observa-se apenas valores negativos no Modelo I, II e III, sendo superiores na faixa central e principalmente na parte direita. Para todos, os maiores valores estão localizados no canto superior direito, possuindo variação de -1,01, para -0,78 e

1,26, respectivamente, para o Modelo I, II e III. Vale destacar que esses valores correspondem ao maior coeficiente médio encontrado para a área em questão e, ainda, no Modelo I e III é o mais elevado valor de sucção obtido.

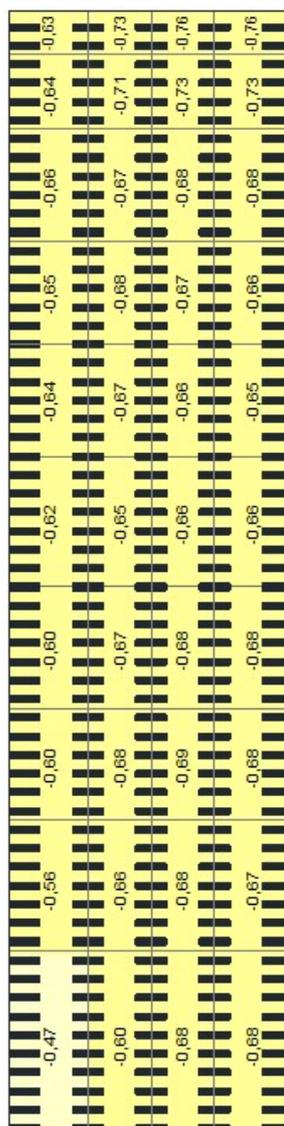
Quando o ângulo atinge a face 1 de forma paralela, com ângulo de  $180^\circ$ , observa-se a ocorrência somente de sucção, apresentando menores valores no canto inferior esquerdo do Modelo I e III, conforme Figura 5.11. Para as situações analisadas, as menores sucções estão no canto inferior esquerdo e os maiores no canto superior direito. Para o primeiro, obteve-se -0,33, -0,47 e -0,37, respectivamente, para o Modelo I, II e III e para o segundo, seguindo a mesma ordem, foi de -0,84, -0,76 e -0,94. Para tal, nota-se que o intervalo de valores não é semelhante, tendo em vista que o maior entre os mais baixos e o menor entre os mais altos pertence ao Modelo II.

Para o intervalo de  $195^\circ$  a  $225^\circ$  repete-se a situação em que há sucção na totalidade dos Modelos I, II e III. Para esses, os coeficiente médio de sucção são inferiores a -0,7, sendo semelhante em ambas as extremidades. Para o primeiro e segundo ângulo, as edificações com sacada apresentam valor inferior ao modelo de referência, enquanto para o segundo ângulo tem-se exceção apenas na parte direita para o Modelo III e para o último, o Modelo II é inferior em todas as áreas, enquanto o Modelo III apresenta alguns dados superior, todavia em pequena magnitude.

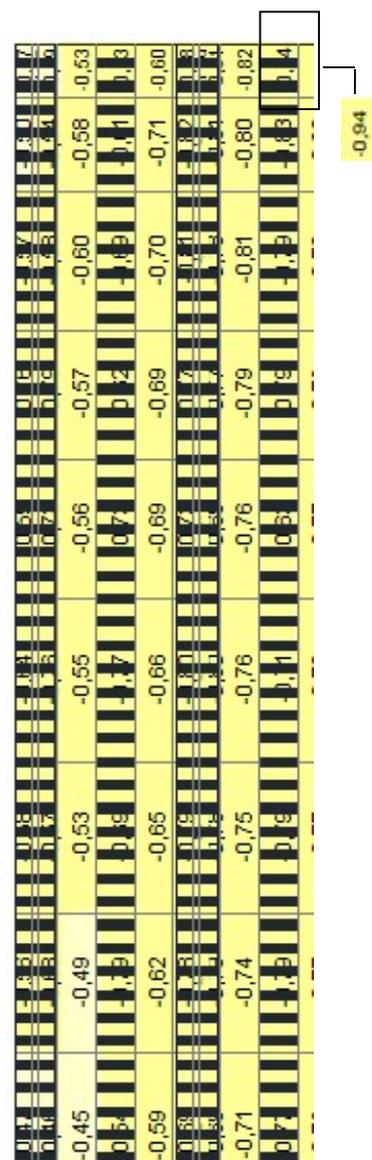
Ademais, entre  $240^\circ$  a  $345^\circ$ , nota-se somente sucções. Em relação ao Modelo I, o Modelo II possui pequena diminuição no coeficiente médio em todos os casos e o Modelo III se apresenta de forma variada. Para o primeiro ângulo, na situação com varanda e fechamento obteve-se valor superior, mas tal aumento não é significativo. No entanto, no intervalo entre  $255^\circ$  e  $285^\circ$ , o comportamento é variado, mas sempre com coeficientes muito próximos, ora superiores ora inferiores. Ainda, entre  $300^\circ$  e  $345^\circ$ , comparando com o modelo de referência, os coeficientes médios mínimos são inferiores para todas as áreas do Modelo II, todavia no Modelo III tem-se a metade esquerda, o centro e o canto inferior direito com valores superior. Além disso, nota-se que por estarem localizadas a sotavento da ação do vento, os coeficientes médios possuem valores semelhantes, sendo todos inferiores a 0,7.

-0,33	-0,44	-0,48	-0,55	-0,62	-0,67	-0,70	-0,69	-0,54	-0,68
-0,34	-0,44	-0,49	-0,54	-0,61	-0,65	-0,67	-0,66	-0,56	-0,53
-0,43	-0,55	-0,60	-0,68	-0,72	-0,74	-0,77	-0,78	-0,76	-0,73
-0,59	-0,71	-0,76	-0,80	-0,82	-0,82	-0,81	-0,85	-0,90	-0,89
-0,78	-0,82	-0,84	-0,84	-0,82	-0,80	-0,78	-0,83	-0,90	-0,90
-0,81	-0,82	-0,82	-0,81	-0,78	-0,76	-0,73	-0,77	-0,84	-0,84
-0,78	-0,81	-0,81	-0,80	-0,77	-0,75	-0,74	-0,76	-0,82	-0,82

Modelo I



Modelo II



Modelo III

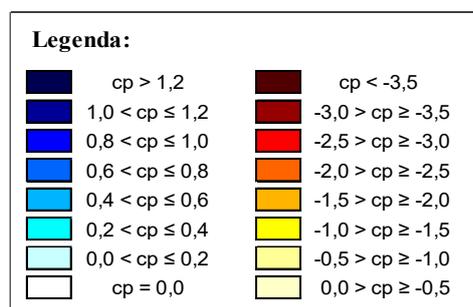
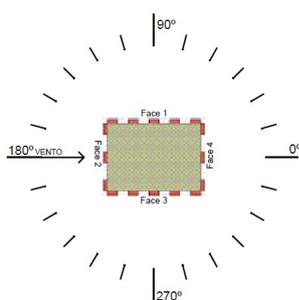


Figura 5.11: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 180° (fonte: autora)

### 5.1.2 Face 2

Para o intervalo entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$ , com incrementos de  $15^\circ$ , nota-se a ocorrência apenas de sucção para os modelos analisados, verificando aumento nos valores em razão do acréscimo no ângulo. Para os primeiros azimutes, até  $60^\circ$ , observa-se que os coeficientes médios são inferiores a  $-0,7$ , onde para todos os ângulos somente o canto inferior esquerdo apresenta valor superior para os casos com varanda em comparação ao modelo de referência. Para os demais,  $75^\circ$  e  $90^\circ$ , ressalta-se a redução nos coeficientes com a presença de acessórios, onde o máximo encontrado é de  $-0,97$  para o Modelo I na lateral direita, diminuindo para  $-0,74$  com a presença de varanda e atingindo  $-0,85$  quando adicionado varanda e fechamento.

Para o ângulo o  $105^\circ$ , observa-se apenas coeficientes médios negativos para as edificações verificadas, constatando-se elevação significativa na metade esquerda, principalmente no canto superior e na lateral, e diminuição na parte direita. Com a adição dos acessórios, os valores encontrados são inferiores ao modelo de referência, conforme tem-se na Figura 5.12. O coeficiente mais elevado está localizado no canto superior esquerdo, onde tem-se  $-1,66$ ,  $-0,84$  e  $-1,30$ , respectivamente, para o Modelo I, II e III. Em contrapartida, os mais baixos são vistos no canto superior direito, onde, seguindo a mesma ordem, tem-se  $-0,43$ ,  $-0,63$  e  $-0,45$ . Com isso, observa-se a diminuição dos valores máximos e aumento dos valores mínimos com a presença dos elementos de fachada.

Para o azimute subsequente, a  $120^\circ$ , dá-se início ao surgimento de sobrepressões no Modelo I e III, os quais aparecem na parte central, apresentando pequenos valores, sendo esses de  $0,1$  e  $0,2$ . Diferente desses, para o Modelo II é verificado sucção em sua totalidade, sendo inferiores a  $-0,3$ . Vale destacar que para o Modelo I, o coeficiente médio máximo encontrado está localizado no canto superior esquerdo, sendo de  $-0,77$ , enquanto para o Modelo II e III, no mesmo ponto, é de  $-0,20$  e de  $-0,82$ , respectivamente.

Com azimute de  $135^\circ$ , para os coeficientes médios da face 2 figura-se predomínio de valores positivos, todavia observa-se sucção na parte direita do Modelo I, no canto inferior direito no Modelo II e no centro e em alguns pontos da metade direita no Modelo III, conforme tem-se nos diagramas da Figura 5.13. Para esse ângulo, o valor com maior magnitude localiza-se na lateral esquerda, apresentando  $0,66$ ,  $0,53$  e  $0,57$ , respectivamente, para o Modelo I, II e III.



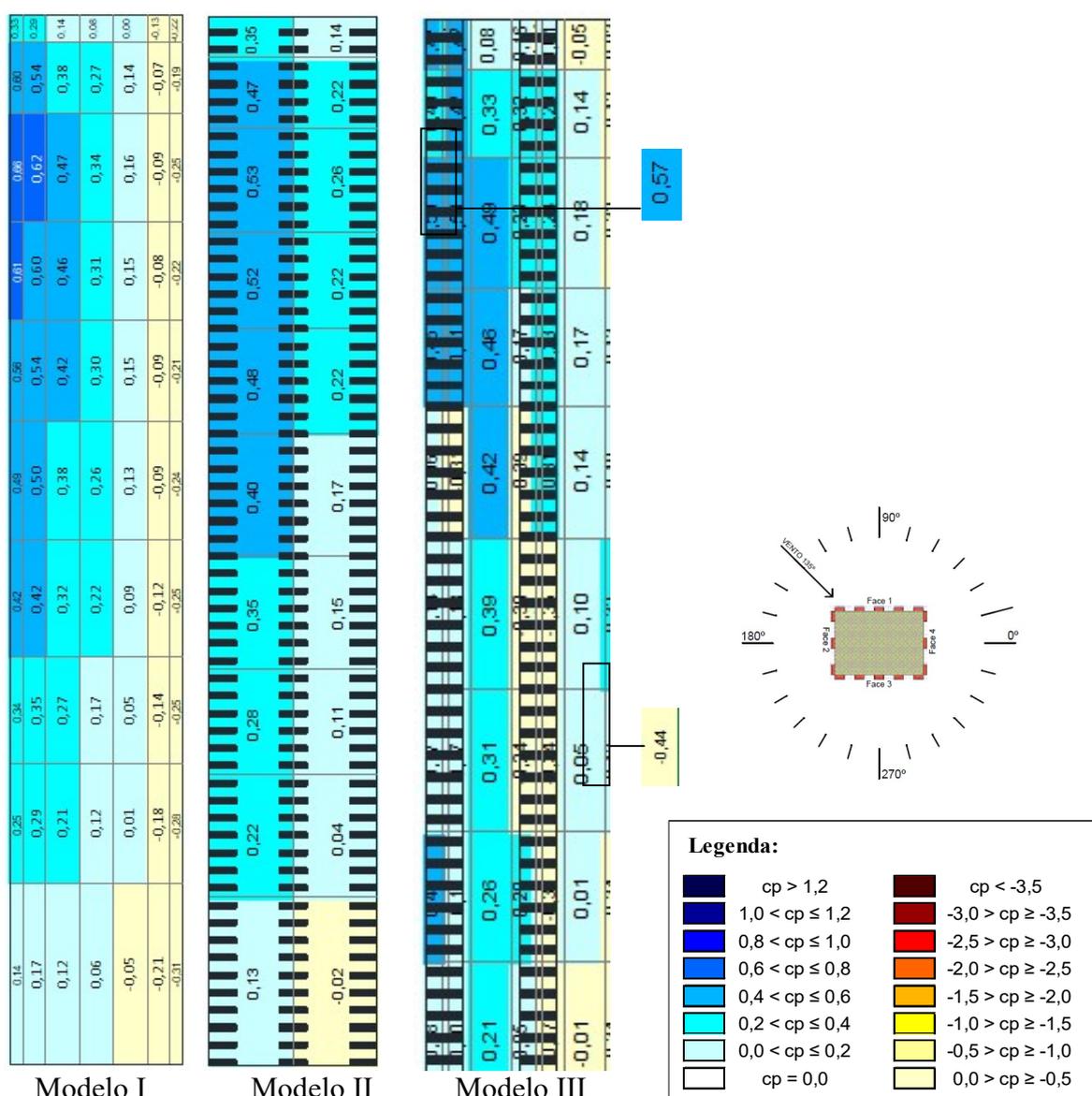


Figura 5.13: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 135° (fonte: autora)

Para 150° e 165°, ainda nota-se ocorrência de alguns valores negativos no Modelo I e III enquanto para o Modelo II novamente tem-se somente sobrepressão. Para ambos azimutes, os coeficientes médios positivos são inferiores a 0,85, enquanto o maior valor negativo é de -0,3, o qual encontra-se na lateral direita. Observa-se que os valores extremos estão localizados no Modelo III, onde para 165° todas as áreas apresentam valor superior ao Modelo I e II. Vale destacar também que para o segundo ângulo apresentado, tem-se aumento das áreas de sobrepressão, restando apenas dois pontos de sucção no canto inferior e lateral direita no Modelo I e ocorrendo diminuição dos coeficientes negativos também no Modelo III.

Com vento perpendicular a face em análise, a 180°, verifica-se pequena sucção no canto inferior direito para o modelo de referência, nenhuma ocorrência para a situação somente com varanda e ao adicionar o fechamento nas varandas tem-se valores negativos no canto inferior direita, sendo de -0,03. Exceto para o centro e base do Modelo II, todos os demais valores das edificações com sacada são superiores a edificação lisa. Como pode-se observar na Figura 5.14, quando sobrepressões, as maiores magnitudes estão localizadas no Modelo III, onde na lateral esquerda atingiu 0,83, enquanto para o Modelo I tem-se 0,54 e 0,8 para o Modelo II, para as mesmas áreas.

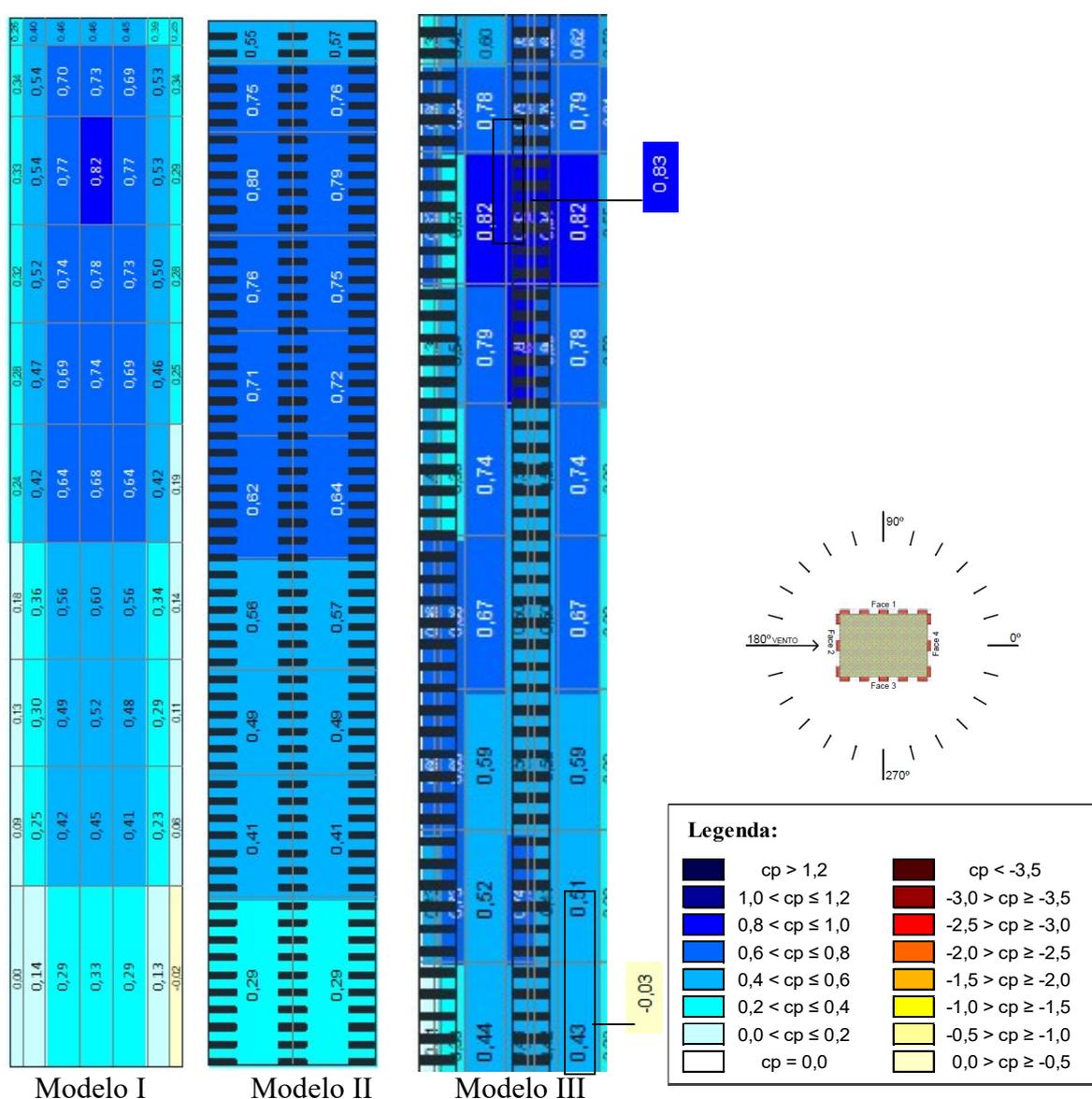


Figura 5.14: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 180° (fonte: autora)

Para o intervalo de  $195^\circ$  a  $225^\circ$ , dá-se início ao surgimento das sucções, onde no primeiro azimute tem-se resultados parecidos com o ângulo de incidência de  $180^\circ$ , no segundo verifica-se valores negativos na metade esquerda do Modelo I e III e para o último azimute, observa-se a intensificação desses. Com o incremento de  $15^\circ$ , nota-se que tem-se diminuição dos coeficientes médios encontrados, com isso é observada redução mais considerável para o ângulo de  $225^\circ$ , onde a maior magnitude de sobrepressão é encontrada na lateral direita, variando de 0,62, 0,47 e 0,69, respectivamente, para o Modelo I, II e III, como pode-se visualizar na Figura 5.15.

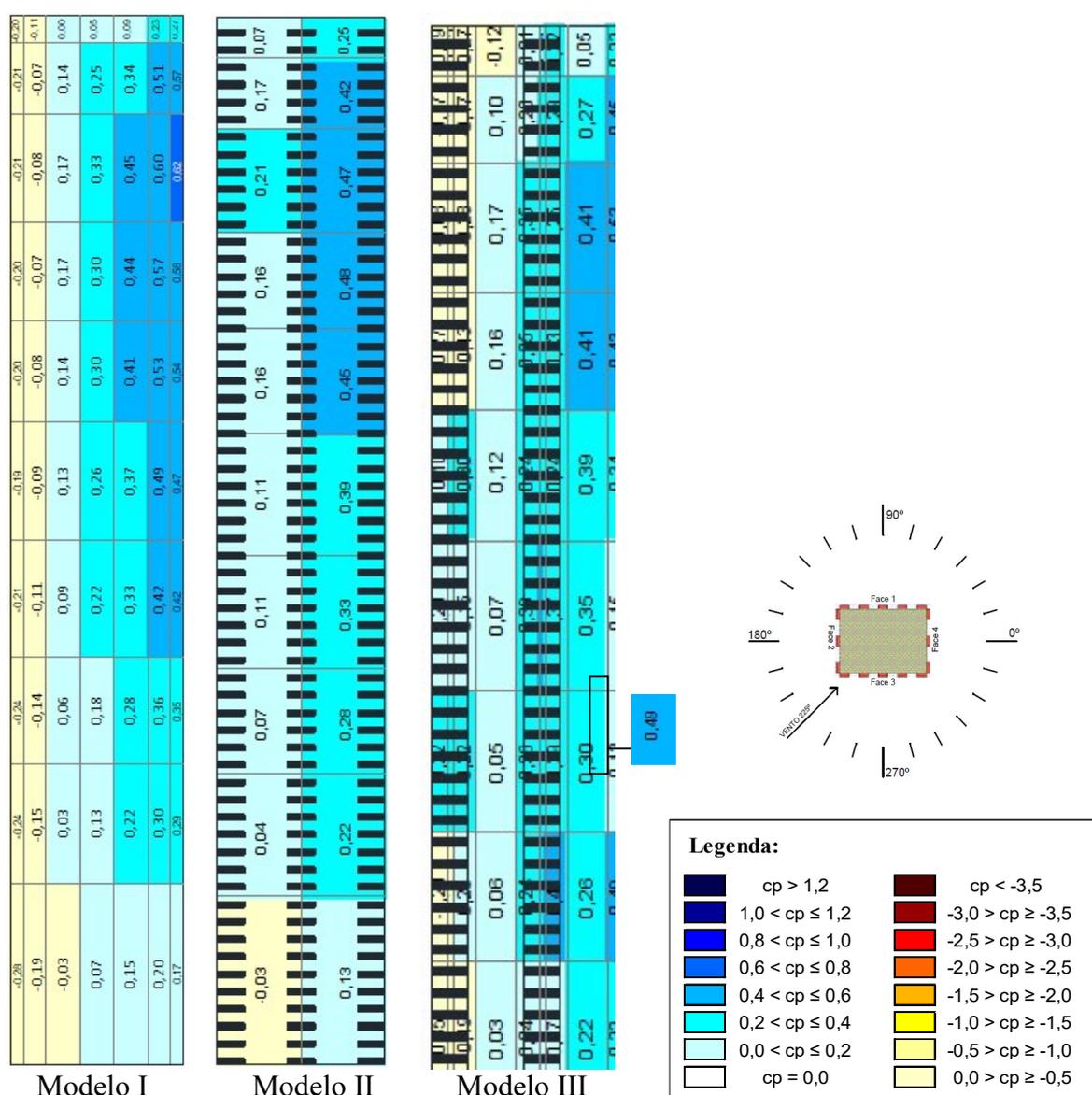


Figura 5.15: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de  $225^\circ$  (fonte: autora)

De 240° a 345°, tem-se a ocorrência total de sucção para os modelos em questão. Os valores mais significativos são constatados para 255°, sendo maiores na face direita, principalmente no canto superior onde tem-se -1,69 para o modelo de referência e, ao adicionar a sacada, constata-se -0,84 para o Modelo II e -1,35 para o Modelo III, conforme apresentado na Figura 5.16. Em seguida, de 270° até o final, a cada incremento de 15°, nota-se a diminuição dos coeficientes médios, onde no início os valores são inferiores a -0,95 e no último, menores que -0,6.

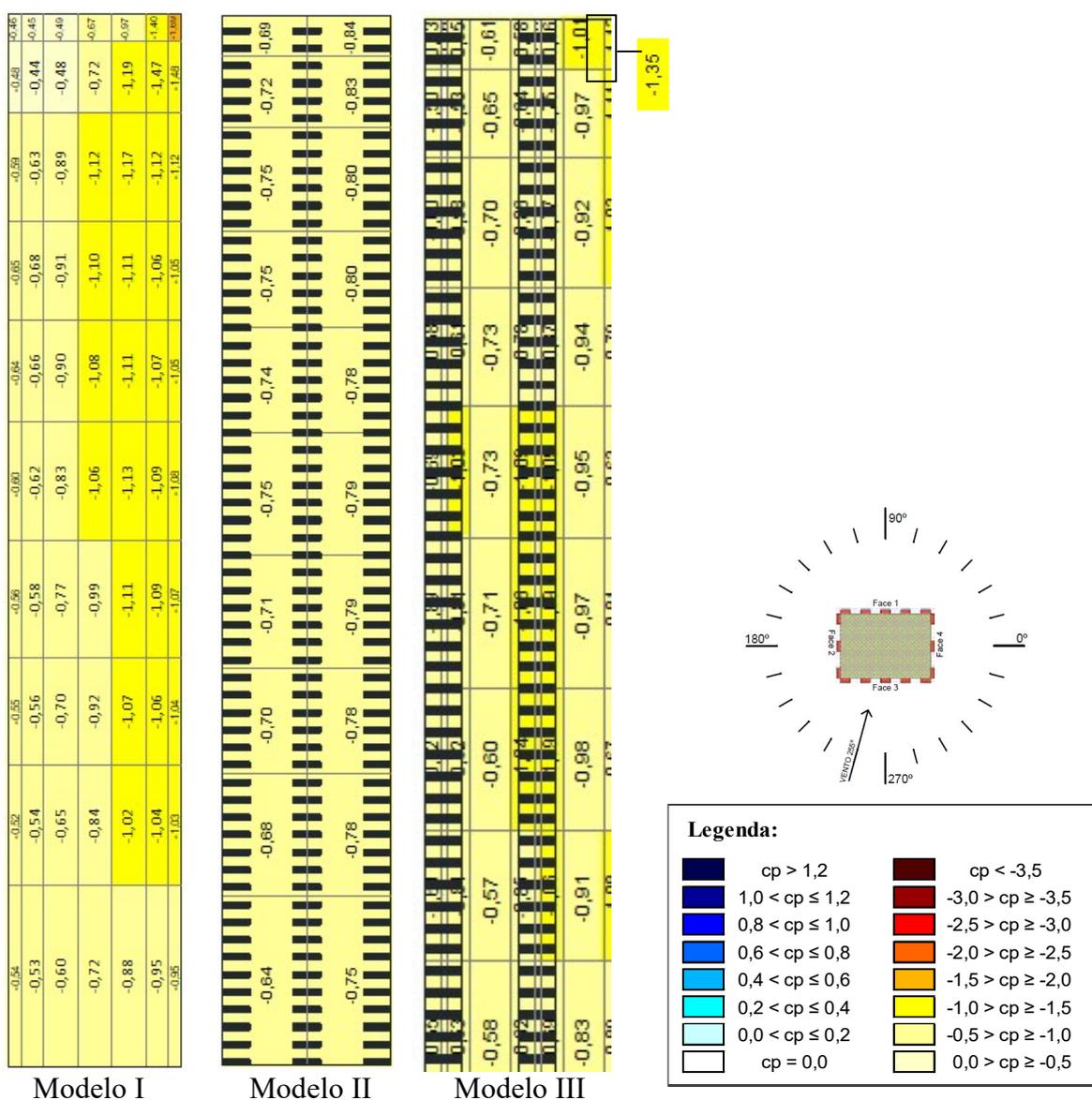


Figura 5.16: Distribuição de coeficientes de pressão média, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 255° (fonte: autora)

## 5.2 COEFICIENTE DE PRESSÃO R.M.S.

### 5.2.1 Face 1

Para os casos em que tem-se o vento agindo paralelamente a face 1, atuando a  $0^\circ$  da mesma, nota-se coeficientes entre 0,16 e 0,3 para o modelo de referência. Para as demais edificações, onde também tem-se o menor valor no canto superior direito, os valores são inferiores ao Modelo I, exceto para o canto inferior direito para o Modelo II e no canto superior esquerdo para o Modelo III, como pode ser observado na Figura 5.17. Na lateral direita, parte-se de 0,301, relativo ao Modelo I, para 0,175 e 0,185, respectivamente, para o Modelo II e III e, na mesma ordem, para a lateral esquerda, a redução foi de 0,245 para 0,158 e 0,223, notando-se que os valores mais baixos foram encontrados no Modelo II.

Entre os azimutes  $90^\circ$  e  $135^\circ$ , o comportamento dos coeficientes são bem próximos, apresentando valores superiores quando o vento incide perpendicularmente a fachada em questão, e reduzindo com o incremento do ângulo do mesmo. Para esses, a maior parte dos valores se aproximam de 0,1, em alguns casos apresenta valores superiores, mas sempre inferiores a 0,2. Além disso, vale ressaltar também que para esse intervalo, quando tem-se sacada e fechamento, somente a base central e o centro são inferior ao Modelo I. Já o Modelo II, para  $90^\circ$  e  $105^\circ$ , todos os coeficientes são inferiores a edificação sem acessórios, enquanto para  $120^\circ$  e  $135^\circ$ , em comparação ao Modelo I, tem-se coeficientes superiores em toda metade esquerda.

No intervalo de  $150^\circ$  a  $180^\circ$ , atenta-se que para os primeiros azimutes tem-se valores inferiores, aumentando consideravelmente quando o ângulo passa a atuar de forma paralela a face. Para esses ângulos, os valores são superiores no centro e na metade direita, apresentando, em relação a edificação de referência, diminuição quando adicionado os elementos de sacada. Para  $150^\circ$ , a variação na lateral direita vai de 0,261 para 0,154 e 0,192 conforme a ordem de nomenclatura dos modelos e para  $165^\circ$  diminui de 0,238 para 0,14 e 0,185, mantendo a mesma ordem, atentando-se que o coeficiente r.m.s mais baixo é encontrado para a situação somente com varanda. Com incidência de  $180^\circ$ , para os casos com a presença da varanda, Modelo II e III, comparando com o Modelo I, nota-se a diminuição de todos os coeficientes r.m.s, comportando-se de forma parecida ao indicado na Figura 5.17, todavia de forma espelhada.

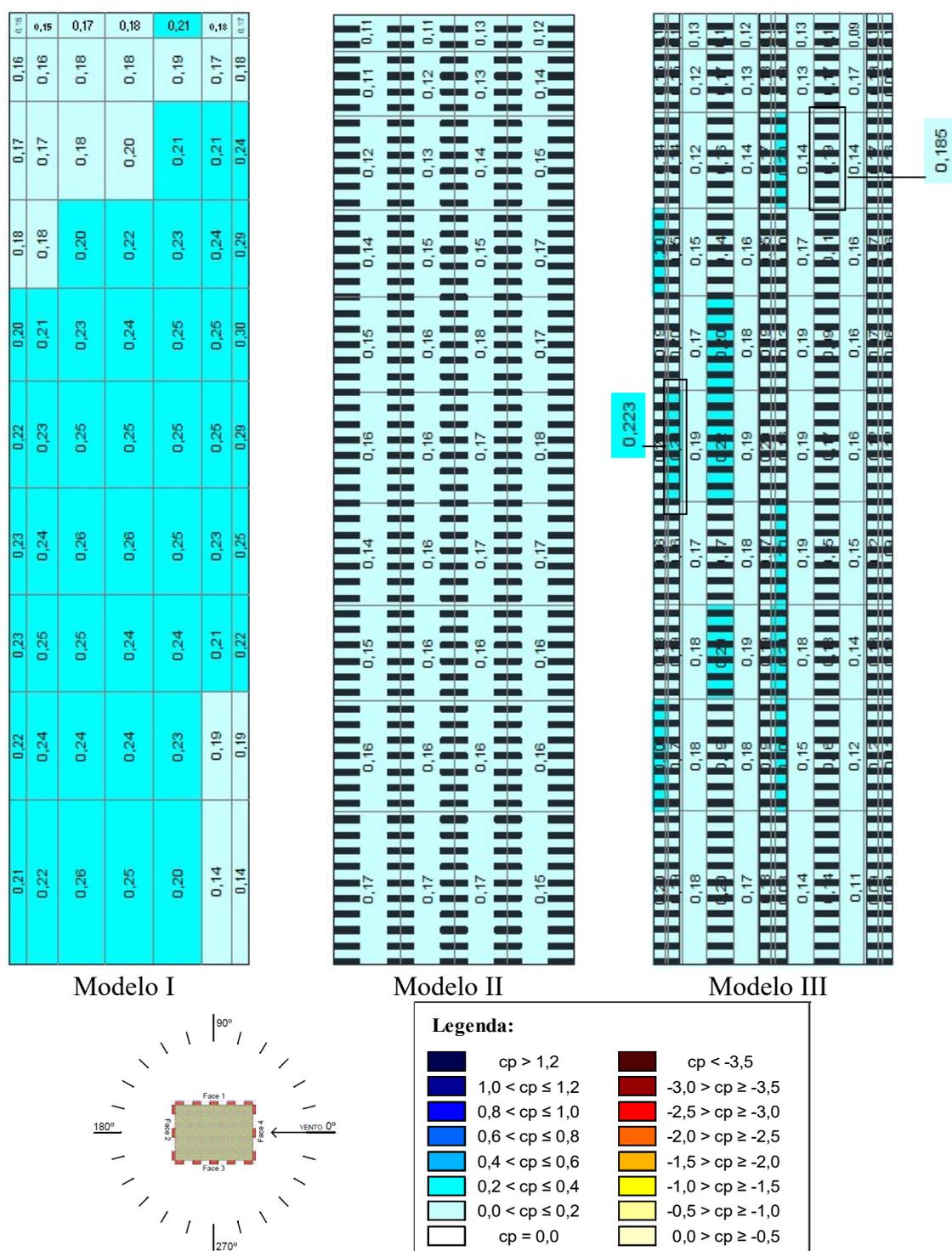


Figura 5.17: Distribuição de coeficientes de pressão r.m.s., externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de  $0^\circ$  (fonte: autora)

Para os demais, onde a face analisada fica posicionada a sotavento da incidência do vento, nota-se que os modelos com sacada apresentam os valores inferiores a edificação lisa. Ademais, tem-se diminuição mais acentuada na metade esquerda entre  $195^\circ$  e  $270^\circ$  e na porção direita no intervalo de  $285^\circ$  a  $345^\circ$ . Para o primeiro intervalo, o maior decréscimo foi

para  $195^\circ$ , na lateral esquerda, variando de 0,252 para o Modelo I, para 0,102 no Modelo II e 0,135 no Modelo III. Vale ressaltar também quanto a lateral direita do ângulo de  $270^\circ$ , onde parte-se de 0,245 para o Modelo I, diminuindo para 0,152 no Modelo II e então aumentando no Modelo III, onde tem-se 0,174, conforme pode ser observado na Figura 5.18. Além disso, em comparação ao Modelo I, os valores encontrados para o Modelo II e III são inferiores.

