

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

**Influência da volumetria e das condições de entorno da
edificação no manchamento e infiltração de água em fachadas
por ação de chuva dirigida**

Patricia Carone Poyastro

Porto Alegre
2011

PATRICIA CARONE POYASTRO

**INFLUÊNCIA DA VOLUMETRIA E DAS CONDIÇÕES DE
ENTORNO DA EDIFICAÇÃO NO MANCHAMENTO E
INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM FACHADAS POR AÇÃO DE
CHUVA DIRIGIDA**

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 na modalidade Acadêmico.

Porto Alegre

2011

CIP - Catalogação na Publicação

Poyastro, Patricia Carone

Influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida /

Patricia Carone Poyastro. -- 2011.

180 f.

Orientadora: Angela Borges Masuero.

Coorientador: Acir Mércio Loredou-Souza.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, BR-RS, 2011.

1. Fachada. 2. Chuva dirigida. 3. Manchamento. 4. Infiltração. 5. Manifestações patológicas. I. Masuero, Angela Borges, orient. II. Loredou-Souza, Acir Mércio, coorient. III. Título.

PATRICIA CARONE POYASTRO

**INFLUÊNCIA DA VOLUMETRIA E DAS CONDIÇÕES DE
ENTORNO DA EDIFICAÇÃO NO MANCHAMENTO E
INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM FACHADAS POR AÇÃO DE
CHUVA DIRIGIDA**

Porto Alegre, 15 de setembro de 2011

Prof^a. Angela Borges Masuero
Dra. pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul
Orientadora

Prof. Acir Mércio Loredo-Souza
PhD pela University of Western Ontario,
Canadá
Orientador

Prof. Dr. Luis Carlos Pinto da Silva Filho
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Denise Carpena Coitinho Dal Molin (UFRGS)
Dra. pela Universidade de São Paulo

Prof. Vanderley Moacyr John (Poli/USP)
Dr. pela Universidade de São Paulo

Prof. Claudio de Souza Kazmierczak (UNISINOS)
Dr. pela Universidade de São Paulo

Dedico este trabalho aos meus pais, Sergio e Heloisa,
à minha irmã Letícia e ao meu amor João Pedro.

“A felicidade é um bem que se multiplica ao ser dividido.”

Marxwell Maltz

AGRADECIMENTOS

A Deus, que está sempre me guiando.

À minha família, sempre presente, por todo o apoio e amor. Em especial aos meus pais, Sergio e Heloisa, à minha irmã Letícia, à Mida e à Adriana. E ao meu cachorro Billy, fiel companheiro de estudo.

Ao meu amor João Pedro, por todo companheirismo e ajuda.

Um agradecimento especial aos meus orientadores, Angela Borges Masuero e Acir Mércio Loredou-Souza, pelos conselhos, incentivo, conhecimentos transmitidos e amizade, que tornaram a execução deste trabalho mais tranquila e prazerosa.

Aos professores do mestrado, Denise Dal Molin, Ana Luiza Abitante, Luis Carlos Bonin, Miguel Sattler, Carlos Formoso, Eduardo Isatto, João Masuero e João Luiz Campagnolo pelos conhecimentos passados.

A todo pessoal do NORIE, funcionários, colegas da turma de mestrado de 2009 e em especial ao grupo de materiais, por todos os momentos passados juntos ao longo destes anos.

Ao pessoal do LAC, que auxiliou no planejamento, projeto, execução dos modelos, realização dos ensaios e análise de dados: Guilherme, Roberto, Rafael, Roges, Émerson, Miguel, Juarez, Débora, Maria Cristina, Mário, Gabrieli e Bueno.

Agradecimento especial ao Fernando Giongo, pessoa essencial para execução dos ensaios de chuva dirigida.

Às funcionárias da secretaria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e da biblioteca da Escola de Engenharia da UFRGS, pela atenção que sempre me foi dada.

E enfim, agradeço a todas as pessoas que contribuíram, de uma forma ou outra, para a realização deste trabalho.

RESUMO

POYASTRO, P. C. **Influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Os problemas de manchamento e infiltração de água nas fachadas das edificações, por ação de chuva dirigida, são cada vez mais correntes nos grandes centros urbanos brasileiros. Estas manifestações patológicas ocasionam não só problemas do ponto de vista estético, mas também técnico. Um dos fatores que mais contribuíram para o aparecimento destes problemas foram as características construtivas adotadas pela arquitetura moderna, que deixou de utilizar muitos detalhes arquitetônicos que preveniam o escoamento da chuva e dos poluentes atmosféricos pelas fachadas. Além disso, os novos materiais e sistemas construtivos introduzidos nas últimas décadas trouxeram também mais problemas de umidade e infiltração de água. O aprofundamento neste tema é importante e necessário, uma vez que faltam estudos práticos que testem e especifiquem melhores volumetrias e entornos visando minimizar estes fenômenos. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento de superfícies e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida. Foram ensaiados em túnel de vento, três modelos reduzidos de edificações com diferentes volumetrias e com três alturas diferentes de edificações de entorno. Os modelos reduzidos foram ensaiados primeiramente somente com vento, onde se obteve os coeficientes de pressão do vento em diferentes pontos das fachadas. Após, foram ensaiados com a inserção de água no túnel de vento, simulando a ação da chuva dirigida nas edificações. Nesta segunda etapa, a análise foi visual, através de registros em papéis sensíveis à água colados nos modelos. Além disso, alguns ensaios complementares foram realizados com fins exploratórios. Com base nos resultados encontrados pode-se afirmar que a ação do vento e da chuva atuando simultaneamente é muito diferente da ação dos mesmos atuando isoladamente nas edificações. Com a realização dos ensaios se verificou que a forma da edificação praticamente não influenciou no padrão de molhamento quando a chuva dirigida incide a 90° na fachada e que os entornos influenciaram negativamente no molhamento das fachadas, com exceção do entorno com dobro da altura. Este trabalho pôde contribuir para um melhor entendimento da ação da chuva dirigida visando a redução de manifestações patológicas das edificações.

Palavras-chave: fachada, chuva dirigida, manchamento, infiltração.

ABSTRACT

POYASTRO, P. C. **Influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

Volumetry and building surrounding conditions influence on staining and water infiltration in facades by the action of wind-driven rain

The problems of staining and water infiltration through building facades, by the action of wind-driven rain, are becoming more common in the Brazilian cities. These pathologies cause esthetic and technical problems. The modern architecture contributed to the emergence of these problems because it stopped using many architectural details that used to prevent the rain and atmospheric pollutants runoff by the facades. Moreover, new materials and construction systems introduced in recent decades have also brought more problems with moisture and water infiltration. Studies of this subject are important and necessary, since they lack practical studies to test and specify the best volumetry and building surroundings, designed to minimize these phenomena. This work objective was evaluate the influence of volume and the building surrounding conditions on staining and water infiltration in facades by the action of wind-driven rain. Three reduced models of buildings with different volumetry and with three different heights of buildings surrounding were tested in wind tunnel. The reduced models were first tested only with the wind when were measured wind pressures coefficients at different points of the facades. After, they were tested with the inclusion of water in the wind tunnel, simulating the effects of wind-driven rain on buildings. In this second stage, the analysis was visual, through the wind-driven rain recorded in water-sensitive papers fixed on the models facades. Moreover, some complementary tests were done for exploratory purposes. Based on the results, we can say that wind and rain acting simultaneously are very different from they acting alone in the buildings. It was found with the tests that the volumetry of the building did not appreciably affect the pattern of wetting when the rain hits it directed in 90° and that the buildings surrounding negatively influenced on the wetting fronts, except the buildings surrounding with double height. This work could contribute to a better understanding of the driving rain phenomenon intending to reduce building pathological manifestations.

Keywords: facade, wind-driven rain, staining, infiltration.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	19
LISTA DE EQUAÇÕES	20
LISTA DE SIGLAS	21
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	22
1 INTRODUÇÃO	23
1.1 CONTEXTO DA PESQUISA	23
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA E JUSTIFICATIVA	25
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA	30
1.3.1 Objetivo principal	30
1.3.2 Objetivos específicos	30
1.4 HIPÓTESES	30
1.5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	31
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	32
2 PRINCIPAIS AGENTES E MECANISMOS DE MANCHAMENTO DAS FACHADAS	33
2.1 MANCHAMENTO DE FACHADAS	33
2.2 FATORES EXTRÍNSECOS E INTRÍNSECOS	36
2.2.1 Fatores extrínsecos	36
2.2.1.1 Vento	37
2.2.1.1.1 <i>O edifício como obstáculo ao vento</i>	40
2.2.1.1.2 <i>O vento na cidade de Porto Alegre</i>	47
2.2.1.2 Precipitação pluviométrica ou chuva	48
2.2.1.2.1 <i>Chuva incidente ou dirigida</i>	50
2.2.1.2.2 <i>Escorrimento da chuva pelas superfícies das fachadas</i>	61
2.2.1.2.3 <i>A chuva na cidade de Porto Alegre</i>	64
2.2.1.3 Radiação solar	68
2.2.1.3.1 <i>Radiação solar sobre os materiais</i>	69
2.2.1.3.2 <i>Radiação solar em Porto Alegre</i>	70
2.2.1.4 Temperatura	72

2.2.1.4.1	<i>Temperatura sobre os materiais</i>	76
2.2.1.4.2	<i>Temperatura em Porto Alegre</i>	78
2.2.1.5	Umidade relativa do ar	79
2.2.1.5.1	<i>Umidade relativa do ar sobre os materiais</i>	80
2.2.1.5.2	<i>Umidade relativa do ar em Porto Alegre</i>	80
2.2.1.6	Contaminantes atmosféricos	82
2.2.1.6.1	<i>Constituintes do ar</i>	82
2.2.1.6.2	<i>Deposição das partículas</i>	83
2.2.1.6.3	<i>Adesão das partículas</i>	86
2.2.1.6.4	<i>Poluentes em Porto Alegre</i>	87
2.2.2	Fatores intrínsecos	89
2.2.2.1	Materiais de revestimento de fachadas	89
2.2.2.1.1	<i>Rugosidade ou textura do revestimento</i>	89
2.2.2.1.2	<i>Cor do revestimento</i>	92
2.2.2.1.3	<i>Porosidade do revestimento</i>	93
2.2.2.2	Geometria das fachadas	93
2.2.2.2.1	<i>Projeções horizontais</i>	95
2.2.2.2.1.1	<i>Molduras horizontais ou plataformas</i>	95
2.2.2.2.1.2	<i>Peitoris</i>	98
2.2.2.2.1.3	<i>Coroamentos</i>	100
2.2.2.2.2	<i>Canais contínuos</i>	101
2.2.2.2.3	<i>Planos contínuos</i>	102
2.2.2.2.4	<i>Descontinuidades de planos e canais</i>	102
2.2.2.2.5	<i>Diedros verticais</i>	103
3	PENETRAÇÃO OU INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM FACHADAS	105
3.1	ÁGUA SOBRE A SUPERFÍCIE DA PAREDE	107
3.2	ABERTURAS ATRAVÉS DAS QUAIS A ÁGUA PODE PENETRAR	109
3.3	FORÇAS QUE OBRIGAM A ÁGUA A PENETRAR PELAS ABERTURAS	110
4	PROGRAMA EXPERIMENTAL	114
4.1	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	114
4.1.1	Variáveis de resposta	115
4.1.2	Fatores ou variáveis controláveis	115
4.1.3	Níveis fixos	116
4.1.3.1	Níveis fixos dos ensaios de vento	116
4.1.3.2	Níveis fixos dos ensaios de vento e chuva (chuva dirigida)	116
4.2	MÉTODO DE ENSAIO – PROJETO DOS MODELOS E TÉCNICA EXPERIMENTAL	116

4.2.1 Definição dos níveis fixos das variáveis controláveis	117
4.2.1.1 Volumetria das edificações	117
4.2.1.2 Altura das edificações de entorno	118
4.2.1.3 Ângulo de incidência do vento na fachada	120
4.2.1.4 Fachadas analisadas	120
4.2.2 Ensaio em túnel de vento	120
4.2.2.1 Características do túnel de vento	121
4.2.2.2 Mesas para fixação dos modelos	121
4.2.2.3 Simulação no vento no túnel	123
4.2.3 Realização dos ensaios	124
4.2.3.1 Ensaio com vento (estudo da ação do vento sobre as fachadas)	125
<i>4.2.3.1.1 Modelos reduzidos</i>	<i>125</i>
<i>4.2.3.1.2 Simulação do vento e realização dos ensaios</i>	<i>127</i>
<i>4.2.3.1.3 Configuração dos ensaios (matriz experimental)</i>	<i>129</i>
4.2.3.2 Ensaio com chuva dirigida (estudo da interação vento-chuva sobre as fachadas)	130
<i>4.2.3.2.1 Modelos reduzidos</i>	<i>130</i>
<i>4.2.3.2.2 Simulação da chuva</i>	<i>131</i>
<i>4.2.3.2.3 Realização dos ensaios</i>	<i>133</i>
<i>4.2.3.2.4 Medições da deposição de chuva sobre a fachada</i>	<i>134</i>
<i>4.2.3.2.5 Configuração dos ensaios (matriz experimental)</i>	<i>135</i>
5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	137
5.1 ENSAIOS COM VENTO	137
5.2 ENSAIOS COM CHUVA DIRIGIDA	146
5.2.1 Entorno 1	147
5.2.1.1 Modelo 1	147
5.2.1.2 Modelo 2	147
5.2.1.3 Modelo 3	148
5.2.1.4 Comparação	149
5.2.2 Entorno 2	150
5.2.2.1 Modelo 1	150
5.2.2.2 Modelo 2	151
5.2.2.3 Modelo 3	152
5.2.2.4 Comparação	153
5.2.3 Entorno 3	153
5.2.3.1 Modelo 1	153
5.2.3.2 Modelo 2	154
5.2.3.3 Modelo 3	155

5.2.3.4 Comparação	156
5.2.4 Resumo dos resultados	157
5.2.5 Ensaio extras	159
5.2.5.1 Ensaio 1: apenas chuva, sem vento	159
5.2.5.2 Ensaio 2: velocidade do vento elevada	160
5.2.5.3 Ensaio 3: modelo baixo entre entorno alto	161
5.2.5.4 Ensaio 4: Modelo 2 com vento a 30º	161
5.2.5.5 Ensaio 5: Modelo 3 com vento a 15º	162
5.2.5.6 Descolamento do vento e da chuva do topo da edificação	163
5.3 COMPARAÇÕES DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE VENTO E DE CHUVA DIRIGIDA	164
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	169
6.1 CONCLUSÕES	169
6.1.1 Quanto ao vento	169
6.1.2 Quanto à chuva dirigida	170
6.1.3 Demais conclusões	171
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	172
REFERÊNCIAS	173
APÊNDICES	180

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: (a), (b), (c) e (d) exemplos de manchamento de fachadas por ação de chuva dirigida e poluentes de contaminação atmosférica	28
Figura 2: agentes de degradação dos revestimentos das vedações verticais	37
Figura 3: efeito da rugosidade superficial nas características do vento	38
Figura 4: mapa das isopletas da velocidade básica do vento para o Brasil	39
Figura 5: fluxos de ar direcionados – efeito abrigo	40
Figura 6: (a) (b) e (c) incidência do vento sobre as edificações	41
Figura 7: efeito barreira	42
Figura 8: efeito Venturi	42
Figura 9: efeito de abertura	43
Figura 10: efeito canalização	43
Figura 11: escoamento típico do ar ao redor de um edifício grande com um edifício mais baixo a barlavento	44
Figura 12: visualização da simulação, em túnel de vento, do escoamento de vento ao redor de um edifício alto, com uma edificação mais baixa a barlavento, direção de escoamento, (a) vista superior; (b) vista lateral	44
Figura 13: visualização da simulação, em túnel de vento, do escoamento de vento ao redor de um edifício alto, com uma edificação mais baixa a barlavento, direção de escoamento	45
Figura 14: (a) região da esteira e (b) separação do escoamento	46
Figura 15: exemplos de coeficientes de pressão	46
Figura 16: frequência média anual das principais direções do vento em Porto Alegre	48
Figura 17: quadro de frequência de direções	48
Figura 18: precipitação total média anual no território nacional	49
Figura 19: influência do vento na direção da chuva e na exposição das paredes: (a) situação sem vento; (b) situação com vento	51
Figura 20: (a) inclinação da trajetória de queda da chuva de acordo com a altura e (b) máximo fluxo de chuva a certa distância da parede	52
Figura 21: prováveis padrões de escoamento do ar e trajetórias das gotas de chuva: (a) ao redor do edifício e (b) em projeção vertical	53
Figura 22: atuação do vento e chuva sobre edificações com diferentes níveis de proteção - representação (a) em elevação e (b) em planta	53
Figura 23: (a) parábola de chuva incidente e (b) chuva dirigida registrada em ensaio em túnel de vento	54
Figura 24: umedecimento das fachadas	55
Figura 25: sistemas de forças atuantes sobre uma gota de chuva	56
Figura 26: mapa brasileiro de chuva dirigida para o ano de 2004	60

Figura 27: exemplos dos efeitos da trajetória da água nas fachadas	63
Figura 28: precipitação acumulada mensal em Porto Alegre	64
Figura 29: chuva acumulada mensal x número de dias com chuva em Porto Alegre no ano de 2004	64
Figura 30: curva (a): frequência das chuvas (% de horas do total); curva (b): precipitação (% do total)	65
Figura 31: curva (a): velocidade média do vento durante a chuva (m/s); curva (b): intensidade média horizontal das chuvas (mm/h); curva (c): intensidade média vertical das chuvas (mm/h). 66	
Figura 32: grau de exposição das fachadas à chuva dirigida, na região de Porto Alegre, em função de suas orientações	67
Figura 33: índices de chuva dirigida direcionais anuais médios e índices de chuva dirigida direcionais sazonais (m ² /s) para a cidade de Florianópolis/SC (1961-1970).....	68
Figura 34: número de horas médio de sol no Brasil	69
Figura 35: número de horas médio de sol para os meses do ano em Porto Alegre	70
Figura 36: somatório do calor diário recebido pelas superfícies verticais em Porto Alegre	71
Figura 37: calor recebido pelas superfícies horizontais ao longo do dia em Porto Alegre	71
Figura 38: sombreamento na Av. Borges de Medeiros devido ao entorno edificado	72
Figura 39: fenômenos que intervêm no balanço térmico da camada superficial da terra: radiação solar (I), evaporação (E), convecção (CV), radiação de onda longa (R) e condução (CD)	73
Figura 40: variação típica da temperatura do ar no decorrer do dia	73
Figura 41: temperaturas médias anuais no Brasil	74
Figura 42: temperaturas (a) máximas e (b) mínimas anuais no Brasil	74
Figura 43: seis grandes zonas climáticas brasileiras	75
Figura 44: dimensões do clima	76
Figura 45: temperaturas médias mensais para Porto Alegre	78
Figura 46: (a) temperaturas máximas e temperaturas máximas absolutas mensais e (b) temperaturas mínimas e temperaturas mínimas absolutas mensais para Porto Alegre	78
Figura 47: mapa brasileiro de umidade relativa do ar média anual	80
Figura 48: variação da umidade relativa do ar na cidade Porto Alegre	81
Figura 49: variação da evaporação na cidade Porto Alegre	81
Figura 50: deposição de partículas de poluição atmosféricas em fachadas altas: (a) vento rápido depositando poucas partículas ou removendo-as, (b) deposição acelerada pelo efeito de turbulência e (c) deposição aumentada pelo efeito de circulação	84
Figura 51: movimento descendente em relação ao tamanho das partículas	86
Figura 52: rugosidade e textura e a distribuição da água pelas superfícies da fachada	90
Figura 53: (a), (b) e (c) características das rugosidades superficiais dos materiais com influência na deposição e adesão das partículas de contaminação	91

Figura 54: panos corridos verticalmente	94
Figura 55: (a) e (b) molduras horizontais ou plataformas	96
Figura 56: diagramas dos fluxos de água em pingadeiras com diferentes geometrias	96
Figura 57: formas que proporcionam a proteção contra a água da chuva	97
Figura 58: duas classes de elementos protetores: ambas impedem a lavagem da poeira depositada nas partes inferiores	97
Figura 59: relação entre o desenho da janela e as manchas do escoamento da água da chuva	98
Figura 60: trajetória do fluxo de água nos peitoris	98
Figura 61: avanços laterais (d), projeção da parede (ℓ) e inclinação do peitoril (θ)	99
Figura 62: geometria dos ressaltos, pingadeiras e detalhes arquitetônicos, podendo ajudar a expulsar os fluxos de água superficiais ou provocar regiões de depósito de sujeiras	99
Figura 63: coroamento ou cimalha	100
Figura 64: fluxos concentrados em canais contínuos	101
Figura 65: efeito dos canais contínuos no manchamento de fachada	101
Figura 66: exemplos generalizados mostrando fluxo e possíveis represamentos em superfícies horizontais – cortes verticais	102
Figura 67: exemplos de fluxo de água de edifícios (escoamento)	102
Figura 68: fluxo plano e fluxo canalizado sendo disperso em forma de gotejo devido a efeitos de descontinuidade	103
Figura 69: fluxo canalizado disperso em superfície plana	103
Figura 70: concentração e canalização de fluxo plano	103
Figura 71: diedros côncavo (efeito de rincão) e convexo (efeito de aresta)	104
Figura 72: (a), (b), (c) e (d) fases de interação de água nas fachadas	108
Figura 73: ação de uma força em um capilar cheio de água	111
Figura 74: forças produzindo penetração da chuva	112
Figura 75: tipos de infiltração em paredes: (a) infiltração de água por gravidade associada à capilaridade e pressão do vento; (b) infiltração de água através de meio poroso associada à capilaridade e à ação da pressão do vento e (c) água da chuva sob ação do vento em junta defeituosa	113
Figura 76: dimensões das edificações estudadas	118
Figura 77: volumetrias e dimensões das edificações de entorno	119
Figura 78: configuração das distâncias entre edificações	120
Figura 79: vista externa da câmara de ensaios do túnel de vento Professor Joaquim Blessmann da UFRGS	121
Figura 80: planta baixa do circuito aerodinâmico do túnel de vento Professor Joaquim Blessmann da UFRGS	122

Figura 81: (a) mesa M-II e (b) mesa M-IV do túnel de vento onde os ensaios foram realizados	122
Figura 82: perfis verticais de velocidades médias do vento deslizante e turbulento simulado com (a) expoente $p=0,23$ na mesa M-II e (b) $p=0,22$ na mesa M-IV	123
Figura 83: peças em acrílico dos modelos reduzidos para ensaio com vento: (a) Modelo 1, (b) Modelo 2 e (c) Modelo 3	125
Figura 84: (a), (b), (c) e (d) confecção dos modelos reduzidos para ensaio com vento.....	126
Figura 85: (a), (b) modelos reduzidos dos entornos e (c) mesa giratória do ensaio de vento....	126
Figura 86: (a) mesa com ângulos de incidência do vento marcados e (b) fixação dos modelos reduzidos	127
Figura 87: (a) e (b) parte externa e (c) e (d) parte interna do túnel de vento	127
Figura 88 (a) e (b) mangueiras ligadas aos transdutores de pressão do túnel de vento	128
Figura 89: planilha de ensaio	128
Figura 90: termômetro digital e barômetro	128
Figura 91: (a) e (b) bancada de operação do túnel de vento com programas computacionais .	128
Figura 92: matriz experimental da etapa 1 da pesquisa	129
Figura 93: (a) equipamento de simulação de chuva (instalações internas no túnel de vento) e (b) aspersores de água utilizados nos ensaios	132
Figura 94: (a) e (b) equipamento de simulação de chuva (instalações externas ao túnel de vento)	133
Figura 95: papel sensível à água (a) antes da exposição e (b) após exposição à água	134
Figura 96: colagem nos papéis sensíveis à água nas fachadas dos modelos em sala climatizada	135
Figura 97: matriz experimental da etapa 2 da pesquisa	135
Figura 98: ensaios extras realizados na etapa 2 da pesquisa	136
Figura 99: legenda de cores dos coeficientes de pressão do vento	137
Figura 100: resultados de coeficientes de pressão do vento com vento a 0°	138
Figura 101: resultados de coeficientes de pressão do vento com vento a 15°	139
Figura 102: resultados de coeficientes de pressão do vento com vento a 30°	140
Figura 103: resultados de coeficientes de pressão do vento com vento a 45°	141
Figura 104: resultados de coeficientes de pressão do vento com vento a 60°	142
Figura 105: resultados de coeficientes de pressão do vento com vento a 75°	143
Figura 106: resultados de coeficientes de pressão do vento com vento a 90°	144
Figura 107: configuração do ensaio: Modelo 1, Entorno 1, Vento 0° - logo após ensaio	147
Figura 108: resultado do ensaio: Modelo 1, Entorno 1, Vento 0°	147
Figura 109: configuração do ensaio: Modelo 2, Entorno 1, Vento 0° - (a) antes do ensaio e (b) logo após ensaio	148
Figura 110: (a), (b) e (c) resultado do ensaio: Modelo 2, Entorno 1, Vento 0°	148

Figura 111: configuração do ensaio: Modelo 3, Entorno 1, Vento 0° - (a) antes do ensaio e (b) logo após ensaio	149
Figura 112: (a), (b) e (c) resultado do ensaio: Modelo 3, Entorno 1, Vento 0°	149
Figura 113: comparação dos resultados dos 3 modelos com Entorno 1 e Vento 0°	150
Figura 114: configuração do ensaio: Modelo 1, Entorno 2, Vento 0° - (a) antes do ensaio e (b) logo após ensaio	150
Figura 115: resultado do ensaio: Modelo 1, Entorno 2, Vento 0°	151
Figura 116: configuração do ensaio: Modelo 2, Entorno 2, Vento 0° - (a) antes do ensaio e (b) logo após ensaio	151
Figura 117: (a), (b) e (c) resultado do ensaio: Modelo 2, Entorno 2, Vento 0°	152
Figura 118: configuração do ensaio: Modelo 3, Entorno 2, Vento 0° - (a) antes do ensaio e (b) logo após ensaio	152
Figura 119: (a), (b) e (c) resultado do ensaio: Modelo 3, Entorno 2, Vento 0°	153
Figura 120: comparação dos resultados dos 3 modelos com Entorno 2 e Vento 0°	153
Figura 121: configuração do ensaio: Modelo 1, Entorno 3, Vento 0° - (a) antes do ensaio e (b) logo após ensaio	154
Figura 122: resultado do ensaio: Modelo 1, Entorno 3, Vento 0°	154
Figura 123: configuração do ensaio: Modelo 2, Entorno 3, Vento 0° - (a) antes do ensaio e (b) logo após ensaio	155
Figura 124: (a), (b) e (c) resultado do ensaio: Modelo 2, Entorno 2, Vento 0°	155
Figura 125: configuração do ensaio: Modelo 3, Entorno 3, Vento 0° - (a) antes do ensaio e (b) logo após ensaio	156
Figura 126: (a), (b) e (c) resultado do ensaio: Modelo 3, Entorno 3, Vento 0°	156
Figura 127: comparação dos resultados dos 3 modelos com Entorno 3 e Vento 0°	157
Figura 128: resumo dos resultados dos ensaios de chuva dirigida com vento incidindo a 0° ...	157
Figura 129: (a) configuração do ensaio só com chuva e (b) resultado obtido	160
Figura 130: (a) configuração do ensaio com velocidade do vento dobrada e (b) resultado obtido	160
Figura 131: (a) configuração do ensaio com prédio baixo entre entorno alto (b) resultado obtido	161
Figura 132: (a) configuração do ensaio com Modelo 2 e vento a 30° e (b) e (c) resultado obtido	162
Figura 133: (a) configuração do ensaio com Modelo 3 e vento a 15° e (b) e (c) resultado obtido	162
Figura 134: (a) modelo ensaiado e (b) configuração do ensaio	163
Figura 135: (a) configuração do ensaio e (b) câmera fotográfica protegida para realização do ensaio	164
Figura 136: descolamento do vento e chuva na aresta superior da edificação	164

Figura 137: resultados dos ensaios (Modelo 1, Entorno 1, vento 0°)	165
Figura 138: resultados dos ensaios (Modelo 1, Entorno 2, vento 0°)	165
Figura 139: resultados dos ensaios (Modelo 1, Entorno 3, vento 0°)	165
Figura 140: resultados dos ensaios (Modelo 2, Entorno 1, vento 0°)	166
Figura 141: resultados dos ensaios (Modelo 2, Entorno 2, vento 0°)	166
Figura 142: resultados dos ensaios (Modelo 2, Entorno 3, vento 0°)	166
Figura 143: resultados dos ensaios (Modelo 3, Entorno 1, vento 0°)	167
Figura 144: resultados dos ensaios (Modelo 3, Entorno 2, vento 0°)	167
Figura 145: resultados dos ensaios (Modelo 3, Entorno 3, vento 0°)	167

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: dimensões do clima	76
Tabela 2: principais poluentes do ar em Porto Alegre, suas fontes, efeitos no ambiente e emissões diárias	89
Tabela 3: ordem de grandeza das aberturas	109

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	39
Equação 2.....	40
Equação 3.....	40
Equação 4.....	56
Equação 5.....	57
Equação 6.....	123

LISTA DE SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

BS: British Standard

CIB: Conseil International du Bâtiment pour la Recherche L'Étude et la Documentation

CIENTEC: Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul

CSTB: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

DRI: Driven Rain Index

ICDa: Índice de Chuva Dirigida Anual

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

LAC: Laboratório de Aerodinâmica das Construções

NBR: Norma Brasileira

NORIE: Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação

PPGEC: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

RS: Rio Grande do Sul

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

°C: grau Celsius
%: porcentagem ou percentagem
Atm: atmosfera (unidade de pressão)
Bar: bar (unidade de pressão)
cm: centímetro
h: hora
HP: horse power (unidade de potência)
Hz: hertz
km: quilômetro
km/h: quilômetro/hora
l: litro
l/m²: litro/metro quadrado
m: metro
m²: metro quadrado
m²/s: metro quadrado/segundo
m/s: metro/segundo
m/min: metro/minuto
mm: milímetro
mm/h: milímetro/hora
mm/ano: milímetro/ano
mmH₂O: milímetro de água
mmHg: milímetro de mercúrio
min: minuto
µm: micrômetro ou micron
MPa: Mega Pascal
N: Newton
N/m²: Newton/metro quadrado
s: segundo
t: tonelada
t/dia: tonelada/dia

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo contém uma introdução à pesquisa através da apresentação do seu contexto, problema e justificativa, objetivos, hipóteses e limitações do estudo, além da apresentação da estrutura do trabalho.

1.1 CONTEXTO DA PESQUISA

O homem ao longo dos séculos tem se preocupado com a construção de estruturas adaptadas às suas necessidades habitacionais (casas e edifícios), laborais (escritórios, indústrias, silos, galpões, entre outros), ou de infraestrutura (pontes, cais, barragens, metrô, aquedutos, entre outros). Isso permitiu à humanidade acumular um grande acervo científico ao longo de sua existência, e possibilitou o desenvolvimento da tecnologia da construção, das técnicas de projeto abrangendo a concepção, o cálculo, a análise e o detalhamento das estruturas, a tecnologia de materiais e as respectivas técnicas construtivas (SOUZA; RIPPER, 1998).

A edificação é mais do que um complexo unitário definido por seus aspectos volumétricos e tipológicos. Além de procurar satisfazer requisitos conceituais, estéticos e estruturais, o projetista deve prever o comportamento funcional dos materiais e elementos construtivos utilizados nas edificações (VIEIRA, 2005).

Os aspectos básicos da funcionalidade, segundo os atributos da arquitetura propostos pelo arquiteto romano Marco Vitrúvio Polião, no primeiro século a.C., seriam a habitabilidade (Utilitas), a estética (Venustas) e a integridade (Firmitas). A habitabilidade, principal característica da arquitetura, relaciona-se a uma adequada distribuição interior de seus espaços e ao conforto ambiental criado pelo desempenho físico-químico de suas envolventes. A estética exterior da arquitetura define o aspecto visual de um edifício e parte do entorno físico e histórico em que se assenta; a estética interior, intimamente ligada à habitabilidade, afeta diretamente os usuários dos espaços internos que define. A integridade diz respeito à permanência do edifício que, para ser vivido, precisa cumprir o tempo previsto para a sua duração sem degradações funcionais ou estéticas; a integridade mecânica ou estabilidade estrutural relaciona-se à exigência de estrutura de suporte no edifício e a integridade física à necessidade de durabilidade das edificações e é entendida por suficiente resistência ante os agentes agressivos ao longo do tempo, conferindo à

edificação permanência funcional e formal durante sua vida útil (PETRUCCI, 2000; VIEIRA, 2005).

A necessidade de durabilidade dos edifícios se contrapõe à idéia de envelhecimento. O envelhecimento dos edifícios e suas fachadas é um processo natural e gradativo que requer procedimentos constantes de manutenção para manter ou recuperar o desempenho perdido ao longo do tempo (CONSOLI; REPETTE, 2006). A manutenção compreende desde operações rotineiras de limpeza das superfícies (conservação), passando por atividades de substituição de materiais ou componentes e de correção de defeitos (retificação) originados em qualquer etapa do processo de construção e uso da edificação, até atividades de renovação realizadas com o objetivo de recuperar ou elevar o desempenho do edifício ou parte dele (MORENO et al., s/d.¹ apud PETRUCCI, 2000).

No caso das fachadas dos edifícios, de acordo com Petrucci (2000), as mudanças na sua aparência podem se dar devido ao ataque químico na camada da superfície ou devido à deposição de partículas sólidas na mesma. As manifestações patológicas de manchamento das superfícies das fachadas ocorrem como resultado da aderência de partículas.

O envelhecimento ou degradação das fachadas pela exposição às partículas originadas da poluição do ar é o resultado de uma sequência de eventos, começando com a emissão de poluentes por alguma fonte, seguida pelo transporte atmosférico e pela deposição sobre a superfície da fachada. Os contaminantes do ar, combinados com o vento e a chuva, interagem, então, com os materiais, com a geometria da fachada e as formas provenientes de seus detalhes, determinando mudanças visuais (degradações) que podem alterar a intenção estética do projetista e diminuir sua vida útil (VIEIRA, 2005).

A prevenção da manifestação patológica observada, em nível de projeto, está diretamente relacionada com o controle da migração da água da chuva sobre as superfícies das fachadas. Este controle, juntamente com a prevenção da penetração da chuva através da parede, está entre as principais considerações no projeto das superfícies externas de uma edificação (MARSH, 1977; BAUER, 1987; PEREZ, 1988a). A umidade pode desempenhar papel importante na deterioração de praticamente todos os materiais de construção (BLOCKEN; CARMELIET, 2000), desta forma, este fator representa um dos problemas mais difíceis de serem resolvidos dentro das ciências da construção civil e as dificuldades se devem principalmente à complexidade dos fenômenos envolvidos (PEREZ, 1988b).

¹ MORENO, A. O.; SESEÑA, R. R.; VELASCO, S. R.; SANCHEZ, F. R.; MARTINEZ, A. Mantenimiento de los edificios. Madrid: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Tecnicos de Madrid, s/d. 95p.

Deve-se destacar a importância da fachada para a edificação, uma vez que ela constitui a fronteira entre os ambientes interno e externo, além de ter um papel preponderante na configuração das paisagens ou espaços urbanos (PETRUCCI, 2000; RESENDE; MEDEIROS, 2004). De acordo com Carrió (1999), a fachada, como elemento fundamental da envoltória do edifício, atua como barreira protetora dos agentes atmosféricos e, portanto, sofre com uma das agressões físicas mais importantes, a da água da chuva.

O edifício, submetido a determinadas condições de exposição, tende a um equilíbrio dinâmico com o seu entorno. Da interação entre as ações externas e a capacidade do edifício de reagir é que resulta o desempenho com o qual o prédio cumpre suas funções. O entendimento integral deste processo de interação é indispensável, na medida em que se queira resolver um problema patológico de uma edificação (LICHTENSTEIN, 1986).

O estudo sistemático das manifestações patológicas, através do levantamento das lesões, da identificação das causas dos danos, da compreensão dos mecanismos de degradação, fornece subsídios para a prevenção das mesmas, assim como, para a elaboração de novas técnicas construtivas e para execução de projetos eficientes. Vários autores relatam a importância do estudo da patologia das construções para o fornecimento de subsídios para a sua prevenção, entre eles Bauer (1987), John (1987), Dal Molin (1988); Petrucci (2000), Laner (2001); Terra (2001); Peres (2001); Lersch (2003), Vieira (2005) e Richter (2007), os quais realizaram, na UFRGS, estudos na linha de trabalho de manifestações patológicas. Com relação à chuva dirigida, alguns estudos brasileiros mais recentes são os de Giongo (2007) e Melo Jr. (2010). Autores internacionais também vêm estudando ao longo dos anos a importância o tema da alteração da aparência e infiltração de água nas fachadas, dentre os quais se podem citar Birkeland (1965), Grunau (1970), Marsh (1977), Clauzon (1994), Surry et al. (1994), Schwartz (1995), Vallejo (1999), Carrió (1999), Genel (2005) e Martín (2005).

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA E JUSTIFICATIVA

A durabilidade das edificações é um tema bastante corrente e abordado. No caso das fachadas dos edifícios, os problemas de umidade e envelhecimento ou degradação dos seus revestimentos por ação da chuva dirigida podem vir a ocasionar tanto problemas do ponto de vista estético, como técnico.

Algumas fachadas têm suas aparências desfiguradas, muitas vezes com ainda pouco tempo de uso e principalmente em centros urbanos, não podendo passar por consideração desatenta daquele observador interessado na conservação da imagem urbana como parte de seu ambiente vital. Uma das causas dessas mudanças na aparência das fachadas dos edifícios se dá pela

deposição de partículas sólidas, gerando manifestações patológicas de manchamento das superfícies (PETRUCCI, 2000; VIEIRA, 2005).

O fenômeno segundo o qual uma construção em meio urbano se desfigura, ao se recobrir de poeira e fuligem, é cada vez mais de difícil aceitação; sinal de poluição, alterando o aspecto das construções de modo julgado inadmissível. Salienta-se ainda o fato dessa aversão se dar principalmente em relação às construções contemporâneas, o que explica uma maior responsabilidade pela sua qualidade e exigência em relação aos novos materiais utilizados (PETRUCCI, 2000).

Atualmente, como se pode observar nas principais cidades brasileiras, cada vez mais edificações vêm apresentando manifestações patológicas de manchamento de superfície de fachada. Pagnussat et al. (2003) corroboram, salientando que os problemas referentes à conservação e manutenção das edificações têm apresentado considerável crescimento. As edificações antigas têm sua manutenção constantemente negligenciada ou até mesmo em alguns casos ignorada. Os antigos construtores e pesquisadores tinham uma tendência a se aterem mais em questões de resistência e desempenho estrutural em detrimento à durabilidade ao longo do tempo. Entretanto, edificações recentes também vêm apresentando este tipo de manifestação patológica. Em seu trabalho, Melo Jr. (2010) estudou edificações com até 10 anos de construção em Goiânia que apresentavam problemas de manchamento de fachadas.

Um dos fatores que mais contribuíram para o aparecimento frequente deste problema foram as características construtivas adotadas pela arquitetura moderna bem como os novos materiais e sistemas construtivos introduzidos nas últimas décadas. A arquitetura moderna trouxe mais problemas de manchamento de fachadas, uma vez que se deixaram de utilizar muitos detalhes arquitetônicos que antigamente, mesmo indiretamente, preveniam o escoamento da chuva e dos poluentes atmosféricos. Vallejo (1990) acrescenta que muitas são as associações feitas entre a renovação compositiva trazida pela modernidade do século XX, que privilegia o uso de superfícies mais lisas, despojadas dos elementos que secularmente participavam das fachadas (como por exemplo, molduras e cornijas), e introduz novos materiais de comportamento desconhecido ante o envelhecimento prolongado e a degradação acelerada da aparência das fachadas dos edifícios. Por outro lado, certamente os novos inconvenientes da industrialização dos grandes núcleos urbanos e a conquista de suas ruas pelo automóvel aceleraram o antes lento processo de manchamento, provocando alteração química e degradação física dos revestimentos.

Juntamente com os problemas de manchamento, as novas técnicas construtivas trouxeram também mais problemas de umidade e infiltração de água pelas fachadas. Com o aparecimento do concreto armado, as paredes passaram a ter como função principal a vedação, deixando de ser portantes e ficando, conseqüentemente, mais esbeltas, ocasionando maior aparecimento de

fissuras. Da mesma forma, a pré-fabricação de componentes e os novos materiais trouxeram consigo as juntas, que são pontos de fraqueza para a penetração da água (PEREZ, 1988b).

As manifestações patológicas estudadas estão muito relacionadas com a ação da chuva dirigida e o controle da migração da água sobre as superfícies das fachadas, que se revela através dos rastros dos caminhos das águas ou do comportamento de seu escoamento sobre as superfícies da fachada. O conhecimento desses problemas, quanto mais aprofundado, conduzirá a uma maior possibilidade de controle sobre a ação do vento e da chuva, presentes em muitos processos patológicos ocorridos nas fachadas das edificações.

Além disso, estas manifestações patológicas comprometem a estética e o conforto do edifício, ocasionando uma desvalorização do mesmo perante o mercado e também aumento na insegurança do usuário (PAGNUSSAT et al., 2003). Lima e Morelli (2005) acrescentam que a incidência da chuva, pressionada contra a fachada das edificações pela ação do vento, provoca gradientes de exposição à água, provocando molhagem diferenciada nos materiais e sistemas utilizados. Essas condições provocam fissuras (devido à movimentação diferenciada), crescimento de fungos, lavagem diferenciada e consequente manchamento nas fachadas. Os efeitos da chuva dirigida podem ser sentidos, em longo prazo, pelo manchamento diferencial nas fachadas, infiltrações, desagregações e outros, dependendo do tipo e qualidade do material de revestimento. Algumas imagens da ação da chuva dirigida em fachadas podem ser visualizadas na figura 1.



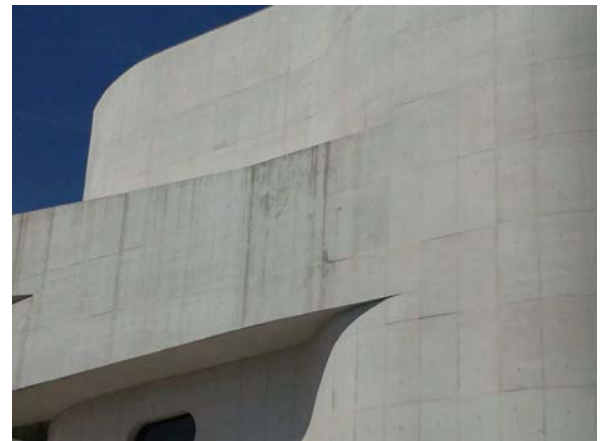
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 1: (a), (b), (c) e (d) exemplos de manchamentos de fachadas por ação de chuva dirigida e poluentes de contaminação atmosférica

Com relação à chuva dirigida, existe hoje apenas uma norma que relaciona esta variável, que é a norma inglesa BS 8104 (BRITISH, 1992). Nela são apresentados aspectos relativos ao cálculo do índice de chuva dirigida, bem como vários coeficientes de correção, relacionados com a forma da edificação e o relevo, por exemplo. No Brasil, não se tem uma norma semelhante, ou que apresente, de alguma forma, indicações sobre o cálculo do índice de chuva dirigida. A única norma nacional referente aos aspectos relativos é a norma que apresenta o mapa de vento, a NBR 6123 (ABNT, 1988). Segundo Lima e Morelli (2005), com base em mapas de chuvas anuais e de isopletas da velocidade básica do vento no Brasil, pouco se pode inferir sobre aspectos relativos à chuva dirigida, ou a índices relacionados com este parâmetro. Dessa forma, a ausência de normalização brasileira torna-se um fator contribuinte para a permanência desta lacuna de conhecimento.

Pesquisadores vêm desenvolvendo trabalhos relacionando os parâmetros ambientais que afetam o ambiente construído (como temperatura, umidade relativa, chuva, vento e insolação),

com modelos de degradação, curvas dose-resposta, ensaios de envelhecimento natural e outros. No entanto, sempre estes modelos e estudos esbarram na complexidade do problema degradação, pois ele é resultado, na obra real, da ação conjunta dos diferentes agentes presentes no meio ambiente e incidentes sobre a obra (LIMA; MORELLI, 2005).

Na etapa de projeto de fachadas de uma edificação faltam dados que especifiquem as melhores dimensões e formas de detalhes que venham a minimizar o envelhecimento e a degradação do revestimento. Poucos são os trabalhos desenvolvidos nesta linha de pesquisa e a maioria deles são trabalhos teóricos ou estudos de caso. Desta forma, Petrucci (2000) salienta que, se os projetos de fachadas, participantes indiretos no processo de degradação, reproduzirem um conhecimento mais aprofundado dos mecanismos que regulam o comportamento daqueles elementos funcionais frente ao fenômeno analisado, estes podem ser transformados em instrumentos de prevenção destas manifestações patológicas.

Segundo Petrucci (2000) e Vieira (2005), apesar de se conhecer o fenômeno, existem poucos trabalhos que tenham estudado em fachadas, como a forma e localização de um edifício e os tipos e dimensões de detalhes arquitetônicos interagem com os agentes externos, e a maioria deles em escala natural. Petrucci (2000), objetivando a obtenção de informações mais conclusivas sobre o manchamento de fachadas, possibilitando recomendações para projeto, sugere quanto à ação dos agentes ambientais, a realização de ensaios em modelos reduzidos de edificações colocados em túnel de vento de camada limite, simulando, também em escala, as características da chuva incidente. Nessa linha, um estudo que foi desenvolvido no Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory da University of Western Ontário, no Canadá (INCULEY et al., 1994 e SURRY et al., 1994), ensaiou o efeito da chuva dirigida em túnel de vento de camada limite, analisando como se dava o molhamento das fachadas de diferentes dimensões de um edifício. Porém, este estudo pouco analisou o efeito de detalhes arquitetônicos de fachadas e não contemplou como o entorno da edificação poderia influenciar nos resultados obtidos. No Brasil, um estudo foi realizado em 2007 no túnel de vento do Laboratório de Aerodinâmica das Construções da UFRGS com objetivo de simular a incidência de chuva no interior de um ginásio esportivo no Rio de Janeiro, buscando encontrar o melhor ângulo para inserção de placas de proteção (LOREDO-SOUZA, 2007). Não se tem conhecimento de outros estudos semelhantes que tenham sido publicados no resto do mundo.

Em virtude da falta de pesquisas, principalmente experimentais, mais aprofundadas nesta área de conhecimento, pode-se dizer que se está longe de dominar esse assunto, existindo, portanto, uma lacuna de conhecimento neste campo de pesquisa. Neste sentido, a necessidade de obtenção de um maior conhecimento científico, aliada à busca constante pelo aprimoramento dos estudos referentes às manifestações patológicas de fachadas, motivaram a realização desta pesquisa.

Este trabalho se insere dentro dos estudos relativos à durabilidade ou integridade física das edificações, mais particularmente das fachadas dos edifícios. Com a realização da pesquisa pode-se entender e avaliar melhor o comportamento da chuva dirigida sobre fachadas de diferentes volumetrias e com diferentes condições de entorno. O aprofundamento neste tema é importante e necessário, uma vez que faltam estudos práticos que testem e especifiquem melhores volumetrias de edificações e dimensões de avanços ou recuos em fachadas que visem uma minimização desta manifestação patológica.

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos desta pesquisa são divididos em principal e específicos.

1.3.1 Objetivo principal

A pesquisa tem como objetivo principal avaliar a influência da volumetria e das condições de entorno das edificações no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos a serem alcançados com o desenvolvimento deste trabalho consistem em:

- a) avaliar a influência da volumetria das edificações no manchamento e infiltração de água em fachadas;
- b) avaliar a influência das condições de entorno, ou seja, alturas das edificações vizinhas, quanto ao manchamento e infiltração de água em fachadas;
- c) avaliar a influência do ângulo de incidência do vento nas edificações no manchamento e infiltração de água em fachadas;
- d) verificar a existência de interações entre os fatores controláveis analisados.

1.4 HIPÓTESES

Como hipóteses a serem testadas nesta pesquisa se têm:

- a) diferentes volumetrias de edificações influenciam de maneira diferenciada o manchamento e a infiltração de água em fachadas;
- b) quanto maiores as alturas das edificações de entorno, mais protegido ficará o edifício quanto ao manchamento e à infiltração de água em suas fachadas,

apesar da disposição das edificações de entorno poderem formar corredores, que podem aumentar a velocidade de incidência do vento nas edificações;

- c) ângulos de incidência de chuva dirigida mais perpendiculares à fachada tendem a proporcionar manchamentos e infiltrações de água de maior intensidade quando as alturas das edificações de entorno forem baixas; com alturas de entorno altas, quanto maior o ângulo de incidência, maior o efeito.

1.5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A incidência do vento nas edificações é dependente de uma série de fatores, que vão desde o formato da edificação, sua altura até as condições do entorno. Em muitas situações, nas grandes cidades, tem-se a formação de corredores, que aumentam a incidência do vento em algumas fachadas. A construção de um novo edifício pode alterar completamente as condições existentes de incidência de vento nas fachadas. Com isso tem-se a alteração também da incidência de chuvas e da deposição de partículas (BLOCKEN; CARMELIET, 2000; LIMA; MORELLI, 2005). De acordo com Bonin (1993), condições locais de topografia e rugosidades no solo (edifícios circundantes, obstáculos e vegetação) afetam o perfil da velocidade do vento acima do solo e, portanto, a velocidade do vento interceptada pelos edifícios que se projetam deste campo.

Sabendo disso, pode-se apontar como limitações da pesquisa:

- a) não foram consideradas nesta pesquisa as condições de topografia do terreno, a rugosidade do solo e a presença de vegetações no entorno, pois se optou por estudar apenas os aspectos relacionados ao formato da edificação em estudo e suas edificações vizinhas;
- b) julgou-se necessário delimitar o número de fatores controláveis (variáveis de controle) no experimento, sendo assim, foram estudados o manchamento e a infiltração de água em fachada de apenas uma altura de edificação, três tipos de volumetrias, três alturas de edificações de entorno e sete ângulos de incidência de vento na fachada e um ângulo de chuva dirigida;
- c) em virtude do tempo limitado para a realização da parte experimental da pesquisa e da complexidade dos ensaios, os experimentos foram realizados sem repetições, ou seja, cada configuração de volumetria, entorno e ângulo de incidência do vento foi testada apenas uma vez.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A pesquisa foi estruturada em 6 capítulos e para uma compreensão global do estudo, será apresentada a seguir a estrutura do trabalho, com a descrição dos capítulos e seus respectivos conteúdos.

O capítulo 1, **Introdução**, apresenta o assunto da dissertação de forma genérica, contextualizando a importância do tema e justificando a necessidade de pesquisas relacionadas a esta área de conhecimento. Os objetivos principal e específicos, as hipóteses, as limitações e a estrutura do trabalho também foram descritos neste primeiro capítulo.

O capítulo 2, **Principais Agentes e Mecanismos de Manchamento das Fachadas**, aborda os conceitos e condicionantes que influenciam na degradação/conservação de materiais e elementos componentes das fachadas das edificações. Este capítulo foi dividido em *Fatores Extrínsecos*, que aborda fundamentalmente os contaminantes atmosféricos e os agentes climáticos envolvidos no manchamento das fachadas, e *Fatores Intrínsecos*, que desenvolve os aspectos referentes à interação das condições ambientais com a forma construída (a fachada do edifício, sua geometria e materiais).

O capítulo 3, **Penetração ou Infiltração de Água em Fachadas**, contempla uma explanação sobre formas de penetração de água em fachadas, ocasionando o aparecimento de manifestações patológicas.

O capítulo 4, **Programa Experimental**, apresenta o planejamento experimental empregado no estudo, bem como o método utilizado.

O capítulo 5, **Apresentação e Análise dos Resultados**, apresenta os resultados obtidos com a realização desta pesquisa e discussão dos mesmos.

O capítulo 6, **Considerações Finais**, apresenta as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2 PRINCIPAIS AGENTES E MECANISMOS DE MANCHAMENTO DAS FACHADAS

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica do manchamento de fachadas além dos principais agentes e mecanismos destes manchamentos. Eles estão divididos em fatores extrínsecos, que são agentes climáticos (fatores que são independentes das características das fachadas), e fatores intrínsecos (que dependem das características das fachadas).

Os fatores extrínsecos apresentados são: vento, precipitação pluviométrica ou chuva, radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e contaminantes atmosféricos (partículas). Os fatores intrínsecos são determinados pela morfologia (geometria e materiais) das fachadas.

2.1 MANCHAMENTO DE FACHADAS

Os edifícios, no tempo, podem sofrer desgastes causados pelo homem e/ou pela natureza, tendo em vista que os seus materiais, mesmo em estado natural, estão sujeitos a uma deterioração contínua resultante de processos físicos, químicos e biológicos. O ciclo de vida das construções e materiais de construção está diretamente determinado pelas condições da atmosfera de um determinado lugar (o meio ambiente) em um determinado momento (o tempo). Além disso, dependendo de sua composição e das características da atmosfera, todas as construções mudam com o tempo, mesmo que lentamente (PETRUCCI, 2000).

Vallejo (1990) descreve a manifestação patológica de manchamento de fachadas:

(...) uma alteração formal e, com frequência, material da fachada de um edifício, cuja consequência é a aparição, em um curto espaço de tempo, de uma imagem desagradável acompanhada, em maior ou menor medida, por uma deterioração física do material de revestimento. Dita imagem não desejada está produzida por uma pátina marcada e irregular de sujeira progressivamente acumulada em toda a superfície da fachada. Marcada, pelo contraste forte de cor com o material de suporte; irregular, pelas diferenças de intensidade de acumulação de partículas, derivadas da própria morfologia da fachada, e pelas zonas de limpeza e lavado que produzem os agentes meteorológicos.

As mudanças na aparência das fachadas dos edifícios, desfigurando-as, podem se dar, segundo Theising (1984)² apud Petrucci (2000), entre dois fenômenos com estreita inter-relação:

- a) parcialmente devido ao ataque químico na camada da superfície;
- b) parcialmente devido à deposição de partículas sólidas na superfície.

Além disso, se tem também o ataque biológico. Porém, este trabalho centra sua atenção no segundo fenômeno, em que as manifestações patológicas de manchamento das superfícies das fachadas, alterando suas aparências, ocorrem como resultado da aderência de partículas (no inglês, *soiling of facades*; no francês, *salissures de façades*).

Petrucci (2000), citando os autores Theising (1984)², Perrichet (1984)³, Verhoef (1988)⁴ e Estoup (1997)⁵, descreve que existem quatro importantes fontes das quais as partículas podem se originar:

- a) do interior do próprio material desfigurado;
- b) dos materiais de construção próximos ou vizinhos às fachadas;
- c) de microorganismos;
- d) do meio ambiente.

De acordo com os mesmo autores, quando as partículas são originadas do meio ambiente, os tipos de manchamento podem ser distinguidos em primário (físico, devido à deposição de, principalmente, material particulado de uma cor diferente daquela da superfície da fachada, sendo um efeito puramente ótico, como por exemplo, fulgens e poeiras) e secundário (devido a depósitos que interagem com a superfície da fachada ou com as influências micro-meteorológicas, caracterizando-se como um efeito físico-químico extremamente complexo).

A poluição atmosférica pode ser considerada como uma das principais responsáveis pela origem das sujidades presentes nas fachadas dos edifícios, principalmente nas grandes metrópoles e centros industriais. Todos os poluentes após serem emitidos por suas fontes interagem física (diluição) ou quimicamente (reações químicas) com a atmosfera, causando algumas alterações em seus receptores. Estas alterações dependem dos aspectos físicos e químicos dos poluentes, das condições meteorológicas da atmosfera (velocidade e direção dos ventos, chuva,

34_____

² THEISING, E. M. Survey of 62-SCF committee. *Matériaux et Constructions*, v.17, n.98, p.167-172, 1984.