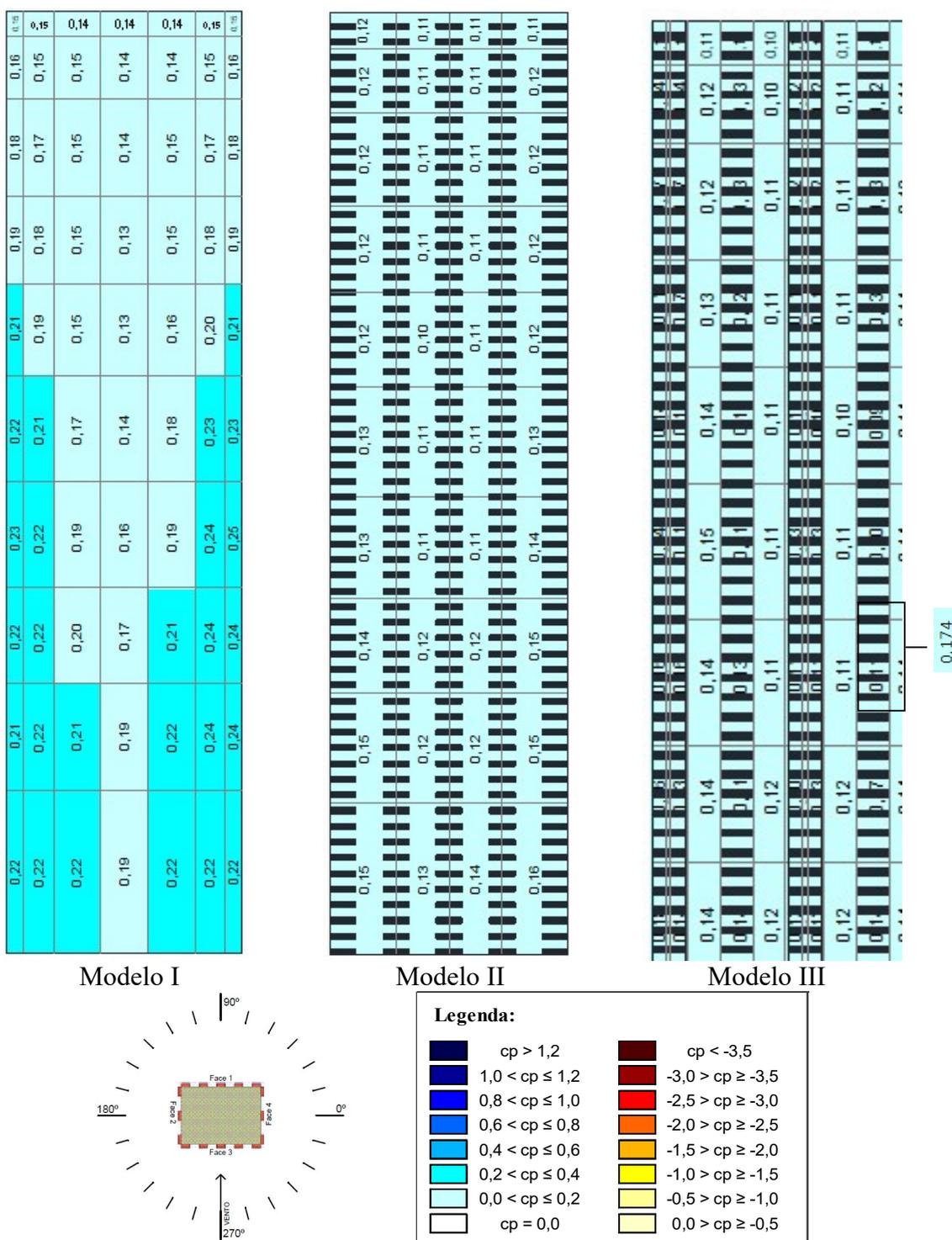


Figura 5.18: Distribuição de coeficientes de pressão r.m.s., externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 270° (fonte: autora)

### 5.2.2 Face 2

Entre 0° e 90°, verifica-se a diminuição dos coeficientes r.m.s para a face 2 até os 45° e aumento deste até os 90°, onde somente para 0° tem-se, em virtude da adição somente de

sacada, alguns pontos com valores superiores no canto inferior esquerdo e na base e, devido a presença de sacada e vedação, tanto para  $0^\circ$  como para  $15^\circ$  nota-se valores inferior ao modelo de faces lisas. Na sequência, para o intervalo de  $30^\circ$  a  $90^\circ$ , quando comparado o modelo de referência com os casos com a existência de acessórios, tem-se diminuição dos coeficientes r.m.s. Dentro desse conjunto, dá-se ênfase para a lateral direita do ângulo de  $75^\circ$ , onde ocorre diminuição de 0,294 do Modelo I, para 0,127 no Modelo II e 0,152 no Modelo III, e também destaca-se o centro do ângulo de  $90^\circ$ , onde encontra-se os valores de 0,359, 0,183 e 0,225, seguindo a mesma ordem.

Para  $0^\circ$ , a face em análise se encontra a sotavento, apresentando valores entre 0,1 e 0,2, em seguida, até  $60^\circ$ , os valores encontrados são próximos a 0,1, todavia para  $75^\circ$  e  $90^\circ$  atingem valores até mesmo superiores a 0,3. Ademais, de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , nota-se que os valores das edificações com acessórios são inferiores ao modelo de referência. Além disso, observa-se que no ângulo de incidência de  $90^\circ$ , de acordo com a Figura 5.19, no Modelo I tem-se a grande maioria dos valores superiores a 0,3, enquanto para o Modelo II e Modelo III atinge-se valores pouco superiores a 0,2, onde para ambos tem-se tal situação no canto inferior esquerdo e para o último somente são inferiores na faixa superior e no canto inferior direito.

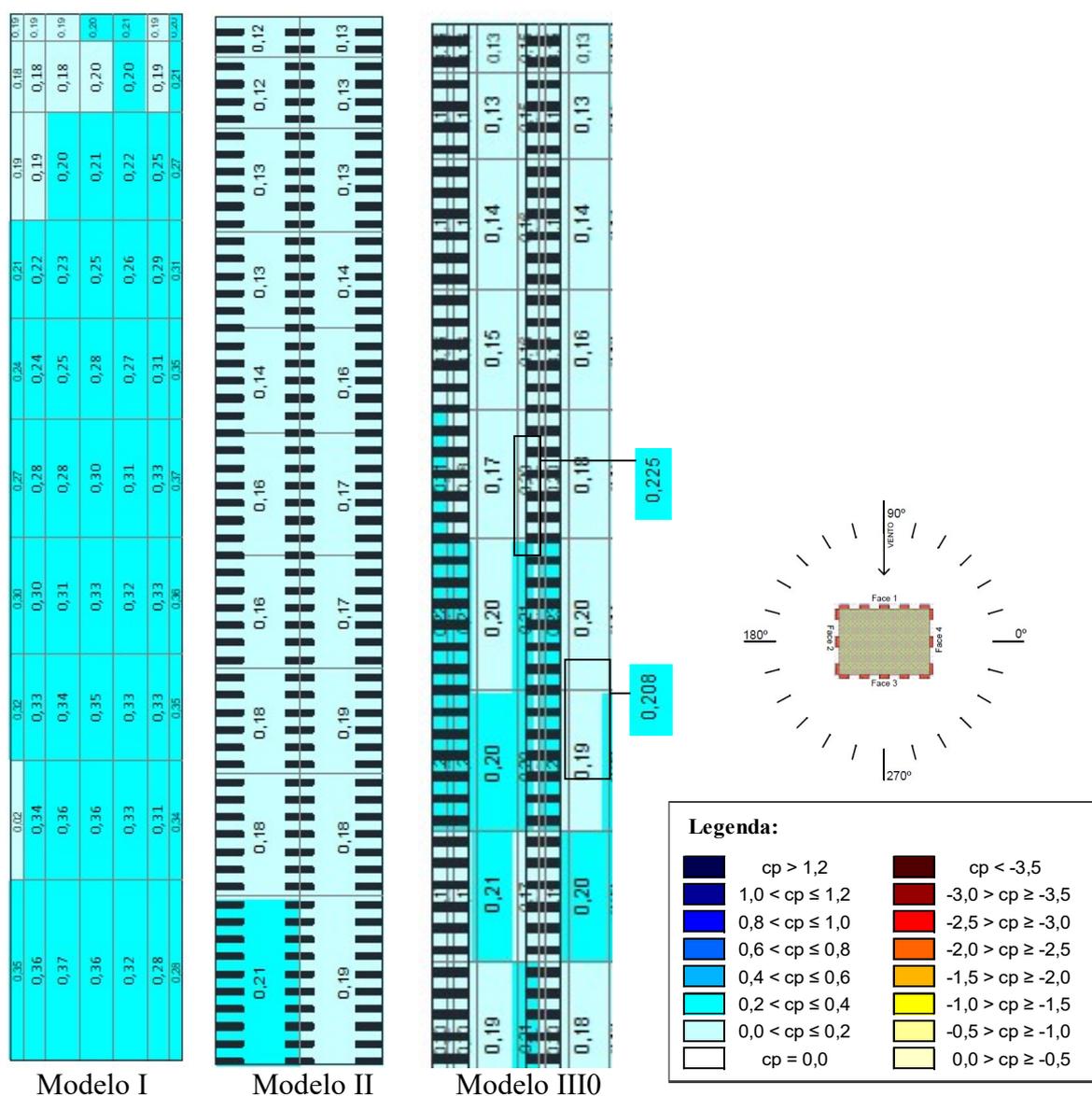


Figura 5.19: Distribuição de coeficientes de pressão r.m.s., externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 90° (fonte: autora)

No ângulo de 105° tem-se um dos maiores coeficientes r.m.s, o qual está localizado no canto superior esquerdo do modelo de referência, todavia a diferença é gigantesca, variando de 0,494 para 0,125 somente com varada e 0,185 com adição também de fechamento. Nota-se que para tal azimute os valores para o modelo de referência são superiores a 0,2, exceto no canto inferior e superior direito, apresentando diminuição para a edificações que contam com a presença de acessórios, com restrição do canto superior direito, o qual apresentou valores superiores quando contava com sacada, conforme pode-se verificar na Figura 5.20. Da mesma forma que o ângulo anterior, na base tem-se queda acentuada dos valores característicos de 0,322 para 0,163 e 0,194, respectivamente, ao comparar, Modelo I, II e III.

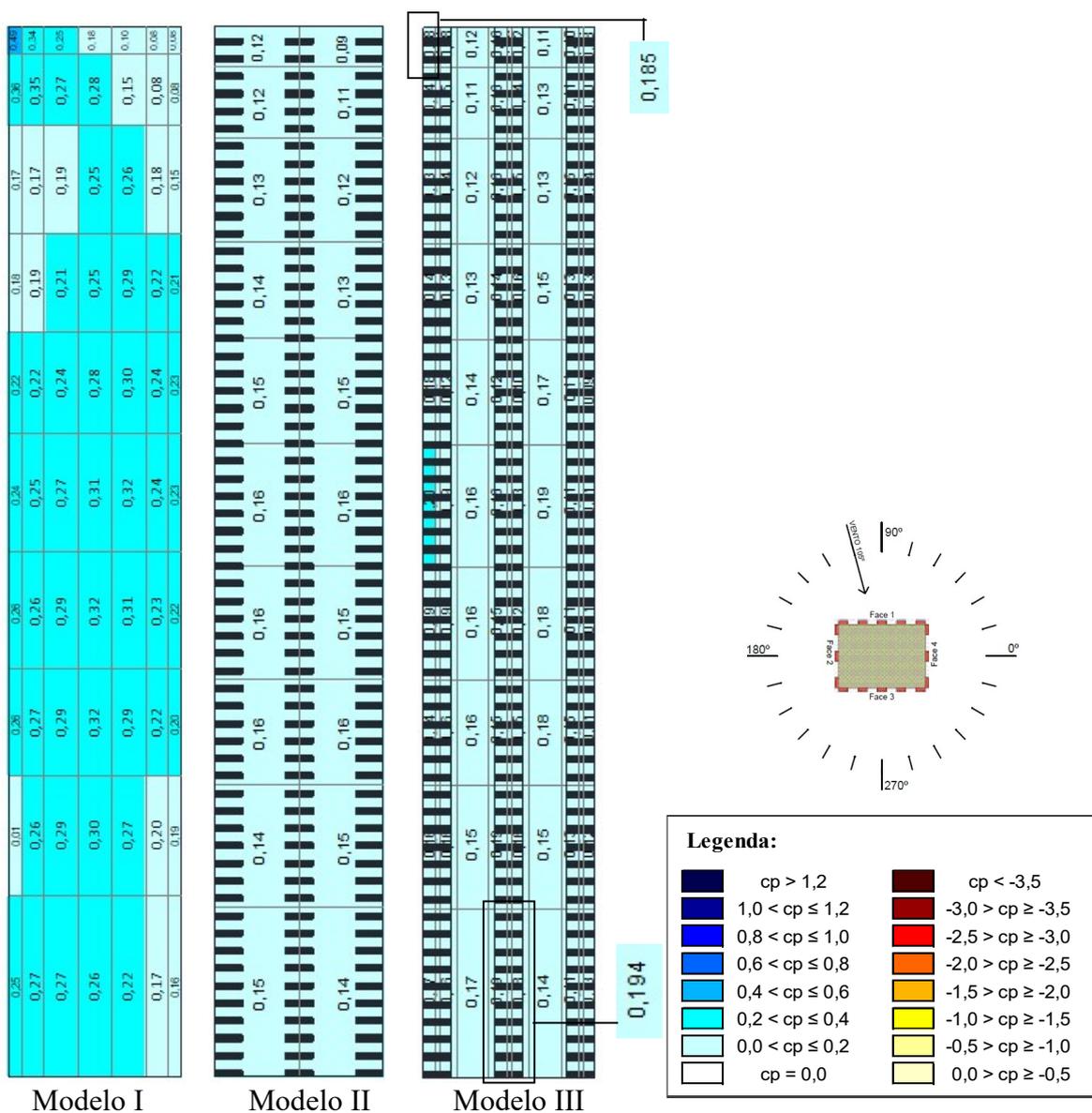


Figura 5.20: Distribuição de coeficientes de pressão r.m.s., externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 105° (fonte: autora)

Entre 120° e 165°, tem-se a mesma distribuição dos coeficientes, sendo superiores na metade esquerda, diminuindo no centro e reduzindo ainda mais na direita, onde somente para esse último os valores são próximos quando há sacada. Para 180°, os valores ficam em equilíbrio, destacando-se que os coeficientes r.m.s. do Modelo III são superiores ao Modelo I. Seguindo, até os 255°, verifica-se valores menores na metade esquerda, destacando que, em comparação ao modelo de referência, quando há a presença de sacada tem-se aumento dos valores, os quais são ainda maiores, em todas as áreas, quando adicionado varanda e fechamento. Para o último ângulo, o comportamento é de forma espelhada ao ângulo de 105°, também apresentando valores superiores a 0,2, no entanto, dessa vez, com exceção do canto superior e



## 5.3 COEFICIENTE DE PRESSÃO DE PICO MÍNIMO

### 5.3.1 Face 1

Nas situações em que o vento incide paralelamente a face 1, à 0°, tem-se diminuição da magnitude dos coeficientes mínimos ao incluir as sacadas. As reduções ocasionadas com a adição dos elementos de fachada são significativas, exceto, em ambos os casos, para o canto superior direito, o qual apresentou pequeno aumento, partindo de -1,30 do Modelo I, para -1,35 do Modelo II e -1,37 do Modelo III, conforme visualiza-se na Figura 5.22. Ademais, no canto superior esquerdo tem-se diminuição no Modelo II e aumento Modelo III, variando de -1,61, para -1,25 e -1,82, respectivamente. Nota-se ainda que os maiores valores para o Modelo I são encontrados na lateral e canto inferior esquerdo, onde para esse último encontrou-se -2,64, todavia observa-se diminuição com a presença de acessórios para -1,48 e -2,00, seguindo a mesma ordem anterior.

Para o ângulo de 15°, constata-se que os maiores valores estão situados na metade esquerda, onde no canto superior decai de -2,15 para -1,01 e -1,63, considerando os Modelos I, II e III. Destaca-se também que para a edificação lisa e o caso com varanda e fechamento, o maior valor está localizado no canto superior esquerdo, todavia para a situação somente com sacada, o valor superior está no canto inferior. Novamente, os coeficientes encontrados nas edificações com adição de elementos arquitetônicos são inferiores ao modelo de referência, salvo a lateral e canto superior direito, onde o primeiro é para ambos e o segundo apenas no Modelo III. Comparando ao ângulo de 0°, apura-se que tem-se diminuição dos valores, menos do canto superior e lateral esquerda, conforme consta na Figura 5.23.

No azimute de 30°, para o Modelo I e II, em relação ao ângulo anterior, vê-se os valores da esquerda e meio diminuírem pela metade. Além desses, a porção direita também reduziu, todavia em proporções inferiores. Diferente desses, para o Modelo III, houve baixa na magnitude, sendo está em menor intensidade, e na metade direita nota-se um pequeno aumento. Para o Modelo I, os maiores valores estão localizados na parte esquerda, principalmente no canto superior, atingindo -1,09, enquanto, para a mesma área, o Modelo II apresenta -0,4 e o Modelo III possui -0,94. Vale ressaltar também que, de acordo com a Figura 5.24, em todas as áreas os menores valores são encontrados no Modelo II, o qual conta apenas com a presença das sacadas. Ademais, enquanto esse último apresenta todos os



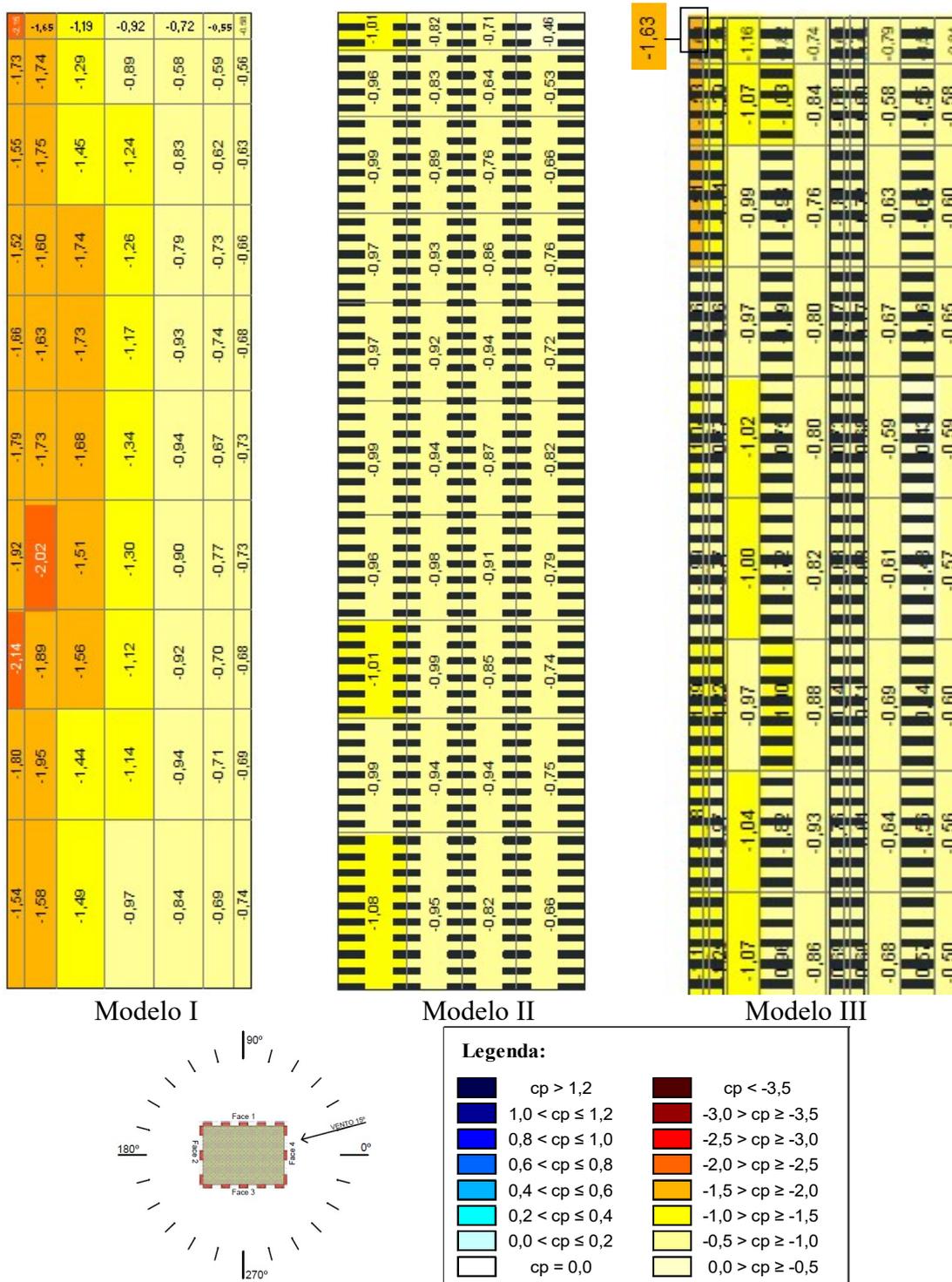


Figura 5.23: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 15° (fonte: autora)

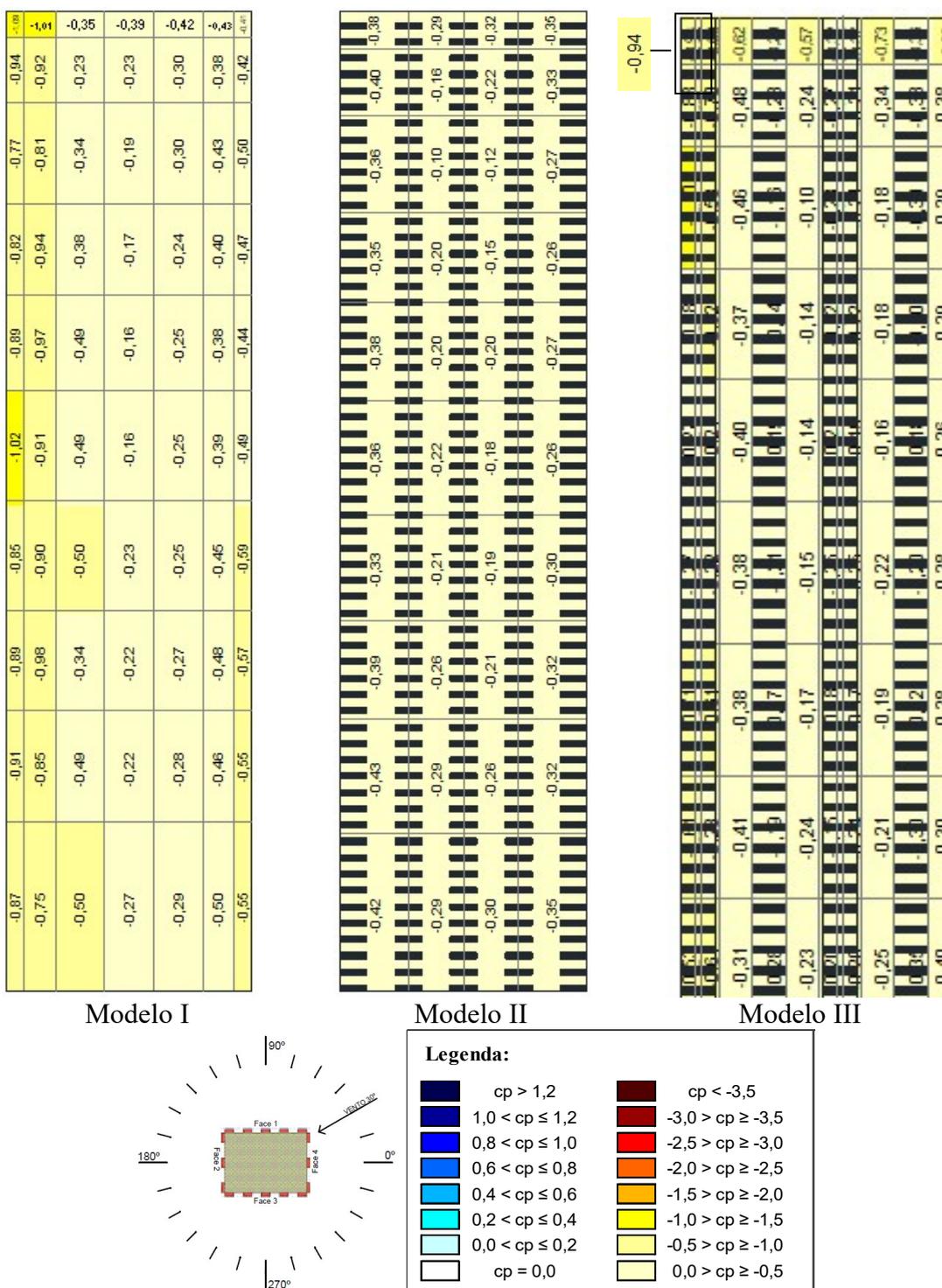


Figura 5.24: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 30° (fonte: autora)

Com ângulo de 45°, verifica-se, além de sucções, o aparecimento de sobrepressões, a qual surge no topo e na lateral, na parte esquerda e no centro. Com o aumento do ângulo do vento, as áreas de sobrepressões vão atingindo o centro e em seguida a parte direita, até o azimute de

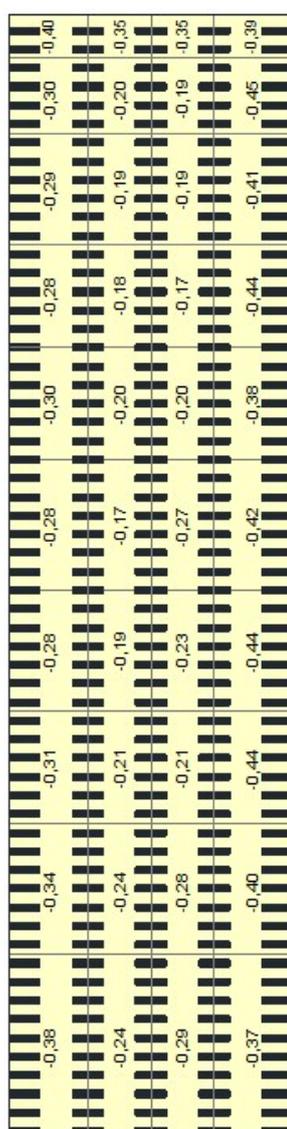
135°, para os três casos. Para esses, os valores, em comparação com o Modelo I, são inferiores no Modelo II e superiores no Modelo III para a maioria dos pontos. A configuração entre 45°-90° e 90°-135° é semelhante, todavia de forma espelhada, onde para todas as situações, a maior sobrepressão encontrada é de 0,3. Nesse intervalo, entre 45° e 135°, tem-se concomitantemente a ocorrência de coeficientes de pico mínimos com valores positivos e negativos.

Para 150°, nos modelos em questão tem-se somente a ocorrência de sucções. Para tal ângulo, os maiores valores estão na metade direita, principalmente no canto superior, variando de -1,16 para o modelo de referência, para -0,45 na edificação com sacada e -1,12 para o caso com a inclusão de varanda e fechamento. Em relação ao Modelo I, o Modelo II possui todas as áreas com valores inferiores, enquanto o Modelo III só possui a metade direita, centro e base com valores menores. Seguindo em comparação ao Modelo I, observa-se que no Modelo II os coeficientes mínimos são bem inferiores na metade direita, já para o Modelo III, os valores são similares na direita todavia apresentam aumento significativo na parte esquerda, conforme apresentando na Figura 5.25.

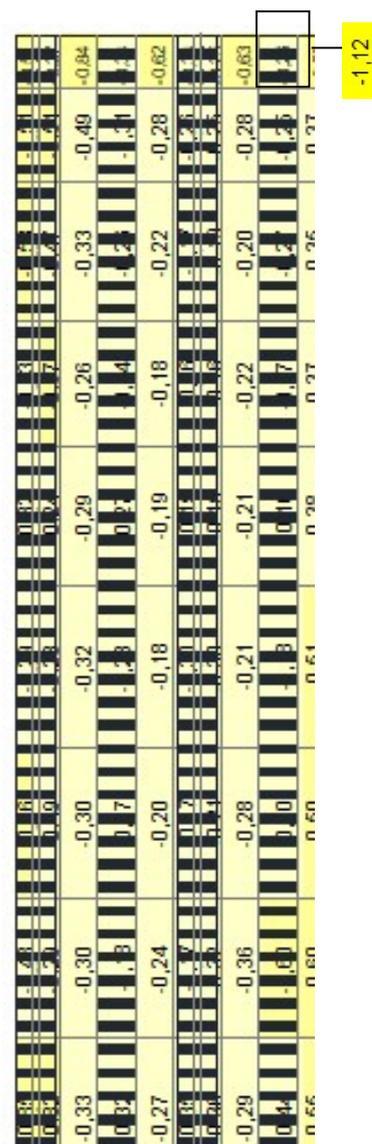
Para o ângulo de 165°, tem-se grande aumento dos coeficientes de pico mínimos no centro e na face direita, em relação ao mesmo modelo no azimuth anterior. Nota-se que em todos os modelos tem-se somente a presença de sucção. Ademais, os menores valores estão localizados na metade esquerda, sendo maiores no centro e ainda mais superiores na direita, onde no canto superior encontrou-se -2,37 para o modelo de referência, -1,09 na versão com sacada e -1,93 quando adicionado o fechamento. Diferente da situação com vento a 150°, para esse, somente na metade esquerda os valores do Modelo I são inferiores aos Modelos II e III.

-0,59	-0,65	-0,59	-0,56	-0,53	-0,53	-0,43	-0,42
-0,48	-0,50	-0,46	-0,42	-0,42	-0,40	-0,36	-0,42
-0,32	-0,29	-0,28	-0,24	-0,21	-0,20	-0,23	-0,42
-0,31	-0,27	-0,22	-0,20	-0,18	-0,16	-0,12	-0,41
-0,44	-0,44	-0,45	-0,42	-0,42	-0,39	-0,31	-0,42
-0,54	-0,52	-0,89	-1,11	-0,86	-0,80	-0,74	-0,93
-0,79	-0,90	-0,93	-1,10	-1,14	-0,79	-0,87	-1,02

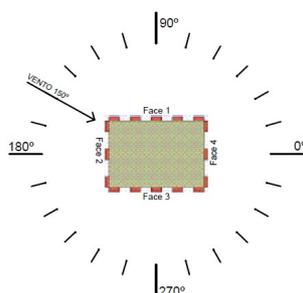
Modelo I



Modelo II



Modelo III



**Legenda:**

Dark Blue	$cp > 1,2$	Dark Red	$cp < -3,5$
Blue	$1,0 < cp \leq 1,2$	Red	$-3,0 > cp \geq -3,5$
Light Blue	$0,8 < cp \leq 1,0$	Dark Red	$-2,5 > cp \geq -3,0$
Light Blue	$0,6 < cp \leq 0,8$	Orange	$-2,0 > cp \geq -2,5$
Cyan	$0,4 < cp \leq 0,6$	Yellow	$-1,5 > cp \geq -2,0$
Light Cyan	$0,2 < cp \leq 0,4$	Yellow	$-1,0 > cp \geq -1,5$
Light Cyan	$0,0 < cp \leq 0,2$	Yellow	$-0,5 > cp \geq -1,0$
White	$cp = 0,0$	Yellow	$0,0 > cp \geq -0,5$

Figura 5.25: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 150° (fonte: autora)

Quando o vento atinge a face de forma paralela, com azimute de 180°, nota-se mais um incremento nos coeficientes mínimos para os modelos analisados, apresentando valores superiores a 1,0, em módulo. Para todas as áreas, a presença de sacada causou diminuição nos

valores, como pode ser visto na Figura 5.26. O maior valor para o Modelo I foi verificado na lateral direita, onde variou de -2,65 para -1,40 e -1,73, respectivamente, para o Modelo I, II e III.

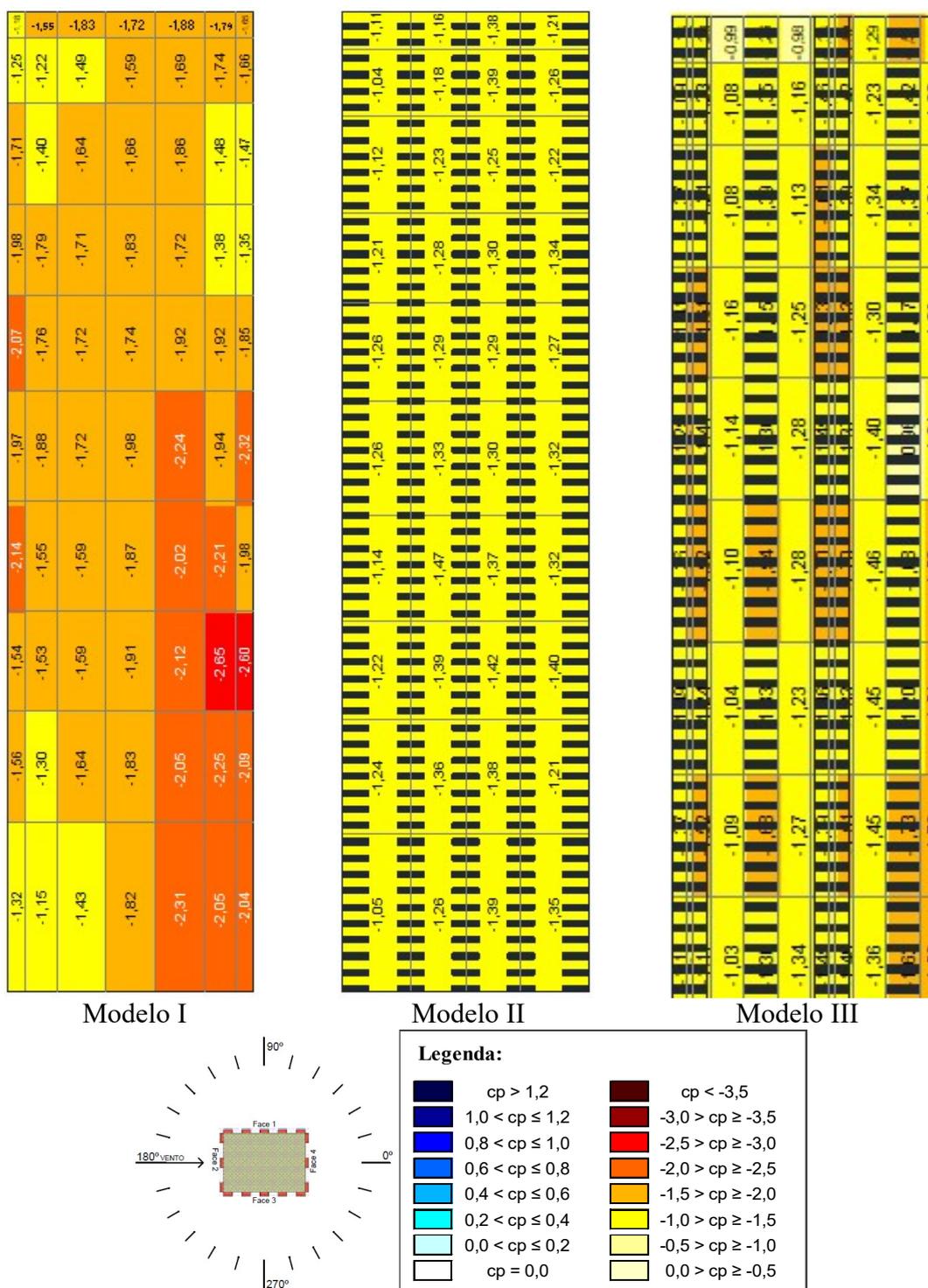


Figura 5.26: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 180° (fonte: autora)

Entre 195° e 255°, a situação em que o vento passa a atuar de forma que a face em análise fica a sotavento, há uma severa redução nos valores quando comparados ao modelo de referência, onde somente é encontrado valores superiores no Modelo III com ângulo de 225°. Nesse intervalo, os maiores coeficientes foram encontrados na lateral esquerda no ângulo de 195° e na base central para 255°, no entanto, vale destacar que nota-se grande diminuição nos valores nesses pontos ao comparar o modelo de referência com os demais. Para o primeiro, há redução de -2,45 do Modelo I, para -1,20 no Modelo II e -1,66 para o Modelo III, bem como para o segundo, nessa sequência, de -2,35, para -1,30 e -1,72. Ademais, observa-se que, em todos os pontos, os coeficientes mínimos do Modelo II e III, mesmo que inferiores ao modelo de referência, são maiores na edificação que possui o acessório de fechamento do que somente com a presença de sacada.

Com ângulo de 270°, constata-se elevação dos coeficientes mínimos de todas as áreas em relação aos ângulos anteriores e, dá mesma forma que esses, os coeficientes no Modelo I são maiores que os demais, conforme figura 5.27. Na sequência, no intervalo de 285° a 345°, os coeficientes reduzem, também sendo inferiores ao modelo liso, todavia em alguns pontos do Modelo III possuem valores superiores, entretanto para o Modelo II mantêm-se sempre menores. Entre esses, o maior coeficiente foi localizado na lateral direita do último azimute, onde nota-se um decréscimo, possuindo -2,36, -1,25 e -1,84, respectivamente, do Modelo I, II e III, onde tem-se as edificações com sacada com valor inferior a situação com fachada lisa.

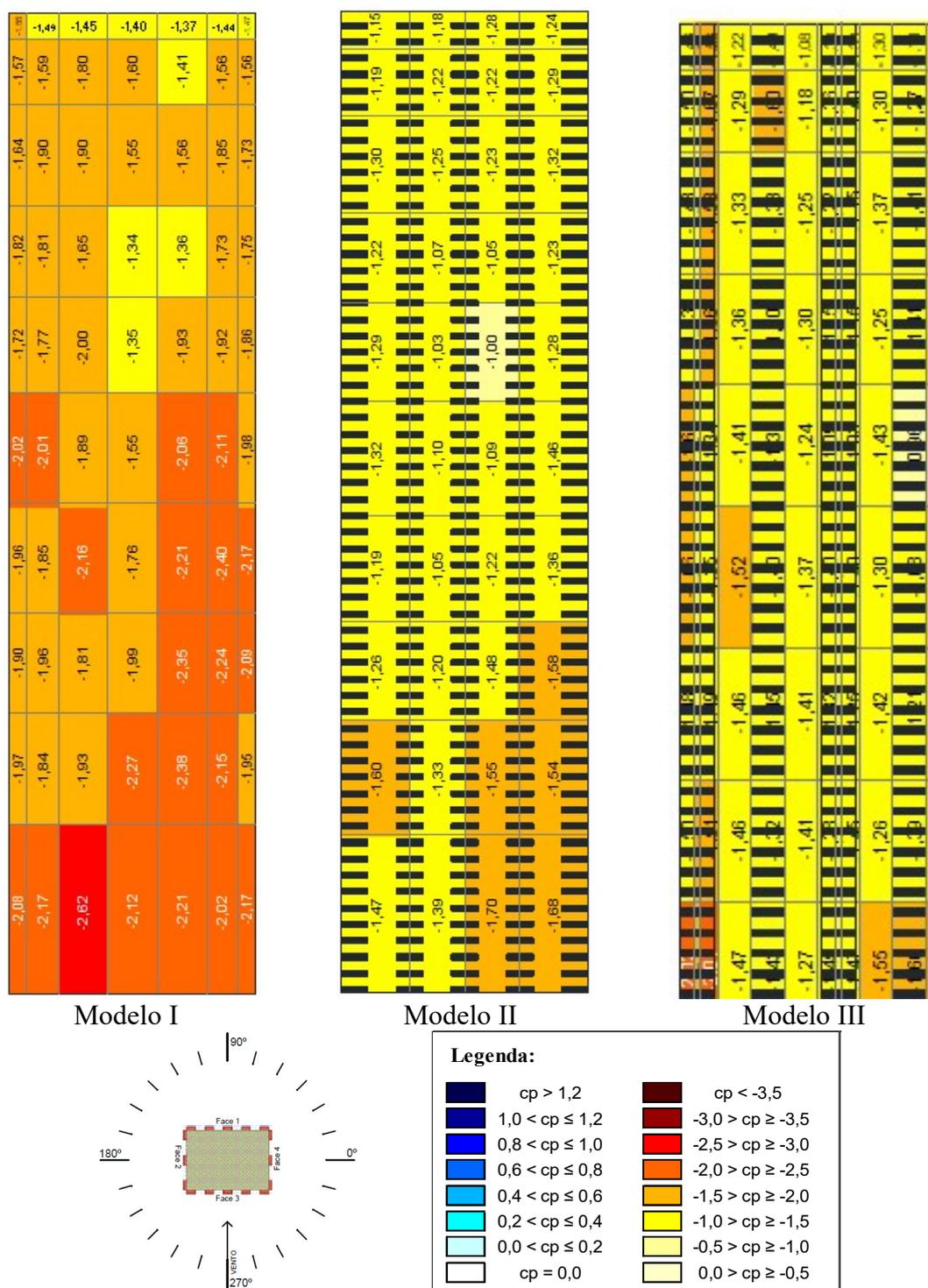


Figura 5.27: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 270° (fonte: autora)

### 5.3.2 Face 2

Com o vento atuando com ângulo de 0° tem-se a face 2 localizada a sotavento, resultando assim em coeficientes de pico mínimos próximos e superiores a -1,0. Em comparação ao

Modelo I, as demais edificações apresentam reduções, sendo mais significativas no Modelo II, onde somente na base central tem-se valor superior, enquanto no Modelo III é constatada exceção em ambos os cantos inferiores. No Modelo I, a maior magnitude é encontrada na lateral esquerda, com -1,51, enquanto para os outros, observa-se diminuição para -1,09 e -1,23, respectivamente, para o Modelo II e III. Para o Modelo III, o maior coeficiente está localizado no canto inferior esquerdo, apresentando -1,37, já para o Modelo II, é encontrado na base, sendo de -1,12.

Para os azimutes de 15° e 30°, os maiores coeficientes estão dispostos na base e também, para os Modelos I e III, na lateral e canto inferior direito e alguns pontos específicos do centro. Em comparação, todos os valores são inferiores ao modelo de referência. No centro, para o primeiro azimuth, tem-se -1,58, -0,90 e -1,05 e para o segundo, -1,51, -1,10 e -1,11, em ambos, seguindo a ordem do Modelo I, II e III. Para esses, a maior redução está no canto inferior direito com ângulo de 30°, onde, seguindo a mesma ordem, tem-se -2,49, -1,21 e -1,53, conforme observado na Figura 5.28.

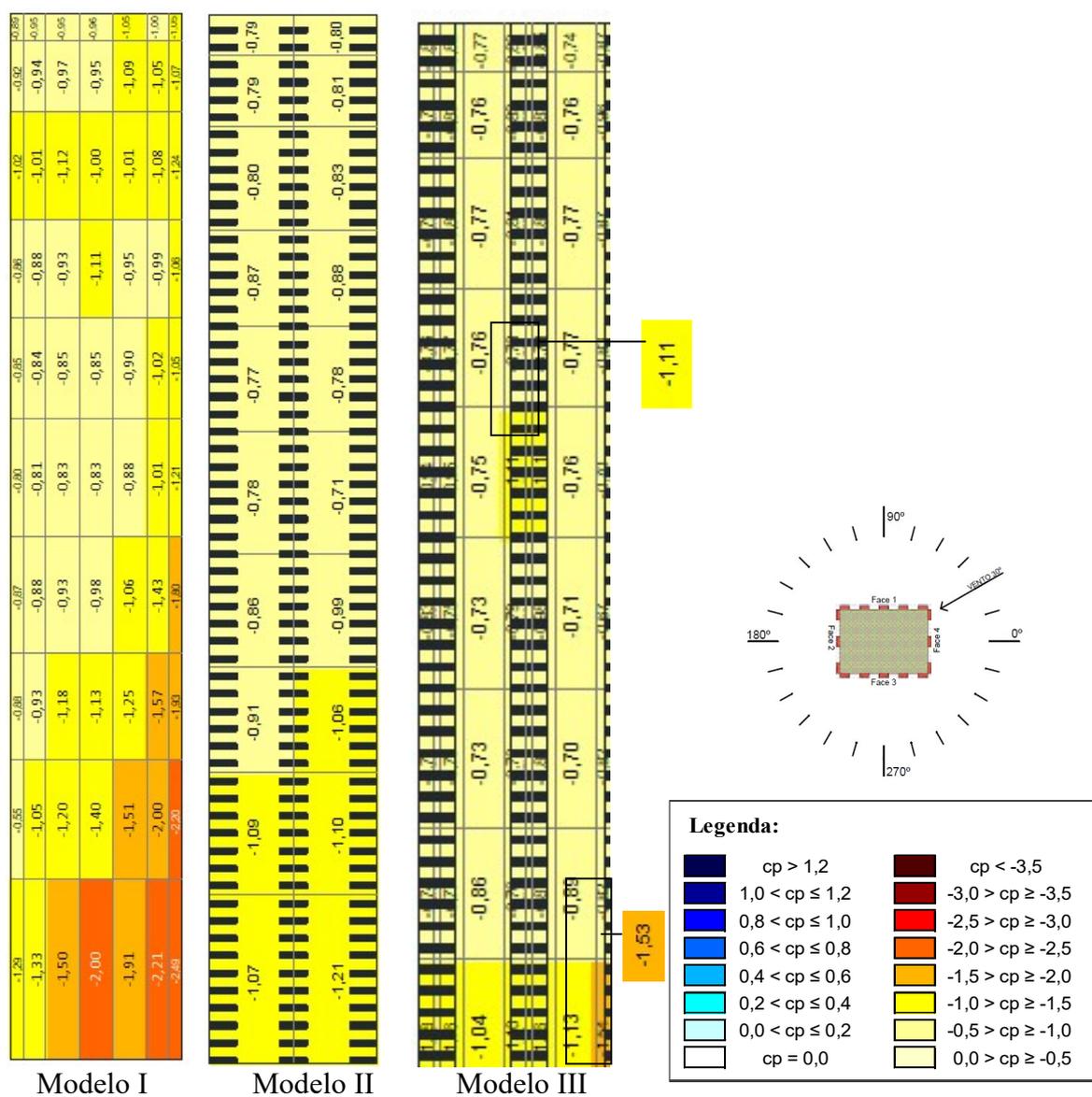


Figura 5.28: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 30° (fonte: autora)

Para 45°, tem-se aumento dos coeficientes de pico mínimos na região superior em relação ao ângulo anterior. Para o modelo de referência, o maior valor está localizado na lateral direita, o qual varia de -2,32, para -1,28 e 1,68, em relação ao Modelo II e III. Para o Modelo I, diversos pontos na base central, na lateral e canto inferior direito apresentam valores superiores a -1,5, enquanto para o Modelo II não há nenhum caso e no Modelo III tem-se somente uma área na lateral direita e outra no centro, como nota-se na Figura 5.29.

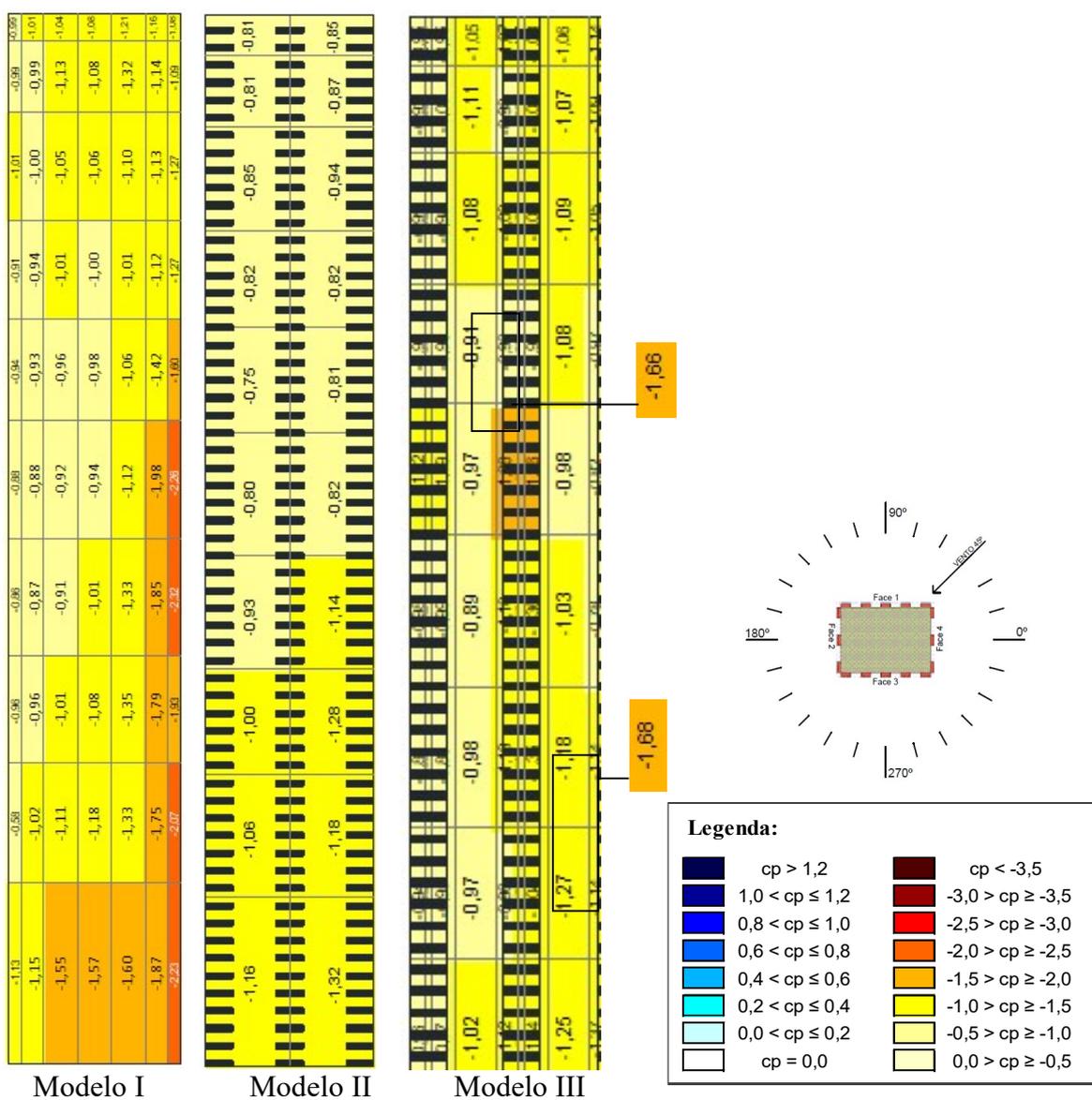


Figura 5.29: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 45° (fonte: autora)

Com 60°, novamente todos os valores das demais edificações são inferiores ao Modelo I, enquanto que para a ocorrência de vento com ângulo de 75° somente a lateral esquerda e a base do Modelo III são superiores. Nota-se que para intervalo, os menores valores estão localizados na faixa de topo, como pode ser observado na Figura 5.30. Para ambos os azimutes, os maiores coeficientes estão localizados na lateral direita, onde tem-se também os decréscimos mais expressivos, diminuindo, com 60°, de -2,44 para -1,20 e -1,18, respectivamente, para os casos com edificação lisa, com sacadas e varanda com fechamento, e para 75° varia de -3,40, para -1,40 e -2,42, adotando a mesma ordem.

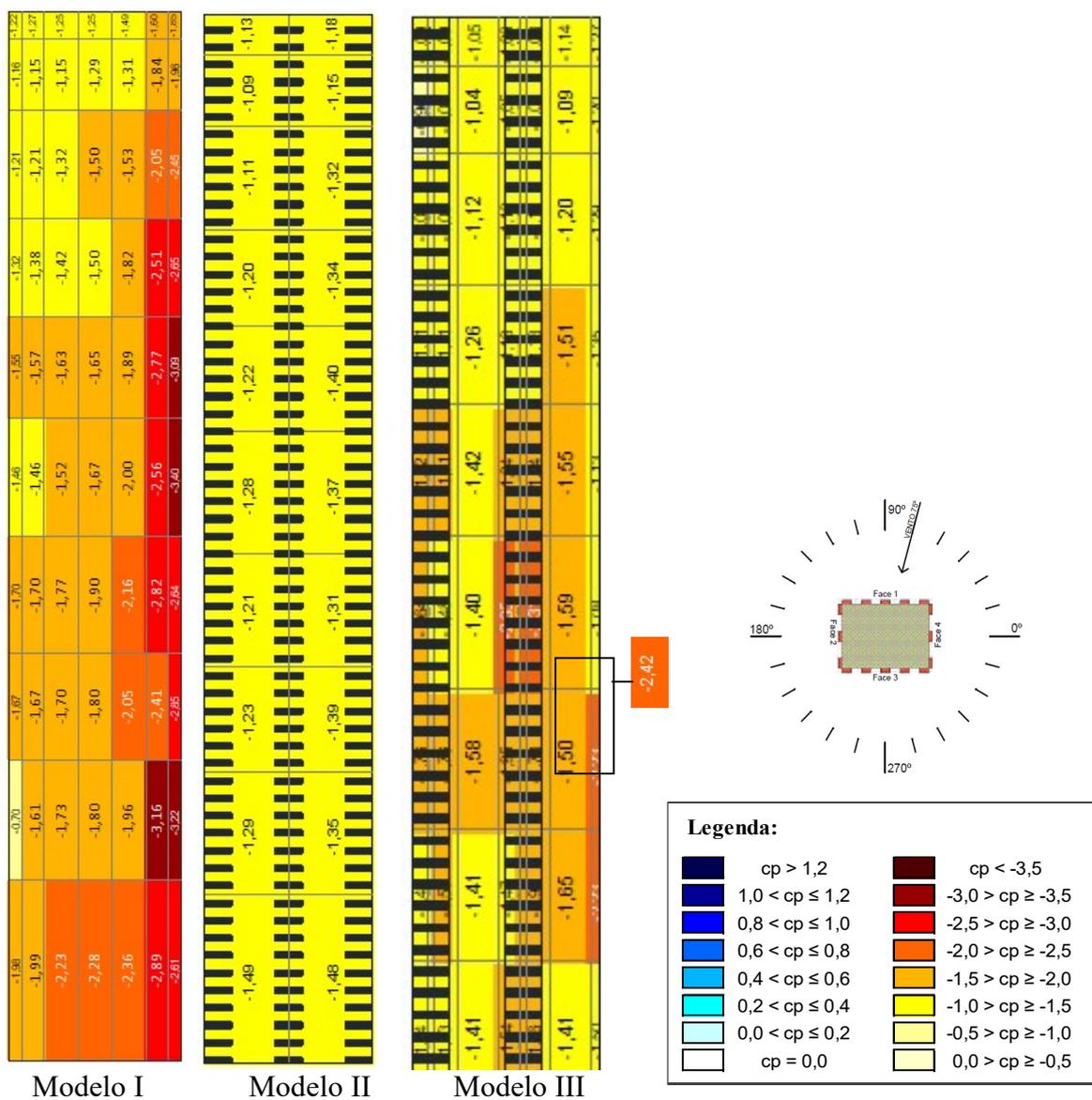


Figura 5.30: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 75° (fonte: autora)

Quando o vento incide de forma perpendicular a face 1 e assim, paralela a face 2, à 90°, tem-se grande elevação das magnitudes dos coeficientes de pico mínimo em comparação aos ângulos anteriores, todavia ao contrapor o modelo de referência com os demais que possuem acessórios, verifica-se reduções expressivas. Os maiores coeficientes encontrados no Modelo I são para canto superior e inferior esquerdo, centro e lateral direita, sendo todos acima de -3,0, os quais, para os casos que possuem a presença de varada, diminuem para valores inferiores ou, quando superior, bem próximos, a 2,0. Entre eles, o maior coeficiente de pico mínimo está localizado na lateral esquerda, o qual possui redução de -3,6 para -1,92 e -1,95,

como pode ser observado na Figura 5.31, o que representa uma diminuição de 45%, Ademais, destaca-se também que os valores do Modelo II são sempre inferiores ao Modelo III.

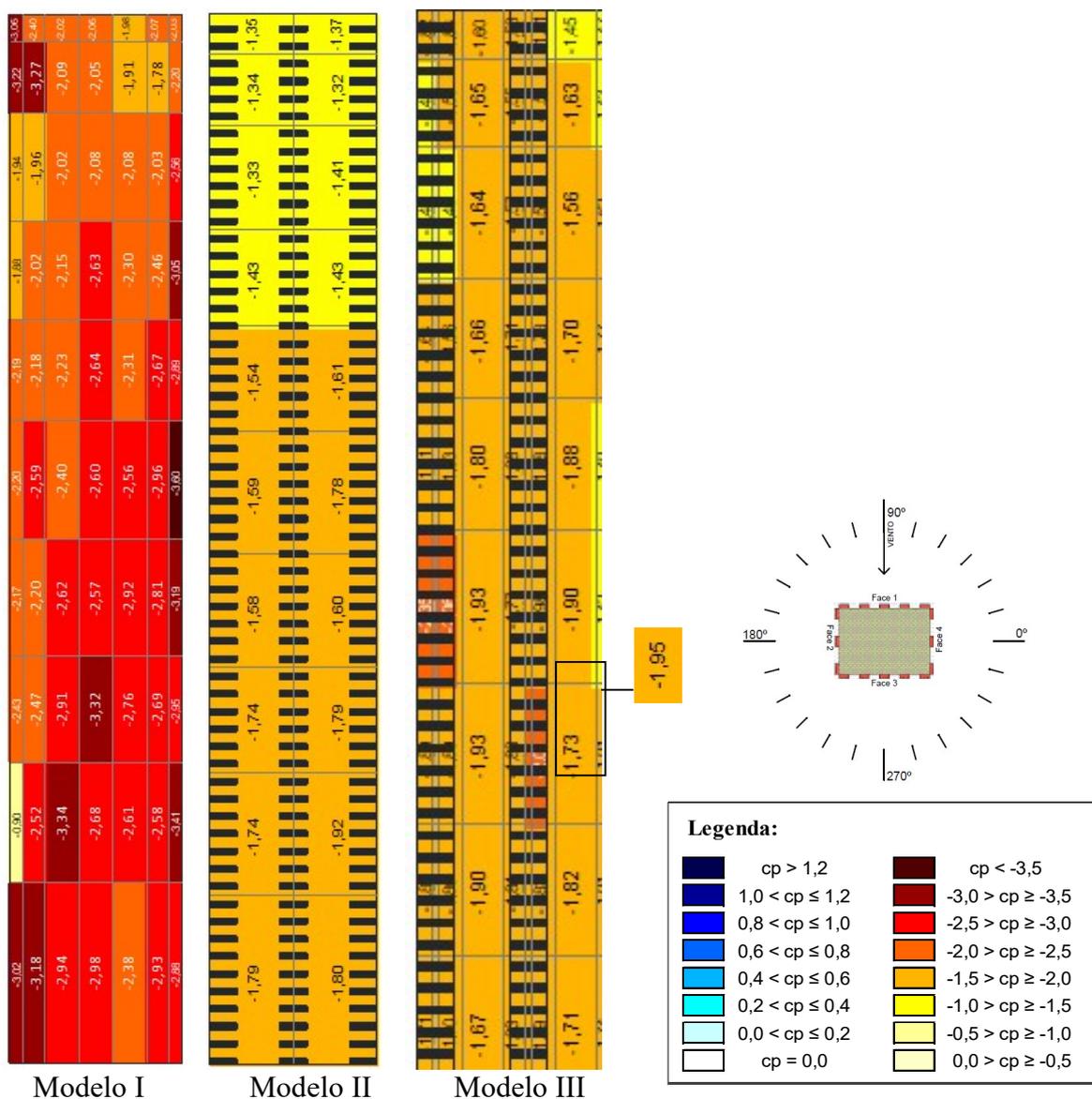


Figura 5.31: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 90° (fonte: autora)

Para 105°, os maiores coeficientes de pico mínimo estão localizados na porção esquerda, principalmente no canto superior, onde constata-se valor superior ao ângulo anterior. Todavia, com a adição da sacada e do fechamento, para o Modelo II e III, nota-se decrementos muito significativos em relação ao Modelo I, onde tem-se -3,45, para -1,34 e -2,01, em relação ao Modelo II e III, como pode-se confirmar através da Figura 5.32. Ademais, somente no canto superior direito os casos com acessórios apresentam coeficiente de pico mínimo superior ao

modelo de referência. E ainda, vale ressaltar que os valores do Modelo III são superiores ao Modelo II, exceto no canto inferior direito.

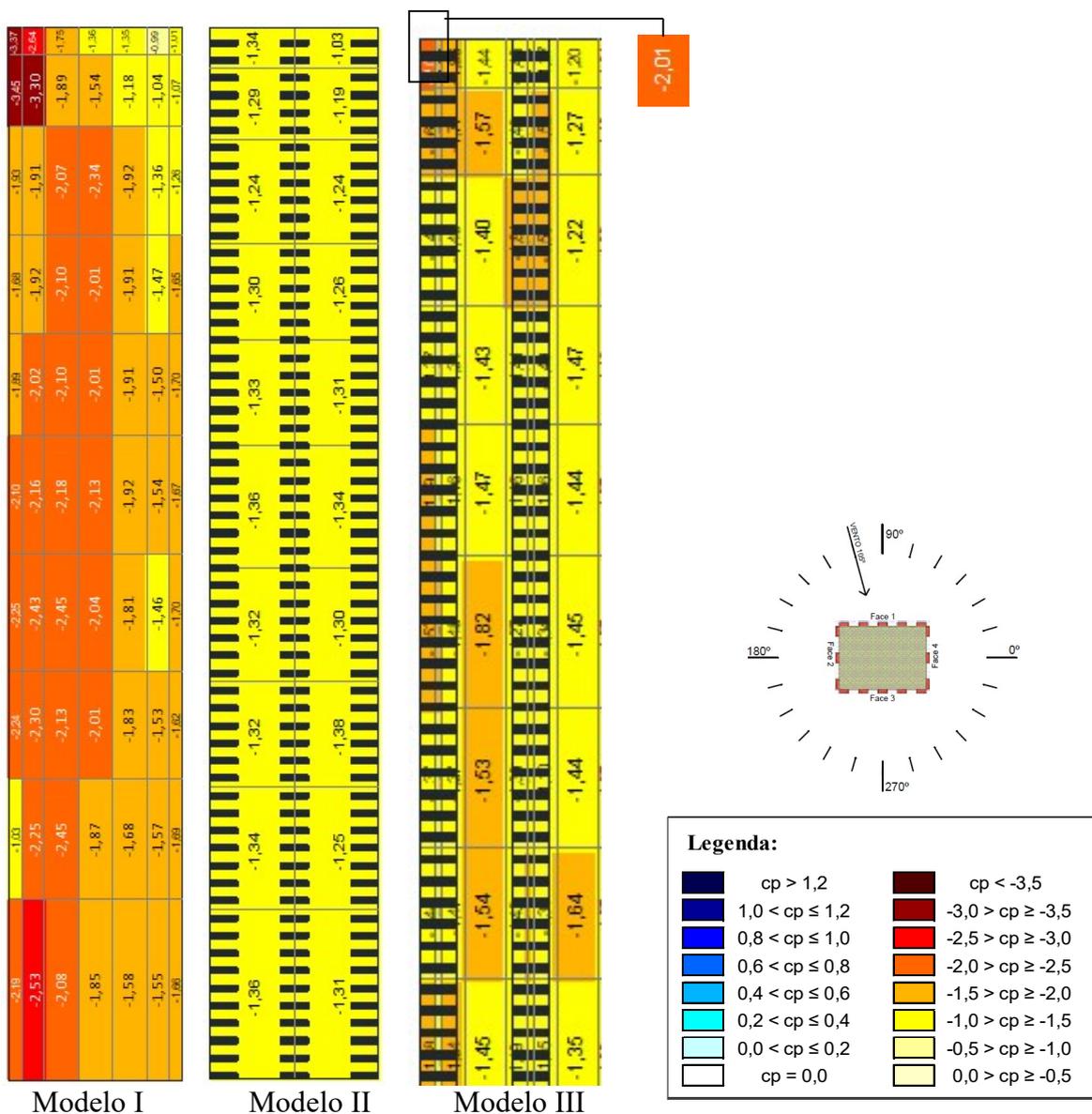


Figura 5.32: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 105° (fonte: autora)

Com azimute de 120°, na face analisada tem-se diminuição significativa dos coeficientes de pico mínimo, apresentando valores próximos a metade dos obtidos no ângulo anterior, exceto na lateral esquerda, todavia o mesmo também apresentou diminuição. Para o Modelo I, ainda tem-se valores superiores a 1,5, os quais estão localizados no topo e na lateral da metade esquerda. A maior redução está na lateral esquerda, onde para o Modelo I, II e III, respectivamente, obteve-se -1,55, -0,87 e -1,12. Os coeficientes de pico mínimos são

inferiores ao modelo de referência na maioria dos casos, salvo a metade direita. Além disso, somente o topo e base da faixa central são maiores no Modelo II em comparação ao Modelo III, onde os demais são sempre menores.