³ PERRICHET, A. Développement de microorganismes à la surface des bétons et enduits. *Matériaux et Constructions*, v.17, n.98, p.173-177, 1984.

⁴ VERHOEF, L. G. W. *Soiling and cleaning of building façades; report of the Technical Committee 62 SCF-RILEM*. London: Ed. L. G. W. Verhoef, Chapman & Hall, 1988.

⁵ ESTOUP, J. M. *Salissures et nettoyage des façades d'immeubles*. CSTB magazine, n.109, p.39-41, 1997.

temperatura, umidade relativa e radiação solar) e das características físico-químicas do receptor. Deve-se analisar o tamanho e a forma das partículas constituintes, uma vez que essas características interferem diretamente na velocidade de sedimentação e nas forças de ancoragem do poluente no revestimento. Outro aspecto a ser considerado é a presença de materiais absorventes de luz (materiais particulados), como a fuligem (principal componente da fumaça) (ADDLESON; RICE, 1991; BONIN, 1993; RESENDE; MEDEIROS, 2004; LIMA; MORELLI, 2005; LIMA et al., 2005).

Os poluentes são depositados nas superfícies dos edifícios por deposição úmida pela chuva ou por deposição seca direta do ar. O acúmulo de sujeira ou qualquer material particulado da atmosfera sobre a superfície de um revestimento é, em algumas circunstâncias, inevitável. A possibilidade de tal acúmulo deve ser levada em conta em todas as circunstâncias, mas especialmente em áreas urbanas e industriais. Seu efeito sobre o revestimento é duplo, pois pode conduzir a uma falha do revestimento pela introdução de substâncias destrutivas, tal como o óxido de enxofre que ataca os materiais a base de cimento, e pode causar manchamento da superfície sem afetar a durabilidade do revestimento, mas adversamente afetando sua aparência. Este, particularmente quando o manchamento é irregular, ou seja, quando associado a um descontrolado escoamento da água da chuva (BONIN, 1993).

De acordo com o mesmo autor, a geometria das fachadas e a textura de suas superfícies interferem no padrão de manchamento por estarem intimamente relacionadas ao padrão do fluxo da água de chuva sobre o revestimento. O correto detalhamento de elementos horizontais das fachadas, com suas drenagens da água da chuva associadas, é importante para a manutenção da aparência do revestimento, além disso, superfícies de textura rugosa quebram o fluxo espalhando a água da chuva e com ela a sujeira, resultando em um manchamento mais uniforme. Resende e Medeiros (2004) acrescentam que entre as características dos revestimentos que favorecem o aparecimento de sujidades, pode-se citar a sua rugosidade, porosidade e a sua capacidade de absorção.

Durante sua trajetória descendente a água e os poluentes são absorvidos continuamente pelo material de revestimento e forma uma capa de sujidade. Na parte superior das fachadas, por estar mais exposta à ação da chuva dirigida em função do maior ângulo de incidência, ocorre menor acúmulo de partículas de sujeira nas superfícies. Nas partes inferiores das fachadas onde há menor ângulo de incidência de vento e chuva (a trajetória da chuva é quase paralela) há um maior acúmulo de partículas. Esse diferente grau de quantidade de deposição de partículas resulta no mascaramento não homogêneo na fachada, que vai do mais claro na parte superior ao mais escuro na parte inferior da fachada (VIEIRA, 2005).

O conhecimento dos agentes e fatores de degradação, sua distribuição e valores, são de extrema importância quando se pensa na realização de projetos e especificação de materiais

para fachadas (LIMA et al., 2005). De acordo com Petrucci (2000), estimular medidas que contribuam para impedir ou retardar as causas e os efeitos dos manchamentos das fachadas dos edifícios, constitui benefício indiscutível, tanto no plano econômico quanto no social. Portanto, os projetos de fachadas, participantes indiretos no processo de degradação, se reproduzirem um conhecimento mais aprofundado dos mecanismos que regulam o comportamento daqueles elementos funcionais frente ao fenômeno analisado, podem ser transformados em instrumentos dessa prevenção.

Bonin (1993) acrescenta que os projetistas poderiam contribuir para a redução dos custos de manutenção através da previsão, em nível de projeto, das atividades de conservação dos revestimentos. Estas se caracterizam essencialmente por operações rotineiras de descontaminação ou limpeza das superfícies e podem ser facilitadas ou diminuídas na etapa de concepção do edifício da seguinte forma:

- a) na facilidade de acesso aos locais previsíveis de manutenção;
- b) no uso de formas geométricas e materiais adequados em relação as condições de exposição ao meio e à sua função;
- c) no uso da cor e textura dos revestimentos, como elementos de dissimulação de manchas por poeiras nas fachadas;
- d) na informação correta aos usuários dos seus procedimentos.

Petrucci (2000) novamente citando Theising (1984)², ressalta que reconhecendo que a ação de sujar-se é um processo natural identificado ao próprio envelhecimento dos edifícios, é necessário que o projeto aspire não à anulação de um fenômeno de qualquer maneira inexorável, mas à obtenção de um domínio e de uma capacidade de controle sobre um processo de envelhecimento natural das edificações, com vistas a evitar a sua conversão em um processo danoso e indesejável de degradação rápida e descontrolada de sua aparência.

A revisão bibliográfica levantada e exposta a seguir diz respeito aos fatores externos gerais que influem no processo de manchamento das fachadas. Sempre que possível buscou-se apresentar estas informações relativas à localização geotopográfica e da configuração urbanística da cidade de Porto Alegre/RS.

2.2 FATORES EXTRÍNSECOS E INTRÍNSECOS

2.2.1 Fatores extrínsecos

O processo e a caracterização do manchamento dos materiais que compõem as fachadas de uma edificação dependem diretamente das características físico-climáticas do seu meio de

inserção (BONIN, 1993). As influências das condições ambientais à forma construída são analisadas a partir das variáveis contaminantes atmosféricos (natureza, origem, deposição e adesão aos paramentos das partículas de poluição que produzem a sujeira) e agentes climáticos (velocidade e direção dos ventos, precipitação pluviométrica ou chuva, radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e poluição atmosférica). A figura 2 ilustra as solicitações a que as paredes estão sujeitas.

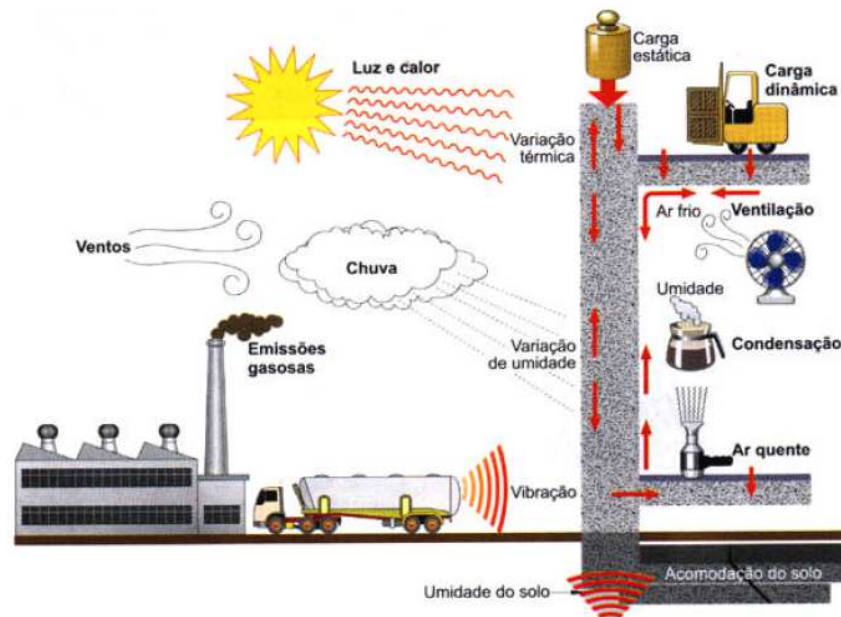


Figura 2: agentes de degradação dos revestimentos das vedações verticais (adaptado de SELMO, 1989⁶ apud RESENDE, 2004)

Além dos elementos inerentes à fachada, a presença de fatores externos à edificação corrobora com o surgimento de manifestações patológicas que vão desde a simples perda da estética das fachadas até os casos nocivos à saúde do homem, como o crescimento de microorganismos que podem causar doenças aos usuários (MELO JR., 2010).

O vento e a chuva são os fenômenos meteorológicos com maior influência na manifestação patológica de manchamento das superfícies das fachadas dos edifícios por partículas de contaminação atmosférica. A temperatura, radiação solar e a umidade relativa do ar contribuem para a criação de certas condições ambientais que favorecem ou dificultam a deposição e adesão das partículas (MINISTERE, 1991; PETRUCCI, 2000).

2.2.1.1 Vento

Vento é o resultado da diferença de pressão atmosférica. As principais características do vento são direção, velocidade e frequência. O vento pode causar mudanças bruscas de temperatura e sua velocidade varia a diferentes altitudes (LERSCH, 2003). De acordo com Lima e Morelli

37_____

⁶ SELMO, S. M. S. Dosagem de argamassas de cimento portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios. 206p. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989.

(2005), a incidência do vento nas edificações é dependente de uma série de fatores, que vão desde o formato da edificação, sua altura até as condições do entorno.

O vento, por sua velocidade e direção, serve de veículo às partículas sujas, à água da chuva, e atua, com sua própria força e a energia cinética das partículas que transporta, na modificação da distribuição da sujeira depositada sobre as superfícies das fachadas. Na dispersão e transporte das partículas contaminantes pode beneficiar áreas próximas das fontes de emissão ou prejudicar áreas muito distantes, expondo-as aos efeitos da contaminação (PETRUCCI, 2000).

Penwarden e Wise (1975)⁷ apud Vieira (2005) afirmam que condições locais de topografia e rugosidades no solo (edifícios circundantes, obstáculos e vegetação) afetam o perfil da velocidade do vento acima do solo e, portanto, as velocidades do vento interceptadas pelos edifícios que se projetam deste campo.

Em zonas urbanas ocorre uma diminuição da velocidade média do vento a baixa altitude e aumento da turbulência. Informações provenientes de estudos de cargas do vento em estruturas procuram expressar o modo pelo qual as rugosidades no solo afetam o perfil da velocidade do vento acima deste nível ao produzir uma camada de ar, denominada camada limite atmosférica, na qual ocorre um gradiente de velocidade (diminuição da velocidade média do escoamento de ar com a diminuição da altura, chegando a um valor nulo na superfície do terreno) (BLESSMANN, 1995). Isso pode ser verificado na figura 3 abaixo.

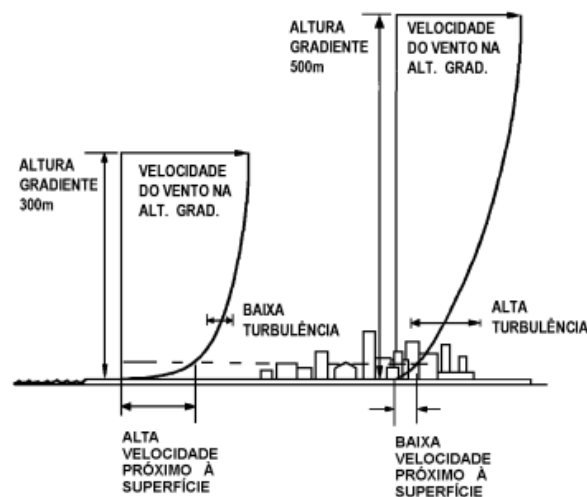


Figura 3: efeito da rugosidade superficial nas características do vento (MAC DONALD, 1975⁸ apud PETRUCCI, 2000)

O perfil da velocidade do vento conforme a figura 3 só ocorrerá acima de um nível conhecido como o plano zero. Para um local aberto o plano zero está virtualmente no plano do solo, mas para um meio ambiente urbano ele ocorre efetivamente em uma altura um pouco superior. Nestes casos seria necessário, a rigor, efetuar um deslocamento do plano de referência (plano

⁷ PENWARDEN, A. D.; WISE, A. F. E. Wind environment around buildings. London: H. M. S. O., 1975.

⁸ MAC DONALD, A. J. Wind loading on buildings. London: Applied Sciences Publishers, 1975.

zero). Abaixo dele, existe uma camada interfacial na qual as características do escoamento serão totalmente dependentes dos efeitos locais devidos às edificações existentes, sendo que não é possível a descrição de quaisquer características em particular para esta região (BLESSMANN, 1995; PETRUCCI, 2000).

A Norma Brasileira NBR 6123 – “Forças devidas ao vento em edificações” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988), cuja última revisão aconteceu em 1988, indica o procedimento para a determinação da velocidade do vento a ser utilizada em projetos de edificações.

A velocidade característica (velocidade de projeto) é definida por:

$$V_k = V_o * S_1 * S_2 * S_3 \quad (\text{equação 1})$$

Onde, V_k = velocidade característica [m/s], V_o = velocidade básica [m/s], S_1 = fator topográfico, S_2 = fator de rugosidade, dimensão da edificação e altura acima do terreno, e S_3 = fator estatístico.

A Norma apresenta tabelas com os valores dos diversos fatores de ajuste e o mapa das isopletas (figura 4) da velocidade básica do vento para as diferentes regiões do Brasil. Para a cidade de Porto Alegre a velocidade básica é de aproximadamente 46 m/s.

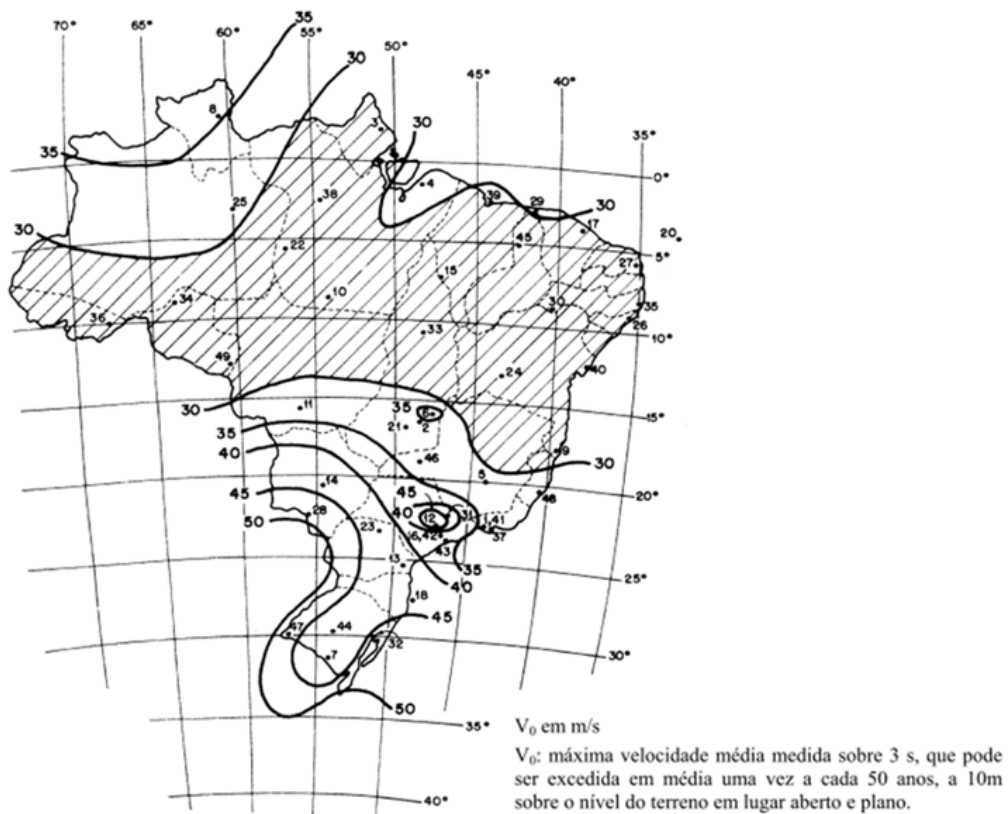


Figura 4: mapa das isopletas da velocidade básica do vento para o Brasil (ABNT, 1988)

Com base na velocidade característica do vento pode-se determinar a pressão dinâmica. A pressão dinâmica do vento é a pressão que se obtém quando na presença de um obstáculo, toda a energia da velocidade do vento é transformada em pressão. A pressão dinâmica ou de obstrução do vento, em condições normais de pressão (1 Atm = 101320 MPa) e temperatura a 15° C, é apresentada na equação 2.

$$q = 0,613 * V_k^2 \quad (\text{equação 2})$$

Onde, q = pressão dinâmica [N/m²] e V_k = velocidade característica [m/s].

Segundo a Norma, a força global do vento sobre uma edificação ou parte dela (F_a) é obtida pela soma vetorial das forças atuantes sobre a superfície da edificação. A força global na direção do vento (F_a) é expressa pela equação 3.

$$F_a = C_a * q * A_e \quad (\text{equação 3})$$

Onde, F_a = força global na direção do vento [N], C_a = coeficiente de arrasto (coeficiente de força), q = pressão dinâmica [N/m²] e A_e = área frontal efetiva (perpendicular à ação do vento, “área de sombra”) [m²].

2.2.1.1.1 O edifício como obstáculo ao vento

Os estudos, quando se pensa na variável vento, remontam aos túneis de vento. Os principais estudos sobre o comportamento do vento frente aos obstáculos, como são os edifícios, estão baseados em experimentos levados a cabo em túneis de vento, sobre modelos em escala reduzida (PETRUCCI, 2000).

O edifício, ele próprio, age como um obstáculo ao fluxo do vento e modifica ainda o seu padrão. A ação que o vento desenvolve, isolado ou associado com a água, se encontra muito relacionada com o perfil do terreno e da cidade objeto de estudo, cuja morfologia urbana é determinante do comportamento dos fluxos de ar. Estes fluxos podem operar, em realidade, independentes das correntes dominantes, em condições altamente turbulentas ou direcionados através de um planejamento urbano, conforme representado na figura 5 (BONIN, 1993).

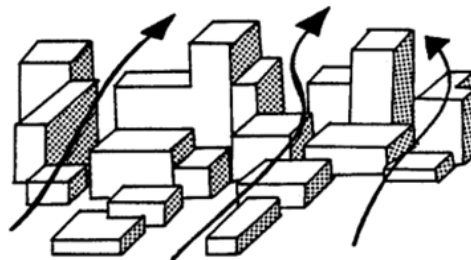


Figura 5: fluxos de ar direcionados – efeito abrigo (BONIN, 1993)

Deve-se observar o entorno da edificação projetada com relação aos fluxos preferenciais do ar e turbulências que possam agudizar a exposição, bem como o comportamento das edificações vizinhas frente à ação do tempo (estado de conservação dos revestimentos e efeito de abrigo de projeções de fachadas) (BONIN, 1993).

O termo barlavento é definido como a região de onde sopra o vento, em relação à edificação, e sotavento como a região oposta àquela de onde sopra o vento. Ao incidir sobre uma edificação, o vento, devido a sua natureza, provoca pressões ou sucções (figura 6). Na superfície exposta diretamente a ação do vento ocorre uma solicitação de pressão (sobrepessão), nas superfícies laterais os escoamentos são fortemente acelerados e próximos das arestas deslocam-se das superfícies criando solicitações de sucção (BAUER, 1987).

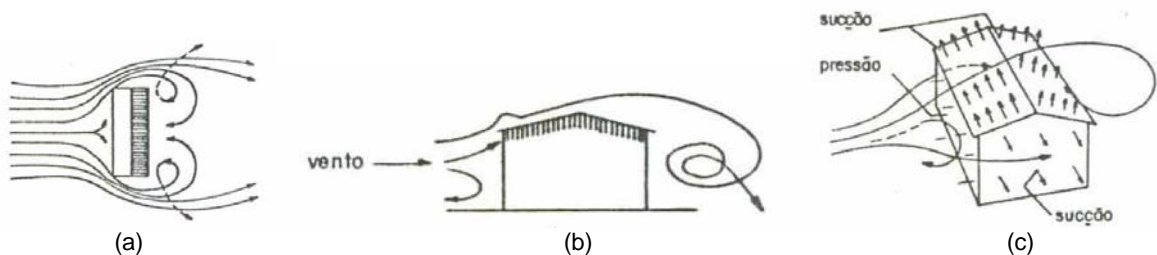


Figura 6: (a) (b) e (c) incidência do vento sobre as edificações (BAUER, 1987)

Em muitas situações, nas grandes cidades, tem-se a formação de corredores, que aumentam a incidência do vento em algumas fachadas. A construção de um novo edifício pode alterar completamente as condições existentes de incidência de vento nas fachadas. Com isso tem-se a alteração também da incidência de chuvas e da deposição de partículas (LIMA; MORELLI, 2005). Petrucci (2000) acrescenta que a justaposição de edifícios pode formar defletores para o vento e canalizar o ar para zonas estreitas (com aumento da velocidade do escoamento); esses diferentes tipos de escoamento podem se combinar, dependentes, ao mesmo tempo, das características do vento incidente (gradiente médio de velocidade vertical, turbulência) e das características dos edifícios e sua vizinhança (formas, tamanhos, posições), de tal modo que a resultante pode ser bastante complexa.

Massas edificadas modificam o comportamento do vento ocasionando efeitos diversos. Os principais efeitos aerodinâmicos do vento sobre os edifícios, através da seleção de situações representativas de configurações urbanísticas e suas realidades construtivas e qualidades aerodinâmicas, foram descritos em experimentos realizados pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) - França. Entre estes efeitos, estão os efeitos de barreira, Venturi, de aberturas e de canalização (GANDEMER, 1975).

a) efeito de barreira (figura 7): o vento quando encontra um obstáculo, busca a trajetória de menor resistência para passar pelo objeto, simplesmente contorna-o sem muita turbulência, se isso for possível. Se o obstáculo for muito largo, parte ou todo ar é empurrado para cima,

formando uma faixa de ar com sentido ascendente. Os edifícios localizados atrás da barreira, com altura inferior a mesma ficam protegidos do escoamento de ar. Para que o efeito ocorra, os edifícios barreira devem ter espessura menor do que 10 m, altura homogênea, e não maior que 30 m, e comprimento mínimo de oito vezes a altura.

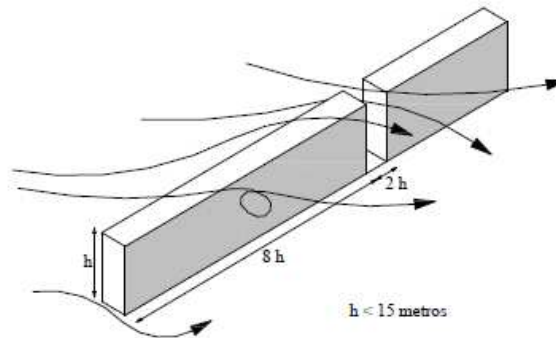


Figura 7: efeito barreira (GANDEMER, 1975)

b) efeito Venturi (figura 8): fenômeno de aceleração por afunilamento do escoamento de ar produzido por edificações separadas, cujos eixos coincidem em um ângulo agudo ou reto. Esses corredores de vento interferem sensivelmente no índice de exposição das fachadas das edificações frente aos agentes de degradação, pois interferem em especial, na velocidade do vento. A altura mínima dos edifícios deve ser maior que 15 m, o comprimento não menor do que 100 m e a vizinhança desocupada em área igual à do canal. Quando a abertura no final do canal possui dimensão de cerca de 2 a 3 vezes a altura média dos edifícios e é onde o escoamento atinge sua velocidade máxima.

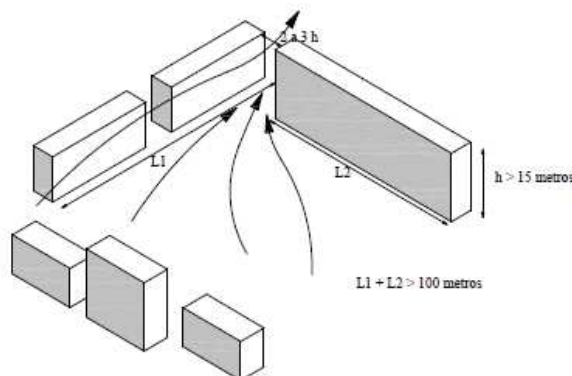


Figura 8: efeito Venturi (GANDEMER, 1975)

c) efeito de abertura (figura 9): refere-se a ligações que se estabelecem entre dois lados do edifício na sua base. Quanto à variação do escoamento do ar, aberturas individuais direcionam mais do que pilotis ou colunas, por provocar um escoamento mais concentrado. A saída do escoamento de ar, no lado oposto ao da incidência de vento no edifício, ocorre na forma de jatos ou esguichos, sendo que a zona afetada por este efeito é equivalente à área da abertura no lado de saída do jato.

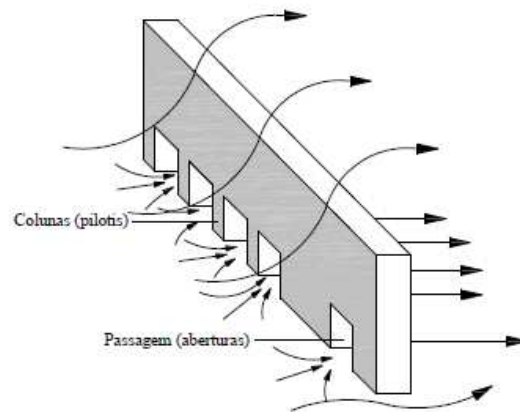


Figura 9: efeito de abertura (GANDEMER, 1975)

d) efeito de canalização ou corredor (figura 10): ocorre com a formação de corredor entre edifícios localizados paralelamente, possuindo largura menor que três vezes a altura dos prédios. Ocorre a formação de canalização com aceleração do escoamento de ar, sem ocorrências de significativas anomalias.

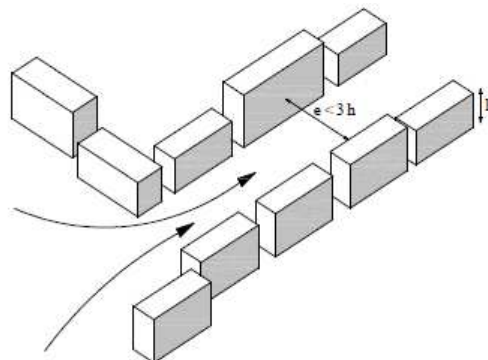


Figura 10: efeito canalização (GANDEMER, 1975)

Como visto anteriormente, a incidência do vento nas edificações é dependente de uma série de fatores, que vai desde o formato, altura e principalmente das condições do entorno (VIEIRA, 2005). Importante observar que as proporções dos edifícios influenciam mais do que os seus tamanhos nas variações dos efeitos aerodinâmicos do vento sobre eles (PETRUCCI, 2000).

Penwarden e Wise (1975)⁷ citados por Petrucci (2000) e Vieira (2005), com base em estudos em túnel de vento, descrevem típico escoamento de vento sobre as edificações. Os autores observam que o edifício age como um obstáculo ao escoamento do vento que, ao encontrá-lo segundo uma incidente normal, procura escapar de todas as faces possíveis mudando de trajetória abruptamente nas arestas laterais e topo da face para barlavento. O padrão do escoamento de vento sobre as edificações depende das características de aproximação (entorno imediato e direção) e das dimensões da edificação (altura e largura). Uma edificação mais alta que o entorno age como um obstáculo frente ao escoamento, o vento flui e ao encontrar a edificação segundo uma incidente normal, tenta escapar horizontal e verticalmente mudando de trajetória abruptamente no topo e nas laterais da face para barlavento (figura 11).