No intervalo entre  $135^\circ$  e  $225^\circ$ , além das sucções, tem-se também sobrepressões, em todos os modelos. Dá-se início aos coeficientes positivos na metade esquerda, os quais na sequência, com o aumento dos azimutes de  $15^\circ$  em  $15^\circ$ , passam a atingir a metade direita. O maior valor localizado é de  $-0,91$ , no ângulo de  $225^\circ$ , encontrado no Modelo I, na lateral direita. Para essa mesma área e azimute, para as demais edificações encontrou-se  $-0,24$  e  $-0,52$ , respectivamente, para o Modelo II e III, ou seja, apresentando diminuição acentuada com a presença de sacada aberta, aumentando ao adicionar o fechamento, mas ambos apresentando situação inferior ao caso com faces lisas.

Já para  $240^\circ$ , no Modelo I, II e III tem-se somente sucções. Para tal azimute, tem-se como comportamento valores superiores ao Modelo I, estando localizados em toda metade esquerda no Modelo III e na lateral esquerda para o Modelo II. Ademais, no Modelo II todos os valores são inferiores a  $-1,0$ , enquanto no Modelo I e III tem-se superiores no centro, canto superior e lateral direita. Nesse último, os valores variaram de  $-1,48$ , para  $-0,89$  e  $-1,17$ , respectivamente, para o Modelo I, II e III, sendo este o maior coeficiente de pico máximo encontrado para a edificação somente com a presença de varanda para tal ângulo de incidência do vento. Para o modelo de referência e a situação com varanda e fechamento, o maior valor desse azimute está no canto superior direito, apresentando  $-1,55$  para ambos e  $-0,72$  para o Modelo II.

Para  $255^\circ$ , nota-se elevação expressiva nos coeficientes de pico mínimos, conforme pode-se observar na Figura 5.33. Para o Modelo I, os valores ficam entre  $-0,94$  e  $-3,63$ , enquanto para o Modelo II apresenta-se entre o intervalo de  $-1,16$  e  $1,65$  e para o Modelo III entre  $-1,27$  e  $-2,23$ . É unânime entre as edificações analisadas que o menor coeficiente está localizado no canto superior esquerdo, onde somente para esse ponto tem-se que os casos com sacada possuem valores superiores em relação a edificação lisa. Para o Modelo I e III, o maior está no canto superior direito, já para o Modelo II foi localizado na lateral esquerda.

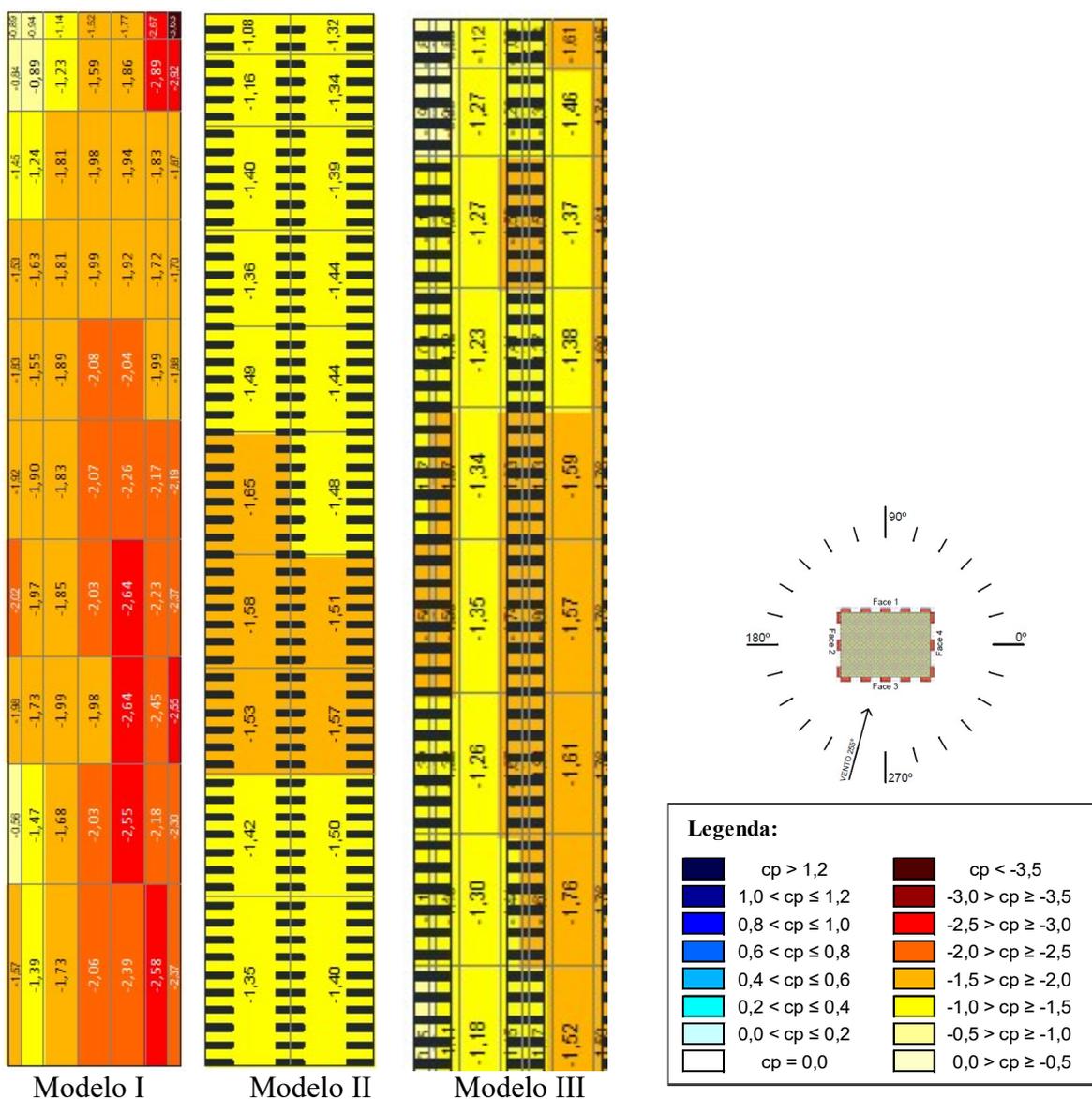


Figura 5.33: Distribuição de coeficientes de pressão de pico mínimo, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 255° (fonte: autora)

Quando o vento atinge a face em questão de forma paralela, aos 270°, tem-se aumento significativo nos coeficientes em todas as áreas. Vale destacar que para os casos onde tem-se a presença dos acessórios, os valores são inferiores a edificação lisa, sendo mais expressivas as reduções quando adiciona-se somente sacada. O maior decremento ocorre na lateral esquerda onde para o Modelo I tem-se -3,49, o maior coeficiente encontrado para tal azimute, diminuindo para -1,69 e -2,26, respectivamente, para o Modelo II e III. Os valores encontrados são similar aos com ângulo de 90°, todavia de forma espelhada.

Entre 285° e 345°, os maiores coeficientes foram localizados na metade esquerda e na base, os quais apresentam decréscimos significativos quando comparado o Modelo I com os demais. No primeiro azimute, no canto superior esquerdo, seguindo a ordem de Modelo I, II e III, tem-se uma redução de -2,35 para -1,39 e -1,60, enquanto para o canto inferior esquerdo, constatou-se diminuição de -2,81 para -1,70 e -1,49, mantendo a mesma conjuntura. Para os demais, para a grande maioria das áreas, os coeficientes mínimos são mais elevados no modelo de referência em relação as edificações com acessórios, onde tem-se poucos valores superiores a -2.0.

## 5.4 COEFICIENTE DE PRESSÃO DE PICO MÁXIMO

### 5.4.1 Face 1

Para o ângulo de 0°, onde tem-se o vento agindo de forma paralela a face em questão, e para 15°, tem-se a ocorrência de sobrepressão e sucção. Para o Modelo I, tem-se predomínio dos valores positivos, os quais verificam-se em mais da metade das regiões, enquanto para o Modelo II e Modelo III tem-se somente sobrepressão em poucas áreas, todavia aparecendo mais na situação com fechamento e varanda. Para o primeiro azimute, em valores, o Modelo III apresenta coeficientes inferiores ao Modelo I, exceto no canto inferior esquerdo, enquanto para 15°, em comparação ao Modelo I, para os Modelos II e III, os quais possuem sacada, os valores aumentam em toda metade direita.

Para 30°, ainda nota-se o cenário de valores positivos e negativos para os Modelos I e III, onde esses últimos estão localizados principalmente na porção direita, todavia para o Modelo II tem-se sobrepressão em sua totalidade. Em relação ao modelo de referência, as edificações com sacada apresentam diminuição dos coeficientes máximo, todavia observa-se aumento na metade direita, como pode-se verificar na Figura 5.34. Para tal, os maiores valores estão dispostos na esquerda, principalmente na lateral, onde encontra-se 0,76, 0,58 e 0,55, respectivamente, para o Modelo I, II e III.

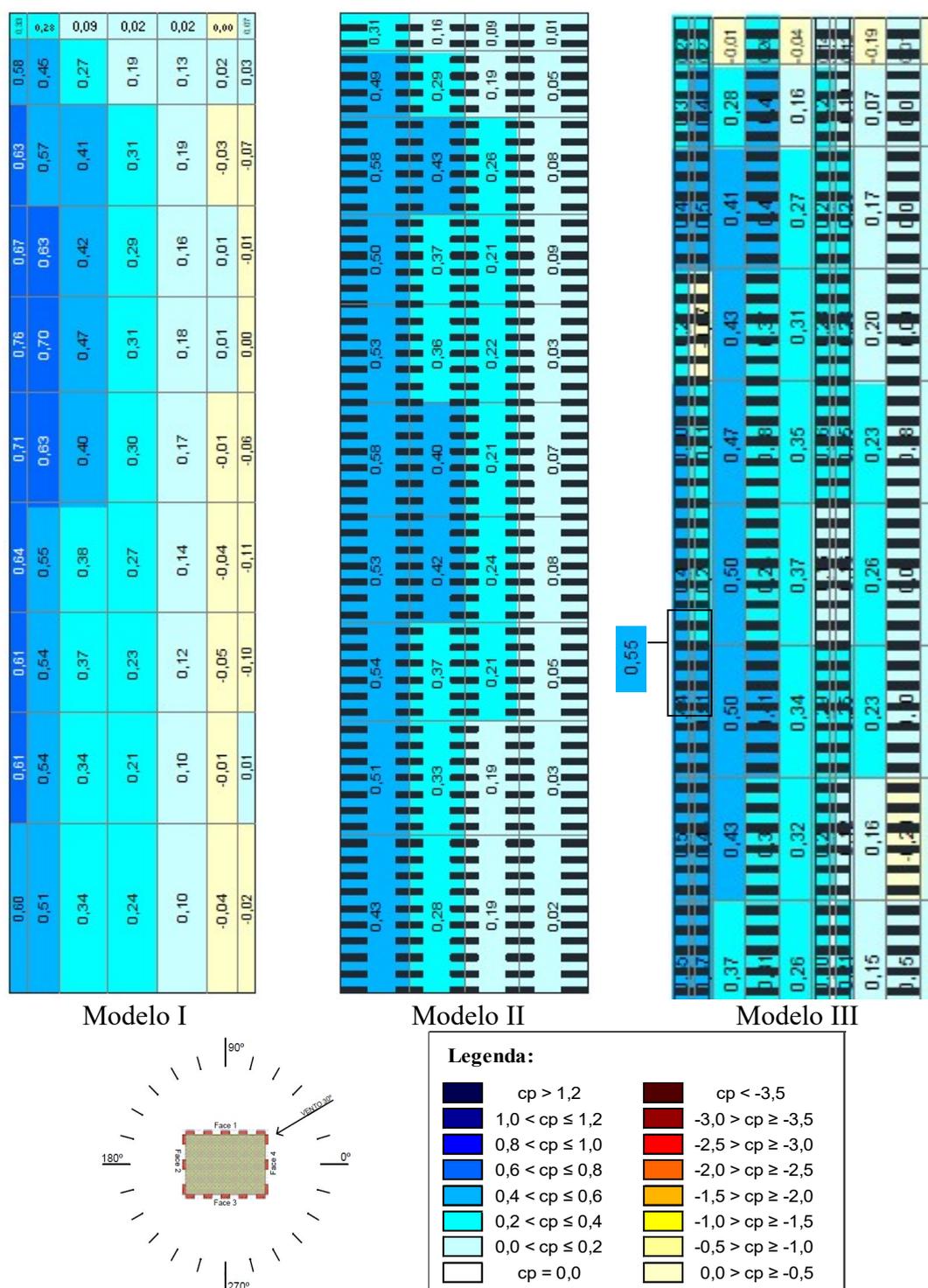


Figura 5.34: Distribuição de coeficientes de pressão de pico máximo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 30° (fonte: autora)

Para o azimute subsequente, a 45°, somente no Modelo III, em alguns pontos da porção direita ainda observa-se sucções, enquanto os demais contam apenas com sobrepressões. Dá mesma forma que ocorreu para o ângulo de 30°, também verifica-se que os maiores coeficientes estão

localizados na esquerda, onde na lateral tem-se valores superiores a 1,00 para todos os casos e, além disso, novamente é verificado coeficientes maiores na metade direita com a presença de varanda. Para esse ângulo, os menores valores estão dispostos no canto inferior direito, apresentando 0,11, 0,22 e 0,25, para a edificação lisa, a situação somente com sacada e a conjuntura que possui varanda e fechamento.

Com azimute de 60°, para todos os modelos somente é verificada a presença de sobrepressões, onde nota-se que os coeficientes máximos apresentam valores superiores a 1,0 no centro, canto superior e lateral esquerda. Como pode-se observar na Figura 5.35, os maiores valores estão localizados nesse último, onde para o modelo de referência tem-se 1,18, diminuindo para 1,05 quando conta somente com varanda e para 1,14 para as situações que além da varanda adiciona-se também o fechamento. Nota-se também aumento dos valores na metade direita com a presença de sacada. Para o Modelo I, os coeficientes máximos estão entre o intervalo de 1,18 e 0,32, enquanto para o Modelo II estão entre 1,09 e 0,58 e o Modelo III entre 1,17 e 0,76.

Quando o vento incide a 75° nota-se um incremento nos coeficientes máximos, apresentando, para algumas áreas, os maiores valores analisados. No Modelo I, II e III tem-se somente sobrepressões, apresentando valores próximos, mas sendo superiores, na maioria dos casos quando tem-se a presença de sacada. Novamente, os maiores valores estão na lateral esquerda e os menores estão localizados no canto inferior direito, onde, conforme Figura 5.36, na ordem do Modelo I, II e III, tem-se 0,46, 0,58 e 0,78.

Com o vento atuando de forma perpendicular a face em análise, observa-se ocorrência somente de sobrepressão nas edificações analisadas. Ademais, para o caso com varanda e fechamento, os coeficientes máximos são superiores ao modelo de referência em todos os pontos. No canto superior esquerdo está localizado o maior valor para o Modelo III, sendo de 1,19, o qual observa-se um aumento em relação aos demais, os quais apresentaram 0,84 e 0,94, sendo o menor encontrado na edificação lisa.

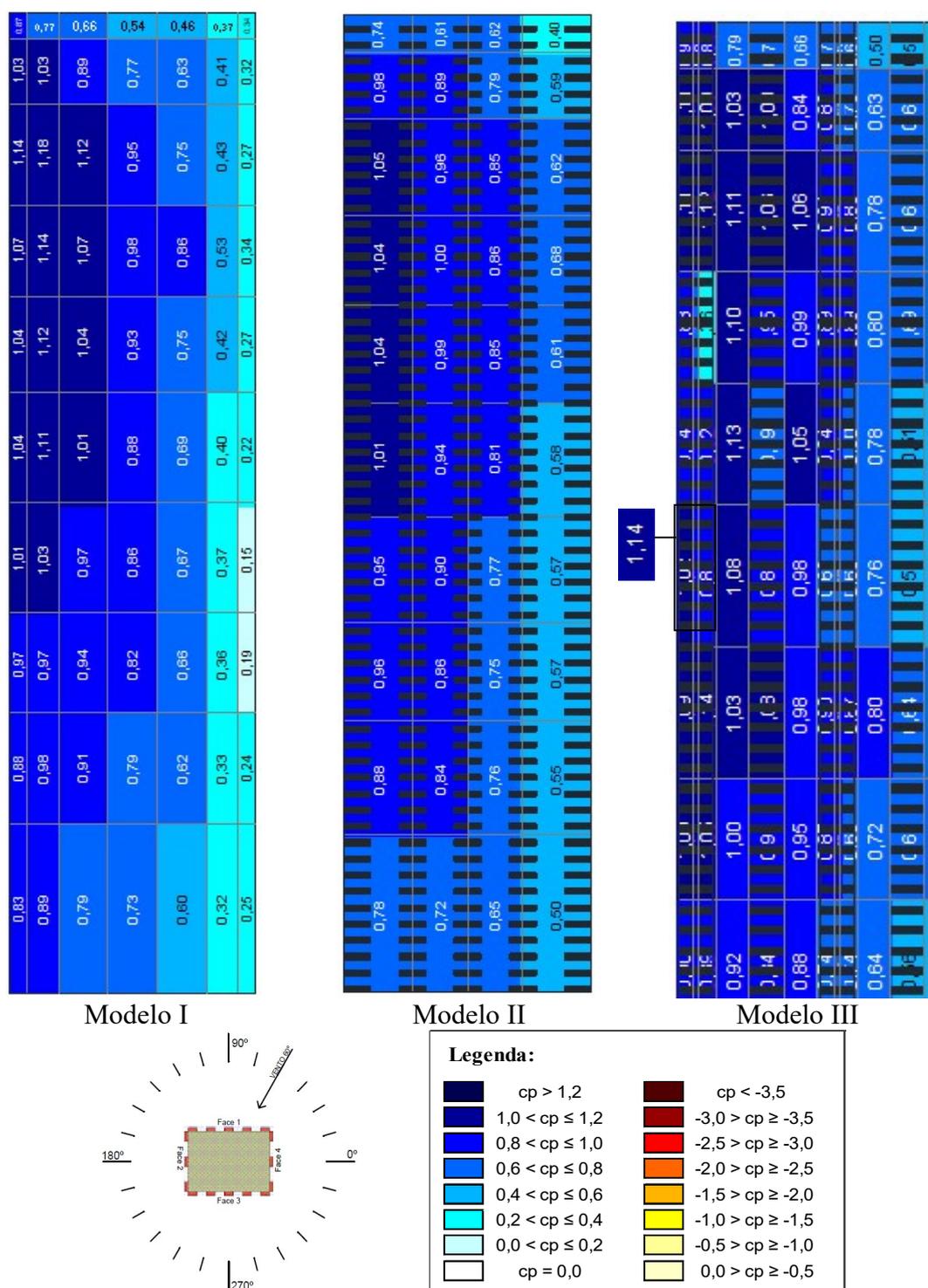


Figura 5.35: Distribuição de coeficientes de pressão de pico máximo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 60° (fonte: autora)

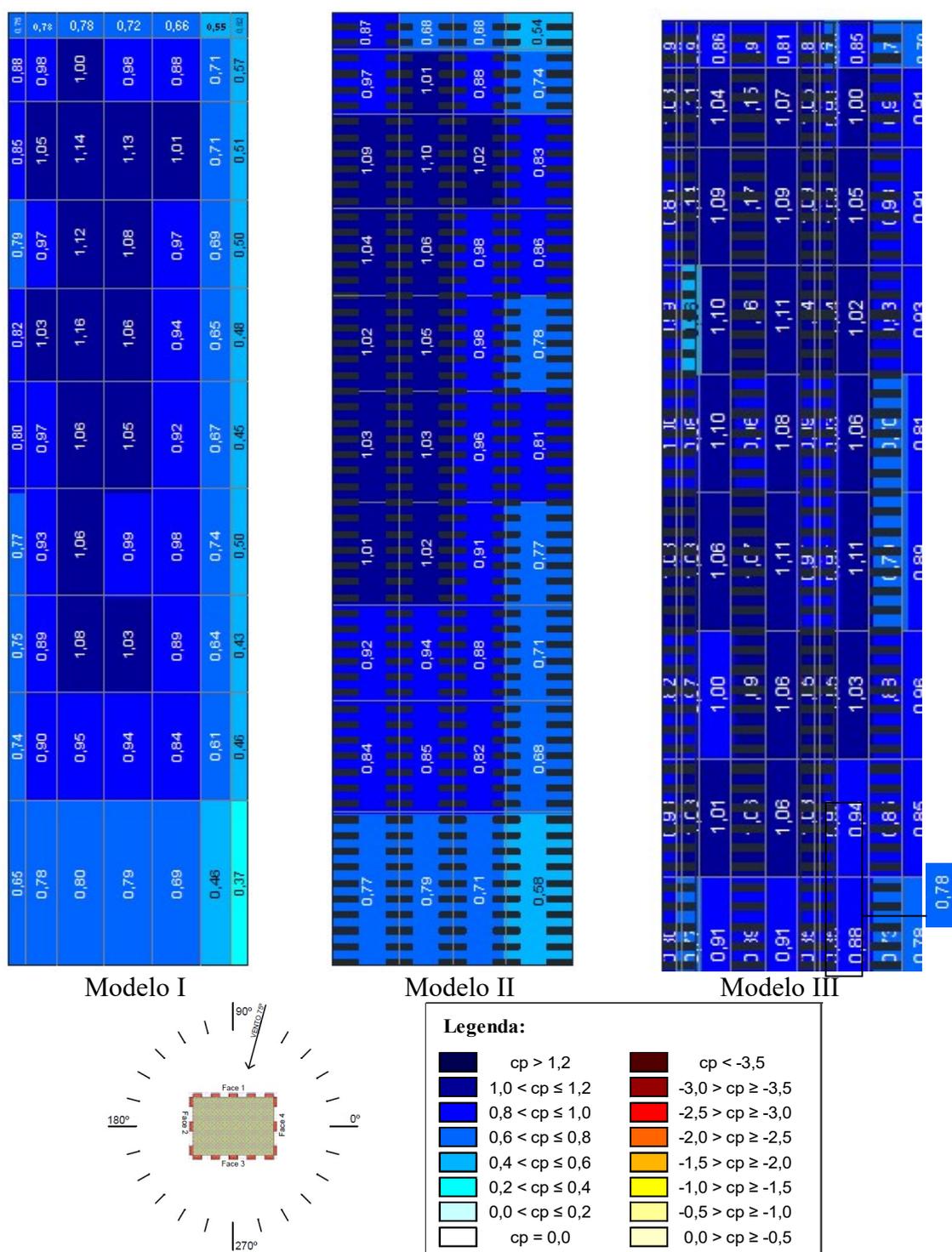


Figura 5.36: Distribuição de coeficientes de pressão de pico máximo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 75° (fonte: autora)

Para 105°, tem-se novamente somente valores positivos para o Modelo I, II e III. Para esse, na metade direita e esquerda, os coeficientes máximos são maiores nas edificações com sacada em relação ao modelo liso, exceto na base. Dessa vez, os maiores valores estão localizados no centro, canto superior e na lateral direita, onde para esse último tem-se variação de 1,05, para

1,15 e 1,18, comparando o Modelo I, II e III. Vale destacar também que, de acordo com a Figura 5.37, os menores valores passam a ser encontrados no canto inferior esquerdo, onde tem-se 0,5, 0,6 e 0,7, seguindo a mesma ordem.

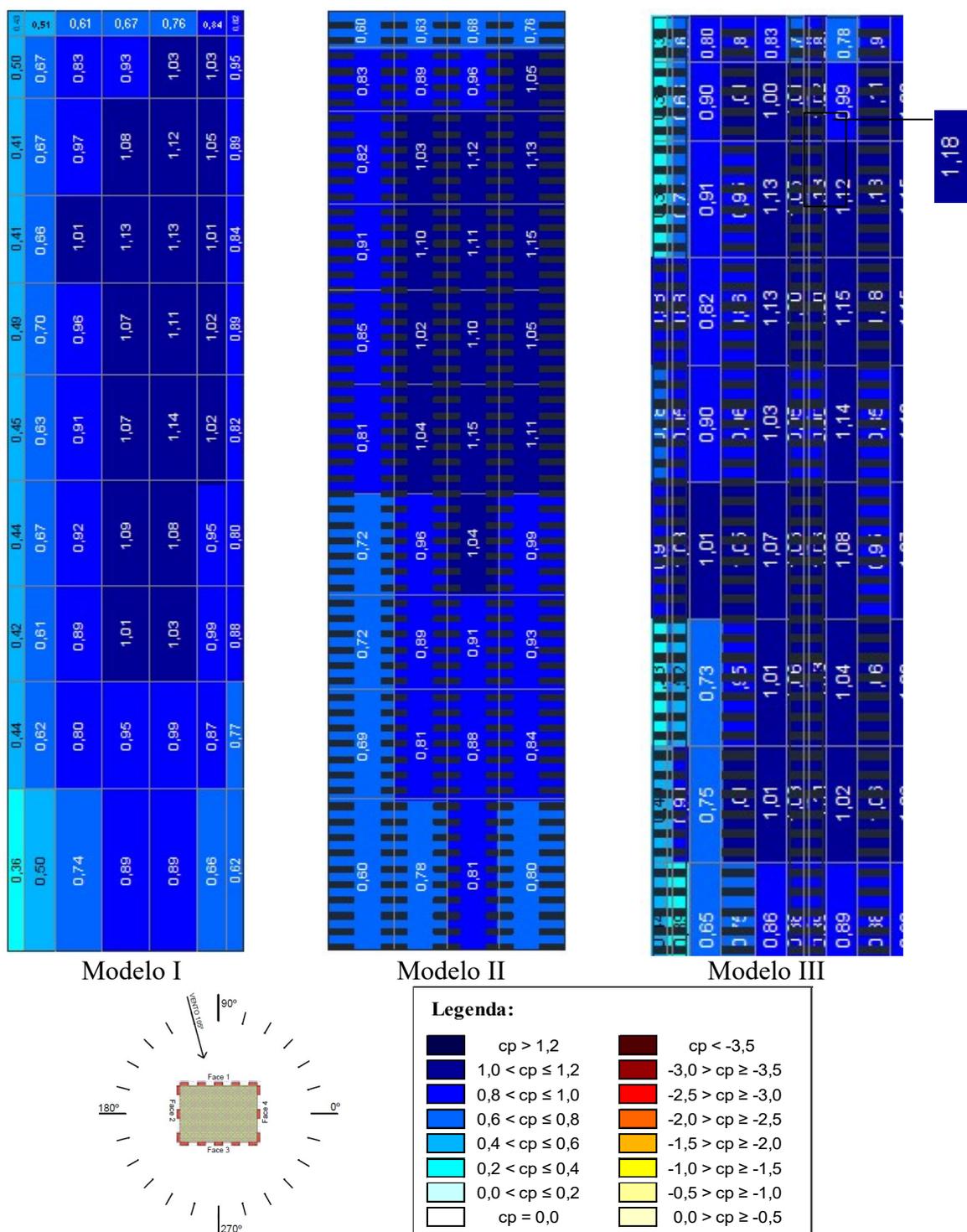


Figura 5.37: Distribuição de coeficientes de pressão de pico máximo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 105° (fonte: autora)

Com ângulo de  $120^\circ$ , não é verificado nenhuma área de sucção, como consta na Figura 5.38. Para os modelos analisados, os maiores valores estão na lateral direita, canto superior direito e centro, seguindo essa ordem para todas as edificações em questão. Ademais, os menos valores estão no canto inferior esquerdo, sendo de 0,35, relativo ao modelo de referência e de 0,47 e 0,56, respectivamente, para ao Modelo II e III. Em comparação ao Modelo I, somente o centro, a base, o canto superior e lateral direita do Modelo II apresentam coeficiente máximo inferior a edificação lisa pois no Modelo III todos os valores são superiores.

Para o intervalo de  $135^\circ$  e  $150^\circ$ , nota-se a ocorrência de sucção e sobrepressão, exceto para o Modelo II no primeiro azimute. O aparecimento dos valores negativos ocorre principalmente na metade esquerda, apresentando valor máximo de -0,33 e -0,38, respectivamente para  $135^\circ$  e  $150^\circ$ , ambos para o Modelo III na base central. Para todos, os maiores valores estão localizados na lateral direita, onde para o ângulo do vento de  $135^\circ$  tem-se 1,19, 0,96 e 1,12, nessa ordem, para Modelo I, II e III, enquanto que para o aumento do ângulo tem-se diminuição, expondo 0,72, 0,59 e 0,61, seguindo a mesma ordem.

Para os azimutes seguintes, onde o ângulo de incidência do vento é de  $165^\circ$  e  $180^\circ$ , tem-se predomínio quase total de sucção para os Modelos II e III, enquanto para o modelo de referência ainda há grande presença de valores positivos. Para o Modelo I, ocorre sobrepressão no centro para o primeiro azimute e na lateral esquerda para o segundo, mas o valor máximo é de 0,28, enquanto para o Modelo II somente ocorre no canto inferior esquerdo e no Modelo III em alguns pontos da faixa central, como pode ser notado na Figura 5.39. Quanto aos valores negativos, os maiores são encontrados no canto superior direito, onde no ângulo de  $165^\circ$  encontrou-se -0,50, -0,48 e -0,64.

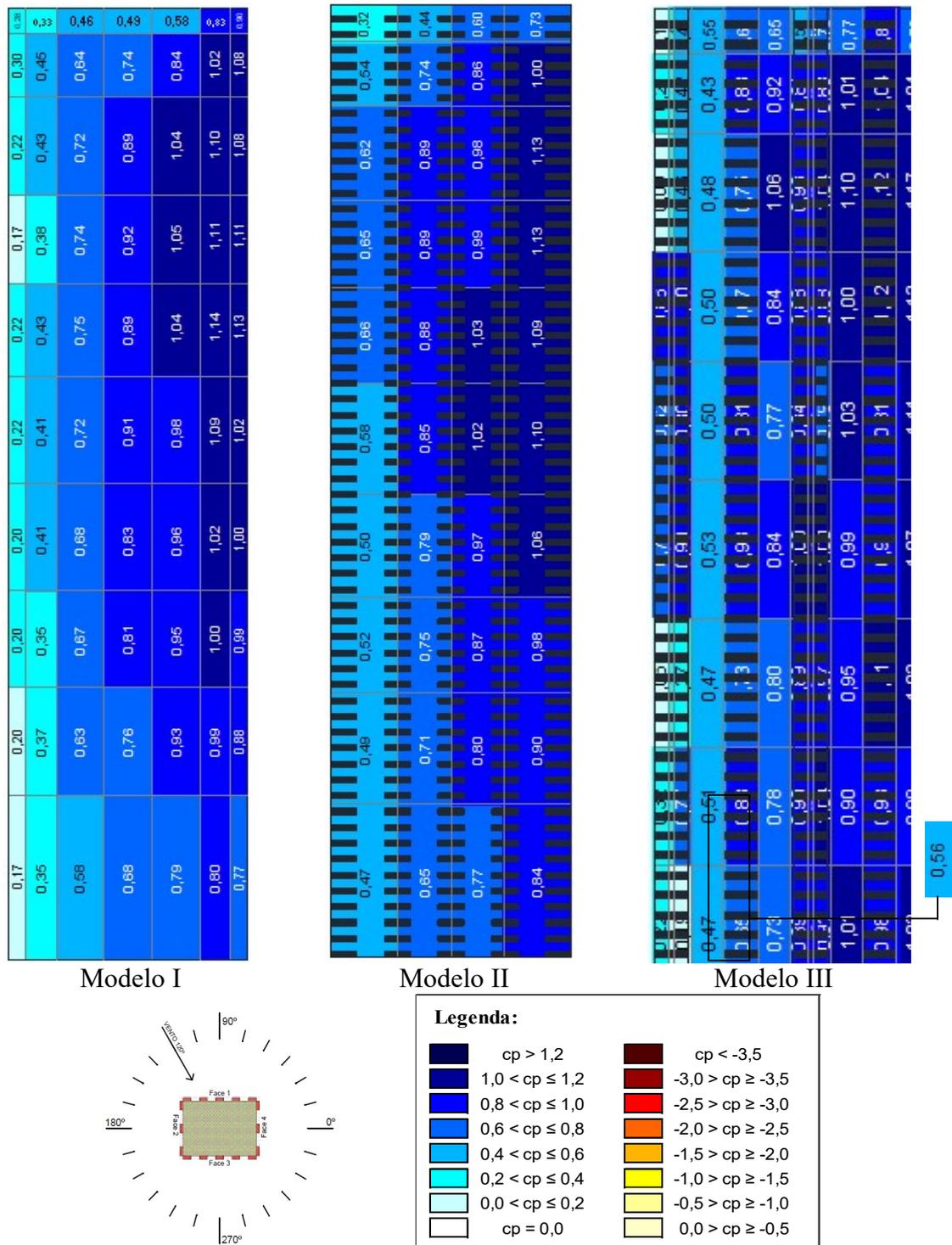


Figura 5.38: Distribuição de coeficientes de pressão de pico máximo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 120° (fonte: autora)

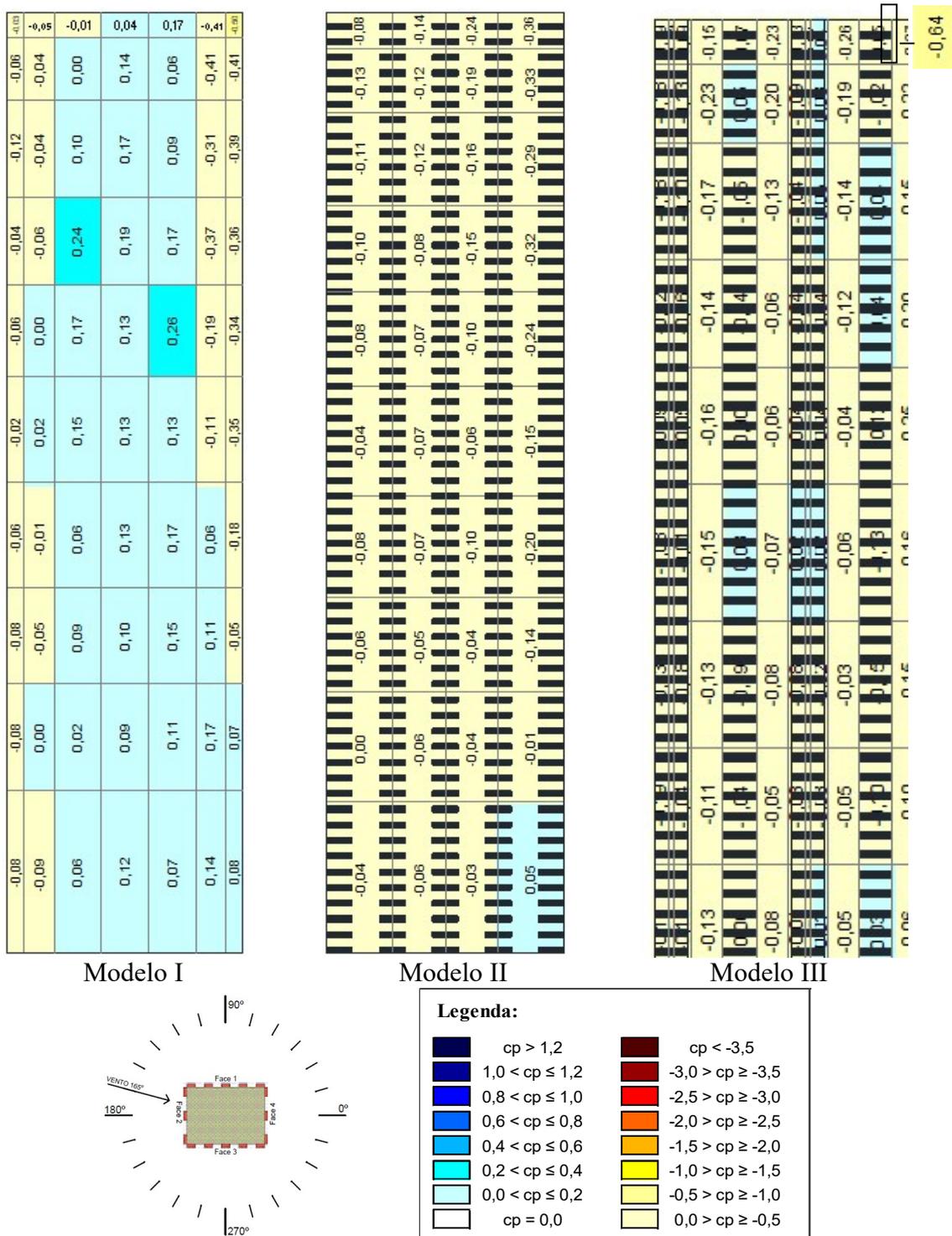


Figura 5.39: Distribuição de coeficientes de pressão de pico máximo, externos, na face 1 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 165° (fonte: autora)

Para finalizar, entre 195° e 340° ocorre apenas sucções para os casos de edificação lisa, sacada e sacada e fechamento, apresentando valores próximos para todos os casos, onde para o

Modelo I todos os valores são inferiores a -0,35 e para o Modelo II e III são todos menores que -0,4.

#### 5.4.2 Face 2

Com azimute de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , onde a face em análise fica localizada a sotavento, nota-se somente a ocorrência de sucção, exceto para o primeiro e o último ângulo de incidência do vento. Para o Modelo I com  $0^\circ$ , nota-se valores positivos, respectivamente, na lateral direita, enquanto para  $90^\circ$  somente é constatado na metade direita. Para esses, todos os valores são inferiores a -0,5, sendo os menores encontrados entre os dados ensaiados.

Para o ângulo subsequente, a  $105^\circ$ , tem-se valores positivos em diversos pontos no Modelo I, enquanto para o Modelo II somente tem-se sucção e para o Modelo III há pouca ocorrência de sobrepressão, conforme pode-se observar na Figura 5.40. É unânime que o maior coeficiente máximo para tal azimute é encontrado no canto superior esquerdo, onde expressa, para o Modelo I, II e III, respectivamente, -0,64, -0,44 e -0,45. Quanto aos valores positivos, tem-se 0,19 para a lateral direita e 0,14 para o centro do Modelo I e 0,05 no centro do Modelo III, enquanto nenhuma sobrepressão é encontrada no Modelo II.

Para  $120^\circ$  e  $135^\circ$ , no Modelo I e III tem-se predomínio de valores positivos, todavia ainda nota-se valores negativos na parte esquerda, enquanto para o Modelo II ocorre somente sobrepressão. Vale destacar que os valores aumentam consideravelmente do ângulo de  $120^\circ$  para  $135^\circ$ , sendo em menor proporção na metade direita. Para o primeiro ângulo, os coeficientes máximos encontrados são inferiores a 0,45, em módulo, e para o segundo o maior localizado é de 1,05, ambos encontrados na lateral esquerda do Modelo I.

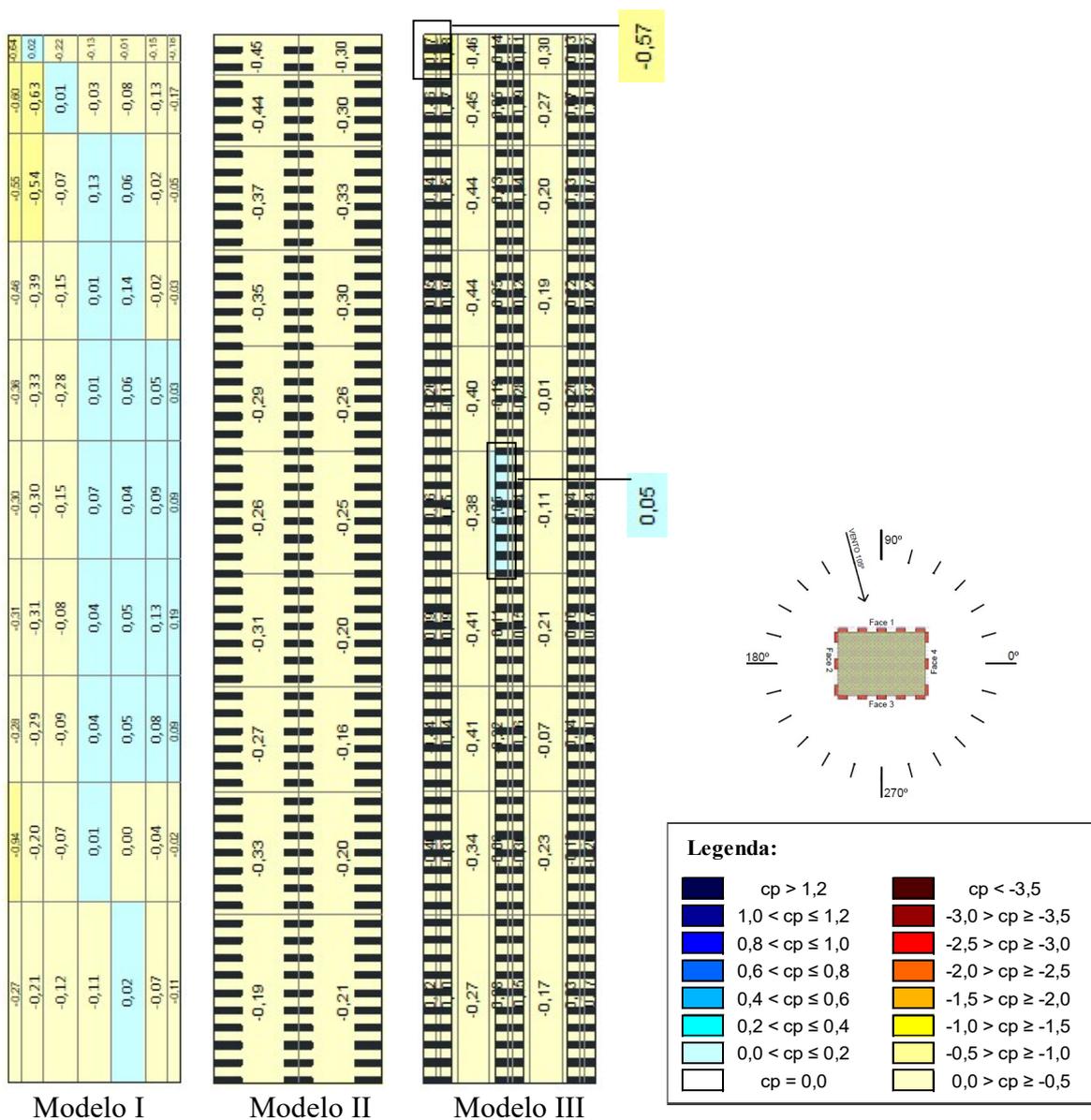


Figura 5.40: Distribuição de coeficientes de pressão de pico máximo, externos, na face 2 dos Modelos I, II e III, respectivamente, referente ao azimute de 105° (fonte: autora)

Os maiores coeficientes máximos para os modelos analisados foram encontrados para a incidência do vento de 150° e 165°. Para ambos, tanto para o Modelo, II e III, somente ocorre sobrepressão. Para esses ângulos, os maiores valores estão no centro e na metade esquerda, principalmente na lateral, onde para o primeiro ângulo tem-se 1,15 para a edificação lisa, diminuindo para 1,06 com a presença de sacada e aumentando para 1,19 quando além da varanda é adicionado também o fechamento. Para 165°, seguindo a mesma ordem e a mesma posição, tem-se 1,03, 1,16 e 1,15. Ademais, tem-se um aumento considerável dos coeficientes máximos na metade direita, onde para o vento de 150° parte de 0,42 no modelo de referência, aumentando para 0,78 e 0,85 para o Modelo II e III, enquanto para o vento de 165°, como





tem-se apenas valores negativos. Enfim, de 270° a 345°, não é verificada nenhuma situação divergente, apresentando apenas sucções para todos os modelos.

## 5.5 RESUMO E COMENTÁRIOS

Tendo em vista as diversas análises apresentadas, o item em questão busca sintetizar as principais alterações observadas quando comparado a edificação com faces lisas, a qual foi utilizada de referência, com as situações em que há presença de sacadas e sacadas com fechamentos. Ademais, juntamente com essas, tem-se a comparação com as verificações dos de outros autores, como já exposto anteriormente, quanto aos efeitos do vento em diferentes edificações com sacada.

Primeiramente, é necessário destacar que, conforme pode-se notar nos diagramas que repercutem os dados obtidos, os resultados não são perfeitamente simétricos, constando que há pequenas imperfeições na execução do ensaio. As divergências entre as faces opostas podem ser oriundas das irregularidades na montagem do modelo e das intervenções do teste, tais como a precisão do posicionamento do ângulo de incidência do vento entre o túnel de vento e a edificação. Tal discrepância foi ignorada, fazendo as observações conforme os dados obtidos no ensaio.

Quanto a Face 1, ao comparar o coeficiente de pressão média entre o modelo de referência (Modelo I), o qual apresenta a superfície lisa, com o caso com adição de sacada (Modelo II) e com adição de sacada e fechamento (Modelo III), nota-se que a presença de sacadas, com e sem fechamento, provoca alterações mais expressivas do coeficiente de pressão entre os ângulos de 0° e 180°, onde o vento incide diretamente na fachada em análise. As sobrepressões, para os três modelos, iniciam na metade esquerda e centro aos 30° e se estendem para a direita até desaparecerem aos 150°, apresentando as maiores elevações entre 60° e 120°, as quais se destacam primeiramente na esquerda, no centro para 90° e, em seguida, se acentuando na direita. Já para as sucções, vale ressaltar os azimutes de 0°, 15°, 165° e 180°, onde a ocorrência do vento é de forma praticamente paralela a face em questão, dispondo assim dos valores mais elevados, também sendo maiores na esquerda para os dois primeiros e superiores na direita para os demais. Entre 0° e 180°, verifica-se que, ao comparar com o Modelo I, tem-se aumento das sobrepressões médias para as regiões de topo para o Modelo II

e III, enquanto para as sucções nota-se aumento nas magnitudes nas regiões próximas as arestas laterais de sotavento para o Modelo III e diminuição para o Modelo II. Finalmente, entre  $195^\circ$  e  $345^\circ$ , nas situações com sacada obtém-se valores menores que a edificação lisa para a maioria dos pontos. Ademais, é importante frisar que para a maioria das áreas, os valores são superiores para o Modelo III em relação ao Modelo II.

No entanto, na análise dos coeficientes de pressão r.m.s., observa-se pequenas mudanças entre as edificações. Para tal, os maiores valores foram encontrados no ângulo de incidência do vento de  $0^\circ$  e  $180^\circ$ , que é a situação em que a Face 1 fica situada a barlavento da incidência do vento. Para esse intervalo, nota-se a diminuição dos valores quando há a presença dos acessórios para a maioria dos pontos, todavia tem-se diversos pontos de medição onde foram detectados aumentos, principalmente para as extremidades e para o Modelo III. Novamente, é possível afirmar que os valores do Modelo III são maiores em relação ao Modelo II.

Para os coeficientes de pico máximos e mínimos, há grande variação ao relacionar o modelo de referência com as edificações que possuem a incorporação das sacadas. Para o primeiro, atenta-se que as maiores sobrepressões ocorrem entre  $45^\circ$  e  $135^\circ$ , apresentando os valores superiores para cada área distribuídos ao decorrer de tal intervalo, da esquerda para a direita. Além disso, nota-se a predominância de aumento dos coeficientes de pico máximo dos Modelos II e III em relação ao Modelo I, todavia para  $0^\circ$  a  $180^\circ$  também há tal ocorrência, todavia nota-se alguns pontos em que os valores são inferiores ao modelo de referência. Entretanto, para os coeficientes de pico mínimos, o qual envolve as sucções, tem-se que os valores mais significativos estão localizados com o vento incidindo a  $0^\circ$ ,  $180^\circ$  e  $270^\circ$ . Ademais, para a face 1, é praticamente unânime que os valores obtidos para o Modelo II são inferiores ao Modelo I, enquanto que o Modelo III, entre  $0^\circ$  e  $180^\circ$ , onde a face 1 está a barlavento, revela aumento em quase todos os pontos e também para  $225^\circ$  e  $300^\circ$ . Reforça-se, outra vez, que para o coeficiente de pico mínimo, o Modelo III apresenta valor superior ao Modelo II e o mesmo se repete para o coeficiente de pico máximo entre  $0^\circ$  e  $180^\circ$ , todavia para o restante acontece o inverso, sendo com varanda e fechamento inferior ao modelo com somente sacada.

Para a melhor compreensão da ação do vento atuando na face 1, é mostrado na Tabela 5.1 os coeficientes característicos relativos as diferentes regiões, o qual foi anteriormente estabelecida, e na Tabela 5.2 em qual ângulo foi encontrado. Nas mesmas, adotou-se os

símbolos  $\bar{C}_{pe}$ ,  $\bar{C}_p$ ,  $\hat{C}_p$  e  $\check{C}_p$ , os quais representam, respectivamente, os coeficientes adimensionais de pressão média, r.m.s., de pico máximo e de pico mínimo, sendo todos determinados na superfície externa das fachadas.

Tabela 5.1: Coeficientes aerodinâmicos característicos por região da face 1

Modelo	Coefficiente de pressão	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
I	$\bar{C}_{pe}$ (menor)	-0,99	-0,86	-0,80	-0,94	-0,89	-0,79	-1,01	-0,88	-0,81
	$\bar{C}_{pe}$ (maior)	0,73	0,80	0,31	0,69	0,81	0,36	0,74	0,81	0,31
	$\hat{C}_{pe}$	0,23	0,31	0,22	0,22	0,31	0,27	0,22	0,30	0,24
	$\check{C}_{pe}$	-2,28	-2,45	-2,64	-1,94	-2,38	-2,62	-2,37	-2,65	-2,17
	$\bar{C}_{pe}$	1,03	1,18	0,89	1,03	1,16	0,89	1,08	1,19	0,81
II	$\bar{C}_{pe}$ (menor)	-0,81	-0,72	-0,77	-0,79	-0,72	-0,70	-0,78	-0,75	-0,68
	$\bar{C}_{pe}$ (maior)	0,73	0,80	0,70	0,70	0,81	0,37	0,72	0,82	0,34
	$\hat{C}_{pe}$	0,13	0,17	0,17	0,13	0,18	0,17	0,14	0,18	0,16
	$\check{C}_{pe}$	-1,25	-1,60	-1,47	-1,39	-1,55	-1,70	-1,35	-1,58	-1,68
	$\bar{C}_{pe}$	0,98	1,09	0,78	1,01	1,14	0,81	1,05	1,15	0,84
III	$\bar{C}_{pe}$ (menor)	-1,11	-0,92	-0,82	-0,89	-1,00	-0,68	-1,26	-1,00	-0,80
	$\bar{C}_{pe}$ (maior)	0,79	0,84	0,37	0,75	0,83	0,39	0,79	0,84	0,34
	$\hat{C}_{pe}$	0,19	0,22	0,20	0,18	0,22	0,20	0,22	0,25	0,19
	$\check{C}_{pe}$	-1,82	-2,05	-1,77	-1,58	-1,97	-1,77	-1,93	-2,21	-1,88
	$\bar{C}_{pe}$	1,19	1,17	0,84	1,14	1,16	0,88	1,16	1,18	0,86

(fonte: autora)

Tabela 5.2: Ângulo de incidência em que está posicionado o coeficiente aerodinâmico característico por região da face 1

Modelo	Coeficiente de pressão	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
I	$\bar{C}_{pE}$ (menor)	15°	15°	0°	0°	0°	0°	165°	165°	180°
	$\bar{C}_{pE}$ (maior)	60°	60°	60°	75°	90°	90°	120°	120°	120°
	$\bar{C}_{pE}$	30°	180°	0°	15°	15°	180°	150°	0°	180°
	$\bar{C}_{pE}$	195°	195°	0°	195°	270°	270°	165°	180°	270°
	$\bar{C}_{pE}$	60°	60°	60°	105°	75°	105°	120°	135°	135°
II	$\bar{C}_{pE}$ (menor)	15°	15°	0°	0°	0°	0°	165°	165°	165°
	$\bar{C}_{pE}$ (maior)	60°	60°	60°	75°	90°	90°	105°	120°	120°
	$\bar{C}_{pE}$	180°	180°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
	$\bar{C}_{pE}$	0°	270°	270°	180°	270°	270°	0°	270°	270°
	$\bar{C}_{pE}$	60°	75°	60°	75°	90°	90°	105°	105°	120°
III	$\bar{C}_{pE}$ (menor)	15°	0°	0°	0°	0°	105°	165°	105°	180°
	$\bar{C}_{pE}$ (maior)	60°	75°	60°	75°	90°	90°	120°	120°	105°
	$\bar{C}_{pE}$	180°	0°	0°	0°	0°	180°	150°	270°	180°
	$\bar{C}_{pE}$	0°	345°	0°	0°	90°	285°	165°	270°	180°
	$\bar{C}_{pE}$	90°	75°	60°	90°	90°	285°	90°	105°	120°

(fonte: autora)

Para a face 1, pode-se observar que, em comparação ao Modelo I, a maioria dos valores diminuíram, com exceção de alguns pontos do coeficiente médio, do canto inferior direito de pico máximo do Modelo II e da maioria das áreas do coeficiente médio e toda a faixa superior e canto inferior direito do coeficiente de pico máximo do Modelo III. Ademais, atenta-se que para a face em questão os coeficientes mais expressivos são obtidos por diferentes ângulos de incidência, principalmente entre 0° e 180° onde a face em questão encontra-se a barlavento. É possível verificar que há variação até mesmo no ângulo em que ocorre o maior coeficiente para tal região, possuindo, em relação ao Modelo I, mais divergência no Modelo III.

Como esperado, os coeficientes médios na face 2 são superiores entre 90° e 270°, sendo a situação em que a fachada em análise fica posicionada a barlavento da incidência do vento.

Em 135°, dá-se início aos valores de sobrepressão, os quais são intensos até os 225°, sendo maiores entre 150° e 210°. Diferente desses, as maiores sucções estão concentradas quando o vento incide na edificação a 105° e 255°. Para o intervalo entre 0° e 75° as situações com sacada apresentam menores valores que o modelo de referência, enquanto entre 90° e 150° tem-se exceção na metade direita, para 165° a 270° é predominantemente maior com a presença de sacada e deste ao final, tem-se domínio dos maiores valores para o Modelo I. Como para a face 1, na face 2 as sobrepressões médias também são superiores na região de topo, enquanto que as sucções possuem maior magnitude nas arestas laterais de sotavento, todavia essas últimas são inferiores com a presença de varanda. Com exceção do ângulo 0° e 345°, para a grande maioria das áreas nota-se que os valores são superiores para o Modelo III em comparação ao Modelo II, ora esses são inferiores ao Modelo I, ora superiores, como já detalhado anteriormente.

Dá mesma forma que para a outra face analisada, a análise dos coeficientes de pressão r.m.s. para a face 2 também não indicaram grandes alterações em atenção aos diferentes modelos. Para esses, os maiores valores foram encontrados para vento à 90°, 105°, 120°, 240°, 255° e 270°, onde a face 2 fica localizada a barlavento de tal ocorrência. Nota-se que até 90° e de 270° ao final, os dados obtidos para os Modelos II e III são inferiores ao Modelo I, no entanto, nos demais não é observada uma relação, mas há predomínio de aumento dos valores. Outra vez, atenta-se que os coeficientes da edificação com varanda e fechamento é maior que o caso somente com a adição de sacada.

Quanto aos coeficientes de pico, o comportamento apresentado para a face 2 foi bem diferente para máximo e mínimo. Para o primeiro, obteve-se os maiores valores entre 150° e 210° e verifica-se predominância do aumento dos valores de coeficiente de pico máximo para os casos com sacada, todavia entre 120° e 240° observou-se alguns pontos onde o valor do modelo de referência era superior aos demais. Diferente desse, para o coeficiente de pico mínimo é rara a área que houve aumento no valor com a adição dos acessórios. Divergente ao que ocorreu na face 1, para o coeficiente de pico máximo, no intervalo entre 105° e 210°, os valores do Modelo III são superiores ao Modelo II, enquanto para os demais ângulos é inferior. Para o coeficiente de pico mínimo, em comparação ao Modelo II, os valores são sempre maiores para o Modelo III.

Para a face 2, a Tabela 5.3 apresenta os coeficientes relativos as diferentes regiões e na Tabela 5.4 em qual ângulo foi encontrado, para os coeficientes adimensionais de pressão média, r.m.s., de pico máximo e de pico mínimo, sendo todos determinados na superfície externa das fachadas.

Tabela 5.3: Coeficientes aerodinâmicos característicos por região da face 2

Modelo	Coeficiente de pressão	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
I	$\bar{C}_{pE}$ (menor)	-1,66	-1,16	-0,96	-1,19	-1,20	-0,90	-1,69	-1,12	-0,95
	$\bar{C}_{pE}$ (maior)	0,77	0,81	0,32	0,74	0,82	0,33	0,76	0,85	0,33
	$\bar{C}_{pE}$	0,49	0,63	0,63	0,28	0,36	0,37	0,56	0,34	0,31
	$\bar{C}_{pE}$	-3,45	-3,49	-3,18	-2,40	-3,34	-3,13	-3,63	-3,60	-2,93
	$\bar{C}_{pE}$	1,05	1,15	0,86	1,08	1,21	0,93	1,07	1,13	0,92
II	$\bar{C}_{pE}$ (menor)	-0,84	-0,79	-0,76	-0,78	-0,78	-0,75	-0,84	-0,80	-0,75
	$\bar{C}_{pE}$ (maior)	0,80	0,84	0,32	0,76	0,80	0,29	0,78	0,82	0,31
	$\bar{C}_{pE}$	0,13	0,18	0,21	0,13	0,18	0,20	0,13	0,19	0,19
	$\bar{C}_{pE}$	-1,39	-1,74	-1,79	-1,36	-1,83	-1,80	-1,37	-1,92	-1,80
	$\bar{C}_{pE}$	1,08	1,16	0,80	1,02	1,08	0,73	1,09	1,12	0,75
III	$\bar{C}_{pE}$ (menor)	-1,30	-1,04	-0,83	-0,87	-1,10	-0,84	-1,35	-1,12	-0,91
	$\bar{C}_{pE}$ (maior)	0,80	0,85	0,36	0,80	0,83	0,33	0,81	0,85	0,36
	$\bar{C}_{pE}$	0,23	0,25	0,22	0,19	0,26	0,23	0,18	0,24	0,25
	$\bar{C}_{pE}$	-2,01	-2,35	-2,06	-1,76	-2,31	-2,22	-2,23	-2,42	-2,03
	$\bar{C}_{pE}$	1,14	1,19	0,93	1,12	1,19	0,80	1,18	1,19	0,79

(fonte: autora)

Tabela 5.4: Ângulo de incidência em que está posicionado o coeficiente aerodinâmico característico por região da face 2

Modelo	Coefficiente de pressão	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
I	$\bar{C}_{pE}$ (menor)	105°	105°	105°	255°	105°	105°	255°	255°	255°
	$\bar{C}_{pE}$ (maior)	150°	150°	150°	165°	180°	180°	210°	90°	210°
	$C_{pE}$	105°	240°	240°	105°	90°	90°	255°	90°	270°
	$\hat{C}_{pE}$	105°	270°	90°	270°	90°	270°	255°	90°	90°
	$\check{C}_{pE}$	150°	150°	165°	195°	195°	195°	210°	210°	210°
II	$\bar{C}_{pE}$ (menor)	105°	105°	105°	255°	255°	90°	255°	255°	255°
	$\bar{C}_{pE}$ (maior)	165°	165°	165°	180°	180°	180°	195°	195°	195°
	$C_{pE}$	270°	255°	90°	90°	255°	90°	90°	90°	90°
	$\hat{C}_{pE}$	165°	165°	165°	165°	165°	180°	195°	195°	195°
	$\check{C}_{pE}$	270°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°
III	$\bar{C}_{pE}$ (menor)	105°	255°	105°	270°	255°	270°	255°	255°	270°
	$\bar{C}_{pE}$ (maior)	165°	165°	165°	180°	180°	180°	195°	195°	195°
	$C_{pE}$	120°	270°	90°	270°	270°	270°	240°	270°	270°
	$\hat{C}_{pE}$	105°	90°	90°	270°	75°	90°	255°	75°	270°
	$\check{C}_{pE}$	165°	150°	150°	180°	180°	195°	210°	210°	210°

(fonte: autora)

Novamente, como na face 1, para a face 2 é possível verificar que, em relação ao Modelo I, a maioria dos valores diminuíram, com exceção da região superior e lateral esquerda dos coeficientes médios e canto superiores e lateral esquerda do pico máximo do Modelo II e do coeficiente médio e região superior e centro e o canto inferior esquerdo do coeficiente de pico máximo do Modelo III. Além disso, para a face 2, são poucas as regiões em que o coeficiente mais expressivo daquela região ocorre no mesmo ângulo que o modelo de referência. Para tal fachada, os maiores valores estão localizados entre 90° e 270°.

Após a abordagem do resumo dos resultados encontrados ao submeter os três modelos adotados a testes em túnel de vento, é necessário relacionar os valores obtidos com os estudos anteriores já foram apontados anteriormente. Primeiramente, vale destacar a pesquisa de

Chand *et al.* (1998), os quais verificaram que, quando sujeito a ventos com ângulo de 45° e 90°, com a presença da sacada descontínua a interação vento-estrutura era alterada na face de barlavento, reduzindo em mais regiões para o primeiro caso, enquanto a fachada de sotavento não sofria tanta variação. Para Montazeri e Blocken (2013), os quais utilizaram os mesmos modelos de Chand *et al.* (1998), completaram o entendimento divulgando que as porcentagens de diminuição dos coeficientes de pressão são muito superiores quando tem-se vento a 45°. Diferente desses, Ludena *et al.* (2017) compararam os valores quando o vento possuía 0° e 45°, apresentando maiores reduções para 0°. Para a pesquisa em questão, levando em conta o sentido do vento perpendicular, oblíquo e paralelo a face a barlavento, nota-se que na face de sotavento há somente a diminuição do coeficiente de pressão média e r.m.s., todavia em pequena proporção, enquanto na fachada de barlavento, levando em conta o Modelo II e III em relação a edificação lisa, para 90° tem-se apenas aumento dos valores médios, para 45° conta-se com a diminuição na metade direita e centro para ambos e, finalmente, para 0° tem-se redução na metade esquerda e centro do Modelo II e aumento nos cantos superiores do Modelo III, entretanto as modificações são em proporção menor ao encontrado por Montazeri e Blocken (2013), sendo máxima de 26% para o ângulo de incidência de 0° na base e 23% no topo para vento a 45°.

Yuan *et al.* (2018) constataram que a incorporação de elementos horizontais não resultou em fortes efeitos no  $C_{p_{max}}$ , no entanto, há grande influência da varanda no  $C_{p_{min}}$ , onde para o caso com separação vertical entre os elementos horizontais teve redução de até 42%. As constatações da presente pesquisa foram semelhantes, onde o  $C_{p_{max}}$  apresentou maior quantidade de áreas com diminuição para o Modelo II e III, no entanto possuindo alguns aumentos, principalmente para o Modelo III, sendo todas modificações caracterizadas como pequenas alterações, e para o  $C_{p_{min}}$  notou-se redução na face a barlavento de 45% para o Modelo II e de 33% para o Modelo III, comparando as mesmas áreas. Ademais, Cheng *et al.* (2021) também concluiu que a incorporação de elementos na horizontal gerou os menores coeficientes mínimos e, além disso, complementaram que a fachada horizontal apresenta pouca influência na distribuição r.m.s. das pressões do vento e torna os coeficientes de pressão mais uniformes.

Não foi localizado artigo que apresentasse especificamente a introdução de fechamentos em varandas em edificações, no entanto, o mais próximo encontrado foi o estudo de Cochran e Peterka (1999), os quais verificaram edificações já construídas com persianas de tempestades.

Os autores afirmaram que nos cantos, os casos abertos apresentaram valores até 40% menores quando comparada com os prédios com acessórios e para varandas no centro, a existência das persianas não causou modificações. Nessa pesquisa encontrou-se situação parecida, onde os valores foram predominantemente superiores no modelo com varanda e fechamento em comparação ao caso somente com sacada, todavia também foram verificadas elevadas alterações nos coeficientes de pressão nas áreas centrais.

Ademais, pode-se equiparar a situação com varanda e fechamento com edificações com configuração de elementos dispostos na vertical de forma contínua. Nesse quesito, tem-se que Leutheusser (1970) simulou um modelo com tal disposição, divergindo do Modelo III somente no fato de que para o autor não havia a presença de acessórios nos cantos, onde, com vento paralelo a face, notou o surgimento de sucções nas regiões de separação do escoamento, especialmente nas extremidades laterais da face. Salienta-se que a mesma tendência pôde ser constatada no presente estudo, o qual apresentou valores negativos na parte inferior e lateral direita do Modelo III com a presença de vento a 90°.

Seguindo o pensamento da analogia do Modelo III com elementos dispostos na vertical, Cheng *et al.* (2021) também estudou alguns casos em que as edificações somente dispunham de acessórios em tal sentido, todavia o mesmo utilizou diferentes direções do vento, onde constataram o aumento nos coeficientes máximos e também que os maiores coeficientes mínimos foram encontrados com a adição de elementos verticais na fachada. No entanto, como demonstrado na análise desse capítulo, a introdução das projeções de varanda com fechamento provocou efeito adverso, diminuindo os valores característicos de pico mínimo e máximo, exceto, para esse último, das regiões superiores e do canto inferior direito, todavia, no geral, o máximo coeficiente característico encontrado na edificação lisa é o mesmo do Modelo III, entretanto em posições diferentes.

Seguindo nos resultados divergentes, totalmente ao contrário aos ensaios da pesquisa em questão, Stathopoulos e Zhu (1988) informaram que, quando com vento de 90°, na face de barlavento tem-se redução das sobrepressões nos valores médios e para sotavento constatou aumento nas sucções médias e de pico, no entanto, os valores obtidos condizem com Liu *et al.* (2021), pois constatou-se que com a adição dos elementos houve redução dos coeficientes de pressão médio a sotavento e aumento a barlavento. Outra tendência em que o presente estudo destoa, dessa vez em partes, é com Maruta *et al.* (1998), onde o maior  $C_{p_{min}}$  foi identificado

nas bordas, pois, para a face 1, para o Modelo II o coeficiente aerodinâmico característico mínimo foi encontrado na base, mas para o Modelo III, da mesma forma que para o Modelo I, está localizado na lateral direita. Vale frisar também o estudo de Hui *et al.* (2019), pois os autores verificaram que com adição de elemento vertical ou horizontal os picos foram mais altos em relação ao modelo liso, todavia, para a maioria das regiões, em tal estudo foi obtido valores inferiores, em conformidade com o estudo de Browne e Kumar (2005), os quais declararam que as cargas provenientes do vento são menores com a presença da sacada.

## 6 CONCLUSÕES

Tendo em vista a vasta aplicação dos elementos de sacada e a crescente utilização dos fechamentos em vidros em complementação ao primeiro, os quais possuem como intuito o aproveitamento maior do espaço, somadas a falta de estudos aerodinâmicos específicos, a pesquisa em questão buscou colaborar na compreensão dos efeitos causados na distribuição das pressões externas quando há a presença de tais acessórios na fachada de um edifício alto com seção retangular.