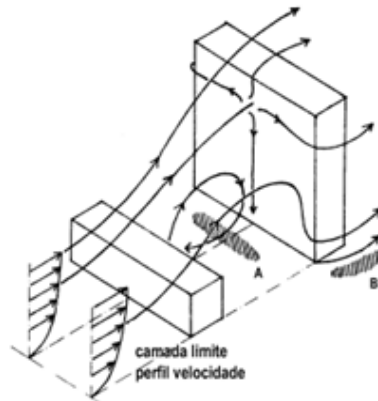
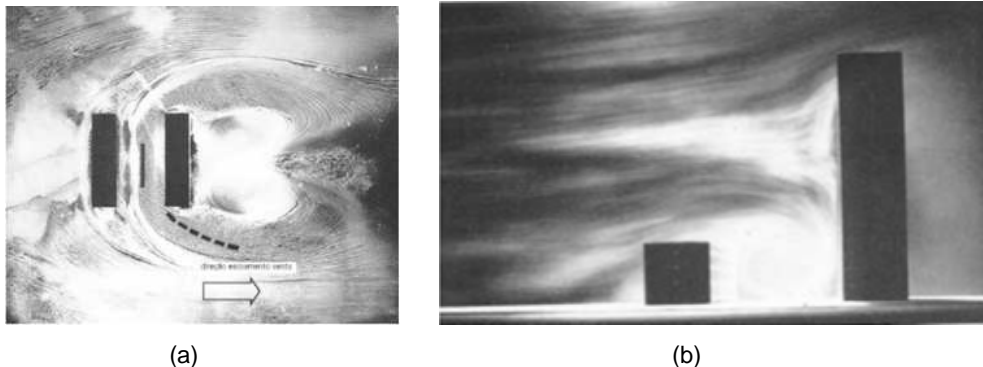


Figura 11: escoamento típico do ar ao redor de um edifício grande com um edifício mais baixo a barlavento (ROBINSON; BAKER, 1975)

De acordo com os mesmos autores, a mudança na trajetória de escoamento do vento ao incidir sobre a edificação gera um aumento na velocidade do vento no nível do solo e nas laterais da edificação, figuras 12 (a) e (b). Ao incidir sobre a fachada a barlavento da edificação, aproximadamente $3/4$ da altura da fachada, há o ponto máximo de pressão. Resultante deste ocorre um forte escoamento descendente formando um vórtice intenso junto ao solo, vórtice de pé de fachada, que ao contornar as arestas é estirado para sotavento pelo vento médio. Ocorre então uma aceleração do escoamento nos cantos da edificação e um aumento da pressão de base (pressão uniforme e negativa que se distribui de forma constante sobre toda a face a sotavento). Ainda segundo os autores, edificações mais baixas a barlavento podem agravar este tipo de fenômeno. A figura 13, mostra de forma simplificada a descrição do campo de escoamento de vento em torno de uma edificação de forma prismática apoiada no solo, imersa numa camada limite.



(a)
(b)
Figura 12: visualização da simulação, em túnel de vento, do escoamento de vento ao redor de um edifício alto, com uma edificação mais baixa a barlavento, direção de escoamento, (a) vista superior; (b) vista lateral (PENWARDEN; WISE, 1975⁷ apud VIEIRA, 2005)

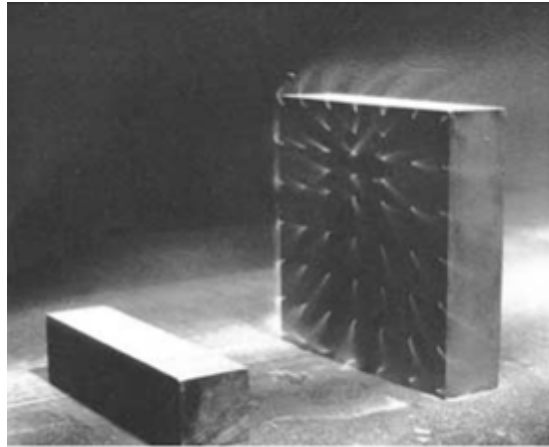


Figura 13: visualização da simulação, em túnel de vento, do escoamento de vento ao redor de um edifício alto, com uma edificação mais baixa a barlavento, direção de escoamento (PENWARDEN; WISE, 1975⁷ apud VIEIRA, 2005)

Segundo Mascaró (1996), o campo do escoamento do vento atmosférico em torno de um edifício é ditado, essencialmente, pelas características do vento imediatamente a barlavento, pelo rumo com que se apresenta e, evidentemente, pelas características geométricas do próprio edifício. Na representação de uma forma muito simplificada do campo de escoamento em torno de uma forma prismática, apoiada no solo, imersa numa camada limite com ventos que se aproximam numa direção perpendicular à maior face, são visíveis os dois mecanismos básicos que podem induzir a velocidades elevadas em nível do solo.

O primeiro é o forte escoamento descendente que se verifica na fachada a barlavento devido aos significativos gradientes de pressão estática sobre a superfície (pressão essa positiva, diretamente associada à pressão dinâmica do escoamento não perturbado aos níveis correspondentes, e que apresenta o máximo no ponto de estagnação, tipicamente localizado a cerca de 2/3 da altura do corpo). Este escoamento acaba por vir a formar um vórtice muito intenso junto ao solo (o chamado vórtice de pé de fachada) que vai contornar as arestas e ser estirado para sotavento pelo escoamento médio, dando, por sua vez, origem a dois efeitos significativos: uma clara aceleração do escoamento nos cantos e um agravamento da chamada pressão de base (pressão sensivelmente uniforme e negativa que se distribui de forma aproximadamente constante sobre toda a face de sotavento) devido ao aumento de vorticidade verificada. A existência de edifícios mais baixos a barlavento pode agravar drasticamente este tipo de fenômeno.

O segundo mecanismo tem origem no diferencial de pressões entre as faces de barlavento (sobrepções) e de sotavento, ou mesmo laterais (sucções), que pode promover, dadas as reduzidas distâncias (eventuais significativos gradientes de pressão), escoamentos de elevada velocidade em arcadas e comunicações abertas.

A figura 14 (a) detalha o escoamento a sotavento da edificação na região da esteira, a figura 14 (b) indica a linha de separação do escoamento e a figura 15 indica uma distribuição de pressões,

em termos de coeficientes aerodinâmicos, para a face de barlavento de uma edificação paralelepédica convencional (COOK, 1985⁹ apud PETRUCCI, 2000).

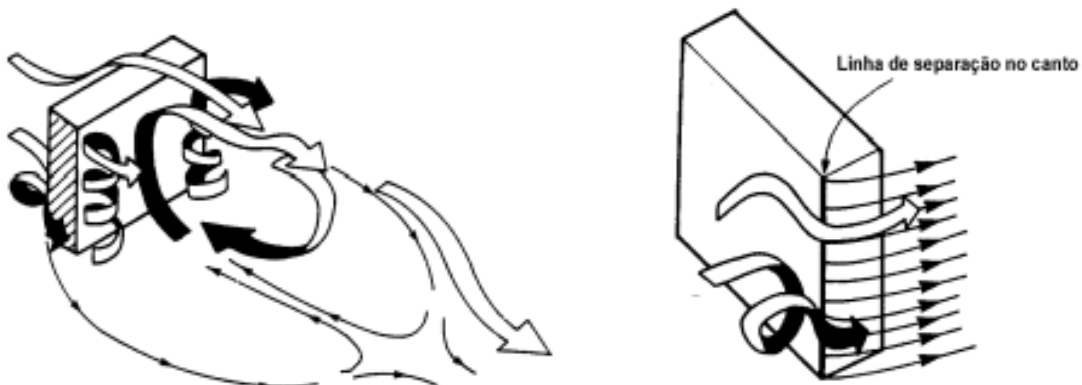


Figura 14: (a) região da esteira e (b) separação do escoamento (COOK, 1985⁹ apud PETRUCCI, 2000)

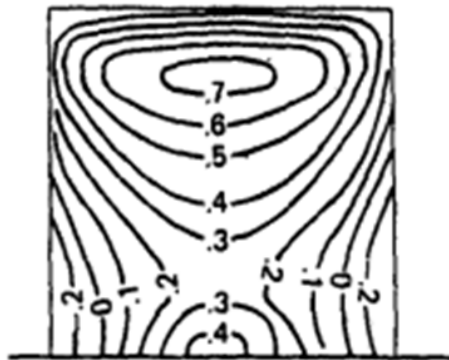


Figura 15: exemplos de coeficientes de pressão (COOK, 1985⁹ apud PETRUCCI, 2000)

Aproximando-se da ação da manifestação patológica de manchamento por partículas atmosféricas, as correntes de ar que mudam bruscamente de velocidade e direção atuam sobre as fachadas produzindo uma eliminação das partículas em seco, que será maior em suas partes mais expostas como esquinas laterais e coroamento. Em contrapartida, nas partes baixas da fachada e naquelas abrigadas por elementos salientes ou obstáculos, onde o vento incide com menor intensidade e junto às quais aparecem zonas de remanso respectivamente, a força de abrasão diminui consideravelmente, passando a taxa de deposição a ser superior. Se a ação do vento não é reforçada pelo lavado ocasionado pela chuva, o manchamento, nessas partes, irá aumentando lentamente. Estas análises são válidas, a princípio, para um edifício isolado em local aberto; no interior de um tecido urbano o fenômeno é mais complexo (PETRUCCI, 2000).

Em um tecido urbano densamente edificado, o escoamento do vento é modificado, podendo serem modificadas também as trajetórias teóricas do vento. A ação do vento sobre as edificações pode causar o fenômeno de erosão eólica, desgastando os elementos componentes das fachadas, porém, a ação conjunta do vento e da chuva é um dos principais responsáveis pelos danos causados nas fachadas das edificações. Por essa razão é importante estudar a

⁹ COOK, N. J. The designer's guide to wind loading of building structures; Part 1. Londres: Butterworths, 1985.

influência da orientação da fachada em sua exposição ao impulso do vento e da chuva (VIEIRA, 2005).

2.2.1.1.2 O vento na cidade de Porto Alegre

De acordo com Petrucci (2000), apesar das dificuldades em prever-se o modo de atuação deste agente climático, os dados meteorológicos são imprescindíveis para a averiguação da magnitude da influência das orientações das fachadas em sua exposição ao impulso do vento e, em particular, da chuva incidente ou dirigida.

Uber (1992) selecionou, dos dados de observações horárias coletadas ao longo de uma série de 20 anos (1951 a 1970) na Estação Meteorológica do Aeroporto Salgado Filho, em Porto Alegre, os parâmetros pertinentes à área do ambiente construído, dentre os quais os relacionados ao vento de superfície. É importante observar que os valores de velocidade do vento referem-se a estados limites de utilização, enquanto que os valores processados estatisticamente na NBR 6123 são indicados para estados limites últimos, ou seja, para uso no projeto estrutural.

Após estabelecidas as devidas correlações, a autora concluiu que as médias de direções do vento (nas imediações do Aeroporto Salgado Filho) indicam a absoluta predominância da direção sudeste, chegando a 100% de ocorrência nos meses de setembro a novembro. Em seguida aparecem a direção leste (de dezembro a abril durante a noite e madrugada) e oeste (de maio a julho, da manhã ao meio da tarde). Registros de vento sul aparecem apenas na primeira metade das tardes de abril e entre as 6 e 16 h de agosto. Ventos calmos ocorrem preferentemente nas madrugadas de maio a julho e manhãs de abril. Quanto à distribuição da frequência do vento entre as faixas de velocidade, observa-se a redução de ocorrência das velocidades mais altas no inverno, aumentando os registros de vento calmo. As velocidades mais frequentes são as compreendidas entre 2,5 e 3 m/s e as abaixo de 1 m/s (UBER, 1992).

Para Livi (1998), em Porto Alegre ao longo do ano, as principais direções do vento são Leste (E), Leste-sudeste (ESE) e Sudeste (SE). A figura 16 mostra a frequência anual das principais direções do vento em Porto Alegre.

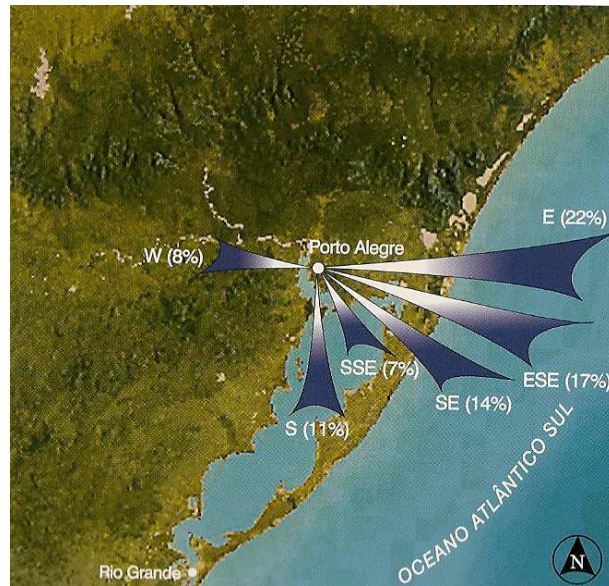


Figura 16: frequência média anual das principais direções do vento em Porto Alegre (LIVI, 1998)

A figura 17 demonstra os quadros de frequência de direções e velocidade médias dos ventos comparando os meses de verão e de inverno.

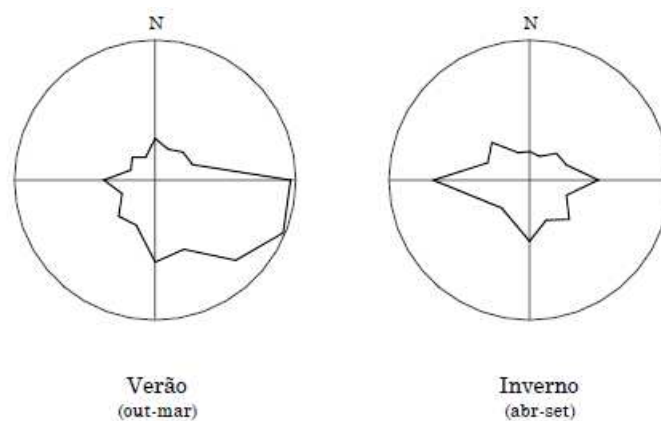


Figura 17: quadro de frequência de direções (MASCARÓ, 1996)

2.2.1.2 Precipitação pluviométrica ou chuva

O termo precipitação, em meteorologia, é usado para qualquer deposição em forma líquida ou sólida da atmosfera. O termo refere-se às várias formas líquidas e congeladas de água, como a chuva, neve, granizo, orvalho, geada e nevoeiro. No entanto, somente a chuva e a neve contribuem expressivamente para com os totais de precipitação e, nos trópicos, o termo precipitação pluvial é sinônimo de precipitação, pois a neve exceto com raras exceções não existe (AYOADE, 1998). Neste trabalho, o termo precipitação e precipitação pluvial ou pluviométrica serão utilizados para expressar deposição de chuva.

Segundo Petrucci (2000) citando Carrié et al. (1975)¹⁰, a chuva é um fenômeno extremamente variável em sua intensidade, duração, frequência, diâmetro das gotas que a constituem; seu domínio vai desde um nevoeiro, no qual as gotas de água não são visíveis, até uma tempestade cujas gotas atingem até 5 a 6 mm de diâmetro. Sua ação sobre a manifestação patológica de manchamento das fachadas será, portanto, também muito variável. Pode favorecer, como um nevoeiro, a adesão das partículas de contaminação (pela taxa elevada de umidade que provoca), sanear a atmosfera das partículas em suspensão, como um temporal, e provocar, segundo sua duração, uma lavagem mais ou menos intensa das fachadas. O efeito de limpeza da atmosfera pela ação das precipitações pode ser percebido pela redução do conteúdo de partículas (preferencialmente aquelas com diâmetro superior a 4 µm) no ar após uma chuva.

O Brasil se caracteriza por altos índices pluviométricos bem distribuídos durante o ano todo. Pequenas regiões apresentam comportamento diferenciado (LIMA et al., 2005). A figura 18 mostra a distribuição pluviométrica nacional. Pode-se visualizar que na região nordeste ocorre o menor índice de precipitação do país, e que algumas localidades apresentam baixíssimos índices de precipitação anual (menores que 700 mm anuais), enquanto que na região norte do país o índice de precipitação anual é elevado.

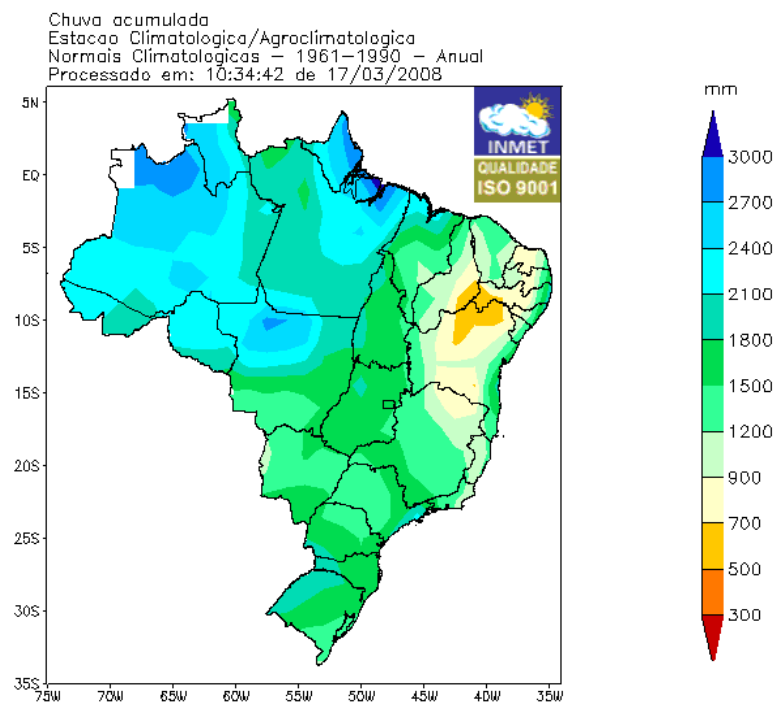


Figura 18: precipitação total média anual no território nacional (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2010)

Segundo Lima e Morelli (2005), nenhum mapa disponível, traz informações sobre a incidência das chuvas no país, se acontecem durante todo o dia ou concentrada em pequenos períodos do dia, uma vez que as estações meteorológicas registram informações de acordo com uma

¹⁰ CARRIÉ, C.; MOREL, D; FOURQUIN, J. Salissures de façades. Paris: Eyrolles, 1975.

programação realizada (em geral, o padrão da Organização Mundial de Meteorologia, que coleta informações a cada 3 horas para ventos e o total diário para precipitação).

Mascaró (2004) divide o Brasil em grandes zonas climáticas. A região amazônica possui clima úmido (tropical de floresta e savana), com regime abundante de chuvas, enquanto no sertão nordestino há predominância do clima semi-árido e árido (clima tropical e subtropical de estepe), com escassez de chuvas. A região sul do país possui clima subtropical úmido, e com regime de chuvas mais intenso no verão e sem estação seca.

Em geral, o Brasil tem uma incidência alta de chuvas e chove muitos dias por ano no país. O clima nacional é bastante agressivo às construções, pois disponibiliza água para que as reações de degradação aconteçam durante muitos dias por ano (LIMA; MORELLI, 2005).

Segundo Lima et al. (2005), a maior ou menor incidência de chuvas, bem como a umidade relativa do ambiente comandam a presença e a disponibilidade da água para que as reações de degradação possam acontecer. Lersch (2003) complementa ao dizer que a presença de água é responsável por grande parte dos danos verificados em edificações, tanto nas históricas como nas contemporâneas, sendo o principal veículo para alguns mecanismos de deterioração.

2.2.1.2.1 Chuva incidente ou dirigida

A maioria das chuvas em centros urbanos é de baixa intensidade. A associação do vento à incidência da chuva é um fator importante quando se pretende estudar a conservação e/ou degradação do ambiente construído (LIMA; MORELLI, 2005). O vento é o encarregado de impulsionar a água da chuva para os obstáculos situados fora da vertical de sua trajetória com ar em calma (PETRUCCI, 2000).

Chuva incidente ou dirigida refere-se à ação conjunta da chuva e do vento incidente nas fachadas quando da precipitação (SILVA; GIRALT, 1995). A chuva dirigida, traduzida do termo inglês *driving rain* ou *wind-driven rain*, é uma grande fonte de umidade que afeta a performance higrotérmica e a durabilidade das fachadas das edificações.

De acordo com Giongo (2007) e Melo Jr (2010), entre os danos causados pela umidade proveniente da chuva dirigida estão infiltrações, eflorescências, bolores, goteiras, manchas e degradação dos materiais que constituem os componentes das fachadas.

A previsão da distribuição de pressões de vento em um edifício não é imediata, pois a forma, a topografia e altura, além de outros fatores, participam do processo. A chuva, não obedecendo as mesmas leis da distribuição de pressões de vento (embora esse seja um dos principais agentes na distribuição de chuvas nas paredes verticais), contribui para o agravamento da situação (PEREZ, s/d.).

Na ausência de vento a chuva cai verticalmente (situação rara) e a mais leve projeção na parede é suficiente para protegê-la por inteiro do umedecimento. Logo, o que nos interessa observar é a chuva dirigida pelo vento de tal forma que atinge as superfícies verticais dos edifícios (BONIN, 1993).

As precipitações que caem na horizontal, razoavelmente conhecidas, não oferecem grandes problemas às coberturas. Entretanto, não se tem muita informação sobre a distribuição das precipitações nas paredes verticais dos edifícios. As variáveis básicas que aí intervêm são: a velocidade do vento, o tamanho e a quantidade das gotas de chuva. De forma geral, as maiores velocidades de vento ocorrem perto das regiões de maiores chuvas incidentes do edifício (PEREZ, s/d.).

Com base na figura 19, Thomaz (1990) apresenta a influência do vento na direção da chuva e na exposição das paredes. O autor observa que sem o vento a chuva cairia verticalmente e pouco molharia as paredes da edificação. Com a ação combinada da chuva e do vento as fachadas são atingidas em diferentes graus, dependendo da intensidade e direção do vento atuante.

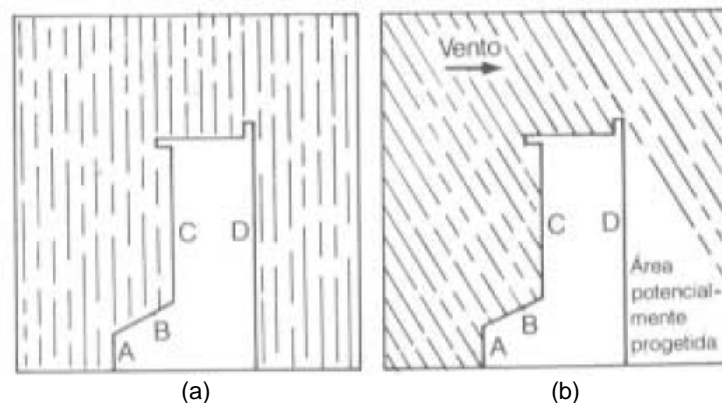


Figura 19: influência do vento na direção da chuva e na exposição das paredes: (a) situação sem vento; (b) situação com vento (THOMAZ, 1990)

O autor acrescenta ainda que, observando a figura 19, o vento e a chuva incidente apresentando uma inclinação, atingem a edificação de maneira diferenciada. Com o vento as superfícies A, B e C são atingidas pela água da chuva, enquanto que a superfície D está protegida. Ainda o volume de água sobre a superfície B aumenta em decorrência da contribuição da água incidente sobre a superfície C.

Logo, o que interessa observar, é a chuva carregada ou dirigida pelo vento em um ângulo com a vertical, de tal forma que incide sobre as superfícies verticais dos edifícios, já que na ausência de vento (situação rara) ou em situações de vento em calma ou de pouca velocidade (0 a 1 m/s) a chuva descende praticamente paralelamente à fachada (PETRUCCI, 2000).

Quanto maior o ângulo de queda da chuva dirigida, maior é a possibilidade de aumento da captação da água pela fachada (e, portanto, de que possa ser lavada) (figura 20 (a)). A

magnitude de dito ângulo depende exclusivamente do vento e suas oscilações tanto em intensidade como em direção. A figura 20 (b) ilustra que o máximo escoamento de água não se produz na superfície da parede, mas sim a uma distância de 2,5 a 13,5 cm devido às turbulências ao longo da fachada (HUBERTY, 1980; COLEGIO, 1996).

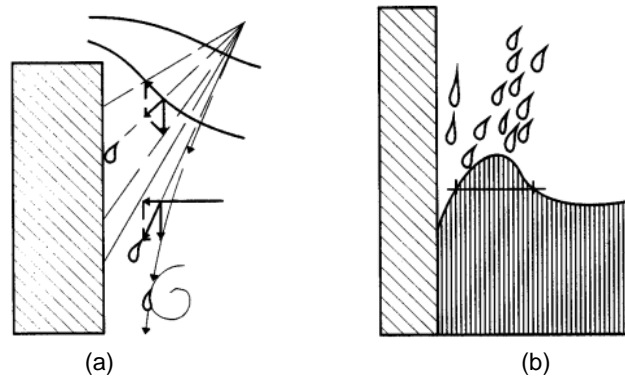


Figura 20: (a) inclinação da trajetória de queda da chuva de acordo com a altura e (b) máximo fluxo de chuva a certa distância da parede (HUBERTY, 1980)

Estudos envolvendo dispositivos para medir chuva dirigida são bastante antigos. O primeiro deles, desenvolvido em 1816, relatado por Van Mook (2002)¹¹ citado por Lima e Morelli (2005), apresentava um aparato, denominado “vectopluiometer” e media, na realidade, a quantidade de chuva que caía na horizontal e a capturada, por um orifício no aparato, na vertical. O autor desenvolveu aparatos para medir chuva dirigida e é um dos últimos estudos relatados sobre o tema, incluindo simulações computacionais inclusive com tamanhos e formato de gotas de chuva diferenciados.

Prováveis padrões de escoamento do ar sobre e ao redor dos edifícios e prováveis trajetórias das gotas de chuva podem ser visualizados na figura 21 (a). Padrões similares de comportamento do escoamento do ar e gotas de chuva foram observados para uma projeção vertical da face de um edifício, conforme ilustra a figura 21 (b) (VERHOEF, 1988⁴ apud PETRUCCI, 2000).

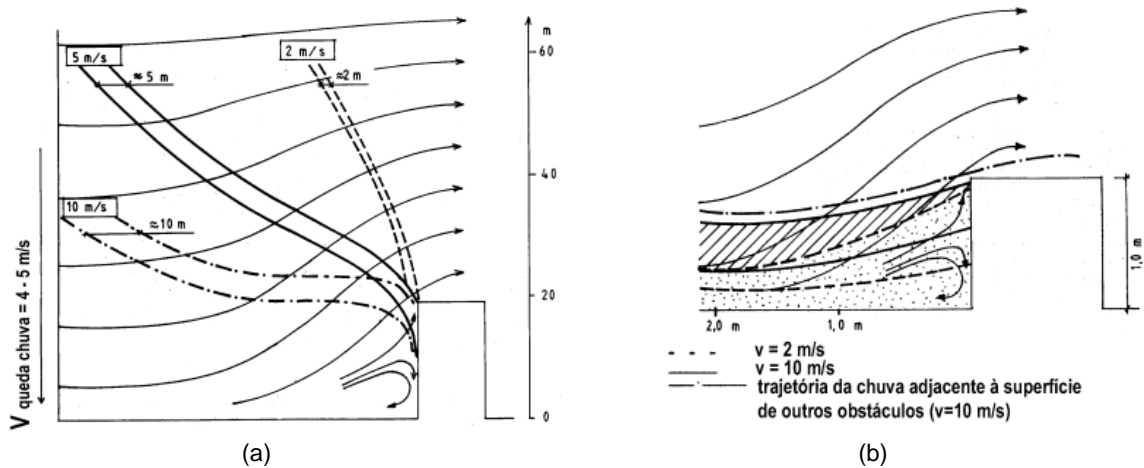


Figura 21: prováveis padrões de escoamento do ar e trajetórias das gotas de chuva: (a) ao redor do edifício e (b) em projeção vertical (VERHOEF, 1988⁴ apud PETRUCCI, 2000)

A orientação de uma determinada fachada tem relevância em relação à incidência de chuva carregada por um vento pluvial dominante, isto é, os lados da edificação que estiverem voltados a ventos predominantes de determinada região receberão maiores quantidades de chuva. Porém, Vallejo (1990) relata que a quantidade de água da chuva que consegue alcançar uma fachada é menos da metade prevista pela teoria, isto porque mais da metade deste total se perde devido aos desvios das trajetórias das gotas em decorrência de fluxos de vento surgido na intenção de transpor o obstáculo (o edifício). Para as edificações livres, isto é, edifícios que não sofrem a influência de obstáculos na trajetória de vento, a chuva golpeia principalmente a parte superior e as laterais da fachada pela ação do ar em movimento, como se pode observar na ilustração da figura 22 (MELO JR., 2010).

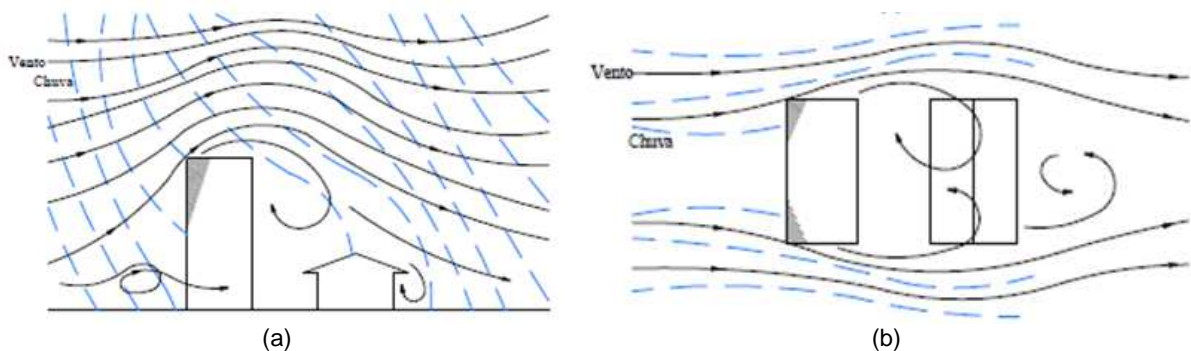


Figura 22: atuação do vento e chuva sobre edificações com diferentes níveis de proteção - representação (a) em elevação e (b) em planta (ROBINSON; BAKER, 1975; VALEJO, 1990)

As gotas de chuva carregadas pelo vento podem ser inábeis para seguir a mudança na direção do escoamento (gotas pequenas podem mais facilmente ser defletidas para o edifício por correntes de ar do que gotas grandes) e, ao invés, ferem a face do edifício explicando o maior umedecimento de algumas de suas zonas, tais como os cantos extremos (topo e esquinas) e elementos salientes da face para barlavento (PETRUCCI, 2000).

O fluxo de ar muda de trajetória abruptamente nos cantos e topo da face a barlavento, dessa forma, os índices de chuva incidente são maiores nas alturas mais elevadas, uma vez que a máxima concentração de chuva incidente encontra-se próxima aos cantos superiores dos edifícios, concentrando-se secundariamente ao longo dos cantos das laterais. Observa-se também que os valores elevados de chuva incidente nos cantos das laterais e beirados dos edifícios se devem também a estes locais serem de maior incidência de vento. Por outro lado, sabe-se que a intensidade real de uma chuva incidente geralmente não é proporcional à pressão do vento (PEREZ, s/d; BONIN, 1993).

A chuva dirigida expõe as fachadas de uma mesma edificação a proporções diferentes de umidade (MELO JR.; CARASEK, 2011). Fenômenos observados em escala real demonstram o padrão típico de umedecimento no momento da chuva, em forma de uma parábola, de uma parede voltada para a chuva dirigida pelo vento (figura 23 (a)). A variação de tons da cor azul, do mais escuro ao mais claro, equivale, respectivamente, às áreas mais umedecidas até as menos umedecidas. Este fenômeno também foi verificado através de ensaios de modelos reduzidos de edificações colocados em túnel de vento de camada limite, no qual foram simuladas as características do vento natural e da chuva incidente, também em escala (figura 23 (b)) (SURRY et al., 1994).

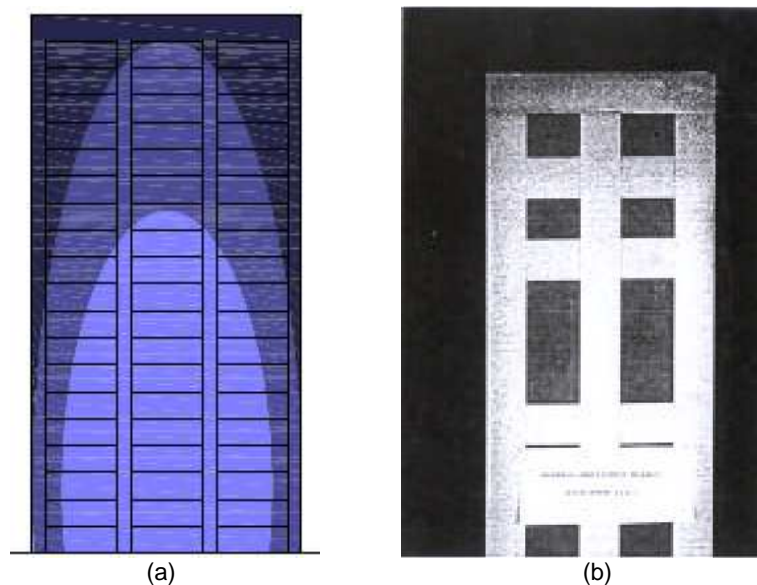


Figura 23: (a) parábola de chuva incidente (MELO JR.; CARASEK, 2011) e (b) chuva dirigida registrada em ensaio em túnel de vento (SURRY et al., 1994)

Pode-se, portanto, concluir que a chuva não incidirá sobre uma fachada de modo uniforme; existirá inicialmente uma maior deposição no topo e esquinas da face exposta, quando no restante da parede poderá ser vista, muitas vezes, escorrendo para baixo numa face relativamente seca; isto sucede com bastante independência da intensidade do fenômeno chuvoso (PETRUCCI, 2000).

A natureza do material de revestimento da fachada determinará, segundo Robinson e Baker (1975), o que acontecerá na continuação de uma chuva. No início de uma chuva forte, o topo e os cantos laterais da face exposta irão umedecer, a água depositada nas superfícies da parede tenderá a ser absorvida inicialmente pelos materiais porosos, mas tão logo a taxa de depósito exceda a taxa de absorção, começará a migrar pela parede em direção ao solo. Em materiais não porosos a migração da água se dará quase imediatamente depois de ter sido depositada. A formação de modelos de manchamento/limpeza de fachadas e seus componentes encontra-se, dessa forma, relacionada com o modo como a chuva alcança essas superfícies e com seus materiais de revestimento. Esse fato pode ser melhor apreciado através da experiência aportada por análises feitas de modelos reais. Os autores informam sobre as observações realizadas em vários edifícios em Ottawa, Canadá, e a figura 24 traz uma das observações em sequência em time-lapse de um edifício com painéis pré-fabricados de concreto com agregados expostos em suas fachadas.

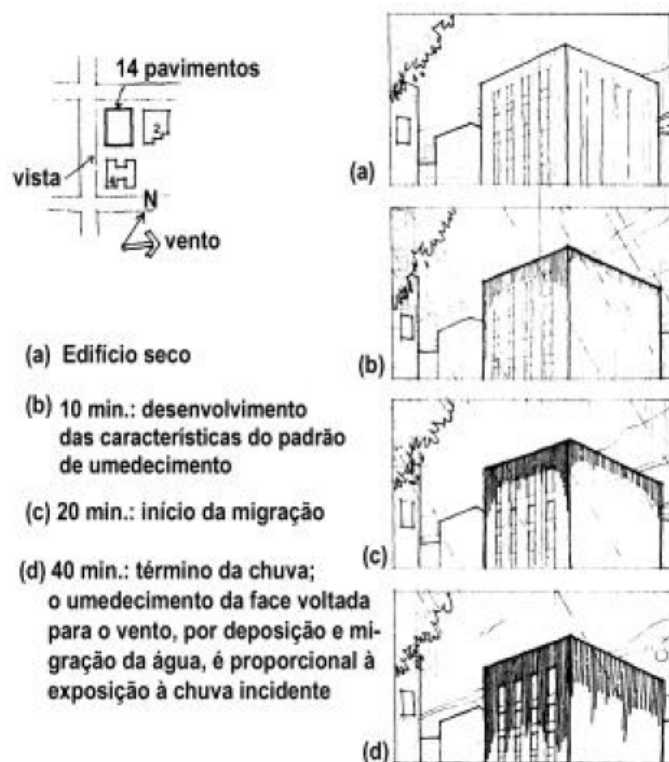


Figura 24: umedecimento das fachadas (ROBINSON; BAKER, 1975)

As gotas de chuva, menos sujeitas à ação do vento à medida que descendem em direção ao solo, têm uma trajetória que se aproxima cada vez mais da vertical. A quantidade de água de chuva que pode atingir uma fachada será, portanto, mais importante sobre os pavimentos superiores (em particular para o último) onde se produzirá uma lavagem preferencial. Observa-se, em tempos de chuva, que a zona abrigada da água pelas proteções salientes de janelas da fachada aumenta nos pavimentos mais próximos do térreo (PETRUCCI, 2000).

Apesar da tendência que tem o vento de conduzir a chuva para os estágios mais altos do edifício, os obstáculos ou abrigos do vento que são os edifícios, uns para os outros, têm igualmente o efeito de modificar a direção da chuva (PETRUCCI, 2000).

Bauer (1987), com base nos estudos de Lacy (1977)¹² e Marsh (1977) define chuva incidente como a chuva conduzida pelo vento de maneira a incidir sobre uma superfície vertical a um determinado ângulo. Blocken e Carmeliet (2000 e 2004) e Giongo et al. (2008) corroboram ao definir que chuva dirigida é a chuva que tem um componente de velocidade horizontal em função do vento e que, portanto, incide obliquamente sobre as fachadas. A chuva dirigida é uma das fontes de umidade mais importantes que afetam o desempenho higrotérmico e a durabilidade das fachadas do edifício (KARAGIOZIS et al. 1997; BLOCKEN E CARMELIET, 2006).

O ângulo no qual a chuva atua sobre a parede depende da combinação da velocidade do vento e do tamanho da gota de chuva, conforme figura 25 (BAUER, 1987).

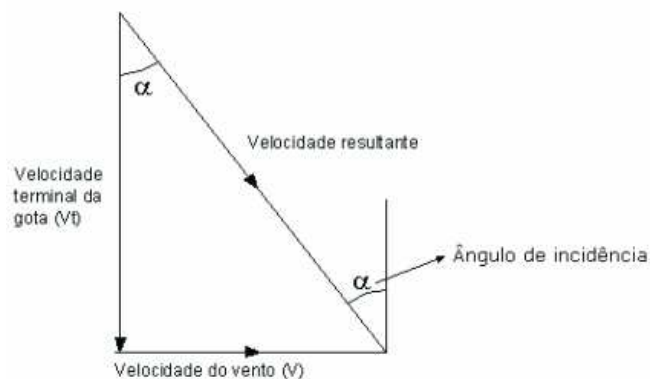


Figura 25: sistemas de forças atuantes sobre uma gota de chuva (BAUER, 1987)

Segundo Newman (1987)¹³ citado por Petrucci (2000) e Vieira (2005), a quantidade de chuva dirigida depende da quantidade total de chuva que cai em uma superfície horizontal e simultaneamente da velocidade e direção do vento no local. O autor ressalta que a exata relação entre esses parâmetros é complexa, pois dependerá das relações entre taxa de precipitação, do tamanho das gotas de chuva e da velocidade terminal. Porém, com uma razoável aproximação, para locais abertos esses elementos se relacionam de acordo com a equação 4:

$$R_v = 200 * R_h * V * \cos\theta \quad (\text{equação 4})$$

onde: R_v = precipitação através de um plano vertical desobstruído em espaço livre (em mm); R_h = precipitação no plano horizontal (em mm); V = velocidade do vento (em ms^{-1}) e θ = ângulo entre a velocidade do vento e a normal ao plano vertical que está sendo considerado.

56

¹² LACY, R. E. Climate and building in Britan. Garston, Building Research Establishment, 1977.

¹³ NEWMAN, A. J. Microclimate and its effects on durability. Chemistry & Industry. London, Society of Chemical Industry, n. 17, 1987, p. 583-593.

Para o autor, estes índices são úteis como um guia comparativo das condições de exposição entre regiões (com relevância particular na avaliação de efeitos contínuos sobre os paramentos), mas possuem limitações: tratam-se de índices que não indicam as diferenças nas direções preferenciais do vento e desconsideram que as velocidades do vento durante a chuva podem ser na média mais altas que as velocidades médias anuais.

O termo chuva dirigida foi apresentado pelo Conseil International du Bâtiment pour la Recherche L'Étude et la Documentation (CIB), em meados na década de 60, e representa a ação da precipitação somada ao vento incidente nas edificações. A proposta do CIB foi de apresentar um índice de chuva dirigida (DRI – *Driven Rain Index*, em inglês; ou ICDA, em português) como o produto do total de chuvas pela velocidade do vento, esses valores sendo expressos por médias anuais (ADDLESON; RICE, 1991; SILVA e GIRALT, 1995; LIMA; MORELLI, 2005).

Lacy (1965, 1977¹²), também citado por diversos autores (MARSH, 1977; SILVA e GIRALT, 1995; PETRUCCI, 2000; VIEIRA, 2005; LIMA e MORELLI, 2005; GIONGO et al., 2008; LIMA e ESTRELA, 2010), propõe o cálculo do índice de chuva dirigida anual, para avaliação das condições de exposição à chuva dirigida de locais em particular. Determina a relação como sendo resultado do produto da média anual de vento com o total de precipitação anual em um determinado local.

$$ICDa = P * V/1000 \quad \text{(equação 5)}$$

onde: ICDA = índice de chuva dirigida anual (em m²/s); P = precipitação pluviométrica total anual (em mm) e V = velocidade média anual do vento (em m/s).

Quando o ICDA é calculado a partir das médias anuais de vento e de precipitação pluviométrica, ele é denominado índice de chuva dirigida anual médio (ICDA médio). Pode-se também calcular o índice de chuva dirigida para diversas orientações de vento, dessa forma criam-se rosetas de índices de chuva dirigida direcionais (ICDd) para uma determinada localidade. Esse índice direcional facilita a visualização e a análise da influência de cada direção de vento quanto à exposição à chuva dirigida. Pode-se ainda calcular os índices mensais e sazonais para se fazer uma comparação do comportamento da chuva dirigida em cada estação do ano (GIONGO et al., 2008).

O índice de chuva dirigida, de acordo com a metodologia proposta por Lacy (1965), é classificado de acordo com faixas de agressividade:

- a) ICDA de 0 a 3 m²/s: exposição protegida ou branda;
- b) ICDA de 3 a 7 m²/s: exposição moderada;
- c) ICDA acima de 7 m²/s: exposição alta.

Conforme definido, o índice indica a quantidade total de chuva que irá ser dirigida em um ano sobre uma superfície vertical perpendicular ao vento. De acordo com Marsh (1977), para o valor de 1 m²/s do índice de chuva dirigida, corresponde aproximadamente 200 l/m² de chuva incidente sobre uma superfície vertical.

Chand e Bhargava (2002)¹⁴ citados por Lima e Morelli (2005) e Giongo et al. (2008), propõe uma quarta classificação de condição de exposição das edificações, à metodologia proposta por Lacy (1965). Trata-se da exposição severa que considera dados maiores que 11 m²/s, e dessa forma confeccionaram um mapa de chuva dirigida para a Índia.

Marsh (1977), estudando as condições de exposição da edificação propostas por Lacy (1965), aponta correções aos valores propostos. De acordo com Marsh (1977), excluem-se para condição “exposição protegida” as áreas próximas do mar ou grandes estuários a uma distância de 8 km, cujos valores devem ser corrigidos considerando-se sempre um grau de condição de exposição acima. No que diz respeito à condição de “exposição moderada”, excluem-se áreas onde o índice calculado seja maior ou igual a 5 m²/s, a uma distância de 8 km do mar ou grandes estuários.

Aspectos do entorno da edificação ou da própria edificação não são considerados nessa classificação, não são considerados na classificação de Marsh (1977). Em áreas de exposição protegida ou moderada, edifícios altos que se destacam da vizinhança ou edifícios altos localizados em colinas ou elevações devem ser considerados com uma exposição um grau mais severo do que o indicado (PETRUCCI, 2000).

O índice de chuva dirigida é uma variável complexa, e, nem sempre, um baixo ICDA corresponde a baixas quantidades de chuva dirigida na realidade, porque, no momento da chuva, a velocidade do vento é superior significativamente; e o vento incidente no momento da chuva difere significativamente do vento nos períodos sem chuva. O significado real do ICDA depende, principalmente, da topografia e do clima da região em estudo. O ICDA não dá indicativos reais de como as gotas de chuva incidem nas fachadas, sob ação das turbulências no entorno da edificação. Cada gota de chuva, na realidade, tem sua trajetória e sua força, diferentes, que provocam efeitos diferenciados nas fachadas (LIMA; MORELLI, 2005).

Outra proposta, bem mais completa, é apresentada pela Norma BS 8104 (BRITISH STANDARD, 1992), única Norma conhecida que relaciona a variável chuva dirigida, onde são apresentados vários coeficientes de correção para o valor calculado de índice de chuva dirigida, em função da altura da edificação, forma da fachada, materiais, relevo, vegetação, direção do vento, entre

¹⁴ CHAND, I.; BHARGAVA, P.K. Estimation of driving rain index for India. Building and Environment. n.37, 2002, p.549-554.

outros. A Norma apresenta um mapa para o Reino Unido com índice de chuva dirigida anual para diversas regiões do país.

O índice de chuva dirigida pode ser usado com duas finalidades principais: indicar ao projetista qual a intensidade de exposição do local onde vai ser construído o edifício e permitir que os pesquisadores comparem as condições reais de exposição das paredes e coberturas de um edifício com as dos ensaios de estanqueidade à água de chuva (PEREZ, 1988b). Segundo Bonin (1993), o índice de chuva dirigida é útil como um guia comparativo das condições de exposição entre regiões, com relevância particular na avaliação de efeitos contínuos sobre os paramentos. Mas as condições para as quais os materiais estão realmente expostos podem somente ser acessadas do seu microclima, governado pelo entorno do edifício e por suas características de projeto, tais como tamanho, forma, orientação e detalhamento de suas superfícies expostas.

Na avaliação das condições de exposição, em conclusão ao sugerido através da obtenção dos índices anuais de chuva dirigida e às observações de como o entorno da edificação e ela própria modificam o componente vento nestes índices, recomenda-se classificar os edifícios segundo suas condições de exposição (BONIN, 1993):

- a) condições severas de exposição: incluem condições de exposição total à chuva e ao vento. Edifícios sobre colinas, próximos ao mar ou com altura muito superior a das construções vizinhas fazem parte deste grupo;
- b) condições moderadas de exposição: incluem condições nas quais as fachadas estejam parcialmente protegidas da chuva por beirais ou outros detalhes de superfície ou por outras edificações de similar altura na vizinhança. Edifícios em centros urbanos e subúrbios geralmente se enquadram neste grupo;
- c) condições brandas ou protegidas: incluem condições em regiões de baixo índice pluviométrico (precipitações anuais abaixo de 600 mm) nas quais as fachadas estejam protegidas da chuva por beirais ou outros detalhes de superfície ou muito próximas a edifícios de similar ou maior altura. Térreos e primeiros pavimentos em centros urbanos frequentemente se enquadram nesta categoria.

O Brasil não dispõe de dados combinados de precipitação e vento para se estabelecer um zoneamento nacional de chuvas incidentes, como no caso dos países europeus (PEREZ, 1988b). De acordo com Lima e Morelli (2005), com base nos mapas de vento e chuva que se tem disponíveis (figuras 4 e 18), pouco se pode inferir sobre aspectos relativos à chuva dirigida, ou a índices relacionados com este parâmetro. Os autores realizaram então um estudo onde foi elaborado um primeiro mapa para o índice de chuva dirigida para o Brasil (figura 26), apresentando, mesmo com restrições, informações importantes sobre o parâmetro chuva dirigida e considerações de macroclima específicas para o ano de 2004. Os dados de referência do mapa foram coletados no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC),

optando-se por trabalhar os dados referentes a todas as estações disponíveis para o ano de 2004. Os autores ressaltam a importância da obtenção de médias de um número maior de anos para que se permita a representatividade para o clima nacional na última década.

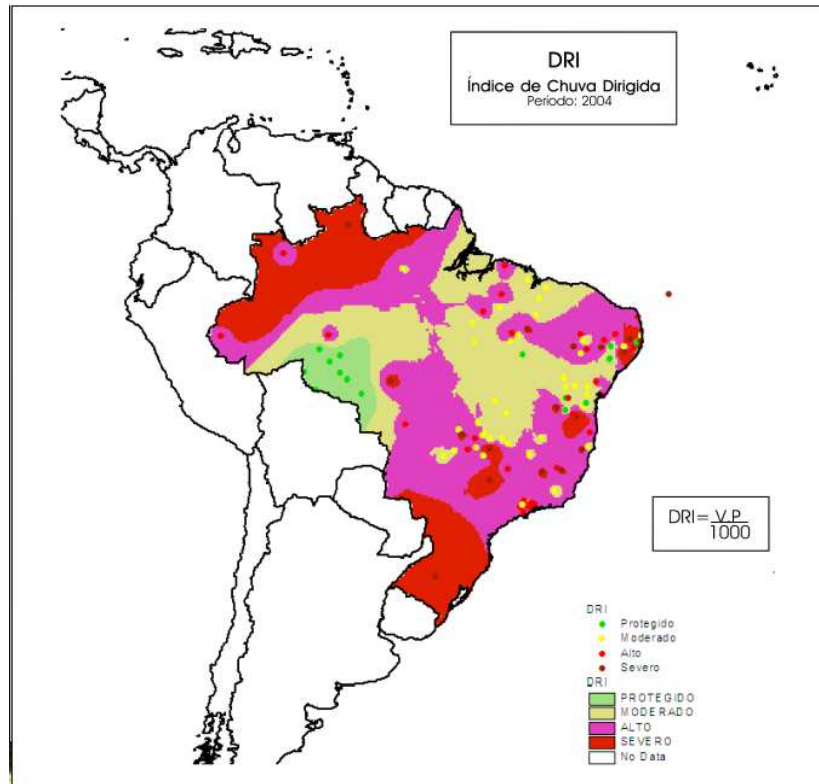


Figura 26: mapa brasileiro de chuva dirigida para o ano de 2004 (LIMA; MORELLI, 2005)

Observa-se ainda na figura 26 que o Brasil apresenta na maioria do território nacional um grau de exposição classificado como de alto a severo, em especial considerando-se a observação apresentada por Marsh (1977) de um acréscimo de um nível de exposição quando se consideram distâncias de até 8 km da costa. O extenso litoral nacional apresenta, nessas condições, graus de exposição alto a severo; sendo severo em sua maior parte. Nesta faixa também estão (segundo estimativas) mais de 60% das cidades nacionais (LIMA; MORELLI, 2005). O índice de chuva dirigida na região sul do país, segundo os autores, enquadra-se na quarta faixa de exposição classificada como faixa de exposição severa.

Salienta-se que este mapa traz informações apenas sobre o grau de exposição para o ano de 2004, sem indicações de sentido preferencial de incidência da chuva dirigida relacionada. A consideração de sentido preferencial para um país com as dimensões do Brasil somente fará sentido no momento em que se tenha monitoração de vento e chuva horários e com uma malha de estações que permita estudos de microclima, possibilitando inclusive a influência do entorno construído no processo de chuva dirigida. Hoje, como se encontra a malha de estações e a disponibilidade dos dados, os estudos somente são possíveis com a precisão apresentada no mapa da figura 26 (LIMA; MORELLI, 2005).

Segundo os autores, é de conhecimento também, que durante os episódios de chuva as velocidades dos ventos incidentes são superiores, e em alguns casos bastante superiores, às médias anuais; isso levaria a índices de exposição maiores do que os apresentados.

2.2.1.2.2 *Escorrimento da chuva pelas superfícies das fachadas*

A capacidade de lavagem das fachadas dos edifícios pela chuva incidente em suas superfícies depende diretamente de sua intensidade. Em núcleos urbanos, quando a maioria das chuvas é de baixa intensidade, incidindo com baixa força sobre os paramentos das edificações, elas contribuirão mais para incrementar o aporte de sujeira do que para produzir alguma forma de limpeza (PETRUCCI, 2000).

A Norma BS 8104 (BRITISH, 1992) apresenta que a quantidade de chuva que escorre por uma superfície vertical, como uma parede ou fachada, é, em todos os pontos, dependente da intensidade da chuva e da velocidade do vento. A quantidade de chuva que escorre por uma fachada é proporcional à quantidade de chuva que cai em uma superfície horizontal e à velocidade do vento no local.

Beijer (1977)¹⁵ apud Petrucci (2000) esclarece que, se a quantidade de água que incide sobre a fachada for superior à quantidade absorvida por capilaridade pelos poros do material, ou quando o material esteja saturado de água, a água restante começa a deslizar em forma de película ou fina lâmina (de uns décimos de milímetro) de água escorrida, de acordo com a lei da gravidade, em direção ao solo, com baixa velocidade (aproximadamente 1 m/min) e muito sensível às irregularidades do paramento. Durante sua trajetória descendente é absorvida continuamente pelo material de revestimento e sua capa de sujeira. Uma porção das partículas de sujeira existentes sobre a fachada ou aportadas pela chuva penetra na porosidade aberta com a água absorvida ou succionada, haja ou não se formado a lâmina de escorrimento, permanecendo o resto aderido ou sendo arrastado pelo escorrimento.

A ação de lavado ou de redução da aderência das partículas de sujeira situadas sobre uma superfície ocorre quando o escorrimento tem intensidade suficiente para permitir o desenvolvimento de um fluxo de água que cubra totalmente as partículas. A umidade ou a presença de um filme fino de água (em relação ao tamanho das partículas) na superfície, ao contrário, aumenta fortemente a sua aderência, atuando as gotas de água como ligantes das mesmas (por sua grande bi-polaridade e pela ação das forças moleculares) ou fazendo-as penetrar no seio da porosidade durante a fase de absorção (CARRIÉ et al., 1975¹⁰ apud PETRUCCI, 2000).

61_____

¹⁵ BEIJER, O. Concrete walls and weathering. In: Symposium on evaluation of external vertical surfaces of buildings. Proceedings... Otaniemi, Espoo, Finland: RILEM/ASTM/CIB, 1977. 3v. v.1, p. 67-76.

A capacidade de arraste da sujidade depende não só do volume de água deslizante, mas também do tipo e grau de aderência das partículas ao paramento. As partículas grossas seriam, portanto, mais facilmente removíveis do que as menores, por se encontrarem simplesmente sedimentadas, ao contrário das últimas, ligadas por mecanismos mais fortes ou até mesmo encapsuladas durante a degeneração química da superfície externa do paramento. A água, ao deslocar-se sobre uma superfície se enriquece de elementos sólidos (poeiras depositadas e mesmo moléculas do material), tem o seu poder abrasivo aumentado pelo atrito que exerce. Quando os rastros ou leitos, resultantes da erosão, estão marcados ou sulcados na superfície, as trajetórias, surgidas a princípio de forma aleatória por irregularidades da superfície, tendem a consolidar-se, iniciando-se um processo cíclico de maior abrasão, maior concentração de fluxo, que induz a um incremento do rastro produzido. A água, portanto, tende a distribuir-se em vários fluxos descendentes de trajetórias preferenciais, sendo o eixo destes caminhos a zona mais exposta à ação erosiva.

Conforme a película descendente vai lentamente se deslocando em virtude da gravidade e contra o atrito com a parede, novo aporte de sujidade e, eventualmente, de água vai se somando ao escoamento. Como a velocidade do deslocamento não é suficiente para carregar toda a poeira, ao ir desaparecendo a corrente, as partículas de sujidade arrastadas podem sumir-se nos poros junto com a água absorvida ou depositar-se novamente sobre a superfície da parede, especialmente sobre as trajetórias preferentes (VALLEJO, 1990).

Segundo Carrié et al. (1975)¹⁰, citado por Petrucci (2000), a diminuição de velocidade e intensidade do fluxo descendente, depois de um certo tempo, chegando a desaparecer, pode ser atribuída às seguintes causas:

- a) o aumento do carregamento da sujeira aumenta a viscosidade do líquido;
- b) a quantidade de água de chuva nova diminui à medida que o escoamento se aproxima do solo;
- c) a água pode ser absorvida pelo material da fachada;
- d) a água é igualmente absorvida pelas poeiras, material pulverulento que pode sugar a água e frear brutalmente o seu deslocamento superficial.