Atualmente, relacionada a sacadas, há somente uma norma disponível, a ABNT NBR 16259:2014, focada nos sistemas de envidraçamento das mesmas, porém o intuito está nas particularidades dos materiais, ignorando a modificação que a adição de elementos possa vir a provocar nas pressões devidas ao vento na edificação. Ademais, na ABNT NBR 6123:1988, o código destinado às forças devidas ao vento em edificações, as regulamentações são destinadas somente a obras simplificadas, dessa forma, as varandas não são citadas. Para casos excepcionais, recomenda-se o experimento em túnel de vento, onde através da representação das estruturas e de suas características peculiares, obtém-se uma previsão dos possíveis valores a serem atingidos com a edificação construída.

Com isso, para entender quais as modificações causadas na interação vento-edificação quando adicionado elementos na fachada, para a presente pesquisa optou-se pela comparação do caso com sacada e a situação varanda e fechamento com uma edificação lisa, adotando as dimensões estabelecidas no modelo tido como padrão, denominado de *CAARC Standard Tall Building*. Os mesmos foram ensaiados no Túnel de Vento Professor Joaquim Blessmann, localizado no Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Foram ensaiados 24 ângulos de incidência do vento, entre 0° e 345°, variando a cada 15°.

De posse dos modelos, ao submeter ao estudo experimental, tem-se como resultado os coeficientes de pressão médios, r.m.s. e de picos máximo e mínimo. Ao verificar os

diagramas, os quais são divididos em diversas áreas de influência conforme o “ponto” (tomada de pressão) estabelecido para medir as pressões, com diferentes tonalidades de cores que correspondem a magnitude dos coeficientes, observou-se na presente pesquisa que a incorporação dos elementos de fachada provocou alterações significativas na distribuição das pressões externas, de forma favorável, em geral.

Ao comparar os diagramas dos modelos em questão, pode-se destacar:

1. para os coeficientes de pressão média, com a adição dos elementos não houve alterações consideráveis nas sobrepressões para a face 1 e face 2. Todavia, a sucção para o primeiro reduziu 20% para o Modelo II e aumentou 25% para o Modelo III, enquanto para o segundo reduziu 50% para o Modelo II e próximo a 20% para o Modelo III, levando em conta os maiores coeficientes aerodinâmicos.
2. para o coeficiente de pico máximo, mesmo com a presença das varandas os valores não variaram, apresentando redução tão insignificante que pode ser desconsiderada.
3. para o coeficiente de pico mínimo, o Modelo I apresentou valor de -2,65 para a face 1 e -3,63 para a face 2, reduzindo 36% para a face 1 e 17% para a face 2 com o caso somente com sacada e 47% para a face 1 e 33% para a face 2, quando além da sacada é adicionado fechamento, ao relacionar os maiores coeficientes aerodinâmicos.
4. a presença de acessórios na fachada tende a uniformizar a distribuição das pressões, com valores dos coeficientes mais próximos entre si.
5. ao comparar a situação com sacada e o caso com varanda e fechamento, tem-se que o cenário aberto apresenta menores coeficientes.

## 6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visando aprofundar a pesquisa em questão, indico:

1. Análise de modelos com sacadas contínuas, apresentando-se como elementos horizontais.

2. Avaliação dos coeficientes em edificações com configuração quadrada com a presença de sacadas.
3. Verificação dos comportamentos com diferentes configurações de elementos arquitetônicos, simulando alguns pontos com fechamento e outros sem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AI, Z. T.; MAK, C. M.; NIU, J. L.; LI, Z. R. Effect of Balconies on Ventilation Performance of Low-rise Buildings. **Indoor and Built Environment**, v. 20, p. 649-660, 2011a.

AI, Z. T.; MAK, C. M.; NIU, J. L.; LI, Z. R.; The assessment of the performance of balconies using computational fluid dynamics. **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 32, p. 229-243, 2011b.

ALAN G. DAVENPORT WIND ENGINEERING GROUP. Wind Tunnel Testing: A general outline. **The Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory**. 2007.

ARENS, E. A.; WILLIAMS, P. B. The Effect of Wind on Energy Consumption in Buildings. **Energy and Buildings**, v. 1, p. 77-84, 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6123**: Força devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

\_\_\_\_\_. **NBR 14718**: Esquadrias – Guarda-corpo para edificação – Requisitos, procedimentos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 16259**: Sistema de envidraçamento de sacada – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2014.

ÀVILA, A.; GONTIJO, J. M.; MACHADO, R. G. Barraco Mineiro. **Glossário de Arquitetura e Ornamentação**. Co-edição Fundação João Pinheiro, Fundação Roberto Marinho, Companhia Editora Nacional, 1980.

BLESSMANN, J. **Acidentes causados pelo vento**. 4ª edição. Ed. UFRGS, 2001.

\_\_\_\_\_. **Aerodinâmica das construções**. 3ª edição. Ed. UFRGS, 2011.

\_\_\_\_\_. **Intervalo de Tempo para Cálculo da Velocidade Básica do Vento**. Ed. UFRGS, 1988.

\_\_\_\_\_. **Introdução ao estudo das ações dinâmicas do vento**. 2ª edição. Ed. UFRGS, 2005.

\_\_\_\_\_. **O Vento na Engenharia Estrutural**. 2ª edição. Ed. UFRGS, 2013.

\_\_\_\_\_. **Tópicos de normas de vento**. 2ª edição. Ed. UFRGS, 1990.

BRANDÃO, H. C. L. A real relação da varanda com o conforto ambiental na história da arquitetura domestica brasileira. **Revista Tempo de Conquista**, v. 11, 2012. Disponível em: <<http://revistatempodeconquista.com.br/documents/RTC11/HELENALACE3.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2020.

BRANDÃO, H. C. L.; MARTINS, A. M. M. **O modo de vida oitocentista visto da varanda**. 2008. Disponível em:

<[http://www.dezenovevinte.net/arte%20decorativa/ad\\_varanda.htm](http://www.dezenovevinte.net/arte%20decorativa/ad_varanda.htm)>. Acesso em: 7 jun. 2020.

BRANDAO, H. C. L.; MARTINS, A. M. M. Varanda e modo de vida na contemporaneidade. In: VII Reunião de Antropologia Do Mercosul: **Desafios Antropológicos**, Porto Alegre, 2007.

BRANDAO, H. C. L.; MARTINS, A. M. M. Varandas nas moradias brasileiras: do período de colonização a meados do século XX. **Revista Tempo de Conquista**, v. 1, 2007.

BROWNE, M. T. L.; KUMAR, K. S. Effect of corner balconies on wind-induced response of tall buildings. **10th Americas Conference on Wind Engineering**, 2005.

CARINI, M. R. **Resposta dinâmica em torção de edifícios sob a ação do vento**. Dissertação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

CARPEGGIANI, E. A. **Determinação dos efeitos estáticos de torção em edifícios altos devidos à ação do vento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CASELLI, C. K. **Fachada de edifício residencial em vidro no século XXI: clima, conforto e conservação de energia**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). 2011.

CHAMBERLAIN, Z. **Ação do Vento em Edificações**. Apostila Capítulo 3. UPF, 2006.

CHAN, A. L. S. Investigation on the appropriate floor level of residential building for installing balcony, from a view point of energy and environmental performance - A case study in subtropical Hong Kong. **Energy**, v. 85, p. 620-634, 2015.

CHAND, I.; BHARGAVA, P. K.; KRISHAK, N. L. V. Effect of balconies on ventilation inducing aeromotive force on low-rise buildings. **Building and Environment**, v. 33, p. 385-396, 1998.

CHENG, X.; HUANG, G.; ASCE, A. M.; YANG, Q.; ZHOU, X. Influence of Architectural Facades on Wind Pressures and Aerodynamic Forces of Tall Buildings. **Journal of Structural Engineering**, v. 147, 2021.

COCHRAN, L. S.; PETERKA, J. A. Building Shape and Cladding Loads: The influence of balconies and slab-edge storm shutters. **Proceedings of the 10th International Conference on Wind Engineering**, 1999.

COOK, N. J. **Designer's Guide to Wind Loading of Building Structures**. 1 st ed. Garston, 1985.

COOK, N. J. **The designers guide to wind loading of building structures. Part 2: static structures.** Londres: Butterworth, 1990.

CUI, D.; MAK, C.; NIU, J. Effect of balconies and upper-lower vents on ventilation and indoor air quality in a wind-induced, naturally ventilated building. **Building Technology Engineer**, v. 35, p. 393-407, 2014.

DAVENPORT, A. G., ISYUMOV, N. The Application of The Boundary Layer Wind Tunnel to the Prediction of Wind Loading. **Proceedings of the International Research Seminar: Wind Effects on Buildings and Structures**, v. 1, p. 201-230. 1967.

FREIRE, S. C.; CORBAN, C.; EHRLICH, D.; FLORCZYK, A.; KEMPER, T.; MAFFENINI, L.; MELCHIORRI, M.; PESARESI, M.; SCHIAVINA, M.; TOMMASI, P. **Atlas of the Human Planet 2019.** Office of the European Union. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/atlas-human-planet-2019>>. Acesso em: 14 jun. 2020.

GHADIKOLAIE, F. M.; OSSEN, D. R.; MOHAMED, M. F. Effects of wing wall at the balcony on the natural ventilation performance in medium-rise residential buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 31, 2020.

HARRIS, C. L. Influence of neighboring structures on the wind pressure on tall buildings. **Bureau of Standards Journal of Research**, New York, v. 12, p. 103-118, 1934.

HOLMES, J. D. **Wind Loading of Structures.** 3rd edition. 2015.

HONG KONG. Joint Practice Note No. 1. **Green and Innovative Buildings.** Hong Kong Special Administrative Region, 2001. Disponível em: <<https://www.bd.gov.hk/doc/en/resources/codes-and-references/practice-notes-and-circular-letters/joint/JPN01.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2020.

HUI, Y.; TAMURA, Y.; YANG, Q. S. Analysis of interference effects on torsional moment between two high-rise building based on pressure and flow field measurement. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 164, p. 54-68, 2017.

HUI, Y.; TAMURA, Y.; YOSHIDA, A.; KIKUCHI, H. Pressure and flow field investigation of interference effects on external pressures between high-rise buildings. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 115, p. 150-161, 2013.

HUI, Y.; YUAN, K.; CHEN, Z.; YANG, Q. Characteristics of aerodynamic forces on high-rise buildings with various façade appurtenances. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 191, p. 76-90, 2019.

ISYUMOV, N. Alan G. Davenport's mark on wind engineering. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 104, p. 12-24, 2012.

IRWIN, P.; DENOON, R.; SCOTT, D. Wind Tunnel Testing of High-Rise Buildings: An output of the CTBUH Wind Engineering Working Group. **Council on Tall Building and Urban Habitat**, p. 1-48, 2013.

- KAWAI, H. Vortex induced vibration of tall buildings. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 41-44, p. 117-128, 1992.
- KHANDURI, A. C., STATHOPOULOS, T., BÉDARD, C. Wind-induced interference effects on buildings – a review of the state-of-the-art. **Engineering Structures**, v. 20, p.617-630, 1998.
- KOTANI, H.; YAMANAKA, T. Wind pressure coefficient and wind velocity along building wall of apartment building with balcony. **Conference on Indoor Air Quality**, 2007.
- KUMAR, A.; RAHUL, P. S.; KUMAR, S. Performance optimization of tall buildings subjected to wind-an Indian scenario. **8th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering**, p. 817-826, 2013.
- LAC. **Laboratório de Aerodinâmica das Construções**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/lac/tunel.htm>>. Acesso em 16 jun. 2020.
- LEUTHEUSSER, H. J. **Influence of architectural features on the static wind loading of building**. Building Science Series 30, 1970.
- LI, Y.; XIANG, T.; TEE, K. F.; LI, Q. S.; LI, Y. G. Aerodynamic treatments for reduction of wind loads on high-rise buildings. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 172, p. 107-115, 2018.
- LIU, J.; HUI, Y.; YANG, Q.; TAMURA, Y. Flow field investigation for aerodynamic effects of surface mounted ribs on square-sectioned high-rise buildings. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 211, 2021.
- LOREDO-SOUZA, A. M. O túnel de vento como ferramenta de projeto. **Revista Concreto & Construção**. São Paulo, v. 48, 2007.
- LOREDO-SOUZA, A. M.; REISDORFER, A. F. **Engenharia do vento: mais segurança e otimização nas edificações**. Revista Mensal do Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Rio Grande do Sul, ano III, nº 34, 2007.
- LOREDO-SOUZA, A. M.; SCHETTINI, E. B. C.; PALUCH, M. J. **Simulação da camada limite atmosférica em túnel de vento**. IV Escola de Primavera de Transição e Turbulência, n. 1, p. 2906-2914, 2004.
- LUDENA, L.; MOONEGHI, M. A.; MORAVEJ, M.; CHOWDHURY, A. G.; IRWIN, P. Estimation of Wind Loads on the Balcony Glass Handrails of Mid-Rise Buildings. **Structures Congress**, p. 232-242, 2017.
- MARA, T. G., TERRY, B. K., HO, T. C. E., ISYUMOV, N. Aerodynamic and peak response interference factors for na upstream square building of identical hight. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 133, p. 200-210. 2014.

MARUTA, E.; KANDA, M.; SATO, J. Effects on surface roughness for wind pressure on glass and cladding of buildings. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 74-76, p. 651-663, 1998.

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**, 1980.

MELO, L. P. C. **Influência de detalhes arquitetônicos e efeitos de vizinhança sobre a caracterização aerodinâmica de um edifício alto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

MOHAMED, M. F.; PRASAD, D.; KING, S.; HIROTA, K. The Impact of Balconies on Wind Induced Ventilation of Single-sided Naturally Ventilated Multi-storey Apartment. **26th Conference on Passive and Low Energy Architecture**, 2009.

MOHAMED, M. F. Computacional analysis on the effects of façade modifications on wind-driven natural ventilation performance of a single-cell room. **ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 12, n. 10, p. 3093-3100, 2017.

MONTAZERI, H.; BLOCKEN, B. CFD simulation of wind-induced pressure coefficients on buildings with and without balconies: validation and sensitivity analysis. **Building and Environment**, v. 60, p. 137-149, 2013.

MONTAZERI, H.; BLOCKEN, B.; JANSSEN, W. D.; VAN HOOFF, T. CFD evaluation of new second-skin facade concept for wind comfort on building balconies: Case study for the Park Tower in Antwerp. **Building and Environment**, v. 68, p. 179-192, 2013.

MORTON, T. J.; MARA, T. G. Effects of Balconies on the Wind Loading of a Tall Building. **Architectural Engineering Institute (AEI) - ASCE**, p. 525-536, 2017.

MURAMAKI, S. Computational wind engineering. **Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics**, v. 36, p.517-538, 1990.

NÚÑEZ, G. J. Z. **Investigação Experimental do Efeito de Interferência de Tabuleiros Paralelos de Pontes em Túnel de Vento Frente ao Desprendimento de Vórtices**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

NÚÑEZ, G. J. Z.; LOREDO-SOUZA, A. M.; ROCHA, M. M. Uso do túnel de vento como ferramenta de projeto no design aerodinâmico. **Design & Tecnologia**, v. 2, n. 04, p. 10- 23, 2012.

OMRANI, S.; GARCIA-HANSEN, V.; CAPRA, B.; DROGEMULLER, R. On the effect of provision of balconies on natural ventilation and thermal comfort in high-rise residential buildings. **Building and Environment**, v. 123, p. 504-516, 2017.

ROCHA, M. M.; LOREDO-SOUZA, A. M. Integração de pressões em alta frequência para o cálculo da resposta dinâmica de estruturas sujeitas à ação do vento. Laboratório de Aerodinâmica das Construções. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Relatório Técnico**. Porto Alegre, 2008.

SARTORI, F. C. **Uma comparação de métodos para avaliar a resposta dinâmica de edifícios altos em túnel de vento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

STATHOPOULOS, T.; ZHU, X. Wind pressures on building with appurtenances. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 31, p. 265-281, 1988.

TAMURA, T.; MIYAGI, T. The effect of turbulence on aerodynamic forces on a square cylinder with various corner shapes. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 83, p. 135-145, 1999.

TANAKA, H.; TAMURA, Y.; OHTAKE, K.; NAKAI, M.; KIM, Y. C. Experimental investigation of aerodynamic forces and wind pressures acting on tall building with various unconventional configurations. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 107-108, p. 179-191, 2012.

UNITED NATIONS. World Population Prospects 2019. **Department of Economic and Social Affairs - Population Dynamics**. Disponível em: <<https://population.un.org/wpp2019/>>. Acesso em: 14 jun. 2020.

VOGADO, M. W. **Caracterização aerodinâmica de edifícios altos com planta em formato de “V”**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

XIE, J. Aerodynamic optimization in super-tall building designs. **The Seventh International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and its Applications (BBAA7)**, p. 104-111, 2012.

XIE, J. Aerodynamic optimization of super-tall buildings and its effectiveness assessment. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 130, p. 88-98, 2014.

WARDLAW, R. L. Flutter and torsional instability. **CISM Courses and Lectures: wind-excited vibrations**, v. 335, p. 293-319, 1994.

WISE, A. F. E. Effects due to group of buildings. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 269, p. 469-485, 1971.

YUAN, K.; HUI, Y.; CHEN, Z. Effects of façade appurtenances on the local pressure of high-rise building. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 178, p. 26-37, 2018.

**APÊNDICE 1 – COEFICIENTES MÉDIO, R.M.S. E DE PICO DAS FACES 1 E 2 DOS  
MODELS I, II E III**

		Região									
Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Cp Med	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
0°	I	mín	-0,89	-0,84	-0,80	-0,94	-0,89	-0,79	-0,53	-0,68	-0,34
		máx	-0,87	-0,76	-0,77	-0,70	-0,55	-0,43	-0,43	-0,43	-0,31
	II	mín	-0,81	-0,72	-0,77	-0,79	-0,72	-0,70	-0,67	-0,67	-0,47
		máx	-0,77	-0,68	-0,77	-0,74	-0,67	-0,62	-0,62	-0,62	-0,56
	III	mín	-1,05	-0,92	-0,82	-0,89	-0,87	-0,58	-0,58	-0,67	-0,40
		máx	-0,88	-0,46	-0,71	-0,70	-0,52	-0,42	-0,24	-0,39	-0,35
15°	I	mín	-0,99	-0,86	-0,60	-0,64	-0,78	-0,37	-0,26	-0,36	-0,31
		máx	-0,94	-0,77	-0,59	-0,20	-0,21	-0,24	-0,20	-0,28	-0,30
	II	mín	-0,70	-0,69	-0,49	-0,48	-0,53	-0,40	-0,27	-0,34	-0,31
		máx	-0,68	-0,54	-0,49	-0,32	-0,35	-0,33	-0,25	-0,32	-0,31
	III	mín	-1,11	-0,88	-0,59	-0,51	-0,38	-0,26	-0,52	-0,48	-0,42
		máx	-0,29	-0,26	-0,31	-0,22	-0,24	-0,23	-0,23	-0,26	-0,26
30°	I	mín	-0,39	-0,15	-0,07	-0,19	-0,10	-0,11	-0,20	-0,33	-0,25
		máx	-0,02	0,05	-0,01	0,08	0,18	0,02	-0,14	-0,20	-0,25
	II	mín	0,05	0,06	0,03	-0,10	-0,03	-0,06	-0,14	-0,16	-0,18
		máx	0,16	0,18	0,03	0,11	0,16	0,00	-0,13	-0,09	-0,18
	III	mín	-0,44	-0,39	-0,12	-0,23	-0,08	-0,07	-0,42	-0,44	-0,41
		máx	0,21	0,21	0,06	0,03	0,14	0,03	-0,10	-0,05	-0,14
45°	I	mín	0,25	0,41	0,29	0,01	0,09	0,05	-0,07	-0,24	-0,17
		máx	0,68	0,77	0,30	0,39	0,54	0,23	0,00	-0,03	-0,13
	II	mín	0,33	0,36	0,26	0,10	0,16	0,11	0,02	-0,01	-0,04
		máx	0,57	0,65	0,26	0,41	0,51	0,19	0,09	0,12	-0,04
	III	mín	0,05	-0,29	0,21	-0,19	0,14	0,11	-0,30	-0,37	-0,30
		máx	0,65	0,72	0,30	0,30	0,43	0,21	0,14	0,19	0,02
60°	I	mín	0,50	0,38	0,26	0,19	0,24	0,18	0,07	-0,10	-0,08
		máx	0,73	0,80	0,31	0,61	0,73	0,32	0,18	0,17	-0,02
	II	mín	0,48	0,44	0,33	0,31	0,31	0,24	0,17	0,14	0,10
		máx	0,73	0,80	0,33	0,64	0,73	0,30	0,34	0,37	0,10
	III	mín	0,50	-0,11	0,25	0,15	0,30	0,28	-0,18	-0,24	-0,23
		máx	0,79	0,83	0,37	0,57	0,69	0,35	0,40	0,44	0,18
75°	I	mín	0,44	0,19	0,08	0,34	0,37	0,27	0,21	0,03	-0,01
		máx	0,65	0,67	0,21	0,69	0,79	0,34	0,38	0,38	0,08
	II	mín	0,49	0,39	0,27	0,38	0,39	0,30	0,34	0,25	0,19
		máx	0,71	0,76	0,27	0,70	0,79	0,34	0,50	0,55	0,19
	III	mín	0,49	0,06	-0,07	0,47	0,41	0,34	0,03	-0,13	-0,13
		máx	0,78	0,84	0,33	0,75	0,82	0,38	0,60	0,65	0,27

Coefficientes adimensionais de pressão média, externos, para a face 1 dos modelos I, II e III.

		Região									
Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Cp Med	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
90°	I	mín	0,31	0,09	0,01	0,40	0,42	0,31	0,35	0,10	0,03
		máx	0,53	0,55	0,15	0,67	0,81	0,36	0,54	0,55	0,13
	II	mín	0,41	0,34	0,23	0,42	0,44	0,34	0,41	0,34	0,25
		máx	0,64	0,68	0,23	0,70	0,81	0,37	0,62	0,69	0,25
	III	mín	0,24	0,04	-0,25	0,52	0,45	0,36	0,22	-0,04	-0,08
		máx	0,74	0,78	0,30	0,75	0,83	0,39	0,72	0,78	0,32
105°	I	mín	0,17	0,02	-0,04	0,34	0,37	0,27	0,47	0,19	0,11
		máx	0,37	0,38	0,09	0,67	0,79	0,34	0,65	0,67	0,20
	II	mín	0,32	0,26	0,16	0,35	0,40	0,31	0,51	0,41	0,30
		máx	0,52	0,55	0,16	0,70	0,81	0,34	0,72	0,78	0,30
	III	mín	0,07	-0,05	-0,28	0,49	0,41	0,34	0,38	0,10	0,03
		máx	0,64	0,67	0,24	0,75	0,82	0,38	0,77	0,82	0,34
120°	I	mín	0,02	-0,10	-0,12	0,20	0,24	0,18	0,52	0,38	0,28
		máx	0,18	0,18	-0,01	0,60	0,75	0,32	0,74	0,81	0,31
	II	mín	0,10	0,14	0,70	0,23	0,32	0,25	0,48	0,45	0,34
		máx	0,34	0,35	0,70	0,61	0,73	0,30	0,72	0,82	0,34
	III	mín	-0,10	-0,18	-0,35	0,22	0,31	0,28	0,50	0,37	0,26
		máx	0,47	0,58	0,14	0,62	0,70	0,34	0,79	0,83	0,33
135°	I	mín	-0,12	-0,23	-0,23	-0,01	0,07	0,03	0,22	0,38	0,27
		máx	-0,02	-0,05	-0,14	0,33	0,50	0,21	0,64	0,74	0,29
	II	mín	-0,05	-0,02	-0,08	0,02	0,16	0,11	0,27	0,36	0,27
		máx	0,10	0,09	-0,08	0,41	0,49	0,19	0,52	0,65	0,27
	III	mín	-0,39	-0,36	-0,43	-0,23	0,15	0,13	0,07	0,27	0,22
		máx	0,24	0,52	-0,02	0,37	0,47	0,22	0,60	0,74	0,30
150°	I	mín	-0,23	-0,35	-0,31	-0,18	-0,11	-0,12	-0,40	-0,18	-0,05
		máx	-0,17	-0,22	-0,25	0,06	0,19	0,02	-0,06	0,02	0,01
	II	mín	-0,19	-0,17	-0,21	-0,13	-0,03	-0,06	-0,01	0,07	0,04
		máx	-0,13	-0,10	-0,21	0,08	0,15	0,00	0,10	0,15	0,04
	III	mín	-0,54	-0,47	-0,46	-0,41	-0,05	-0,05	-0,47	-0,23	-0,08
		máx	0,01	0,08	-0,18	0,08	0,12	0,02	0,13	0,17	0,01
165°	I	mín	-0,29	-0,38	-0,33	-0,72	-0,84	-0,36	-1,01	-0,88	-0,61
		máx	-0,25	-0,29	-0,30	-0,21	-0,24	-0,25	-0,97	-0,72	-0,59
	II	mín	-0,31	-0,38	-0,32	-0,57	-0,58	-0,42	-0,78	-0,75	-0,48
		máx	-0,27	-0,32	-0,32	-0,35	-0,36	-0,33	-0,75	-0,54	-0,48
	III	mín	-0,55	-0,76	-0,47	-0,52	-0,61	-0,31	-1,26	-0,94	-0,62
		máx	-0,20	-0,29	-0,29	-0,21	0,51	-0,25	-0,38	-0,49	-0,39

Coeficientes adimensionais de pressão média, externos, para a face 1 dos modelos I, II e III.

		Região									
Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Cp Med	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
180°	I	mín	-0,56	-0,70	-0,34	-0,90	-0,84	-0,78	-0,84	-0,82	-0,81
		máx	-0,49	-0,44	-0,33	-0,73	-0,55	-0,43	-0,82	-0,73	-0,78
	II	mín	-0,64	-0,66	-0,47	-0,76	-0,69	-0,68	-0,76	-0,68	-0,68
		máx	-0,63	-0,56	-0,47	-0,71	-0,65	-0,60	-0,73	-0,65	-0,68
	III	mín	-0,63	-0,63	-0,44	-0,83	-0,82	-0,62	-0,94	-0,79	-0,80
		máx	-0,47	-0,57	-0,37	-0,61	-0,59	-0,47	-0,55	-0,58	-0,74
195°	I	mín	-0,68	-0,72	-0,64	-0,67	-0,64	-0,66	-0,63	-0,60	-0,63
		máx	-0,65	-0,66	-0,64	-0,64	-0,56	-0,65	-0,61	-0,54	-0,61
	II	mín	-0,60	-0,60	-0,58	-0,62	-0,58	-0,59	-0,61	-0,56	-0,56
		máx	-0,60	-0,57	-0,58	-0,59	-0,53	-0,58	-0,59	-0,52	-0,56
	III	mín	-0,62	-0,66	-0,63	-0,63	-0,61	-0,64	-0,63	-0,58	-0,62
		máx	-0,53	-0,57	-0,58	-0,50	-0,50	-0,60	-0,31	-0,41	-0,61
210°	I	mín	-0,65	-0,69	-0,63	-0,63	-0,65	-0,62	-0,60	-0,58	-0,56
		máx	-0,63	-0,60	-0,63	-0,61	-0,53	-0,59	-0,59	-0,51	-0,55
	II	mín	-0,61	-0,62	-0,59	-0,61	-0,59	-0,58	-0,60	-0,57	-0,56
		máx	-0,61	-0,56	-0,59	-0,60	-0,54	-0,58	-0,59	-0,52	-0,56
	III	mín	-0,63	-0,67	-0,62	-0,61	-0,60	-0,60	-0,61	-0,59	-0,59
		máx	-0,55	-0,55	-0,59	-0,50	-0,51	-0,57	-0,28	-0,40	-0,58
225°	I	mín	-0,62	-0,66	-0,62	-0,60	-0,63	-0,61	-0,57	-0,58	-0,55
		máx	-0,60	-0,55	-0,62	-0,56	-0,53	-0,57	-0,55	-0,51	-0,54
	II	mín	-0,59	-0,59	-0,58	-0,57	-0,57	-0,58	-0,56	-0,56	-0,54
		máx	-0,57	-0,53	-0,58	-0,56	-0,52	-0,57	-0,55	-0,52	-0,54
	III	mín	-0,63	-0,65	-0,64	-0,62	-0,61	-0,62	-0,61	-0,60	-0,60
		máx	-0,55	-0,57	-0,61	-0,59	-0,52	-0,58	-0,27	-0,41	-0,58
240°	I	mín	-0,62	-0,62	-0,62	-0,58	-0,60	-0,60	-0,53	-0,56	-0,55
		máx	-0,61	-0,52	-0,61	-0,52	-0,51	-0,57	-0,52	-0,49	-0,54
	II	mín	-0,58	-0,57	-0,57	-0,55	-0,56	-0,57	-0,53	-0,55	-0,54
		máx	-0,58	-0,50	-0,57	-0,54	-0,50	-0,56	-0,53	-0,50	-0,54
	III	mín	-0,64	-0,63	-0,63	-0,60	-0,60	-0,60	-0,59	-0,59	-0,58
		máx	-0,54	-0,54	-0,60	-0,48	-0,51	-0,57	-0,27	-0,40	-0,57
255°	I	mín	-0,70	-0,64	-0,65	-0,69	-0,65	-0,64	-0,60	-0,61	-0,60
		máx	-0,68	-0,55	-0,64	-0,62	-0,56	-0,63	-0,57	-0,55	-0,59
	II	mín	-0,67	-0,61	-0,63	-0,60	-0,61	-0,62	-0,61	-0,61	-0,60
		máx	-0,65	-0,53	-0,63	-0,62	-0,53	-0,62	-0,59	-0,56	-0,60
	III	mín	-0,68	-0,64	-0,66	-0,65	-0,62	-0,64	-0,61	-0,60	-0,62
		máx	-0,59	-0,54	-0,62	-0,55	-0,53	-0,59	-0,30	-0,41	-0,60

Coefficientes adimensionais de pressão média, externos, para a face 1 dos modelos I, II e III.

		Região									
Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Cp Med	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
270°	I	mín	-0,74	-0,76	-0,70	-0,76	-0,71	-0,72	-0,74	-0,75	-0,70
		máx	-0,73	-0,67	-0,70	-0,75	-0,59	-0,71	-0,73	-0,67	-0,69
	II	mín	-0,70	-0,66	-0,67	-0,71	-0,65	-0,68	-0,69	-0,66	-0,67
		máx	-0,69	-0,59	-0,67	-0,69	-0,56	-0,68	-0,69	-0,59	-0,67
	III	mín	-0,71	-0,72	-0,69	-0,73	-0,65	-0,68	-0,71	-0,70	-0,69
		máx	-0,63	-0,60	-0,65	-0,61	-0,56	-0,63	-0,38	-0,45	-0,67
285°	I	mín	-0,60	-0,62	-0,61	-0,69	-0,65	-0,64	-0,70	-0,64	-0,63
		máx	-0,58	-0,55	-0,60	-0,61	-0,56	-0,63	-0,69	-0,55	-0,63
	II	mín	-0,59	-0,60	-0,61	-0,64	-0,61	-0,63	-0,65	-0,60	-0,61
		máx	-0,61	-0,55	-0,62	-0,61	-0,53	-0,63	-0,64	-0,52	-0,61
	III	mín	-0,61	-0,62	-0,61	-0,65	-0,62	-0,61	-0,68	-0,62	-0,65
		máx	-0,54	-0,54	-0,59	-0,51	-0,52	-0,58	-0,34	-0,39	-0,62
300°	I	mín	-0,55	-0,57	-0,56	-0,60	-0,63	-0,60	-0,64	-0,64	-0,61
		máx	-0,54	-0,51	-0,55	-0,54	-0,53	-0,57	-0,63	-0,53	-0,60
	II	mín	-0,54	-0,55	-0,55	-0,55	-0,57	-0,57	-0,57	-0,57	-0,57
		máx	-0,53	-0,50	-0,55	-0,53	-0,50	-0,57	-0,57	-0,51	-0,57
	III	mín	-0,58	-0,58	-0,57	-0,58	-0,59	-0,59	-0,63	-0,61	-0,62
		máx	-0,51	-0,52	-0,57	-0,46	-0,49	-0,55	-0,29	-0,39	-0,60
315°	I	mín	-0,59	-0,60	-0,57	-0,63	-0,67	-0,63	-0,65	-0,69	-0,64
		máx	-0,59	-0,51	-0,56	-0,59	-0,54	-0,59	-0,62	-0,57	-0,64
	II	mín	-0,59	-0,59	-0,57	-0,60	-0,60	-0,59	-0,61	-0,62	-0,59
		máx	-0,59	-0,53	-0,57	-0,58	-0,54	-0,58	-0,60	-0,56	-0,59
	III	mín	-0,62	-0,61	-0,59	-0,61	-0,62	-0,61	-0,63	-0,64	-0,64
		máx	-0,54	-0,54	-0,58	-0,49	-0,51	-0,57	-0,29	-0,44	-0,62
330°	I	mín	-0,62	-0,59	-0,58	-0,64	-0,66	-0,63	-0,65	-0,69	-0,63
		máx	-0,60	-0,52	-0,57	-0,62	-0,54	-0,59	-0,63	-0,61	-0,62
	II	mín	-0,61	-0,57	-0,56	-0,61	-0,60	-0,58	-0,61	-0,62	-0,57
		máx	-0,60	-0,52	-0,56	-0,60	-0,53	-0,57	-0,61	-0,57	-0,57
	III	mín	-0,62	-0,65	-0,60	-0,60	-0,60	-0,61	-0,62	-0,64	-0,63
		máx	-0,52	-0,54	-0,59	-0,50	-0,50	-0,58	-0,29	-0,46	-0,61
345°	I	mín	-0,65	-0,59	-0,63	-0,68	-0,65	-0,65	-0,67	-0,70	-0,61
		máx	-0,62	-0,53	-0,62	-0,65	-0,57	-0,65	-0,65	-0,65	-0,60
	II	mín	-0,64	-0,57	-0,58	-0,64	-0,59	-0,60	-0,62	-0,61	-0,58
		máx	-0,61	-0,53	-0,58	-0,61	-0,53	-0,59	-0,61	-0,59	-0,58
	III	mín	-0,66	-0,67	-0,65	-0,64	-0,63	-0,64	-0,62	-0,66	-0,62
		máx	-0,54	-0,56	-0,62	-0,54	-0,49	-0,60	-0,35	-0,46	-0,59

Coefficientes adimensionais de pressão média, externos, para a face 1 dos modelos I, II e III.