A partir deste entendimento, os autores explicam o fenômeno dos escoamentos de trajetórias preferenciais que aparecem nos paramentos, junto aos extremos dos peitoris das janelas, e a formação e aspecto desses deslizamentos preferenciais e localizados de água: um escoamento preferencial e localizado é fortemente limitado em largura; a velocidade do deslocamento é máxima no centro e nula sobre as margens; sendo assim, as sujidades que são transportadas se depositam preferencialmente sobre as margens onde a velocidade é mínima; os escoamentos sucessivos que se produzem sobre os mesmos leitos incrementam a sujidade depositada,

formando barreiras de sujeira que delimitam perfeitamente as zonas submetidas ou não ao escoamento. A água que atinge estas zonas da fachada é imediatamente absorvida pelas sujeiras depositadas por escoamentos anteriores, conservando maior umidade no paramento e com isso favorecendo novos depósitos e acentuando o fenômeno com o passar do tempo.

A forma e tamanho das faixas de manchamento são estabelecidos, mais ou menos arbitrariamente, por processo em cadeia que é similar e simultâneo ao processo de erosão gerada pelos mesmos deslizamentos preferenciais. Em zonas expostas à ação da chuva, geralmente o extremo horizontal do filme de água se distorce em forma de dentes de serra característicos, cujos tamanhos estão relacionados com a textura (as irregularidades do paramento, por pequenas que sejam, podem afetar a uma lâmina líquida delgada) e porosidade do revestimento. Estas faixas se produzem em parapeitos de janela e, usualmente, abaixo de plataformas horizontais pelas quais a água desliza (PETRUCCI, 2000). Esse fenômeno pode ser observado na figura 27.

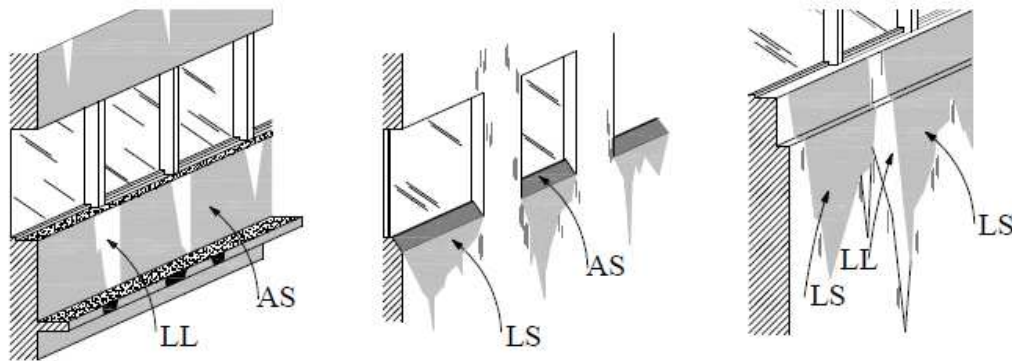


Figura 27: exemplos dos efeitos da trajetória da água nas fachadas.
LL: lavado limpo; LS: lavado sujo; AS: acúmulo de sujeira (ROBINSON; BAKER, 1975)

Estes deslizamentos podem causar faixas ou escoamentos sujos (lavado sujo) sob peitoris limpos, quando estão muito expostos (pisos superiores), ou, o que é mais corrente, escoamentos limpos (lavado limpo) sob parapeitos sujos, nas partes mais baixas das fachadas. No lavado limpo atua um escoamento importante capaz de arrastar as partículas de sujeira; a intensidade e velocidade do fluxo impedem que a sujeira se redeposite sobre as áreas lavadas. Na ocorrência de escoamentos diferenciados, a água limpará a superfície somente nas zonas afetadas, mantendo-se o resto com a sujeira reforçada, progressivamente, causando grande contraste entre ambos os tipos de áreas. O lavado sujo surge pela ação de escoamentos provenientes de planos ou plataformas exageradamente sujos, dos quais a água arrastou grande quantidade de partículas conduzindo-as para baixo e depositando-as sobre superfícies verticais ou inclinadas limpas ou menos sujas do que aquelas que as antecedem. Os lavados irregulares e a redistribuição da sujeira são os principais efeitos da ação da água escoada sobre as fachadas ao modificar os depósitos, em geral uniformes, de partículas de contaminação de suas superfícies (ROBINSON; BAKER, 1975).

2.2.1.2.3 A chuva na cidade de Porto Alegre

Em Porto Alegre, a precipitação ao longo do ano é maior no período de inverno (junho a setembro), quando as chuvas acontecem com menor intensidade e contínuas. Já no período de verão (outubro a março), há um regime de chuvas mais intensas e de curta duração (LIVI, 1998). Isso pode ser observado na figura 28, obtida no site do INMET.

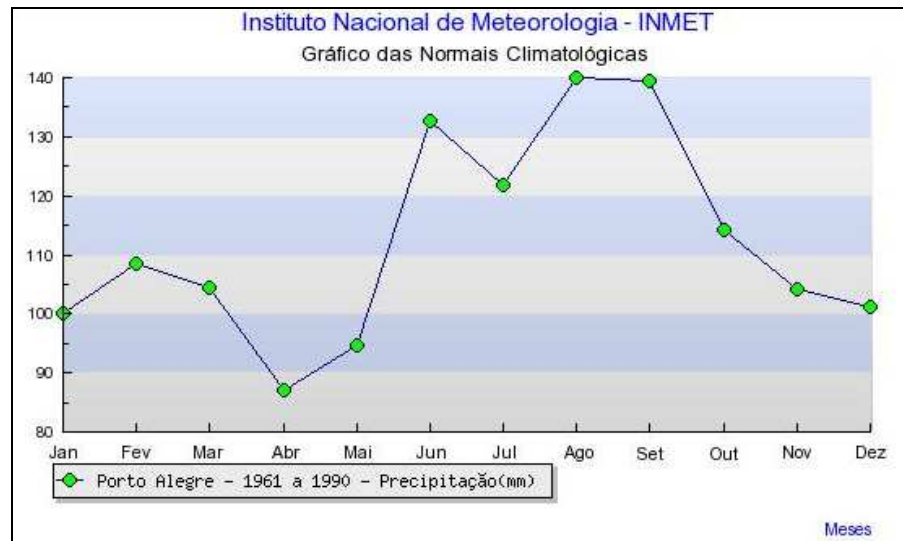


Figura 28: precipitação acumulada mensal em Porto Alegre (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2010)

A figura 29 mostra a relação entre chuva acumulada mensal e número de dias com chuva no ano de 2004 em Porto Alegre. Verifica-se que houve um maior volume de precipitação no período de maio a setembro, com um número maior de dias com chuva por mês. Esta figura foi obtida de VIEIRA (2005), retirada do site do INMET em 2005. Porém ela não se encontra mais disponível no site, nem mesmo com informações mais atualizadas.

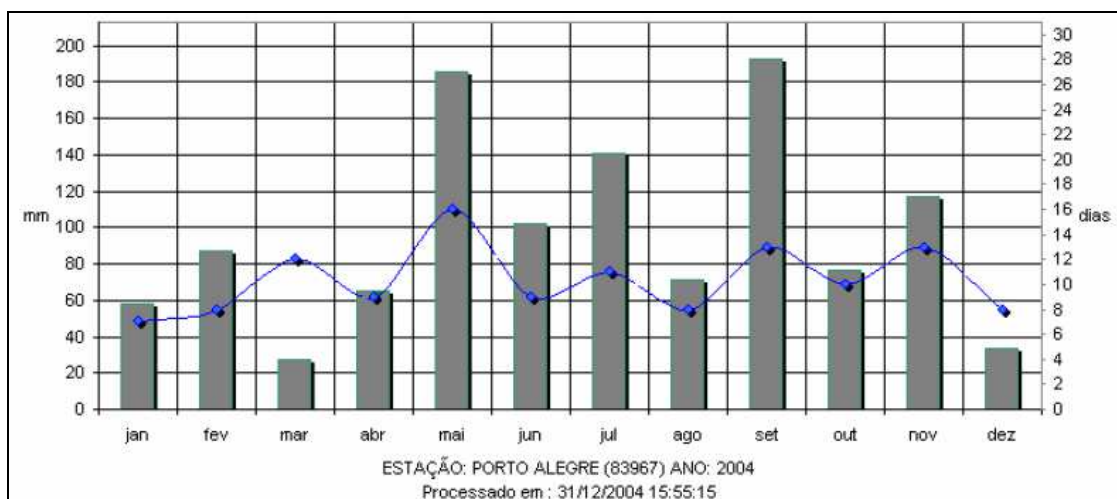


Figura 29: chuva acumulada mensal x número de dias com chuva em Porto Alegre no ano de 2004 (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2005 apud VIEIRA, 2005)

De acordo com dados obtidos por Silva e Giralt (1995), oriundos de informações coletadas pela estação meteorológica de Porto Alegre, abrangendo um período de cinco anos, (01/01/1977 a 31/12/1981) e informatizadas na Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do

Sul - CIENTEC, em trabalho cujo objetivo foi estabelecer um índice de chuva dirigida e índices de intensidade de precipitação para Porto Alegre, e segundo classificação informada por Bauer (1987), com referência à intensidade das chuvas em Porto Alegre/RS constata-se que a maioria é de baixa intensidade ou fraca (1,1 a 5 mm/h), incidindo com baixa força sobre os paramentos e favorecendo, portanto, a formação dos manchamentos por sujidades.

De acordo com Bonin (1993), na cidade de Porto Alegre, o ICDA é de aproximadamente 4 m²/s e a condição de exposição à chuva dirigida é moderada. Silva e Giralt (1995) confirmam esta afirmação, ao estabelecerem um índice anual de chuva dirigida não direcional para Porto Alegre. Para o cálculo foram utilizados o número de dias com chuva = 545, para um total de 5.690 mm chovidos, resultando em média 1.138 mm e 109 dias por ano (período de cinco anos). A velocidade média calculada no momento das precipitações foi de 3,44 m/s. O índice de chuva dirigida calculado para o caso de Porto Alegre, com base nos dados, foi de 3,92 m²/s, correspondendo a uma exposição do tipo moderada.

Os autores verificaram também as diferentes exposições das fachadas à chuva incidente em função de suas orientações. As fachadas expostas a este fenômeno estarão mais sujeitas ao manchamento de suas superfícies, assim como sofrerão maior desgaste dos revestimentos. Observando a figura 30, com relação à frequência das chuvas em função das direções do vento em Porto Alegre, é possível constatar-se que há um importante desequilíbrio em favor dos setores de Leste (E) a Leste-Sudeste (ESE) e Sul (S) de onde a grande maioria dos ventos portadores de chuva vem.

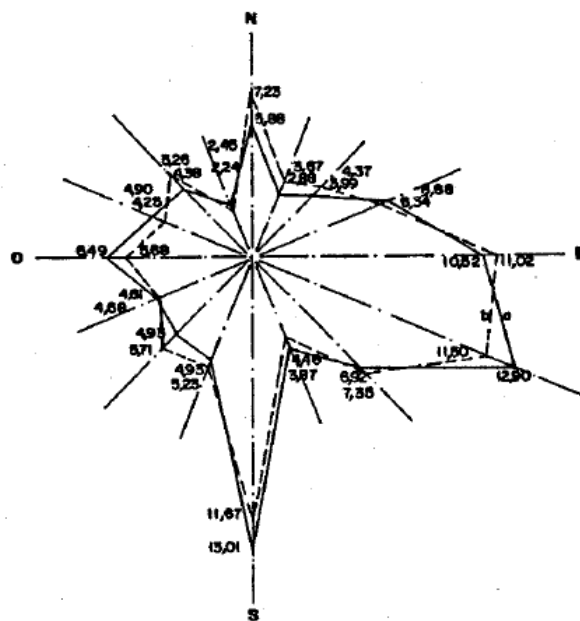


Figura 30: curva (a): frequência das chuvas (% de horas do total); curva (b): precipitação (% do total) (SILVA; GIRALT, 1995)

A figura 31 mostra, em função das direções do vento, a velocidade dos ventos, a intensidade na média horizontal e a intensidade na média vertical das chuvas. Verifica-se, também, uma razoável homogeneidade na distribuição da intensidade média horizontal das chuvas e um desequilíbrio na distribuição da intensidade média vertical em favor da direção Sul-Sudoeste (SSO), refletindo a alta velocidade do vento nesta direção, e na direção Norte-Nordeste (NNE), onde se observa a maior intensidade horizontal (SILVA; GIRALT, 1995).

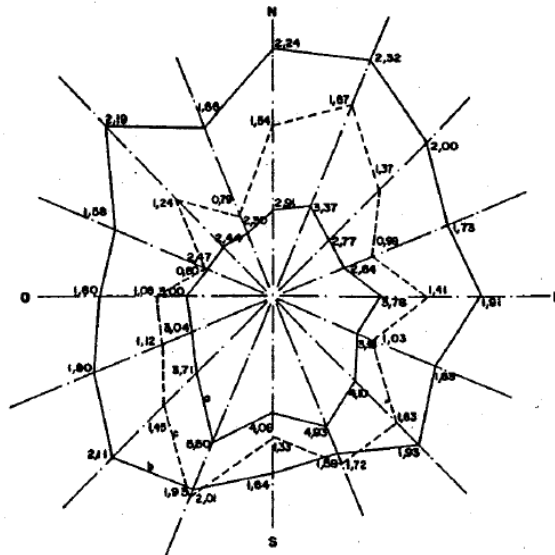


Figura 31: curva (a): velocidade média do vento durante a chuva (m/s); curva (b): intensidade média horizontal das chuvas (mm/h); curva (c): intensidade média vertical das chuvas (mm/h) (SILVA; GIRALT, 1995)

Com base em estudos feitos na França (Carrié et al., 1975¹⁰ citado por Petrucci, 2000) e na Espanha (Vallejo, 1990), pode-se dividir a rosa dos ventos em vários setores atribuindo a cada um deles um determinado nível de exposição ao lavado direto pelo impacto da chuva, tal como segue:

- a) nível A: fator de exposição > 9 - fachada muito exposta;
- b) nível B: $9 >$ fator de exposição > 6 - fachada exposta;
- c) nível C: $6 >$ fator de exposição > 3 - fachada medianamente exposta;
- d) nível D: fator de exposição < 3 - fachada pouco exposta.

A figura 32 mostra o grau de exposição das fachadas à chuva dirigida, na região de Porto Alegre, em função de suas orientações, atingindo valor máximo na direção Sul-Sudeste (SSE), de 7,65, correspondendo a um nível de exposição B (fachada exposta).

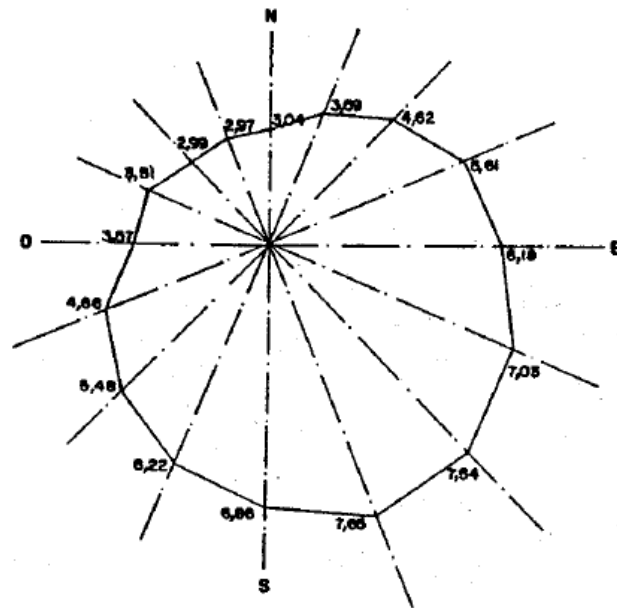


Figura 32: grau de exposição das fachadas à chuva dirigida, na região de Porto Alegre, em função de suas orientações (SILVA; GIRALT, 1995)

Para Porto Alegre, também a zona A pode ser reservada para os setores muito bem lavados pela chuva, ou seja, em situações evidentes de alta exposição. Silva e Giralt (1995) ressaltam que os resultados obtidos para Porto Alegre, relativos à exposição das fachadas à chuva dirigida em função de suas orientações, servem apenas para comparação do grau de exposição entre as orientações de fachadas, visto que não há parâmetros quantitativos que classifiquem o grau de exposição por orientação e por um período de precipitação diferente de um ano. Pode-se, no entanto verificar por comparação a diferença de exposição frente aos agentes agressivos (chuva dirigida) das fachadas das edificações. Em Porto Alegre, fachadas orientadas Leste-Sudeste (ESE) a Sul-Sudeste (SSE) estão mais solicitadas do que as que possuem orientação Norte (N) a Oeste (O).

A orientação da fachada tem importante papel em relação a incidência de chuva, quando sobre a região onde está inserida sopra um vento pluvial dominante. As fachadas expostas a estes ventos receberão maior quantidade de água de chuva do que as não expostas (BONIN, 1993).

Giongo et al. (2008), realizaram um estudo sobre chuva dirigida na cidade de Florianópolis/SC, cujo clima é semelhante ao de Porto Alegre/RS. No estudo foram utilizados dados de direção do vento, de velocidade do vento e de precipitação pluviométrica da estação meteorológica do Aeroporto Internacional Hercílio Luz localizado na Ilha de Santa Catarina. Foram utilizados os dados do período de 1961 a 1970, totalizando 10 anos.

Os autores calcularam o índice de chuva dirigida médio do período dos 10 anos, bem como os índices anuais e sazonais. Foram calculados também os índices direcionais anuais médios e os índices direcionais sazonais médios. Com estes índices fez-se a classificação do nível de

exposição à chuva dirigida ao qual as edificações da na área de estudo estão submetidas, de acordo com a metodologia de Lacy (1977)¹².

Os valores dos índices de chuva dirigida anuais do período de 1961-1970 em Florianópolis variaram bastante, sendo que o menor valor encontrado foi de 3,31 m²/s no ano de 1970 e o maior foi de 7,19 m²/s em 1966. De acordo com a metodologia Lacy (1977)¹² e Chand e Bhargava (2002)¹⁴, o nível de exposição foi moderado em todos os anos do período, exceto para 1966, cuja exposição foi severa. Esta exposição é dois níveis menor que a apresentada pelo mapa brasileiro de chuva dirigida (LIMA; MORELLI, 2005) em que a exposição obtida para Florianópolis no ano de 2004 foi severa (GIONGO et al., 2008).

Os índices médios de chuva dirigida das quatro estações do ano (ICD sazonais) são apresentados na figura 33. Observa-se que os maiores índices foram obtidos na primavera e no verão. O inverno foi a estação que apresentou o menor índice. De acordo com os resultados dos índices de chuva dirigida direcionais, pode-se afirmar que os ventos provenientes do quadrante sul (SE, S e SO) são os que possuem maior agressividade associada à chuva dirigida para as construções na área de estudo (GIONGO et al., 2008).

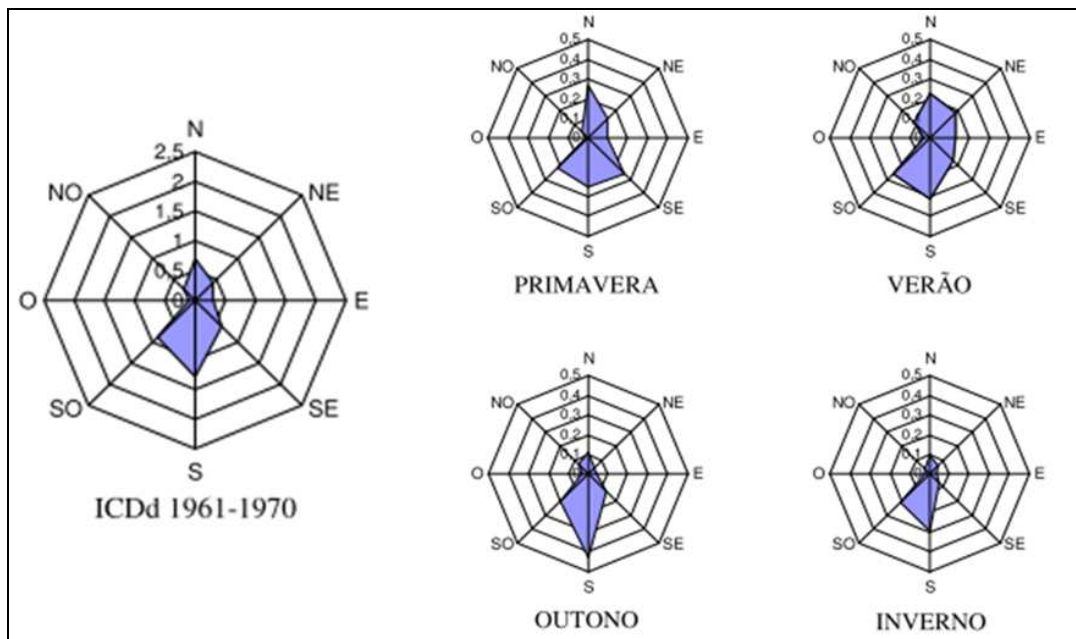


Figura 33: índices de chuva dirigida direcionais anuais médios e índices de chuva dirigida direcionais sazonais (m²/s) para a cidade de Florianópolis/SC (1961-1970) (GIONGO et al., 2008)

2.2.1.3 Radiação solar

A energia do sol atinge a terra sob a forma de ondas eletromagnéticas (radiação solar) de diversos comprimentos de onda (ondas caloríficas, luminosas, etc.). A maior parte desta energia não é calorífica, mas uma boa parte transforma-se em calor ao ser absorvida pela superfície da terra. Outra parte é absorvida diretamente pela atmosfera ou refletida, dependendo das condições de poluição, umidade e cobrimento por nuvens (BLESSMANN, 1995).

Ayoade (1998) observa que a maneira como a atmosfera se comporta em relação às radiações de ondas curtas e longas controla, em grande parte, o seu intercâmbio de energia com a superfície terrestre. O vapor d'água e o gás carbônico absorvem uma parte da radiação solar de ondas curtas, mas absorvem muito mais as ondas longas, emitidas pela Terra. Esses gases reemitem radiação de modo que parte da energia perdida pela superfície lhe é devolvida, por isso ao analisar os efeitos da radiação solar, deve-se considerar não somente aqueles resultantes das radiações diretas, mas também das refletidas.

O mapa apresentado na figura 34 apresenta o número médio de horas de sol para os distintos estados brasileiros. Com base nisso, pode-se dizer que o Brasil se caracteriza por altos índices de exposição solar, com elevado número de horas de sol anuais.

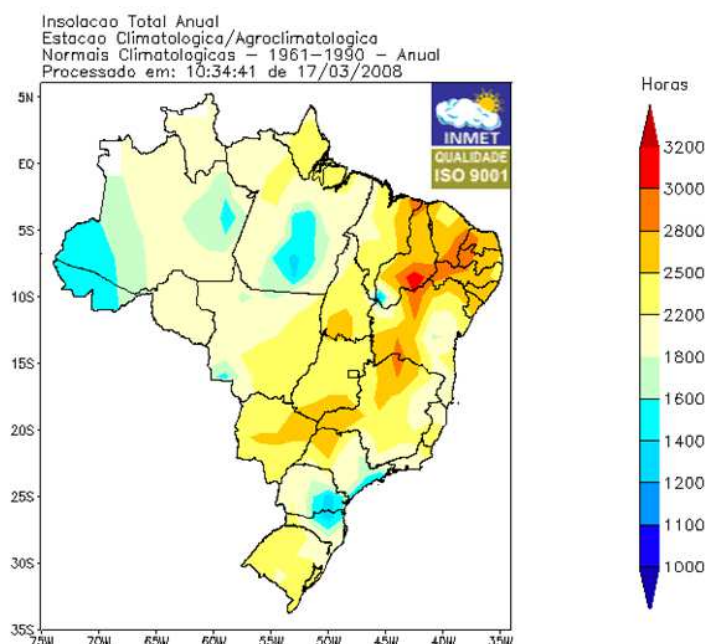


Figura 34: número de horas médio de sol no Brasil (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2010)

2.2.1.3.1 Radiação solar sobre os materiais

A irradiação varia com as características do material constituinte da superfície emissora (edificação). Na transferência de calor radiante, a taxa de fluxo de calor depende da temperatura das superfícies radiante e receptora e das características de absorvância (α) e emitância (ϵ) destas superfícies. A radiação recebida por uma superfície pode ser parcialmente absorvida e refletida; a proporção destas duas componentes é expressa pelos coeficientes de absorvância (α) e refletância (ρ), respectivamente. A cor e a refletância do material alteram o calor radiante incluso, o que causa aumento de temperatura. Materiais de pintura opaca e preta, por exemplo, absorvem mais calor que os outros materiais. Superfícies claras, lisas e brilhantes tendem a ter uma alta refletância. A superfície branca totalmente refletida (teórica) apresenta os seguintes valores $\alpha=0$; $\rho=1$. O corpo negro teórico totalmente absorvido teria os valores $\alpha=1$; $\rho=0$ (SATTLER, 2009).

Segundo Feilden (1982)¹⁶ apud Lersch (2003), a luz do sol, especialmente o componente ultravioleta (UV), é um agente destrutivo, particularmente para materiais orgânicos, como a madeira, têxteis e pigmentos, causando desbotamento e provocando um aspecto quebradiço. John (1987) coloca que as radiações UV provocam a foto-oxidação, que consiste na quebra de moléculas orgânicas longas de materiais como plásticos, pinturas, materiais betuminosos e as madeiras. Lima et al. (2005) corroboram ao dizer que a exposição aos raios solares é prejudicial, em especial, aos materiais de base polimérica, como tintas e vernizes.

O que mais atinge as edificações é a quantidade de energia transportada pela radiação solar que se transforma parcialmente em calor quando atinge os materiais constituintes de uma edificação. Os ciclos de exposição ao sol apresentam variações sazonais e diárias. Além disso, ocorrem diferentes efeitos em função do plano em que o material foi empregado, em relação ao sol (LERSCH, 2003). Conforme Aroztegui (1984), os materiais que compõem os planos de superfície de fachada atingem temperaturas muito mais altas do que o ar, em função do coeficiente de absorção e reflexão das radiações solares.

2.2.1.3.2 Radiação solar em Porto Alegre

A figura 35 apresenta o número médio de horas de sol para os meses do ano em Porto Alegre, durante os anos de 1961 a 1990. Livi (1998), no que diz respeito aos níveis de insolação em Porto Alegre, observa que o brilho solar ao longo do ano, medido em número de horas, é menor nos meses mais frios e chuvosos.

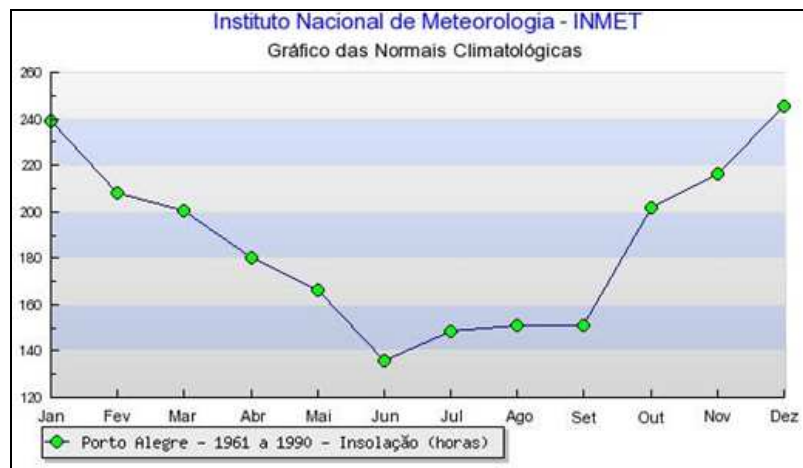


Figura 35: número de horas médio de sol para os meses do ano em Porto Alegre (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2010)

A quantidade de calor total absorvida por um material exposto à radiação solar em Porto Alegre, por exemplo, pode ser compreendida através das figuras 36 e 37.

¹⁶ FEILDEN, B. M. Conservation of historic buildings: technical studies in the arts, archaeology and architecture. England: Butterworth, 1982. 472 p.



Figura 36: somatório do calor diário recebido pelas superfícies verticais em Porto Alegre (MASCARÓ, 1985)

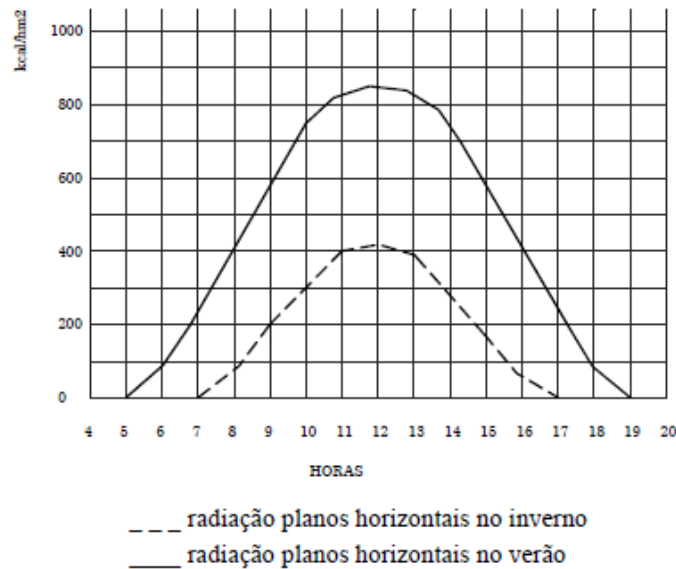


Figura 37: calor recebido pelas superfícies horizontais ao longo do dia em Porto Alegre (MASCARÓ, 1985)

Sendo os efeitos da radiação solar diferentes para cada uma das fachadas, supõe-se que podem ser encontrados em cada uma destas manifestações um grau de degradação também diferente (LERSCH, 2003). As fachadas leste e oeste são as que mais sofrem os efeitos da radiação solar no verão e as fachadas com orientação norte nos meses de inverno.

Segundo Livi (1998), ação solar é mais eficaz nos meses mais quentes, pois retira mais volume de água do ambiente e dos materiais. As fachadas leste e oeste têm grande incidência solar, no verão, o aquecimento do ar produzido pela insolação, faz com que haja maior poder de evaporação da água que tenham recebido do meio ambiente, nestes planos. Fachadas leste recebem incidência de radiação solar desde o nascer do sol até as 12:00h, e das 12:00h até o poente são as fachadas orientadas para oeste que recebem a incidência do sol.

Em Porto Alegre, as fachadas com orientação norte, recebem insolação durante todo o dia e ao longo de todo o ano, porém, no verão em decorrência do elevado ângulo de passagem do sol em relação ao horizonte, recebe menos insolação do que no inverno. As fachadas sul recebem

pouca insolação no verão e nenhuma incidência solar no inverno (LERSCH, 2003; VIEIRA, 2005).

Entretanto, assim como o entorno edificado (e, até mesmo, detalhes das superfícies das fachadas) pode mudar sensivelmente a direção do vento e da chuva, também pode fazer sombra aos raios de sol que incidiriam na fachada, modificando a situação teórica de exposição, conforme representado na figura 38 (PETRUCCI, 2000).

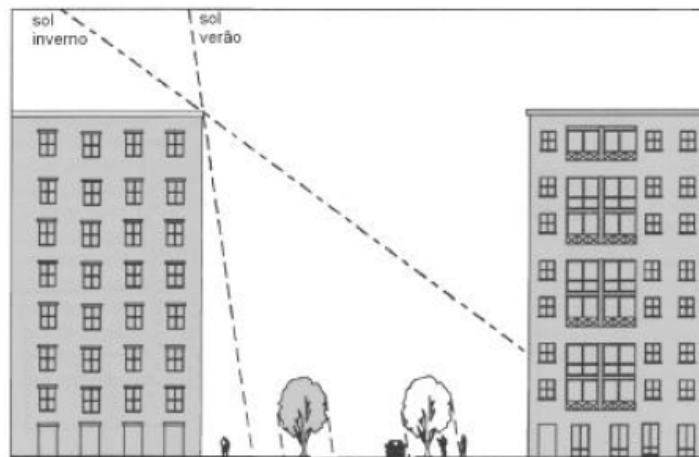


Figura 38: sombreamento na Av. Borges de Medeiros devido ao entorno edificado (MASCARÓ, 1996)

2.2.1.4 Temperatura

A temperatura pode ser determinada em termos do movimento de moléculas, de modo que quanto mais rápido o deslocamento mais elevada será a temperatura. Mais comumente, ela é definida em termos relativos tomando-se por base o grau de calor que um corpo possui. A temperatura é a condição que determina o calor que flui de uma substância para outra (AYOADE, 1998).

O ar é transparente às ondas eletromagnéticas, razão pela qual sua temperatura não é consequência da ação direta dos raios do sol e se explica por processos indiretos: a radiação solar atinge o solo onde é absorvida em parte e transformada em calor. Sua temperatura se eleva e somente então, por convecção, ocorre o aquecimento do ar. A temperatura do ar é consequência de um complexo balanço energético (RIVERO, 1985).

O balanço energético é demonstrado na figura 39, onde intervêm: a energia incidente I e o coeficiente de absorção da superfície receptora; a condutividade e a capacidade térmica do solo que determinam a transmissão do calor por condução, CD ; e as perdas por evaporação E , por convecção CV e por radiação R . O resultado desses fenômenos simultâneos é que a temperatura do ar começa a elevar-se a partir da saída do sol chegando a um máximo que ocorre geralmente duas horas após a passagem do sol pelo meridiano como consequência do calor armazenado na terra, conforme a figura 40.

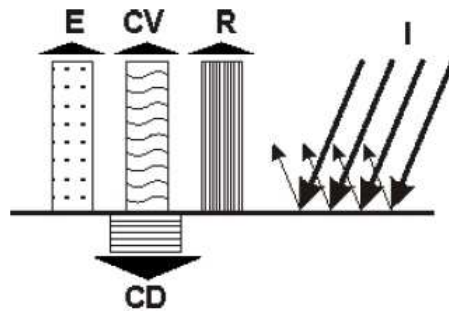


Figura 39: fenômenos que intervêm no balanço térmico da camada superficial da terra: radiação solar (I), evaporação (E), convecção (CV), radiação de onda longa (R) e condução (CD) (RIVERO, 1985)

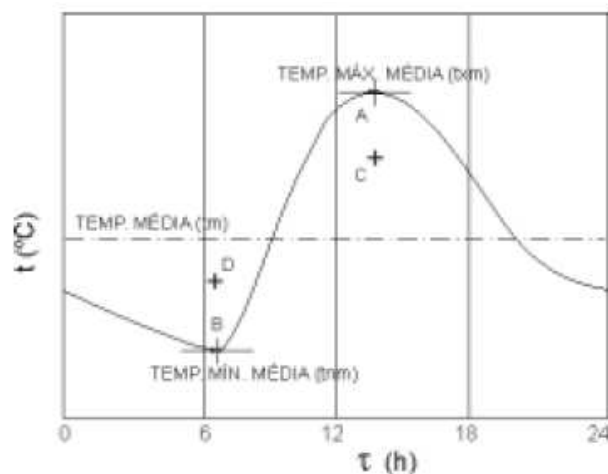


Figura 40: variação típica da temperatura do ar no decorrer do dia (RIVERO, 1985)

A temperatura do ar varia de lugar e com o decorrer do tempo em uma determinada localidade. Vários fatores influenciam a distribuição da temperatura sobre a superfície da terra ou parte dela. Entre os fatores podem-se citar a quantidade de insolação recebida, a natureza da superfície, a distância a partir dos corpos hídricos, o relevo, a natureza dos ventos predominantes e as correntes oceânicas (AYOADE, 1998).

Segundo os mesmos autores, as variações sazonais na temperatura resultam principalmente das variações sazonais no volume de insolação recebida em qualquer lugar sobre o globo. As temperaturas são mais elevadas no verão, quando os volumes de insolação são maiores, e mais baixas no inverno, quando as recepções de insolação são mais baixas. As variações sazonais na temperatura do ar são maiores nas áreas extratropicais, particularmente nos interiores continentais, enquanto que são mais baixas em torno da faixa equatorial, particularmente nas superfícies hídricas. Pode-se dizer que as variações sazonais da temperatura aumentam com a latitude e com o grau de continentalidade.

O Brasil está localizado entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, com predominância dos climas tropical e equatorial. Por isso, ao contrário do que ocorre na Europa e nos países Norte-Americanos, no Brasil as temperaturas médias anuais são de amenas a elevadas. O Brasil é um país com dimensões continentais e tem variações de clima e comportamento das variáveis

ambientais bastante complexos (LIMA; MORELLI, 2005; LIMA et al., 2005). As temperaturas média, máxima e mínima anuais no Brasil podem ser observadas nas figuras 41 e 42.

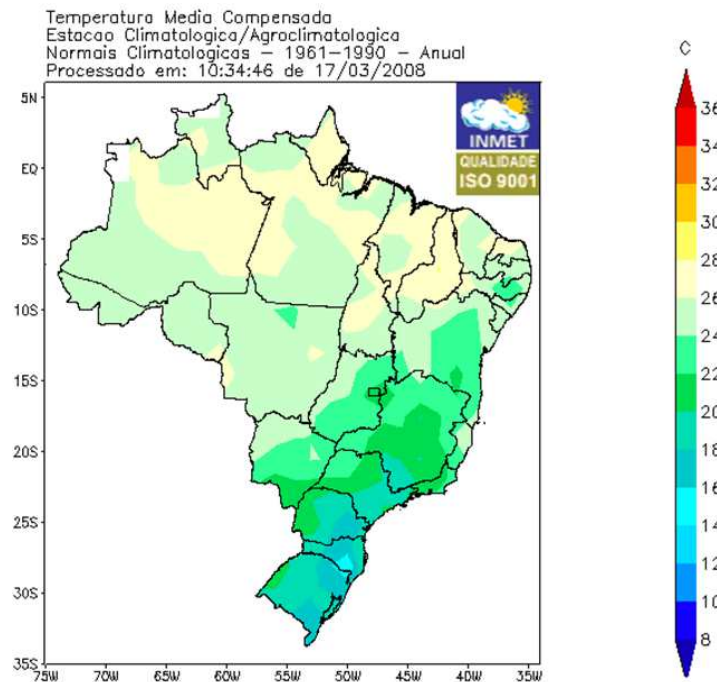


Figura 41: temperaturas médias anuais no Brasil (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2010)

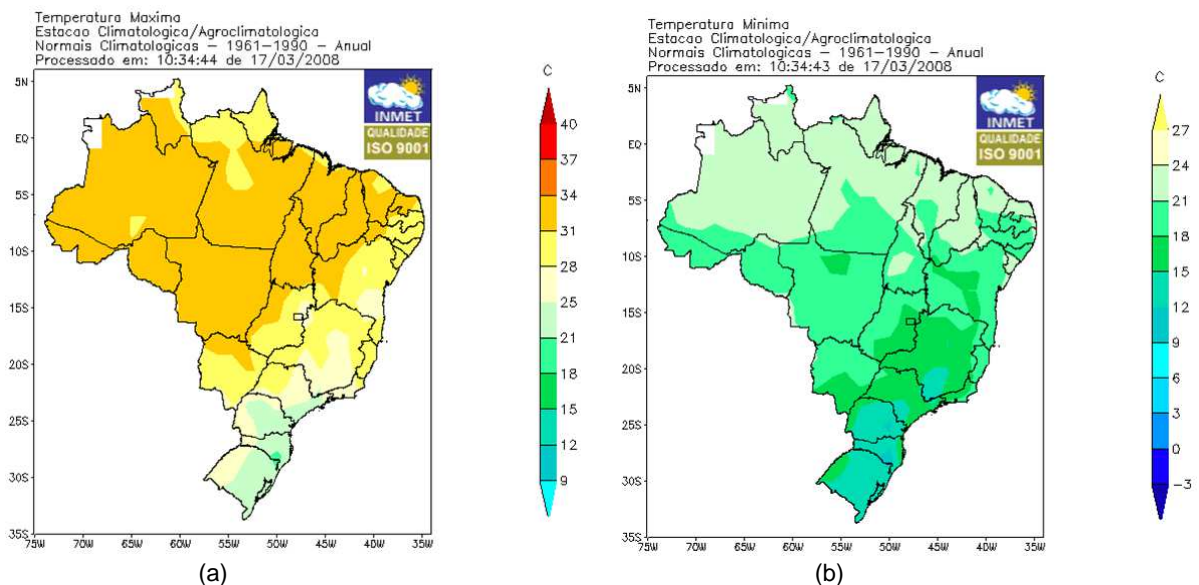


Figura 42: temperaturas (a) máximas e (b) mínimas anuais no Brasil (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2010)

Segundo Lima e Morelli (2005), pela classificação de Köppen, o Brasil apresenta 6 grandes regiões climáticas, onde predominam os climas tropical e equatorial (figura 43). O clima brasileiro conta ainda com grandes variações regionais, podendo ser: úmido, sub-úmido, semi-árido, árido e montanhoso. Ocorre, por consequência disso, a seguinte subdivisão, apresentada por Mascaró (1985):

- a) clima tropical úmido (Aw, Cw): temperaturas acima dos 18° C e períodos alternados de chuvas intensas e de seca;
- b) clima equatorial úmido (Am, Af): temperaturas acima de 22° C e chuvas abundantes;
- c) clima semi-árido (BSh): fraca nebulosidade, forte insolação e altas taxas e evaporação;
- d) clima subtropical superúmido (Cf): sem estação seca e com inverno fraco.

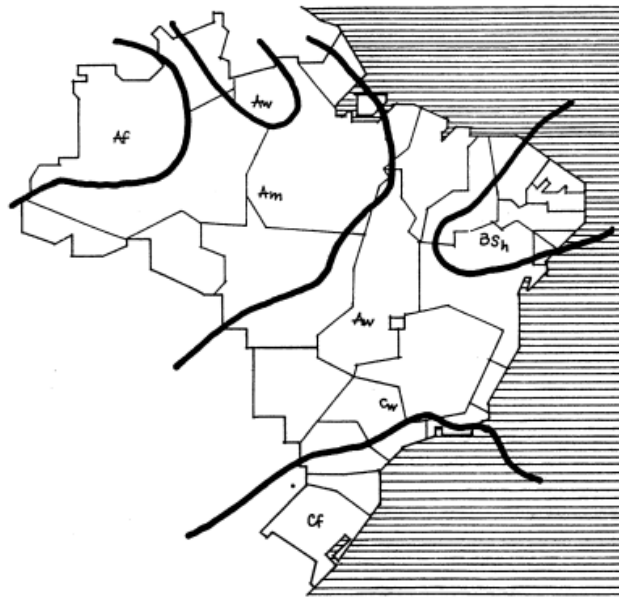


Figura 43: seis grandes zonas climáticas brasileiras (MASCARÓ, 1985)

Além das variações apresentadas acima, em macro-regiões, ou seja, com variáveis climáticas em grande escala, quando dos estudos de degradação, conforto térmico e ambiental e outros, se fazem necessários estudos a respeito do clima nas proximidades das construções, pois elas próprias interferem no entorno, mudando velocidade e direção dos ventos, por exemplo (LIMA et al., 2005).

Quando se pensa em relacionar a degradação do ambiente construído com os aspectos relativos ao clima se devem considerar como estes estudos serão interligados. Pode-se relacionar, por exemplo, com os parâmetros médios (temperatura e umidade relativa média anual, por exemplo). No entanto, as variáveis assim apresentadas pouco podem caracterizar um país com as dimensões nacionais, com seu amplo território, sujeito a muitas variações entre cada estado. Assim, é preciso reduzir a escala de estudo, buscando relacionar a edificação diretamente com seu entorno (LIMA; MORELLI, 2005).

Alguns autores classificam os climas em microclima, mesoclima e macroclima; outros, em clima regional, clima local e clima no entorno da edificação, sendo que estas classificações se referem sempre à proximidade da edificação (LIMA e MORELLI, 2005). Uma idéia das dimensões

relacionadas a essas classificações pode ser visualizada na tabela 1, proposta por Duracrete (1999)¹⁷ em Lima e Morelli (2005).

Tabela 1: dimensões do clima (adaptado de DURACRETE, 1999¹⁷ apud LIMA; MORELLI, 2005)

Clima	Extensão Horizontal	Extensão Vertical
Macroclima ou clima regional	1 – 200 km	1 m – 100 km
Mesoclima ou clima local	100 m – 10 km	0,1 m – 1 km
Microclima ou clima no entorno da edificação	0,01 m – 100 m	0,01 m – 10 m

As dimensões apresentadas na tabela 1 podem ser melhor visualizadas no diagrama da figura 44, observando-se a influência das cidades e do ambiente construído nos referidos climas (LIMA; MORELLI, 2005).

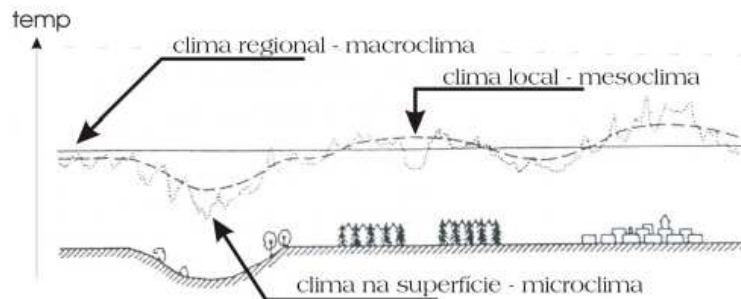


Figura 44: dimensões do clima (DURACRETE, 1999¹⁷ apud LIMA; MORELLI, 2005)

Os estudos utilizam, em geral, dados oriundos de estações meteorológicas, trabalhando-se assim com o macroclima, ou seja, com variáveis de clima em grande escala; por exemplo, a temperatura, considerando-se grandes áreas e períodos de tempo grandes. Isto quer dizer que não se considera o clima no entorno da edificação ou estrutura, ou o microclima, uma vez que se trabalha com dados monitorados por estações meteorológicas. A modelagem realizada com este tipo de abordagem leva a modelos pouco precisos, uma vez que o microclima é que rege os processos de degradação (LIMA; MORELLI, 2005).

2.2.1.4.1 Temperatura sobre os materiais

Lima et al. (2005) observam que o parâmetro temperatura, por si só, traz pouca informação sobre a influência nos processos de degradação. Sabe-se que em temperaturas maiores as velocidades de degradação acontecem de forma mais rápida. Estudos de durabilidade devem considerar além dos valores medidos de temperatura, principalmente às variações de amplitudes térmicas diárias, mensais e/ou anuais ambientais. Devido à influência que as variações térmicas do ambiente exercem nos processos físicos e químicos de degradação dos materiais e sistemas de construção.

Entre as mudanças físicas que os materiais de construção sofrem com a variação de temperatura, a principal é a dimensional, sofrendo dilatação quando aquecidos e contração quando resfriados. As mudanças dimensionais causam tensões que podem levar a deformações ou rupturas. A movimentação térmica também provoca formação de juntas entre materiais justapostos causadas pela diferença de deformação (LERSCH, 2003).

Segundo a mesma autora, a tensão causada em materiais de construção pelas mudanças de temperatura depende dos seguintes fatores:

- a) a magnitude da mudança dimensional absoluta no material, que é o produto de suas dimensões multiplicada pelo coeficiente de dilatação e temperatura diferencial, e os efeitos de mudança da umidade relativa;
- b) o coeficiente de elasticidade do material;
- c) grau de restrição dos movimentos do material pelas suas conexões aos outros elementos da estrutura;
- d) a mudança do teor de umidade contida no material (evaporação/absorção).

Os materiais de construção são aquecidos pela incidência direta do sol através da radiação ou pelo aquecimento indireto do ar cuja temperatura é aumentada pelo sol. A parte sombreada da edificação permanece relativamente fria e inerte, sendo principalmente afetada pelas temperaturas médias sazonais (LERSCH, 2003).

Observam-se os fenômenos atmosféricos relacionados com as etapas de deposição, adesão e limpeza da contaminação, tanto na atmosfera como sobre a fachada da edificação. Entre eles são prioritários os da chuva e do vento, considerados de maneira isolada e conjunta, segundo as possíveis formas de atuação sobre os edifícios. Também são analisados os dados de umidade relativa e temperaturas ambientais, indispensáveis por sua intervenção no processo (PETRUCCI, 2000).

A temperatura tem influência indireta no processo de formação do manchamento das fachadas por sujidades, conforme aponta Vallejo (1990), principalmente ao atuar na dissolução de contaminantes na atmosfera e na modificação dos conteúdos de vapor de água no ambiente e de umidade no interior do material que reveste as fachadas. Sua influência é positiva no processo, ao reduzir a umidade relativa do ar (e, com isso, o risco de condensação e consequente aumento da deposição e adesão das partículas nas superfícies dos paramentos) e ao provocar a evaporação da umidade que se localiza sobre a superfície do material de fachada e no interior de seus poros e microporos (efeito muito favorecido pela insolação e pela presença de vento). É importante mencionar a possível ocorrência do fenômeno de inversão térmica de superfície ou de radiação que é um significativo resfriamento noturno da camada de ar junto à superfície do solo, principalmente nas depressões do relevo, favorecendo a drenagem de ar frio

(mais denso), que conduz consigo os poluentes atmosféricos, tornando lenta a circulação do ar e dificultando a efetiva dispersão dos poluentes (LIMA et al., 1998).

2.2.1.4.2 Temperatura em Porto Alegre

Estabelecida às margens do lago Guaíba, a cidade de Porto Alegre situa-se a 100 km do Oceano Atlântico, nos limites das regiões continental e costeira e das zonas temperada e tropical. Possui clima subtropical úmido e está localizada a 30° latitude S e 51° longitude W em zona de transição climática (entre os climas tropical e temperado) com característica marcante de grande variabilidade dos elementos do tempo meteorológico ao longo do ano. Massas de ar tropical marítimo (mais frequentes durante o verão) alternam-se com massas de ar polar marítimo (mais frequentes durante o inverno e responsáveis pelas frentes frias) gerando quedas bruscas de temperatura. O clima de Porto Alegre possui uma variação sazonal bem caracterizada, com alto índice de umidade relativa do ar, além dos contrastes de temperatura durante todo o ano (LIVI, 1998).

As figuras 45 e 46 apresentam gráficos das temperaturas médias mensais, temperaturas máximas e máximas absolutas mensais, e temperaturas mínimas e mínimas absolutas mensais.

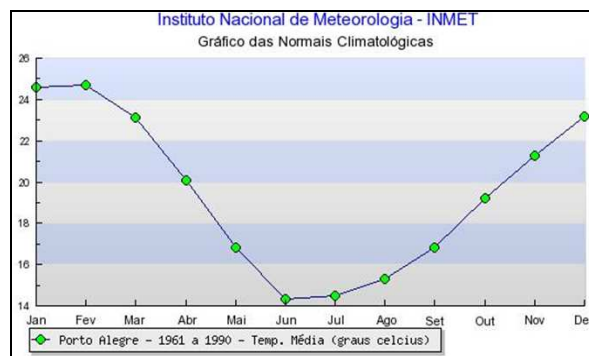
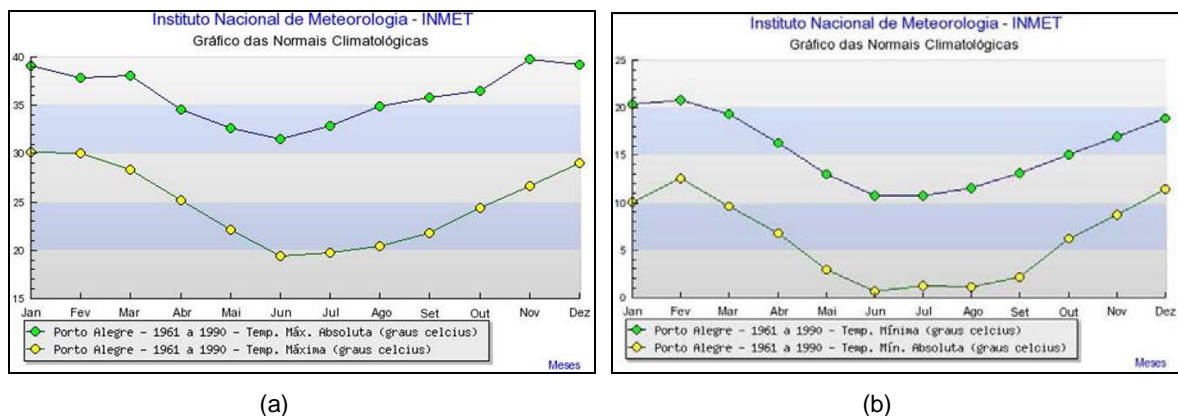


Figura 45: temperaturas médias mensais para Porto Alegre (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2010)



(a)

(b)

Figura 46: (a) temperaturas máximas e temperaturas máximas absolutas mensais e (b) temperaturas mínimas e temperaturas mínimas absolutas mensais para Porto Alegre (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2010)

Devido às movimentações das massas de ar polar, as variações bruscas de temperatura são comuns. Dados apresentados por Dal Molin (1988) mostram, com relação às variações de temperatura características do clima da cidade, para um período de análise de 10 anos, variações de temperatura de até 29° C, em um único dia, e de mais de 40° C entre inverno e verão.

De acordo com Uber (1992), a curva diária de temperatura na cidade de Porto Alegre repete o mesmo padrão durante todo o ano, onde os valores mínimos ocorrem por volta das 6:00h e os máximos cerca de 15:00h. Esta senóide é perfeitamente acompanhada, com valores inversamente proporcionais, pela curva da umidade relativa, tanto no período diário quanto no anual. Porém, observa-se uma amplitude anual diversa entre estes parâmetros, sendo que os picos médios de umidade máxima (6:00h) conservam valores nunca inferiores a 85% (15% de amplitude), ao passo que as temperaturas mínimas correspondentes podem ter, na média, uma variação de mais de 10° C entre o verão e o inverno.

2.2.1.5 Umidade relativa do ar

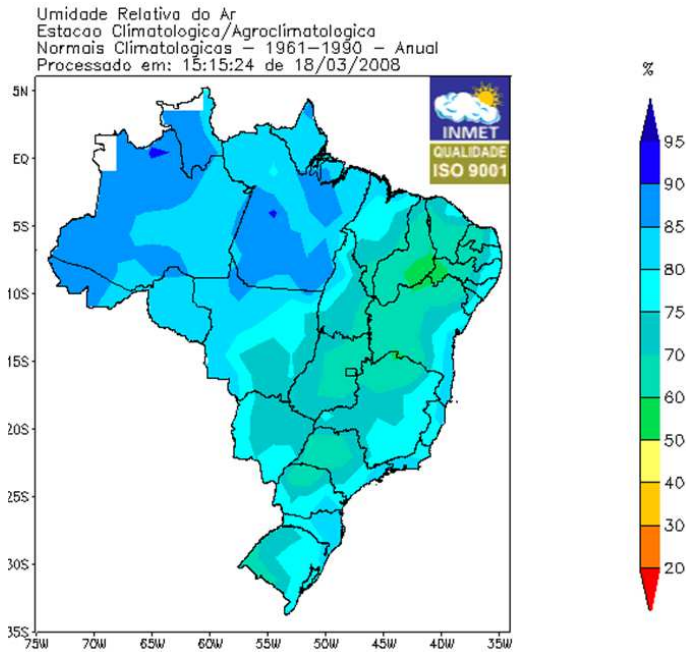
Umidade relativa é a razão entre o conteúdo real de umidade de uma mostra de ar e a quantidade de ar que o mesmo volume de ar pode conservar na mesma temperatura e pressão quando saturado. A umidade relativa, geralmente expressa na forma de porcentagem, indica o grau de saturação do ar e é influenciada pela temperatura do ar. O valor pode variar se houver uma mudança na temperatura do ar, mesmo que não tenha havido nenhuma mudança no seu conteúdo de umidade. Portanto a umidade relativa do ar não se refere à quantidade de umidade na atmosfera, mas sim, o quanto o ar está próximo da saturação (AYOADE, 1998).