		Região									
Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Cp Med	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
0°	I	mín	-0,51	-0,53	-0,37	-0,49	-0,48	-0,39	-0,51	-0,54	-0,38
		máx	-0,49	-0,31	-0,37	-0,47	-0,40	-0,36	-0,49	-0,42	-0,37
	II	mín	-0,51	-0,49	-0,45	-0,51	-0,49	-0,45	-0,51	-0,49	-0,45
		máx	-0,51	-0,43	-0,45	-0,51	-0,43	-0,45	-0,51	-0,43	-0,45
	III	mín	-0,45	-0,45	-0,40	-0,45	-0,45	-0,39	-0,47	-0,59	-0,40
		máx	-0,42	-0,29	-0,36	-0,44	-0,39	-0,37	-0,44	-0,36	-0,36
15°	I	mín	-0,50	-0,54	-0,49	-0,54	-0,55	-0,53	-0,59	-0,60	-0,56
		máx	-0,49	-0,42	-0,49	-0,48	-0,43	-0,51	-0,56	-0,47	-0,54
	II	mín	-0,48	-0,51	-0,52	-0,49	-0,51	-0,52	-0,50	-0,51	-0,52
		máx	-0,47	-0,45	-0,52	-0,49	-0,44	-0,52	-0,50	-0,43	-0,52
	III	mín	-0,49	-0,52	-0,51	-0,50	-0,52	-0,52	-0,56	-0,55	-0,54
		máx	-0,45	-0,35	-0,50	-0,49	-0,44	-0,51	-0,48	-0,38	-0,50
30°	I	mín	-0,56	-0,61	-0,55	-0,59	-0,64	-0,60	-0,63	-0,67	-0,63
		máx	-0,54	-0,48	-0,55	-0,54	-0,49	-0,58	-0,60	-0,52	-0,61
	II	mín	-0,53	-0,56	-0,56	-0,54	-0,57	-0,57	-0,55	-0,57	-0,57
		máx	-0,51	-0,49	-0,56	-0,53	-0,49	-0,57	-0,54	-0,48	-0,57
	III	mín	-0,54	-0,57	-0,56	-0,55	-0,58	-0,58	-0,59	-0,63	-0,60
		máx	-0,50	-0,41	-0,56	-0,54	-0,51	-0,58	-0,53	-0,42	-0,57
45°	I	mín	-0,62	-0,64	-0,58	-0,65	-0,67	-0,63	-0,66	-0,70	-0,65
		máx	-0,61	-0,52	-0,58	-0,60	-0,54	-0,61	-0,64	-0,59	-0,64
	II	mín	-0,59	-0,59	-0,58	-0,60	-0,60	-0,59	-0,60	-0,61	-0,59
		máx	-0,59	-0,54	-0,58	-0,60	-0,54	-0,59	-0,60	-0,53	-0,59
	III	mín	-0,61	-0,61	-0,59	-0,60	-0,62	-0,61	-0,62	-0,68	-0,62
		máx	-0,54	-0,45	-0,58	-0,59	-0,57	-0,60	-0,61	-0,44	-0,60
60°	I	mín	-0,66	-0,63	-0,58	-0,66	-0,66	-0,62	-0,67	-0,70	-0,64
		máx	-0,64	-0,54	-0,58	-0,65	-0,55	-0,60	-0,66	-0,62	-0,62
	II	mín	-0,62	-0,60	-0,58	-0,62	-0,61	-0,59	-0,62	-0,61	-0,59
		máx	-0,60	-0,55	-0,58	-0,61	-0,56	-0,59	-0,61	-0,56	-0,59
	III	mín	-0,63	-0,63	-0,59	-0,61	-0,64	-0,61	-0,62	-0,64	-0,62
		máx	-0,55	-0,46	-0,58	-0,61	-0,54	-0,60	-0,61	-0,45	-0,59
75°	I	mín	-0,73	-0,69	-0,68	-0,75	-0,74	-0,71	-0,78	-0,79	-0,75
		máx	-0,71	-0,62	-0,68	-0,72	-0,64	-0,70	-0,77	-0,75	-0,72
	II	mín	-0,65	-0,64	-0,64	-0,66	-0,65	-0,65	-0,66	-0,66	-0,65
		máx	-0,63	-0,59	-0,64	-0,64	-0,61	-0,65	-0,65	-0,62	-0,65
	III	mín	-0,68	-0,69	-0,66	-0,67	-0,64	-0,67	-0,69	-0,70	-0,68
		máx	-0,60	-0,51	-0,65	-0,66	-0,58	-0,66	-0,66	-0,49	-0,64

Coefficientes adimensionais de pressão média, externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.

		Região									
Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Cp Med	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
90°	I	mín	-0,85	-0,87	-0,87	-0,87	-0,91	-0,90	-0,87	-0,97	-0,78
		máx	-0,83	-0,82	-0,86	-0,85	-0,83	-0,82	-0,83	0,85	-0,76
	II	mín	-0,75	-0,74	-0,75	-0,74	-0,74	-0,75	-0,73	-0,74	-0,74
		máx	-0,72	-0,70	-0,75	-0,72	-0,71	-0,75	-0,72	-0,71	-0,74
	III	mín	-0,80	-0,81	-0,80	-0,77	-0,79	-0,79	-0,75	-0,79	-0,72
		máx	-0,72	-0,67	-0,79	-0,74	-0,73	-0,78	-0,73	-0,57	-0,70
105°	I	mín	-1,66	-1,16	-0,96	-1,15	-1,20	-0,90	-0,46	-0,65	-0,56
		máx	-1,42	-1,00	-0,95	-0,45	-0,69	-0,63	-0,43	-0,56	-0,55
	II	mín	-0,84	-0,79	-0,76	-0,77	-0,75	-0,72	-0,69	-0,71	-0,68
		máx	-0,84	-0,76	-0,76	-0,74	-0,73	-0,72	-0,63	-0,69	-0,68
	III	mín	-1,30	-0,99	-0,83	-0,86	-0,89	-0,69	-0,76	-0,83	-0,59
		máx	-0,93	-0,60	-0,77	-0,71	-0,58	-0,64	-0,45	-0,61	-0,57
120°	I	mín	-0,77	-0,52	-0,46	-0,20	-0,20	-0,27	-0,33	-0,38	-0,40
		máx	-0,57	-0,48	-0,42	0,02	0,02	-0,21	-0,26	-0,26	-0,34
	II	mín	-0,20	-0,30	-0,31	-0,19	-0,27	-0,29	-0,17	-0,23	-0,26
		máx	-0,15	-0,19	-0,31	-0,13	-0,15	-0,29	-0,10	-0,11	-0,26
	III	mín	-0,82	-0,49	-0,40	-0,31	-0,56	-0,26	-0,44	-0,54	-0,48
		máx	-0,16	-0,09	-0,29	0,01	-0,13	-0,25	-0,19	-0,11	-0,27
135°	I	mín	0,29	0,25	0,14	0,00	0,01	-0,05	-0,22	-0,28	-0,31
		máx	0,60	0,66	0,17	0,38	0,47	0,12	-0,07	-0,08	-0,21
	II	mín	0,35	0,22	0,13	0,25	0,24	0,06	0,14	0,26	-0,02
		máx	0,47	0,53	0,13	0,35	0,29	0,06	0,22	0,04	-0,02
	III	mín	0,08	-0,32	0,02	-0,02	-0,39	-0,01	-0,30	-0,44	-0,03
		máx	0,47	0,57	0,12	0,32	0,26	0,02	0,14	0,18	-0,39
150°	I	mín	0,59	0,42	0,30	0,21	0,21	0,12	-0,08	-0,15	-0,19
		máx	0,77	0,81	0,32	0,66	0,74	0,27	0,15	0,15	-0,07
	II	mín	0,53	0,40	0,28	0,45	0,32	0,21	0,36	0,24	0,14
		máx	0,72	0,77	0,28	0,60	0,65	0,21	0,48	0,52	0,14
	III	mín	0,59	-0,13	0,30	0,28	-0,23	0,17	-0,08	-0,30	-0,27
		máx	0,76	0,84	0,32	0,53	0,55	0,20	0,38	0,45	0,15
165°	I	mín	0,43	0,23	0,14	0,37	0,34	0,23	0,11	-0,01	-0,08
		máx	0,68	0,68	0,24	0,74	0,81	0,31	0,37	0,38	0,05
	II	mín	0,59	0,44	0,32	0,53	0,40	0,29	0,47	0,36	0,25
		máx	0,80	0,84	0,32	0,74	0,78	0,29	0,68	0,72	0,25
	III	mín	0,60	0,03	0,24	0,52	-0,05	0,29	0,14	-0,13	-0,13
		máx	0,80	0,85	0,36	0,76	0,81	0,32	0,74	0,73	0,28

Coefficientes adimensionais de pressão média, externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.

		Região									
Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Cp Med	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
180°	I	mín	0,26	0,09	0,00	0,45	0,42	0,29	0,25	0,06	-0,02
		máx	0,54	0,54	0,14	0,73	0,82	0,33	0,39	0,53	0,13
	II	mín	0,55	0,41	0,29	0,56	0,41	0,29	0,57	0,41	0,29
		máx	0,75	0,80	0,29	0,76	0,80	0,29	0,76	0,79	0,29
	III	mín	0,35	0,11	0,05	0,61	-0,04	0,31	0,33	-0,01	-0,03
		máx	0,79	0,83	0,33	0,80	0,84	0,33	0,80	0,82	0,32
195°	I	mín	0,12	0,02	-0,07	0,38	0,36	0,24	0,44	0,24	0,14
		máx	0,38	0,40	0,06	0,73	0,82	0,33	0,69	0,69	0,25
	II	mín	0,43	0,36	0,23	0,51	0,40	0,27	0,59	0,44	0,31
		máx	0,65	0,70	0,23	0,72	0,76	0,27	0,78	0,82	0,31
	III	mín	0,14	-0,03	-0,07	0,51	0,31	0,30	0,60	0,26	0,19
		máx	0,77	0,80	0,31	0,77	0,82	0,33	0,81	0,84	0,36
210°	I	mín	-0,07	-0,09	-0,17	0,21	0,22	0,13	0,57	0,43	0,31
		máx	0,15	0,16	-0,06	0,63	0,74	0,30	0,76	0,81	0,33
	II	mín	0,32	0,24	0,13	0,43	0,33	0,21	0,53	0,41	0,29
		máx	0,47	0,52	0,13	0,59	0,64	0,21	0,71	0,76	0,29
	III	mín	-0,08	-0,20	-0,21	0,29	0,28	0,17	0,59	0,40	0,32
		máx	0,45	0,51	0,21	0,56	0,73	0,20	0,81	0,83	0,33
225°	I	mín	-0,21	-0,24	-0,28	0,00	0,03	-0,03	0,23	0,29	0,17
		máx	-0,07	-0,07	-0,19	0,34	0,45	0,15	0,57	0,62	0,20
	II	mín	0,07	0,04	-0,03	0,16	0,13	0,05	0,25	0,22	0,13
		máx	0,17	0,21	-0,03	0,30	0,34	0,05	0,42	0,47	0,13
	III	mín	-0,29	-0,35	-0,35	0,01	0,04	-0,08	0,05	0,18	0,09
		máx	0,10	0,30	0,02	0,29	0,45	-0,02	0,50	0,53	0,17
240°	I	mín	-0,34	-0,36	-0,39	-0,20	-0,19	-0,25	-0,81	-0,53	-0,47
		máx	-0,25	-0,25	-0,33	-0,03	0,01	-0,20	-0,59	-0,50	-0,41
	II	mín	-0,21	-0,21	-0,25	-0,24	-0,25	-0,27	-0,26	-0,28	-0,28
		máx	-0,12	-0,13	-0,25	-0,17	-0,18	-0,27	-0,21	-0,23	-0,28
	III	mín	-0,44	-0,44	-0,44	-0,26	-0,55	-0,28	-0,89	-0,65	-0,37
		máx	-0,18	-0,04	-0,22	-0,06	-0,07	-0,24	-0,15	-0,06	-0,18
255°	I	mín	-0,48	-0,68	-0,54	-1,19	-1,17	-0,88	-1,69	-1,12	-0,95
		máx	-0,44	-0,52	-0,53	-0,48	-0,65	-0,60	-1,48	-1,03	-0,95
	II	mín	-0,72	-0,75	-0,64	-0,78	-0,78	-0,70	-0,84	-0,80	-0,75
		máx	-0,69	-0,68	-0,64	-0,76	-0,73	-0,70	-0,83	-0,78	-0,75
	III	mín	-0,66	-1,04	-0,55	-0,75	-1,09	-0,65	-1,35	-1,14	-0,84
		máx	-0,49	-0,53	-0,53	-0,56	-0,62	-0,60	-0,98	-0,63	-0,74

Coefficientes adimensionais de pressão média, externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.

		Região										
Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Cp Med	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito	
270°	I	mín	-0,85	-0,93	-0,75	-0,83	-0,87	-0,87	-0,81	-0,84	-0,84	
		máx	-0,81	-0,81	-0,74	-0,81	-0,83	-0,81	-0,80	-0,78	-0,84	
	II	mín	-0,73	-0,74	-0,73	-0,73	-0,74	-0,74	-0,74	-0,72	-0,73	-0,74
		máx	-0,71	-0,72	-0,73	-0,71	-0,70	-0,74	-0,71	-0,68	-0,74	
	III	mín	-0,81	-0,93	-0,74	-0,87	-0,94	-0,84	-0,91	-0,91	-0,91	
		máx	-0,72	-0,75	-0,69	-0,85	-0,82	-0,82	-0,82	0,62	-0,85	
285°	I	mín	-0,75	-0,76	-0,73	-0,72	-0,71	-0,71	-0,70	-0,66	-0,67	
		máx	-0,74	-0,71	-0,72	-0,69	-0,62	-0,69	-0,68	-0,59	-0,67	
	II	mín	-0,67	-0,66	-0,65	-0,66	-0,65	-0,65	-0,65	-0,63	-0,64	
		máx	-0,65	-0,63	-0,65	-0,64	-0,61	-0,65	-0,63	-0,58	-0,64	
	III	mín	-0,70	-0,70	-0,68	-0,70	-0,68	-0,69	-0,71	-0,68	-0,70	
		máx	-0,64	-0,52	-0,66	-0,68	-0,61	-0,68	-0,68	-0,48	-0,67	
300°	I	mín	-0,68	-0,71	-0,63	-0,67	-0,67	-0,63	-0,66	-0,63	-0,59	
		máx	-0,66	-0,55	-0,63	-0,65	-0,57	-0,60	-0,64	-0,55	-0,58	
	II	mín	-0,62	-0,61	-0,59	-0,62	-0,60	-0,59	-0,61	-0,59	-0,58	
		máx	-0,61	-0,57	-0,59	-0,60	-0,55	-0,59	-0,59	-0,53	-0,58	
	III	mín	-0,64	-0,64	-0,62	-0,64	-0,63	-0,62	-0,65	-0,60	-0,61	
		máx	-0,59	-0,46	-0,60	-0,63	-0,54	-0,61	-0,62	-0,43	-0,60	
315°	I	mín	-0,66	-0,70	-0,65	-0,64	-0,67	-0,64	-0,60	-0,64	-0,58	
		máx	-0,63	-0,48	-0,64	-0,59	-0,55	-0,60	-0,58	-0,51	-0,58	
	II	mín	-0,60	-0,61	-0,60	-0,60	-0,61	-0,59	-0,59	-0,60	-0,58	
		máx	-0,60	-0,56	-0,60	-0,59	-0,55	-0,59	-0,58	-0,53	-0,58	
	III	mín	-0,63	-0,63	-0,62	-0,62	-0,60	-0,61	-0,62	-0,59	-0,60	
		máx	-0,58	-0,44	-0,60	-0,61	-0,54	-0,60	-0,60	-0,42	-0,58	
330°	I	mín	-0,62	-0,65	-0,61	-0,57	-0,62	-0,60	-0,54	-0,59	-0,55	
		máx	-0,59	-0,43	-0,60	-0,53	-0,49	-0,57	-0,51	-0,47	-0,55	
	II	mín	-0,55	-0,56	-0,56	-0,54	-0,56	-0,56	-0,53	-0,55	-0,55	
		máx	-0,54	-0,50	-0,56	-0,53	-0,49	-0,56	-0,52	-0,47	-0,55	
	III	mín	-0,57	-0,59	-0,60	-0,55	-0,58	-0,58	-0,55	-0,56	-0,57	
		máx	-0,53	-0,41	-0,57	-0,54	-0,49	-0,57	-0,54	-0,38	-0,56	
345°	I	mín	-0,60	-0,59	-0,54	-0,54	-0,55	-0,52	-0,50	-0,53	-0,47	
		máx	-0,57	-0,35	-0,53	-0,48	-0,43	-0,50	-0,47	-0,42	-0,47	
	II	mín	-0,55	-0,56	-0,56	-0,54	-0,56	-0,56	-0,53	-0,55	-0,55	
		máx	-0,54	-0,50	-0,56	-0,54	-0,56	-0,56	-0,52	-0,47	-0,55	
	III	mín	-0,54	-0,53	-0,53	-0,50	-0,51	-0,51	-0,50	-0,49	-0,50	
		máx	-0,50	-0,04	-0,49	-0,49	-0,44	-0,50	-0,49	-0,35	-0,48	

Coefficientes adimensionais de pressão média, externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.

		Região								
Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
0°	I	0,161	0,245	0,221	0,207	0,256	0,262	0,178	0,301	0,144
	II	0,113	0,158	0,169	0,13	0,175	0,173	0,143	0,175	0,155
	III	0,17	0,223	0,199	0,177	0,208	0,18	0,169	0,185	0,137
15°	I	0,152	0,231	0,209	0,219	0,301	0,21	0,065	0,077	0,08
	II	0,089	0,141	0,145	0,096	0,154	0,142	0,053	0,092	0,074
	III	0,17	0,166	0,158	0,096	0,125	0,096	0,076	0,068	0,066
30°	I	0,23	0,257	0,207	0,057	0,084	0,084	0,06	0,063	0,065
	II	0,107	0,149	0,133	0,055	0,084	0,076	0,045	0,048	0,044
	III	0,164	0,171	0,166	0,061	0,069	0,062	0,067	0,063	0,058
45°	I	0,114	0,146	0,123	0,088	0,114	0,099	0,064	0,063	0,067
	II	0,092	0,121	0,107	0,081	0,106	0,092	0,067	0,072	0,067
	III	0,122	0,149	0,127	0,082	0,090	0,086	0,086	0,083	0,069
60°	I	0,123	0,152	0,131	0,109	0,133	0,111	0,08	0,084	0,077
	II	0,104	0,13	0,117	0,101	0,125	0,108	0,085	0,093	0,083
	III	0,118	0,14	0,131	0,098	0,125	0,112	0,104	0,131	0,099
75°	I	0,115	0,149	0,129	0,113	0,147	0,126	0,097	0,115	0,103
	II	0,112	0,143	0,12	0,111	0,136	0,115	0,099	0,114	0,099
	III	0,123	0,161	0,156	0,116	0,138	0,12	0,137	0,136	0,112
90°	I	0,109	0,148	0,144	0,116	0,142	0,122	0,113	0,148	0,133
	II	0,108	0,128	0,109	0,111	0,135	0,114	0,106	0,185	0,112
	III	0,125	0,223	0,158	0,12	0,141	0,119	0,133	0,143	0,125
105°	I	0,1	0,116	0,106	0,119	0,148	0,124	0,121	0,15	0,126
	II	0,095	0,115	0,094	0,108	0,138	0,117	0,116	0,14	0,12
	III	0,121	0,148	0,129	0,119	0,140	0,113	0,126	0,148	0,133
120°	I	0,077	0,085	0,075	0,101	0,134	0,115	0,118	0,152	0,131
	II	0,081	0,095	0,082	0,098	0,129	0,107	0,109	0,14	0,114
	III	0,099	0,145	0,111	0,122	0,130	0,105	0,119	0,145	0,131
135°	I	0,063	0,071	0,068	0,086	0,111	0,098	0,128	0,145	0,126
	II	0,063	0,072	0,068	0,083	0,106	0,098	0,087	0,124	0,107
	III	0,084	0,124	0,086	0,088	0,092	0,087	0,13	0,146	0,131
150°	I	0,055	0,061	0,056	0,057	0,08	0,081	0,218	0,261	0,197
	II	0,05	0,047	0,048	0,059	0,081	0,08	0,111	0,154	0,129
	III	0,064	0,183	0,073	0,067	0,178	0,075	0,216	0,147	0,159
165°	I	0,06	0,079	0,074	0,204	0,308	0,213	0,178	0,238	0,24
	II	0,055	0,104	0,08	0,095	0,157	0,15	0,087	0,14	0,14
	III	0,083	0,178	0,079	0,105	0,178	0,128	0,15	0,185	0,179

Coeficientes adimensionais de pressão r.m.s., externos, para a face 1 dos modelos I, II e III.

Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Região								
		Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
180°	I	0,195	0,306	0,145	0,203	0,259	0,272	0,155	0,245	0,239
	II	0,128	0,167	0,145	0,119	0,164	0,165	0,11	0,15	0,154
	III	0,191	0,195	0,113	0,168	0,179	0,201	0,14	0,177	0,19
195°	I	0,123	0,252	0,172	0,098	0,137	0,164	0,084	0,109	0,142
	II	0,076	0,102	0,108	0,066	0,085	0,1	0,065	0,076	0,092
	III	0,112	0,135	0,122	0,085	0,104	0,125	0,074	0,087	0,114
210°	I	0,094	0,145	0,127	0,083	0,094	0,101	0,077	0,085	0,094
	II	0,069	0,082	0,085	0,064	0,072	0,076	0,065	0,069	0,074
	III	0,08	0,093	0,099	0,063	0,071	0,08	0,069	0,072	0,079
225°	I	0,085	0,126	0,108	0,08	0,09	0,093	0,067	0,081	0,086
	II	0,064	0,079	0,08	0,058	0,074	0,076	0,054	0,071	0,073
	III	0,081	0,097	0,108	0,075	0,081	0,089	0,07	0,080	0,083
240°	I	0,079	0,108	0,095	0,082	0,087	0,088	0,072	0,081	0,089
	II	0,068	0,074	0,073	0,067	0,071	0,071	0,064	0,07	0,071
	III	0,071	0,079	0,093	0,073	0,068	0,124	0,067	0,076	0,077
255°	I	0,106	0,139	0,145	0,101	0,152	0,168	0,104	0,144	0,149
	II	0,095	0,102	0,106	0,088	0,108	0,116	0,091	0,114	0,12
	III	0,092	0,116	0,128	0,078	0,105	0,12	0,083	0,110	0,119
270°	I	0,157	0,232	0,219	0,149	0,217	0,22	0,158	0,245	0,218
	II	0,115	0,145	0,148	0,114	0,124	0,139	0,117	0,152	0,156
	III	0,145	0,182	0,173	0,12	0,124	0,14	0,139	0,174	0,163
285°	I	0,109	0,147	0,15	0,112	0,155	0,169	0,119	0,149	0,157
	II	0,086	0,105	0,112	0,083	0,1	0,106	0,086	0,092	0,099
	III	0,089	0,103	0,11	0,083	0,095	0,104	0,094	0,107	0,111
300°	I	0,073	0,084	0,085	0,086	0,086	0,09	0,085	0,095	0,098
	II	0,064	0,068	0,071	0,067	0,068	0,07	0,065	0,072	0,068
	III	0,071	0,078	0,072	0,072	0,070	0,09	0,079	0,085	0,081
315°	I	0,073	0,09	0,091	0,089	0,097	0,103	0,091	0,134	0,122
	II	0,063	0,073	0,076	0,069	0,076	0,078	0,07	0,082	0,083
	III	0,069	0,087	0,078	0,068	0,075	0,077	0,074	0,097	0,092
330°	I	0,08	0,088	0,092	0,087	0,098	0,106	0,098	0,153	0,127
	II	0,065	0,073	0,079	0,063	0,075	0,082	0,064	0,086	0,091
	III	0,07	0,098	0,079	0,064	0,071	0,08	0,081	0,099	0,097
345°	I	0,079	0,113	0,143	0,103	0,144	0,169	0,129	0,246	0,168
	II	0,066	0,085	0,102	0,071	0,091	0,113	0,075	0,114	0,119
	III	0,092	0,155	0,14	0,114	0,129	0,137	0,135	0,167	0,133

Coeficientes adimensionais de pressão r.m.s., externos, para a face 1 dos modelos I, II e III.

Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Região								
		Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
0°	I	0,155	0,166	0,123	0,131	0,128	0,117	0,139	0,173	0,123
	II	0,104	0,105	0,124	0,103	0,107	0,120	0,102	0,108	0,116
	III	0,108	0,118	0,108	0,101	0,128	0,100	0,115	0,125	0,107
15°	I	0,089	0,103	0,122	0,088	0,109	0,142	0,093	0,113	0,119
	II	0,074	0,077	0,096	0,074	0,075	0,090	0,073	0,073	0,084
	III	0,069	0,082	0,083	0,073	0,075	0,087	0,090	0,079	0,092
30°	I	0,089	0,099	0,105	0,094	0,111	0,121	0,095	0,142	0,143
	II	0,064	0,073	0,079	0,065	0,075	0,078	0,066	0,077	0,077
	III	0,071	0,074	0,070	0,072	0,084	0,070	0,084	0,088	0,071
45°	I	0,077	0,094	0,103	0,083	0,110	0,118	0,087	0,145	0,139
	II	0,064	0,078	0,081	0,066	0,081	0,082	0,068	0,083	0,082
	III	0,070	0,085	0,076	0,064	0,094	0,079	0,072	0,091	0,084
60°	I	0,084	0,088	0,096	0,079	0,101	0,101	0,084	0,139	0,124
	II	0,068	0,074	0,081	0,067	0,077	0,081	0,066	0,080	0,081
	III	0,073	0,079	0,072	0,067	0,090	0,073	0,068	0,081	0,080
75°	I	0,115	0,179	0,208	0,124	0,211	0,234	0,153	0,294	0,267
	II	0,097	0,115	0,132	0,098	0,121	0,130	0,098	0,127	0,128
	III	0,096	0,144	0,140	0,093	0,160	0,148	0,105	0,152	0,153
90°	I	0,192	0,338	0,359	0,211	0,359	0,372	0,214	0,339	0,283
	II	0,125	0,179	0,206	0,128	0,183	0,197	0,130	0,187	0,188
	III	0,162	0,216	0,223	0,154	0,225	0,219	0,163	0,211	0,178
105°	I	0,494	0,269	0,268	0,278	0,322	0,267	0,084	0,238	0,168
	II	0,123	0,161	0,152	0,118	0,163	0,148	0,112	0,165	0,144
	III	0,185	0,200	0,173	0,163	0,194	0,189	0,131	0,190	0,136
120°	I	0,279	0,241	0,215	0,114	0,278	0,197	0,055	0,062	0,063
	II	0,121	0,175	0,162	0,089	0,141	0,132	0,056	0,107	0,101
	III	0,228	0,173	0,137	0,091	0,133	0,120	0,085	0,084	0,078
135°	I	0,133	0,210	0,194	0,093	0,115	0,097	0,055	0,067	0,067
	II	0,092	0,127	0,115	0,084	0,109	0,096	0,075	0,091	0,077
	III	0,125	0,198	0,151	0,089	0,1	0,081	0,068	0,084	0,087
150°	I	0,114	0,144	0,123	0,105	0,135	0,110	0,073	0,087	0,077
	II	0,105	0,134	0,105	0,095	0,124	0,095	0,085	0,113	0,084
	III	0,120	0,139	0,121	0,113	0,122	0,108	0,096	0,111	0,120
165°	I	0,119	0,143	0,117	0,115	0,148	0,119	0,090	0,115	0,101
	II	0,109	0,142	0,118	0,107	0,137	0,110	0,105	0,131	0,101
	III	0,118	0,143	0,127	0,114	0,149	0,121	0,137	0,148	0,140

Coeficientes adimensionais de pressão r.m.s., externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.

		Região								
Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
180°	I	0,110	0,140	0,116	0,115	0,152	0,127	0,105	0,139	0,114
	II	0,102	0,138	0,118	0,104	0,139	0,115	0,105	0,140	0,111
	III	0,118	0,159	0,128	0,116	0,175	0,128	0,122	0,143	0,134
195°	I	0,096	0,115	0,106	0,113	0,144	0,122	0,113	0,142	0,117
	II	0,101	0,129	0,113	0,107	0,135	0,113	0,112	0,140	0,112
	III	0,142	0,145	0,126	0,111	0,149	0,119	0,117	0,144	0,128
210°	I	0,083	0,087	0,083	0,109	0,138	0,122	0,119	0,148	0,128
	II	0,081	0,110	0,108	0,091	0,121	0,110	0,101	0,132	0,111
	III	0,135	0,133	0,107	0,115	0,139	0,112	0,120	0,140	0,117
225°	I	0,065	0,065	0,062	0,088	0,109	0,099	0,141	0,206	0,188
	II	0,071	0,079	0,076	0,079	0,101	0,091	0,087	0,122	0,105
	III	0,084	0,145	0,084	0,091	0,222	0,090	0,170	0,205	0,144
240°	I	0,056	0,630	0,630	0,136	0,280	0,204	0,252	0,242	0,218
	II	0,053	0,097	0,099	0,083	0,137	0,129	0,113	0,176	0,159
	III	0,095	0,176	0,092	0,069	0,191	0,082	0,176	0,186	0,146
255°	I	0,092	0,240	0,159	0,265	0,308	0,262	0,561	0,257	0,248
	II	0,115	0,180	0,164	0,123	0,178	0,159	0,130	0,176	0,153
	III	0,128	0,214	0,143	0,177	0,190	0,168	0,157	0,193	0,170
270°	I	0,209	0,349	0,253	0,197	0,317	0,329	0,167	0,295	0,305
	II	0,128	0,184	0,198	0,125	0,185	0,195	0,121	0,185	0,191
	III	0,173	0,252	0,196	0,192	0,261	0,229	0,164	0,255	0,249
285°	I	0,147	0,254	0,241	0,121	0,187	0,202	0,109	0,161	0,184
	II	0,089	0,125	0,135	0,088	0,123	0,129	0,087	0,120	0,123
	III	0,118	0,146	0,138	0,104	0,141	0,147	0,097	0,129	0,148
300°	I	0,089	0,127	0,122	0,081	0,096	0,107	0,080	0,086	0,093
	II	0,065	0,073	0,079	0,066	0,072	0,076	0,066	0,070	0,073
	III	0,074	0,085	0,084	0,073	0,074	0,078	0,078	0,075	0,077
315°	I	0,095	0,140	0,133	0,088	0,100	0,116	0,076	0,096	0,100
	II	0,072	0,086	0,089	0,070	0,085	0,086	0,068	0,083	0,082
	III	0,076	0,100	0,091	0,069	0,083	0,085	0,071	0,079	0,084
330°	I	0,093	0,113	0,119	0,088	0,101	0,105	0,083	0,093	0,094
	II	0,073	0,079	0,084	0,072	0,079	0,082	0,071	0,078	0,079
	III	0,075	0,085	0,082	0,069	0,079	0,079	0,070	0,076	0,079
345°	I	0,106	0,112	0,123	0,192	0,113	0,144	0,189	0,106	0,122
	II	0,075	0,075	0,090	0,075	0,080	0,093	0,075	0,085	0,095
	III	0,091	0,090	0,105	0,079	0,084	0,096	0,079	0,079	0,096

Coeficientes adimensionais de pressão r.m.s., externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.

		Região									
Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Cp Pico	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
0°	I	mín	-1,61	-2,69	-2,64	-1,88	-2,14	-2,43	-1,30	-2,32	-1,04
		máx	-0,31	-0,20	-0,13	0,06	0,18	0,22	0,26	0,35	0,10
	II	mín	-1,25	-1,48	-1,45	-1,27	-1,49	-1,43	-1,35	-1,39	-1,03
		máx	-0,45	-0,24	-0,28	-0,12	-0,14	-0,04	-0,03	0,15	0,14
	III	mín	-1,82	-2,00	-1,77	-1,58	-1,62	-1,43	-1,37	-1,40	-1,00
		máx	-0,05	-0,02	-0,21	0,02	0,13	-0,08	0,16	0,28	0,07
15°	I	mín	-2,15	-2,14	-1,58	-1,29	-1,74	-1,49	-0,59	-0,77	-0,74
		máx	-0,38	0,19	0,14	0,18	0,20	0,10	0,04	0,03	-0,03
	II	mín	-1,01	-1,01	-1,08	-0,83	-0,99	-0,95	-0,53	-0,82	0,66
		máx	-0,23	0,04	0,00	-0,07	-0,02	-0,05	-0,07	-0,06	0,03
	III	mín	-1,63	-1,51	-1,24	-0,84	-0,93	-0,71	-0,76	-0,78	-0,72
		máx	0,15	0,06	0,08	-0,03	0,03	0,03	-0,08	-0,05	-0,07
30°	I	mín	-1,09	-1,02	-0,87	-0,42	-0,50	-0,50	-0,43	-0,59	-0,55
		máx	0,58	0,76	0,60	0,27	0,47	0,34	0,07	0,01	-0,02
	II	mín	-0,40	-0,43	-0,42	-0,32	-0,29	-0,30	-0,35	-0,32	-0,35
		máx	0,49	0,58	0,43	0,29	0,43	0,28	0,05	0,09	0,09
	III	mín	-0,94	-1,10	-0,84	-0,73	-0,25	-0,27	-0,80	-0,80	-0,83
		máx	0,49	0,55	0,51	0,21	0,37	0,25	0,07	0,10	0,11
45°	I	mín	-0,32	-0,05	-0,14	-0,31	-0,14	-0,19	-0,35	-0,51	-0,48
		máx	0,94	1,07	0,86	0,66	0,88	0,63	0,21	0,22	0,11
	II	mín	-0,11	0,03	-0,03	-0,22	-0,06	-0,08	-0,26	-0,25	-0,24
		máx	0,79	1,03	0,65	0,63	0,84	0,53	0,30	0,39	0,22
	III	mín	-0,36	-0,50	-0,21	-0,59	-0,11	-0,12	-0,68	-0,73	-0,63
		máx	0,97	1,12	0,81	0,54	0,78	0,50	0,18	0,48	0,25
60°	I	mín	-0,22	-0,08	-0,15	-0,27	-0,05	-0,06	-0,39	-0,46	-0,36
		máx	1,03	1,18	0,89	0,89	1,12	0,79	0,41	0,53	0,32
	II	mín	-0,03	0,08	0,04	-0,10	-0,02	-0,03	-0,10	-0,13	-0,13
		máx	0,98	1,05	0,78	0,89	1,00	0,72	0,59	0,68	0,50
	III	mín	-0,07	-0,41	-0,17	-0,24	-0,08	0,05	-0,47	-0,53	-0,47
		máx	1,11	1,14	0,84	0,84	1,06	0,80	0,69	0,69	0,60
75°	I	mín	-0,01	-0,28	-0,03	-0,07	-0,05	-0,05	-0,18	-0,43	-0,49
		máx	0,98	1,05	0,78	1,00	1,16	0,80	0,71	0,74	0,46
	II	mín	0,00	0,00	-0,06	-0,12	0,03	0,00	-0,05	-0,07	-0,09
		máx	0,97	1,09	0,77	1,01	1,10	0,79	0,74	0,86	0,58
	III	mín	-0,17	-0,38	-0,57	-0,08	0,04	0,02	-0,33	-0,52	-0,66
		máx	1,15	1,17	0,82	1,07	1,11	0,86	0,91	0,96	0,76

Coeficientes adimensionais de pressão pico, externos, para a face 1 dos modelos I, II e III.

		Região									
Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Cp Pico	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
90°	I	mín	-0,12	-0,51	-0,52	-0,11	-0,06	-0,05	-0,14	-0,44	-0,43
		máx	0,84	0,88	0,72	0,99	1,15	0,86	0,86	0,88	0,76
	II	mín	-0,09	-0,04	-0,11	-0,05	0,05	0,02	-0,02	-0,02	-0,12
		máx	0,90	0,98	0,62	0,95	1,14	0,81	0,93	1,01	0,73
	III	mín	-0,30	-0,62	-0,86	-0,06	0,06	0,04	-0,09	-0,52	-0,61
		máx	1,19	1,11	0,78	1,14	1,16	0,87	1,16	1,12	0,79
105°	I	mín	-0,21	-0,52	-0,53	-0,11	-0,05	-0,06	0,01	-0,33	-0,27
		máx	0,67	0,70	0,50	1,03	1,14	0,89	1,03	1,05	0,66
	II	mín	-0,16	-0,08	-0,15	-0,07	0,04	0,02	0,05	-0,02	0,01
		máx	0,83	0,91	0,60	0,96	1,14	0,81	1,05	1,15	0,80
	III	mín	-0,37	-0,67	-0,93	-0,02	0,04	0,05	-0,18	-0,37	-0,39
		máx	1,01	1,05	0,70	1,03	1,13	0,81	1,12	1,18	0,76
120°	I	mín	-0,30	-0,46	-0,41	-0,19	-0,03	-0,10	0,04	-0,06	-0,10
		máx	0,45	0,43	0,35	0,84	1,05	0,79	1,08	1,14	0,80
	II	mín	-0,19	-0,10	-0,16	-0,12	0,02	-0,04	0,01	0,08	0,04
		máx	0,54	0,66	0,47	0,86	1,03	0,77	1,00	1,13	0,84
	III	mín	-0,46	-0,60	-0,70	-0,22	0,03	0,04	0,04	-0,13	-0,16
		máx	0,83	1,00	0,56	1,01	1,10	0,83	1,12	1,17	0,86
135°	I	mín	-0,37	-0,57	-0,54	-0,30	-0,15	-0,17	-0,25	-0,32	-0,19
		máx	0,18	0,19	0,13	0,63	0,81	0,60	1,05	1,19	0,81
	II	mín	-0,30	-0,25	-0,28	-0,25	-0,10	-0,12	-0,11	0,03	-0,06
		máx	0,30	0,33	0,23	0,62	0,78	0,67	0,73	0,96	0,81
	III	mín	-0,68	-0,66	-0,70	-0,47	-0,09	-0,10	-0,29	-0,36	-0,25
		máx	0,51	0,92	0,24	0,61	0,75	0,51	0,90	1,12	0,73
150°	I	mín	-0,43	-0,65	-0,59	-0,42	-0,53	-0,44	-1,16	-1,14	-0,79
		máx	0,01	-0,04	-0,05	0,21	0,45	0,35	0,43	0,72	0,60
	II	mín	-0,40	-0,34	-0,38	-0,35	-0,28	-0,29	-0,45	-0,44	-0,37
		máx	0,04	0,07	-0,02	0,24	0,39	0,30	0,38	0,59	0,44
	III	mín	-0,84	-0,85	-0,91	-0,63	-0,38	-0,26	-1,12	-0,74	-0,70
		máx	0,28	0,58	0,03	0,32	0,41	0,30	0,50	0,61	0,50
165°	I	mín	-0,63	-0,80	-0,68	-1,39	-1,78	-1,28	-2,37	-2,11	-1,97
		máx	-0,03	0,02	-0,09	0,17	0,26	0,12	-0,41	0,17	0,14
	II	mín	-0,63	-0,87	-0,70	-0,99	-1,15	-0,99	-1,09	-1,16	-1,02
		máx	-0,08	0,00	-0,04	-0,12	-0,04	-0,03	-0,33	-0,01	0,05
	III	mín	-0,91	-1,26	-0,86	-0,87	-1,28	-0,93	-1,93	-1,55	-1,41
		máx	0,05	0,03	-0,06	0,04	0,05	0,00	-0,02	0,04	0,03

Coeficientes adimensionais de pressão pico, externos, para a face 1 dos modelos I, II e III.

		Região									
Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Cp Pico	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
180°	I	mín	-1,55	-2,14	-1,32	-1,88	-2,24	-2,31	-1,79	-2,65	-2,05
		máx	0,28	0,23	0,09	0,23	0,22	0,13	-0,32	-0,21	-0,25
	II	mín	-1,11	-1,26	-1,05	-1,39	-1,47	-1,39	-1,26	-1,40	-1,35
		máx	-0,06	-0,02	0,06	-0,30	-0,07	-0,02	-0,41	-0,14	-0,24
	III	mín	-1,35	-1,68	-1,26	-1,52	-1,70	-1,50	-1,65	-1,73	-1,88
		máx	0,29	0,21	0,21	0,21	0,12	-0,06	-0,22	-0,20	-0,19
195°	I	mín	-2,28	-2,45	-1,61	-1,94	-1,88	-2,34	-1,05	-1,33	-1,46
		máx	-0,12	0,00	-0,14	-0,12	-0,16	-0,15	-0,28	-0,25	-0,26
	II	mín	-1,01	-1,20	-1,22	-0,91	-1,03	-1,08	-0,84	-0,90	-0,87
		máx	-0,17	-0,21	-0,25	-0,27	-0,29	-0,30	-0,35	-0,26	-0,30
	III	mín	-1,50	-1,66	-1,41	-1,27	-1,54	-1,42	-1,04	-1,15	-1,25
		máx	-0,06	-0,12	-0,20	-0,25	-0,22	-0,27	-0,12	-0,22	-0,30
210°	I	mín	-1,36	-2,11	-2,28	-1,02	-1,76	-1,28	-0,89	-1,07	-1,10
		máx	-0,32	-0,14	-0,27	-0,32	-0,28	-0,33	-0,30	-0,22	-0,30
	II	mín	-0,89	-1,30	-1,42	-0,87	-1,02	-1,12	-0,87	-0,84	-0,94
		máx	-0,38	-0,31	-0,38	-0,37	-0,31	-0,37	-0,39	-0,30	-0,35
	III	mín	-1,07	-1,38	-1,75	-0,93	-0,95	-1,16	-0,88	-0,92	-1,07
		máx	-0,30	-0,33	-0,35	-0,31	-0,32	-0,18	-0,13	-0,23	-0,29
225°	I	mín	-1,05	-1,59	-1,67	-1,03	-1,16	-1,18	-0,82	-0,98	-0,97
		máx	-0,24	-0,11	-0,21	-0,26	-0,30	-0,33	-0,31	-0,21	-0,30
	II	mín	-0,89	-1,04	-1,17	-0,78	-0,92	-0,91	-0,77	-0,79	-0,84
		máx	-0,27	-0,27	-0,30	-0,32	-0,32	-0,33	-0,37	-0,31	-0,33
	III	mín	-1,26	-1,46	-1,69	-0,97	-1,34	-1,37	-0,92	-1,07	-1,14
		máx	-0,24	-0,32	-0,30	-0,25	-0,31	-0,01	-0,09	-0,25	-0,29
240°	I	mín	-1,11	-1,59	-1,79	-1,43	-1,14	-1,61	-0,85	-1,06	-1,18
		máx	-0,27	-0,14	-0,32	-0,22	-0,22	-0,30	-0,25	-0,16	-0,29
	II	mín	-0,90	-1,01	-1,01	-0,84	-0,97	-0,98	-0,84	-0,92	-0,95
		máx	-0,31	-0,25	-0,32	-0,25	-0,29	-0,34	-0,33	-0,30	-0,32
	III	mín	-0,94	-1,26	-1,39	-0,99	-1,02	-1,21	-0,84	-0,97	-1,14
		máx	-0,28	-0,21	-0,29	-0,24	-0,28	0,41	-0,09	-0,25	-0,31
255°	I	mín	-1,20	-1,80	-1,69	-1,19	-2,22	-2,35	-1,04	-1,47	-1,67
		máx	-0,28	-0,09	0,04	-0,26	-0,11	-0,16	-0,23	-0,03	-0,09
	II	mín	-1,09	-1,54	-1,33	-1,16	-1,31	-1,30	-1,04	-1,25	-1,18
		máx	-0,36	-0,19	-0,22	-0,34	-0,13	-0,31	-0,31	-0,15	-0,24
	III	mín	-1,11	-1,56	-1,60	-1,06	-1,47	-1,72	-1,03	-1,27	-1,44
		máx	-0,29	-0,17	-0,19	-0,31	-0,24	0,78	-0,10	-0,19	-0,21

Coeficientes adimensionais de pressão pico, externos, para a face 1 dos modelos I, II e III.

		Região									
Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Cp Pico	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
270°	I	mín	-1,59	-2,02	-2,17	-1,80	-2,38	-2,62	-1,56	-2,40	-2,17
		máx	-0,17	0,10	-0,15	-0,17	-0,03	-0,15	-0,21	-0,03	-0,12
	II	mín	-1,19	-1,60	-1,47	-1,28	-1,55	-1,70	-1,29	-1,58	-1,68
		máx	-0,30	-0,21	-0,21	-0,31	-0,13	-0,29	-0,31	-0,12	-0,30
	III	mín	-1,67	-2,62	-1,66	-1,40	-1,55	-1,47	-1,38	-1,78	-1,75
		máx	-0,20	-0,12	-0,26	-0,26	-0,14	0,85	-0,10	-0,13	-0,16
285°	I	mín	-1,11	-1,68	-1,61	-1,53	-1,86	-1,94	-1,30	-1,49	-1,59
		máx	-0,24	-0,08	-0,10	-0,26	-0,12	-0,09	-0,26	-0,08	-0,11
	II	mín	-0,95	-1,11	-1,17	-1,00	-1,21	-1,27	-0,99	-1,07	-1,14
		máx	-0,31	-0,20	-0,31	-0,34	-0,06	-0,30	-0,37	-0,20	-0,28
	III	mín	-1,05	-1,43	-1,61	-1,02	-1,70	-1,77	-1,10	-1,34	-1,32
		máx	-0,25	-0,20	-0,24	-0,25	-0,23	0,88	-0,08	-0,08	-0,32
300°	I	mín	-0,85	-0,93	-0,99	-1,13	-1,13	-1,16	-1,05	-1,19	1,37
		máx	-0,27	-0,21	-0,25	-0,26	-0,12	-0,27	-0,31	-0,10	-0,29
	II	mín	-0,75	-0,93	-0,98	-0,86	-1,00	-1,10	-0,81	-1,04	-1,09
		máx	-0,34	-0,27	-0,34	-0,32	-0,28	-0,36	-0,35	-0,25	-0,39
	III	mín	-0,87	-1,14	-1,13	-0,91	-1,22	-1,19	-1,01	-1,54	-1,56
		máx	-0,27	-0,25	-0,35	-0,25	-0,28	0,83	-0,06	-0,17	-0,35
315°	I	mín	-0,92	-1,11	-1,13	-1,10	-1,35	-1,40	-1,48	-1,87	-1,99
		máx	-0,35	-0,21	-0,27	-0,28	-0,30	-0,33	-0,29	-0,07	-0,25
	II	mín	-0,81	-0,88	-0,94	-0,88	-0,95	-1,02	-0,86	-1,04	-1,21
		máx	-0,34	-0,30	-0,36	-0,33	-0,33	-0,37	-0,34	-0,26	-0,28
	III	mín	-0,86	-1,14	-0,88	-0,89	-0,95	-1,05	-1,06	-1,38	-1,62
		máx	-0,34	-0,32	-0,31	-0,28	-0,33	0,54	-0,09	-0,18	-0,32
330°	I	mín	-0,91	-1,02	-1,11	-1,05	-1,26	-1,37	-1,11	-2,19	-1,95
		máx	-0,34	-0,17	-0,33	-0,35	-0,29	-0,33	-0,30	-0,15	-0,29
	II	mín	-0,86	-1,02	-1,08	-0,86	-0,13	-0,17	-0,93	-1,47	-1,39
		máx	-0,39	-0,23	-0,29	-0,36	-0,32	-0,33	-0,36	-0,30	-0,33
	III	mín	-0,88	-1,45	-0,96	-0,90	-0,91	-1,05	-1,16	-1,33	-1,45
		máx	-0,28	-0,30	-0,35	-0,02	-0,35	-0,01	-0,13	-0,24	-0,37
345°	I	mín	-0,98	-1,24	-1,49	-1,37	-1,68	-1,80	-1,60	-2,36	-1,82
		máx	-0,30	-0,22	-0,28	-0,28	0,02	-0,13	-0,17	-0,09	-0,07
	II	mín	-0,90	-1,04	-1,14	-1,00	-1,09	-1,22	-1,00	-1,25	-1,30
		máx	-0,40	-0,27	-0,27	-0,27	-0,26	-0,27	-0,25	-0,23	-0,21
	III	mín	-1,26	-2,05	-1,45	-1,43	-1,70	-1,61	-1,38	-1,84	-1,43
		máx	-0,15	-0,09	-0,31	-0,12	0,09	-0,06	0,06	-0,03	-0,05

Coeficientes adimensionais de pressão pico, externos, para a face 1 dos modelos I, II e III.

		Região									
Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Cp Pico	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
0°	I	mín	-1,37	-1,51	-1,23	-1,17	-1,40	-1,08	-1,27	-1,32	-1,15
		máx	-0,10	-0,28	-0,08	-0,14	-0,17	-0,14	-0,10	-0,09	-0,06
	II	mín	-0,95	-1,09	-1,16	-0,93	-1,06	-1,12	-0,90	-1,03	-1,07
		máx	-0,16	-0,14	-0,13	-0,16	-0,14	-0,16	-0,16	-0,14	-0,18
	III	mín	-0,92	-1,23	-1,37	-1,07	-1,17	-0,97	-1,09	-1,11	-1,23
		máx	-0,11	-0,08	-0,13	-0,12	-0,09	-0,11	-0,06	0,00	-0,10
15°	I	mín	-0,86	-1,11	-1,46	-0,89	-1,58	-2,07	-1,17	-1,24	-1,43
		máx	-0,19	-0,13	-0,10	-0,19	-0,14	-0,18	-0,19	-0,11	-0,21
	II	mín	-0,77	-0,85	-1,05	-0,79	-0,90	-1,07	-0,81	-0,94	-1,08
		máx	-0,17	-0,22	-0,25	-0,21	-0,21	-0,27	-0,25	-0,19	-0,29
	III	mín	-0,77	-1,05	-0,98	-0,79	-1,05	-1,35	-1,14	-1,14	-1,15
		máx	-0,23	-0,12	-0,26	-0,20	-0,15	-0,27	-0,23	-0,16	-0,18
30°	I	mín	-0,95	-1,50	-1,33	-1,09	-1,51	-2,00	-1,07	-2,20	-2,49
		máx	-0,22	-0,13	-0,22	-0,21	-0,15	-0,25	-0,22	-0,05	-0,15
	II	mín	-0,79	-1,09	-1,07	-0,80	-1,10	-1,14	-0,81	-1,10	-1,21
		máx	-0,30	-0,25	-0,34	-0,31	-0,23	-0,36	-0,32	-0,20	-0,37
	III	mín	-0,83	-1,08	-1,11	-0,85	-1,11	-1,21	-0,96	-1,83	-1,53
		máx	-0,28	-0,22	-0,32	-0,30	-0,18	-0,36	-0,26	-0,16	-0,37
45°	I	mín	-1,01	-1,02	-1,15	-1,32	-1,35	-1,60	-1,16	-2,32	-2,23
		máx	-0,30	-0,13	-0,28	-0,29	-0,22	-0,30	-0,29	-0,07	-0,25
	II	mín	-0,81	-1,06	-1,16	-0,84	-1,17	-1,24	-0,87	-1,28	-1,32
		máx	-0,32	-0,31	-0,35	-0,29	-0,30	-0,37	-0,26	-0,29	-0,39
	III	mín	-1,11	-1,49	-1,07	-1,07	-1,66	-1,13	-1,14	-1,68	-1,39
		máx	-0,32	-0,25	-0,33	-0,33	-0,24	-0,37	-0,33	-0,27	-0,35
60°	I	mín	-1,11	-1,21	-1,21	-1,18	-1,48	-1,54	-1,37	-2,44	-1,84
		máx	-0,35	-0,25	-0,32	-0,36	-0,27	-0,35	-0,24	-0,32	-0,36
	II	mín	-0,87	-1,04	-1,11	-0,89	-1,12	-1,22	-0,91	-1,20	-1,32
		máx	-0,32	-0,33	-0,37	-0,31	-0,33	-0,38	-0,30	-0,33	-0,39
	III	mín	-0,94	-1,13	-0,90	-0,88	-1,36	-0,96	-0,95	-1,18	-1,11
		máx	-0,30	-0,22	-0,33	-0,36	-0,31	-0,33	-0,38	-0,32	-0,36
75°	I	mín	-1,27	-1,70	-1,99	-1,49	-2,16	-2,36	-1,96	-3,40	-2,89
		máx	-0,34	-0,22	-0,21	-0,34	-0,27	-0,23	-0,37	-0,19	0,04
	II	mín	-1,13	-1,29	-1,49	-1,16	-1,35	-1,49	-1,18	-1,40	-1,48
		máx	-0,28	-0,25	-0,33	-0,29	-0,29	-0,35	-0,29	-0,33	-0,36
	III	mín	-1,09	-1,76	-1,73	-1,08	-2,31	-1,86	-1,42	-2,34	-1,83
		máx	-0,31	-0,24	-0,33	-0,34	-0,26	-0,32	-0,35	-0,26	-0,27

Coeficientes adimensionais de pressão pico, externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.

		Região									
Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Cp Pico	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
90°	I	mín	-3,27	-2,59	-3,18	-2,09	-3,34	-2,98	-2,20	-3,60	-2,93
		máx	-0,35	-0,20	-0,10	-0,16	-0,09	-0,02	0,01	0,22	0,06
	II	mín	-1,35	-1,74	-1,79	-1,36	-1,83	-1,80	-1,37	-1,92	-1,80
		máx	-0,38	-0,25	-0,27	-0,34	-0,26	-0,29	-0,30	-0,26	-0,30
	III	mín	-1,86	-2,35	-2,06	-1,71	-2,01	-2,22	-1,68	-2,00	-1,64
		máx	-0,35	-0,19	-0,30	-0,31	-0,11	-0,25	-0,17	-0,15	-0,21
105°	I	mín	-3,45	-2,43	-2,53	-1,89	-2,45	-2,08	-1,07	-1,70	-1,66
		máx	-0,64	-0,20	-0,21	0,01	0,14	0,02	-0,13	0,19	-0,07
	II	mín	-1,34	-1,36	-1,36	-1,27	-1,37	-1,34	-1,19	-1,38	-1,31
		máx	-0,44	-0,26	-0,19	-0,37	-0,21	-0,20	-0,30	-0,16	-0,21
	III	mín	-2,01	-1,82	-1,71	-1,52	-1,81	-1,50	-1,27	-1,64	-1,18
		máx	-0,45	-0,05	-0,27	-0,05	0,05	-0,08	-0,07	0,01	-0,17
120°	I	mín	-1,52	-1,55	-1,23	-0,91	-1,28	-1,11	-0,55	-0,64	-0,70
		máx	0,37	0,45	0,37	0,22	0,42	0,22	-0,04	-0,04	-0,13
	II	mín	-0,89	-0,87	-0,88	-0,80	-0,80	-0,82	-0,70	-0,73	-0,75
		máx	0,27	0,38	0,23	0,19	0,28	0,15	0,11	0,17	0,06
	III	mín	-1,42	-1,12	-0,91	-0,61	-0,80	-0,71	-0,86	-0,95	-0,85
		máx	0,26	0,32	0,20	0,27	0,21	0,10	0,04	0,09	0,00
135°	I	mín	-0,74	-0,52	-0,62	-0,33	-0,25	-0,25	-0,50	-0,57	-0,62
		máx	0,94	1,05	0,76	0,64	0,79	0,59	0,12	0,19	0,08
	II	mín	-0,11	-0,20	-0,32	-0,15	-0,22	-0,28	-0,18	-0,24	-0,24
		máx	0,76	0,82	0,57	0,62	0,66	0,43	0,47	0,50	0,29
	III	mín	-0,37	-0,68	-0,41	-0,37	-0,80	-0,24	-0,56	-0,69	-0,72
		máx	0,81	0,98	0,58	0,58	0,49	0,37	0,32	0,39	0,24
150°	I	mín	0,03	0,04	-0,05	-0,15	-0,13	-0,21	-0,40	-0,44	-0,51
		máx	1,05	1,15	0,83	0,92	1,06	0,72	0,37	0,42	0,22
	II	mín	-0,03	0,29	0,00	-0,06	0,11	-0,06	-0,08	-0,08	-0,11
		máx	0,97	1,06	0,75	0,86	0,92	0,63	0,75	0,78	0,50
	III	mín	0,03	-0,52	0,04	-0,18	-0,60	-0,14	-0,38	-0,68	-0,61
		máx	1,06	1,19	0,93	0,81	0,89	0,60	0,88	0,85	0,46
165°	I	mín	-0,06	-0,17	-0,19	-0,05	-0,06	-0,05	-0,25	-0,35	-0,42
		máx	1,03	1,03	0,86	1,05	1,18	0,92	0,65	0,80	0,50
	II	mín	-0,05	-0,01	-0,01	-0,08	-0,01	-0,02	-0,11	0,00	-0,03
		máx	1,08	1,16	0,80	1,02	1,08	0,72	0,95	1,00	0,63
	III	mín	0,01	-0,47	-0,13	-0,04	-0,55	-0,03	-0,27	-0,54	-0,57
		máx	1,14	1,15	0,82	1,11	1,13	0,76	1,12	1,14	0,76

Coeficientes adimensionais de pressão pico, externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.

		Região									
Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Cp Pico	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
180°	I	mín	-0,17	-0,29	-0,37	-0,18	-0,01	-0,05	-0,16	-0,38	0,44
		máx	0,80	0,89	0,69	1,06	1,20	0,83	0,83	0,85	0,63
	II	mín	0,18	0,08	-0,07	0,13	0,06	-0,04	0,08	0,04	0,00
		máx	1,00	1,07	0,75	1,01	1,08	0,73	1,01	1,09	0,70
	III	mín	-0,28	-0,33	-0,31	-0,02	-0,42	0,01	-0,26	-0,44	-0,54
		máx	1,04	1,10	0,78	1,12	1,19	0,78	1,09	1,13	0,75
195°	I	mín	-0,16	-0,34	-0,49	-0,04	-0,01	-0,04	-0,04	-0,21	-0,22
		máx	0,67	0,73	0,57	1,08	1,21	0,93	1,02	1,11	0,86
	II	mín	0,00	0,02	-0,08	0,05	0,04	-0,04	0,09	0,06	0,01
		máx	0,93	0,97	0,69	1,01	1,05	0,72	1,09	1,12	0,75
	III	mín	-0,45	-0,39	-0,38	0,03	-0,20	-0,01	0,02	-0,29	-0,19
		máx	1,03	1,14	0,76	1,12	1,11	0,80	1,10	1,17	0,79
210°	I	mín	-0,39	-0,37	-0,53	-0,19	-0,12	-0,14	-0,05	-0,02	-0,03
		máx	0,41	0,42	0,28	0,94	1,05	0,77	1,07	1,13	0,92
	II	mín	-0,12	-0,07	-0,18	-0,08	-0,02	-0,08	-0,03	0,03	0,03
		máx	0,73	0,76	0,60	0,85	0,91	0,67	0,96	1,05	0,74
	III	mín	-0,46	-0,49	-0,52	-0,12	-0,04	-0,19	-0,02	-0,01	-0,01
		máx	0,92	1,01	0,63	0,89	1,08	0,62	1,18	1,16	0,79
225°	I	mín	-0,45	-0,48	-0,55	-0,38	-0,22	-0,27	-0,50	-0,91	-0,53
		máx	0,19	0,20	0,04	0,59	0,76	0,60	0,66	1,04	0,69
	II	mín	-0,26	-0,20	-0,26	-0,25	-0,22	-0,27	-0,24	-0,24	-0,28
		máx	0,39	0,43	0,32	0,53	0,62	0,41	0,67	0,81	0,50
	III	mín	-0,62	-0,63	-0,61	-0,31	-0,58	-0,33	-0,46	-0,52	-0,64
		máx	0,32	0,71	0,33	0,58	0,90	0,33	0,84	0,93	0,65
240°	I	mín	-0,52	-0,63	-0,75	-0,94	-1,55	-1,05	-1,55	-1,48	-1,51
		máx	-0,04	-0,01	-0,10	0,24	0,34	0,20	0,34	0,54	0,32
	II	mín	-0,44	-0,66	-0,70	-0,58	-0,78	-0,78	-0,72	-0,89	-0,85
		máx	0,07	0,08	0,05	0,14	0,20	0,11	0,21	0,31	0,17
	III	mín	-0,72	-0,95	-0,77	-0,50	-1,25	-0,63	-1,55	-1,17	-0,86
		máx	0,03	0,22	0,07	0,22	0,30	0,02	0,38	0,44	0,24
255°	I	mín	-0,94	-2,02	-1,57	-1,86	-2,64	-2,39	-3,63	-2,55	-2,58
		máx	-0,03	0,08	-0,05	-0,04	0,19	0,01	-0,38	-0,23	-0,20
	II	mín	-1,16	-1,65	-1,35	-1,25	-1,61	-1,38	-1,34	-1,57	-1,40
		máx	-0,25	-0,12	-0,21	-0,32	-0,13	-0,24	-0,39	-0,13	-0,26
	III	mín	-1,27	-1,67	-1,27	-1,33	-1,91	-1,42	-2,23	-1,85	-1,52
		máx	-0,17	-0,01	-0,04	-0,09	-0,10	-0,16	-0,50	-0,26	-0,17

Coeficientes adimensionais de pressão pico, externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.

		Região									
Ângulo de Incidência do vento	Modelo	Cp Pico	Canto superior esquerdo	Lateral esquerda	Canto inferior esquerdo	Topo	Centro	Base	Canto superior direito	Lateral direita	Canto inferior direito
270°	I	mín	-2,21	-3,49	-2,23	-2,40	-3,03	-3,13	-1,90	-2,86	-2,33
		máx	-0,01	0,06	-0,08	-0,25	-0,08	-0,09	-0,39	-0,16	-0,13
	II	mín	-1,39	-1,68	-1,72	-1,35	-1,62	-1,70	-1,30	-1,56	-1,68
		máx	-0,32	-0,29	-0,27	-0,35	-0,29	-0,29	-0,38	-0,28	-0,30
	III	mín	-1,60	-2,26	-1,78	-1,76	-2,24	-2,15	-1,89	-2,21	-2,03
		máx	-0,04	0,11	-0,14	-0,16	-0,18	-0,21	-0,34	-0,28	-0,32
285°	I	mín	-2,35	-2,68	-2,81	-1,55	-2,16	-2,10	-1,53	1,66	1,84
		máx	-0,23	-0,21	-0,17	-0,35	-0,24	-0,28	-0,38	-0,20	-0,28
	II	mín	-1,13	-1,64	-1,70	-1,07	-1,59	-1,65	-1,01	-1,54	-1,59
		máx	-0,38	-0,32	-0,24	-0,37	-0,29	-0,27	-0,35	-0,25	-0,30
	III	mín	-1,85	-1,86	-1,49	-1,59	-1,81	-1,57	-1,25	-1,60	-1,85
		máx	-0,33	-0,04	-0,23	-0,31	-0,28	-0,31	-0,38	-0,24	-0,35
300°	I	mín	-1,20	-1,83	-1,75	-1,05	-1,30	-1,94	-0,94	-1,06	-1,28
		máx	-0,33	-0,25	-0,34	-0,32	-0,27	-0,34	-0,36	-0,22	-0,28
	II	mín	-0,85	-1,16	-1,47	-0,86	-1,13	-1,36	-0,87	-1,10	-1,25
		máx	-0,39	-0,35	-0,37	-0,39	-0,32	-0,37	-0,38	-0,29	-0,36
	III	mín	-1,13	-1,96	-1,74	-0,98	-1,19	-1,43	-1,05	-1,12	-1,17
		máx	-0,35	-0,23	-0,37	-0,35	-0,28	-0,38	-0,33	-0,23	-0,37
315°	I	mín	-1,11	-1,91	-2,44	-1,19	-1,35	-1,77	-0,94	-1,09	-1,26
		máx	-0,26	-0,15	-0,25	-0,32	-0,26	-0,29	-0,32	-0,14	-0,28
	II	mín	-0,92	-1,23	-1,22	-0,90	-1,14	-1,19	-0,88	-1,05	-1,16
		máx	-0,37	-0,31	-0,31	-0,36	-0,29	-0,31	-0,35	-0,26	-0,31
	III	mín	-1,05	-1,61	-1,25	-0,88	-1,06	-1,07	-0,90	-1,00	-1,00
		máx	-0,30	-0,25	-0,34	-0,36	-0,30	-0,35	-0,31	-0,26	-0,34
330°	I	mín	-1,35	-1,73	-1,88	-0,89	-1,23	-1,49	-0,84	-0,98	-1,11
		máx	-0,24	-0,12	-0,18	-0,22	-0,17	-0,21	-0,23	-0,13	-0,23
	II	mín	-0,90	-1,03	-1,14	-0,89	-1,01	-1,09	-0,88	-0,98	-1,04
		máx	-0,27	-0,25	-0,30	-0,28	-0,25	-0,31	-0,28	-0,25	-0,32
	III	mín	-0,92	-1,61	-1,30	-0,84	-1,09	-1,12	-0,81	-0,90	-0,98
		máx	-0,24	-0,20	-0,32	-0,27	-0,25	-0,33	-0,22	-0,23	-0,31
345°	I	mín	-1,31	-1,12	-1,62	-0,97	-1,46	-1,59	0,81	-1,06	-1,44
		máx	-0,12	-0,05	-0,16	-0,16	-0,10	-0,11	-0,15	-0,06	-0,09
	II	mín	-0,90	-1,06	-1,14	-0,89	-1,02	-1,09	-0,88	-0,98	-1,04
		máx	-0,26	-0,15	-0,27	-0,24	-0,17	-0,26	-0,22	-0,19	-0,25
	III	mín	-0,98	-1,07	-1,48	-0,86	-1,18	-1,59	-0,85	-1,02	-1,24
		máx	-0,13	-0,16	-0,20	-0,16	-0,21	-0,23	-0,19	-0,16	-0,23

Coeficientes adimensionais de pressão pico, externos, para a face 2 dos modelos I, II e III.