O ar pode conter vapor de água até uma quantidade limite que depende de sua temperatura. Quando o teor de umidade contida no ar é máximo, é dito que se encontra saturado (SATO et al., 2002). O autor ressalta ainda que quanto mais elevada for a temperatura do ar, maior será a massa de vapor de água que o ar pode conter sem atingir o ponto de saturação.

A temperatura em que o vapor d'água fica saturado (passando a ocorrer condensação) chama-se ponto de orvalho. No inverno rigoroso, ao ar livre, o ar é tão úmido que, esfriando-se bastante, pode ficar abaixo do ponto de orvalho. Então ele se condensa formando uma névoa. No inverno o ar pode conter pouca umidade, refletindo em um ponto de orvalho baixo (VIEIRA, 2005).

Segundo Ayoade (1998), no verão o ar pode conter mais vapor d'água; portanto seu ponto de orvalho é mais alto. Os valores da umidade relativa normalmente encontrados próximo à superfície da terra estão em torno de 60%; já em um deserto, onde a temperatura sobe, por vezes, a valores maiores que 45° C, a umidade relativa é de apenas 15%.

A distribuição de umidade relativa média do ar no Brasil pode ser visualizada na figura 47.



2.2.1.5.1 Umidade relativa do ar sobre os materiais

De acordo com Vallejo (1990), o vapor de água influi sobre a contaminação do ar, ao constituir um dos motivos primários de agregação de partículas, contribuindo assim à modificação do aerossol, com a produção de partículas mais grossas e, portanto, mais facilmente sedimentáveis. Também a existência de elevada umidade relativa do ar, informam Carrié et al. (1975)¹⁰, citados por Petrucci (2000), parece conduzir a um aumento da deposição e adesão das partículas e, conseqüentemente, do manchamento dos materiais porosos pouco expostos à ação do vento e da chuva. Experimentos conduzidos pelos autores indicam que valores persistentes superiores a 65% de umidade relativa do ar são decisivos para essa ação.

A maior ou menor incidência de chuvas, bem como a umidade relativa do ambiente comandam a presença e disponibilidade de água para que as reações de degradação possam acontecer (LIMA et al., 2005). Desta forma, a umidade relativa do ar influencia no manchamento e na degradação dos revestimentos de fachada.

2.2.1.5.2 Umidade relativa do ar em Porto Alegre

A umidade relativa do ar em Porto Alegre mantém-se elevada ao longo de todo o ano, concentrando seus valores mais altos no período mais frio. A figura 48 apresenta a variação da umidade relativa do ar no período de 1961 a 1990 na cidade Porto Alegre. As máximas médias se dão nos meses de maio, junho e julho e são da ordem de 81%; as mínimas médias se produzem nos meses de dezembro e janeiro e são da ordem de 70%; a média anual é de 76% (LIVI, 1998).

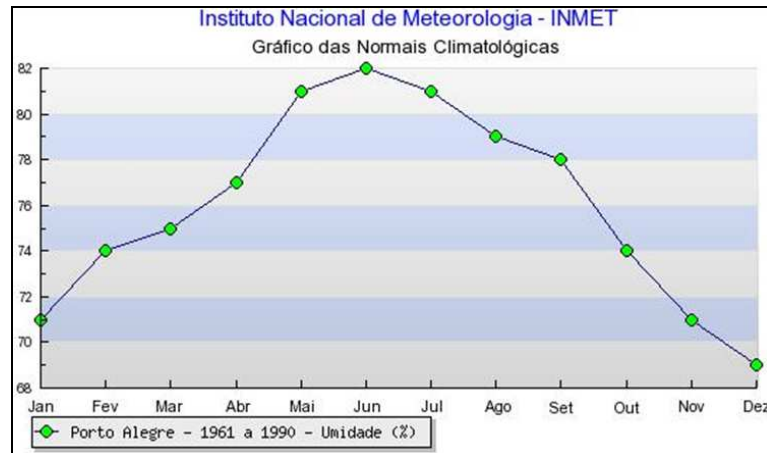


Figura 48: variação da umidade relativa do ar na cidade Porto Alegre (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2010)

Na média, a umidade relativa mantém-se permanentemente com índices superiores ao de 65%, considerado como favorável aos processos de deposição de partículas por vias seca e úmida. A elevada umidade relativa do ar em Porto Alegre favorecerá, portanto, os fenômenos de condensação da água sobre os paramentos das fachadas e, conseqüentemente, a adesão das partículas (PETRUCCI, 2000; VIEIRA, 2005).

A figura 49 apresenta a variação da evaporação ao longo dos meses no período de 1961 a 1990 na cidade Porto Alegre. Nota-se que a curva de evaporação é inversamente proporcional à curva de umidade relativa do ar.

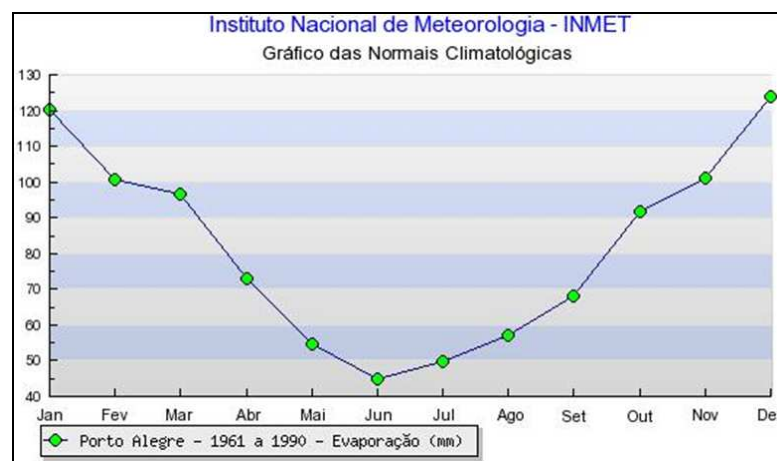


Figura 49: variação da evaporação na cidade Porto Alegre (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2010)

O inverno é a estação mais favorável à ocorrência da manifestação da patologia de manchamento por partículas de contaminação atmosférica nas fachadas das edificações na cidade de Porto Alegre, pela presença de ventos fracos (dificuldades na dispersão dos poluentes), temperaturas baixas e alta umidade relativa do ar (favoráveis à condensação), e chuvas mais fracas (do que no verão) apesar de a precipitação pluviométrica ao longo do ano ser maior nos meses de junho a setembro (PETRUCCI, 2000).

Durante os meses mais frios do ano (abril-setembro), ocorre baixa taxa de insolação e alta taxa de umidade, com aumento do índice pluviométrico. A relação entre taxa de umidade e nível de insolação e temperatura é inversamente proporcional. Estes índices fornecem um indicativo da agressividade do meio ambiente, para que as reações de degradação possam ocorrer (VIEIRA, 2005).

2.2.1.6 Contaminantes atmosféricos

O acúmulo de sujeira ou qualquer material particulado da atmosfera sobre a superfície de um revestimento é, em algumas situações, inevitável. A possibilidade de tal acúmulo deve ser levada em conta em todas as circunstâncias, mas especialmente em áreas urbanas e industriais. Seu efeito sobre o revestimento é duplo (BONIN, 1993):

- a) pode conduzir a uma falha do revestimento pela introdução de substâncias destrutivas, tal como o óxido de enxofre que ataca os materiais a base de cimento. Identificada forte presença destas substâncias no ar (principalmente em atmosferas industriais), recomenda-se não utilizar revestimentos em argamassa como acabamento final da parede;
- b) pode causar manchamento da superfície sem afetar a durabilidade do revestimento, mas adversamente afetando sua aparência. Particularmente quando o manchamento é irregular, ou seja, quando associado a um descontrolado escoamento da água da chuva.

2.2.1.6.1 Constituintes do ar

A atmosfera que envolve a crosta terrestre constitui um meio gasoso composto predominantemente de nitrogênio (78%) e oxigênio (21%), e outros gases presentes em concentrações variáveis e quantidades menores, como vapor de água, dióxido de carbono e ozônio. Apesar de aparentemente invariável em sua composição, a atmosfera é um sistema dinâmico: seus componentes gasosos estão em contínua troca com os seres vivos e com os oceanos, e continuamente recebe produtos procedentes da terra (LIMA et al., 1998).

A poluição do ar é a introdução na atmosfera de quaisquer substâncias diferentes dos seus constituintes naturais. Os poluentes podem derivar de fontes naturais ou artificiais. De acordo com Ayoade (1998), os poluentes que ocorrem naturalmente são: polens, bactérias, esporos, partículas de poeira sólidas carregadas do solo pelo vento, entre outros. Os poluentes artificiais, produzidos pelo homem, incluem as partículas de fumaça, dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), ozônio (O₃), os hidrocarbonatos e vários óxidos de nitrogênio. Estes poluentes são derivados de quatro principais fontes, principalmente combustão, processos industriais (produzindo carvão, hidrocarbonetos, minerais, cinzas e outros), tráfego

viário (produzindo subprodutos de combustão e subcombustão, carvão, hidrocarbonetos, cinza, mas principalmente a fuligem) e queima de lixo.

John (1987) acrescenta que, entre os principais poluentes que afetam os materiais estão os óxidos de enxofre, cloretos e partículas como a fuligem. Os poluentes à base de enxofre têm efeito corrosivo em metais e atacam inclusive as pedras. Também segundo Lima et al. (1998), a principal fonte de emissão de poluentes do ar em Porto Alegre, como em muitos centros urbanos, é o setor de transportes que se baseia na queima de gasolina, óleo diesel e álcool. Também é expressiva a emissão de poluentes por processos de combustão derivados da queima de madeira, óleo diesel e carvão, em atividades do setor de prestação de serviços e na produção industrial.

Os produtos procedentes da terra classificam-se, segundo o estado de agregação da matéria contaminante, em gases, que se misturam completamente com o ar, e aerossóis, que são mesclas de partículas suficientemente finas em suspensão no ar. Dá-se o nome de névoa ou neblina ao aerossol formado por partículas líquidas e pó atmosférico ao formado por partículas sólidas (PETRUCCI, 2000; VIEIRA, 2005).

O pó atmosférico e as fumaças pretas (partículas finas com diâmetro inferior a 10 μm) são as principais causas da degradação estética das fachadas dos edifícios por sujidades concentradas em seus paramentos. Das fontes principais em áreas urbanas de aerossóis sólidos, fumaças e partículas sólidas em geral, as emissões de chaminés industriais (produzindo carvão, hidrocarbonetos, minerais, cinzas, entre outros) e as emissões de subprodutos de combustão e semicombustão na queima de combustíveis (carvão, hidrocarbonetos, cinza, mas, principalmente a fuligem) são as principais responsáveis pelas sujidades dos paramentos (VALLEJO, 1990).

Os estudos envolvendo a distribuição de poluentes e contaminantes, bem como de outros íons, como cloretos, são decorrentes de estudos e monitorações ambientais. Porém, nem sempre a variável necessária aos estudos sobre durabilidade e degradação dos materiais e/ou sistemas de construção são monitoradas. Um dos poucos estados brasileiros que monitora, com uma malha razoável de estações, os parâmetros ambientais é o estado de São Paulo. No entanto, em nenhum caso pode-se elaborar mapas com os dados disponíveis, sendo poucas as informações georreferenciadas disponíveis (LIMA et al., 2005).

2.2.1.6.2 Deposição das partículas

Nos centros urbanos, é comum o acúmulo de pó, fuligem e partículas poluentes sobre os revestimentos externos e os elementos de fachada. A sujeira, principal causadora do manchamento, pode estar simplesmente depositada, mas também pode se encontrar aderida ao revestimento, sendo a sua eliminação feita com limpeza mecânica ou química (LERSCH, 2003).

Os poluentes são depositados nas superfícies dos edifícios por deposição úmida pela chuva ou por deposição seca direta do ar (BONIN, 1993; LIMA et al., 2005). Segundo Vallejo (1990), a deposição úmida consiste na eliminação de algumas substâncias nocivas em suspensão, mediante sua incorporação às pequenas gotas que formam as nuvens e seu posterior depósito através das precipitações, e afeta as partículas menores que $1\mu\text{m}$. A deposição seca é o meio quase exclusivo pelo qual vão formar-se as pátinas e crostas de sujeira. Consiste no depósito continuado das partículas de contaminação transportadas por vento e turbulências atmosféricas, ou por simples sedimentação em situação de calma, sobre as superfícies receptoras. Os mecanismos da deposição seca são diversos e dependem, entre outros condicionantes, do tamanho das partículas, da situação de vento e das características da superfície do material. A figura 50 apresenta o gradiente de deposição seca de partículas de poluição em função da altura.

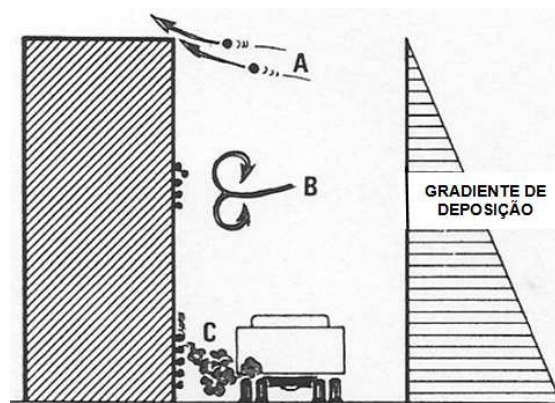


Figura 50: deposição de partículas de poluição atmosféricas em fachadas altas: (a) vento rápido depositando poucas partículas ou removendo-as, (b) deposição acelerada pelo efeito de turbulência e (c) deposição aumentada pelo efeito de circulação (HUBERTY, 1980)

A chuva ácida é resultante da combinação dos gases presentes na poluição atmosférica com o hidrogênio presente na atmosfera sob a forma de vapor de água. Juntamente com os gases produzidos por fábricas e motores, são liberados para a atmosfera óxidos de enxofre, os quais reagem com o vapor de água produzindo ácido sulfúrico (H_2SO_4), que é diluído na água da chuva e dá origem a chuva ácida. Esta apresenta pH entre 4,5 e 2,2 e o seu principal efeito pode ser sentido nos materiais de base cimento, que sofrem dissolução da matriz cimentícia, expondo os agregados, provocando desagregações e perda de resistência (LIMA et al., 2005).

Carrié et al. (1975)¹⁰ apud Petrucci (2000) observam que a permanência das partículas em suspensão no ar depende de sua velocidade de queda. Cada partícula presente no ar está submetida a duas forças de sentido contrário, que são a gravidade (proporcional à sua massa) e atrito com o ar (devido ao deslocamento do ar provocado pela queda da partícula). Quando ambas chegam a equilibrar-se, a velocidade de queda se faz constante (velocidade limite).

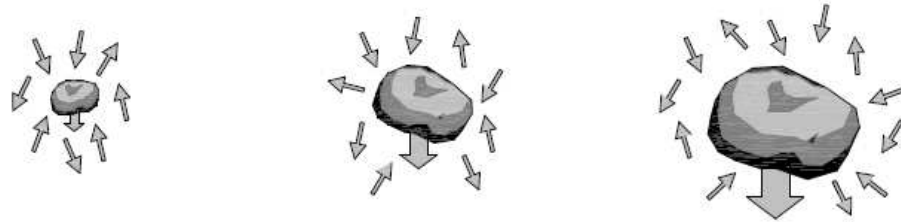
Portanto, para uma mesma natureza de partícula, esta velocidade é função de sua dimensão e de sua forma.

Segundo os mesmos autores, a distinção entre partículas sedimentáveis e partículas suscetíveis de ficarem retidas em suspensão no ar é feita naturalmente sob a ação da força da gravidade. As partículas sedimentáveis se depositam por gravidade essencialmente sobre as paredes não abrigadas, em particular sobre planos horizontais ou inclinados em saliência. Já as partículas componentes dos aerossóis permanentes, ao fim de certo tempo mais ou menos longo, carregadas pelo ar ou arrastadas pelo vento, podem alcançar qualquer superfície, mesmo aquelas muito abrigadas, e permanecer agarradas pelas forças de adesão que podem ser muito superiores àquelas da gravidade.

Numa tentativa de síntese, Carrié et al. (1975)¹⁰ citados por Petrucci (2000) e Huberty (1980), classificam as partículas, independentemente de sua natureza, em dois grandes grupos segundo seu tamanho e tendo em vista a divisão em aerossóis temporários e permanentes:

- a) partículas de contaminação de tamanho inferior a 1 μm formam os aerossóis que permanecem longo tempo em suspensão por sua elevada mobilidade ou por sua reduzida velocidade de queda. Aderem às superfícies rugosas e têm grande capacidade de cobertura devido à elevada relação superfície/massa. Podem desaparecer por coagulação (para partículas inferiores a 0,1 μm), ou seja, agregação a outras maiores do aerossol.
- b) partículas com diâmetro superior a 1 μm , principalmente de origem mineral, sedimentam-se mais ou menos rapidamente em função de sua massa e da influência do vento. São as que, principalmente, afetam o processo de manchamento das fachadas, depositando-se, a maioria delas, mediante o fenômeno de difusão ligado à turbulência do vento. Quanto maiores forem, menor sua sensibilidade a este fenômeno e maior a influência das forças da gravidade.

De acordo com Melo Jr. (2010), os aerossóis permanentes tendem a ficar em suspensão uma vez que os seus movimentos de queda estão em constante choque com as moléculas gasosas. Os aerossóis temporários possuem dimensões maiores e assim depositam-se mais facilmente sobre as superfícies horizontais pela ação da força gravitacional. A figura 51 apresenta esquematicamente estes comportamentos.



A dimensão das partículas é da mesma ordem de grandeza das moléculas gasosas. Os choques sucessivos condicionam a trajetória das partículas, fazendo com que estas fiquem em suspensão.

Com dimensões maiores, as partículas são atingidas com mais intensidade pelas moléculas gasosas. A trajetória descendente é fracamente atingida e as partículas sedimentam lentamente.

Os choques das moléculas gasosas não interferem na trajetória das partículas, que sedimentam rapidamente.

Figura 51: movimento descendente em relação ao tamanho das partículas (MELO JR., 2010)

Pela difusão turbulenta, as partículas de tamanho compreendido entre 1 μm e 15 μm estão submetidas a deslocamentos aleatórios devido ao regime de fluxo turbulento do ar que as transporta nas proximidades da superfície. O impulso recebido é suficiente para que possam transpor a capa de ar e acessar as superfícies receptoras, constituindo assim o principal mecanismo de deposição sobre os paramentos verticais. Na ausência de movimento de ar torna-se importante, a ocorrência de mecanismos de apoio à deposição das partículas aos paramentos, tais como o fenômeno de transferência que ocorre quando existe gradiente de temperatura entre o ar e a superfície (para partículas de tamanho inferior a 1 μm) e esta se encontra mais fria (termoforese), ou em presença de gradiente de umidade entre ar e paramento, produzindo-se em ambos sentidos (efeito Stefan) (VALLEJO, 1990).

Também para esse tamanho de partículas (entre 1 e 15 μm), segundo Carrié et al. (1975)¹⁰ apud Petrucci (2000), começam a ser importantes os efeitos por choque inercial, produzindo-se a deposição sempre que a energia de rebote não supere a força de adesão. Outro aspecto considerado pelos autores refere-se ao fenômeno da difusão browniana, para o qual se encontram submetidas as partículas de tamanho inferior a 1 μm ; tem lugar em todo o meio descontínuo (como o ar) que contém moléculas gasosas em movimento, cujas condições energéticas fazem com que sofram constantes deslocamentos da ordem de 0,1 mm em direção arbitrária, chocando-se com as partículas de contaminação, deslocando-as e dificultando seu movimento de queda; favorecendo, portanto, sua maior permanência em suspensão.

2.2.1.6.3 Adesão das partículas

As partículas de sujidade que entram em contato com a superfície da fachada tendem a permanecer aderidas ao suporte pela presença de diferentes forças de atração (PETRUCCI, 2000):

- a) força de gravidade: são predominantes sobre superfícies horizontais ou inclinadas, ou de rugosidade elevada. Tratando-se não de forças de aderência, propriamente dito, sua ação consiste na interceptação dos contaminantes em

queda pela presença dessas plataformas; dependendo da dureza do suporte, o choque produzido no contato entre partícula e superfície permitirá ou não sua (da partícula) adesão;

- b) força de tensão superficial ou capilar: existentes nas interfaces sólido-líquido-ar em presença de alto conteúdo de umidade no ar e nos poros da superfície, que favorece a fixação das partículas sobre a superfície receptora, têm origem no desequilíbrio das forças intermoleculares na proximidade da superfície, criando laços mais estreitos entre as moléculas de sujidade e as do suporte. Estima-se que essas forças intervêm quando a umidade relativa do ar é superior a 65%.
- c) força de atração eletrostática: negligenciáveis para suportes de materiais porosos;
- d) forças de atração molecular (forças de Van der Waals): para as partículas mais finas (em torno de 0,01 μm).

Segundo a mesma autora, há, ainda, a possibilidade de que se estabeleça um processo de ligação química entre a contaminação e o material de suporte quando a natureza química da contaminação e a do material de suporte são adequadas, existem as condições ambientais oportunas e estejam partícula e paramento em contato utilizando algum outro mecanismo de adesão para que o contato possa manter-se.

2.2.1.6.4 Poluentes em Porto Alegre

Tendo em vista que a dispersão e diluição dos poluentes são determinadas pela dinâmica da circulação do ar, Livi et al. (1998) identificam as áreas da cidade de Porto Alegre com maior potencial de acumulação de poluentes. São elas:

- a) Centro Histórico: por estar situado ao longo da trajetória dos ventos predominantes e condutores da poluição emitida em avenidas e ruas que convergem em direção ao centro da cidade, e por possuir superfície muito edificada que dificulta a livre passagem dos ventos regionais fracos e moderados, não propiciando as melhores condições de dispersão. Os poluentes conduzidos ao centro da cidade acumulam-se em áreas fechadas, graças ao efeito da fraca circulação ou ventilação normal sobre as edificações, circunstância essa só modificada pelas ações de ventos fortes e chuvas prolongadas com poder de saneamento da atmosfera.
- b) região norte, localizada na várzea do Rio Gravataí (depressão que permite a acumulação do ar frio noturno), e a várzea do Arroio Dilúvio (com frequentes ocorrências de inversões térmicas de radiação), possuem emissão veicular

particularmente elevada (inclusive no período noturno) e apresentarem fenômenos de inversão térmica de radiação ou de superfície.

Segundo os autores, a avaliação das condições de dispersão de poluentes na atmosfera considerou:

- a) a identificação de vias de tráfego intenso, isto é, aquelas que possuem um fluxo de, no mínimo, 40.000 veículos em 12 horas e estão localizadas nas zonas mais densamente urbanizadas da cidade;
- b) a existência de obstáculos naturais (áreas de depressão geográfica) ou construídos (espaços urbanos de grande densidade de edificação, que possuem alta rugosidade) que podem impedir ou prejudicar a dispersão constante e eficiente desses poluentes.

De acordo com Lersch (2003), com exceção do lado sul do centro da cidade, que recebe a ventilação noturna vinda do Lago Guaíba, as demais áreas do centro possuem um clima de superfície edificada com forte acréscimo de calor. Além disso, a região central se apresenta como local com qualidade de ar comprometida, além de possuir cânions urbanos, alterações do campo eólico e condutores de ar comprometido.

Embora predominem os poluentes diretamente lançados na área, a cidade de Porto Alegre também pode sofrer com as emissões que ocorrem na região metropolitana, que possui centros industriais de petroquímica, de refino de petróleo, de produção de celulose, fabricação de cimento e metalmecânicos (LERSCH, 2003).

Entre as atividades impactantes do sistema urbano estão alguns fatores que agem sobre o ambiente construído, como as emissões atmosférica fixa e móvel. A primeira age através da emissão de gases e material particulado (fumaça, poeiras e gotículas em suspensão) proveniente da queima de combustível (madeira, óleo e carvão) usado na geração de energia nas atividades industriais e de prestação de serviços. A segunda diz respeito à emissão de gases e material particulado proveniente da queima de combustível (gasolina, álcool e óleo diesel) usado nos veículos automotores. A tabela 2 apresenta os principais poluentes do ar em Porto Alegre, suas fontes, efeitos no ambiente e quantidade emitida (LIMA et al., 1998).

Tabela 2: principais poluentes do ar em Porto Alegre, suas fontes, efeitos no ambiente e emissões diárias (adaptado de LIMA et al., 1998)

Poluente	Fonte	Efeitos no ambiente	Emissão diária pela queima de combustíveis automotivos	
			Porto Alegre [t/dia]	Região Metropolitana [t/dia]
Dióxido de enxofre (SO ₂)	Queima de combustíveis no transporte e na indústria	Transforma-se em ácido sulfúrico na atmosfera, gerando a chuva ácida, que produz a corrosão de metais, de concreto e de mármore	3,7	7,4
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	Veículos automotores	Reagem na atmosfera com combustíveis não queimados (hidrocarbonetos) na presença de luz solar, gerando os oxidantes fotoquímicos, dos quais o ozônio é o mais importante	26	45,9
Material particulado	Fumaça preta (fuligem) dos veículos, fumaça expelida pelas chaminés industriais e poeiras	Danos à vegetação, desgastes e acúmulos nas edificações	5,2	10,5
Hidrocarbonetos	Queima incompleta de combustíveis automotores	Provocam reações fotoquímicas na atmosfera e afetam as plantas	39,3	65,3

2.2.2 Fatores intrínsecos

Após a apresentação dos principais fenômenos ou ações dos agentes ambientais (fatores extrínsecos) envolvidos no processo de manchamento das superfícies das fachadas por partículas de contaminação atmosférica, serão apresentadas agora as principais características das fachadas dos edifícios (fatores intrínsecos) envolvidas na ocorrência desta manifestação patológica. Os principais fatores indiretos responsáveis por essa manifestação se relacionam com a superfície dos materiais de revestimento da fachada e com a sua geometria.

2.2.2.1 Materiais de revestimento das fachadas

Na análise das características dos materiais de revestimento de fachadas envolvidas no processo de manchamento de suas superfícies, salientam-se aquelas relacionadas à plástica das fachadas (ou à sua estética), textura e cor, e também as relativas à porosidade dos materiais.

2.2.2.1.1 Rugosidade ou textura do revestimento

Nas superfícies lisas, os fluxos de água não são homogêneos, mas concentrados em determinadas regiões, devido à ação do vento. Se estes fluxos e as paredes fossem isentos de sujeiras, não haveria grandes preocupações; o problema surge porque (PEREZ, s/d.):

- a) a água da chuva é contaminada por: poluentes atmosféricos, poeiras em suspensão no ar, materiais da fachada dissolvidos e carregados no fluxo, materiais da fachada erodidos pelo fluxo, sujeiras em geral na fachada;

- b) partes das regiões da fachada absorvem ou reagem com a água contaminada que por ela escorre. Mesmo os materiais mais lisos e não absorventes (vidro, por exemplo) retêm essas sujeiras, necessitando de limpeza periódica.

O grau de manifestação e de percepção da sujeira (camuflagem da sujeira) está intimamente relacionado com as características dos materiais de superfície, entre elas a textura (ou rugosidade) e a cor.

Quanto aos materiais de revestimento, a rugosidade da superfície, é a característica que intervém mais diretamente na deposição e adesão das partículas de sujeira ao suporte. Por estar diretamente ligada à massa das partículas, a sedimentação por ação da força da gravidade, além de necessitar da existência de superfícies horizontais ou pouco inclinadas, é influenciada pela rugosidade do suporte ao efetuar-se, por exemplo, por difusão turbulenta, quando o grau de rugosidade modifica as turbulências locais favorecendo o intercâmbio entre ar e superfície (PETRUCCI, 2000).

A textura do revestimento irá afetar a distribuição do fluxo de água, com cursos irregulares e concentrados em superfícies lisas ou levemente texturadas e fluxo uniformemente distribuído em superfícies de textura mais destacada (BONIN, 1993).

De forma geral, as superfícies lisas propiciam a concentração do fluxo de água sobre a parede, provocando desgastes diferenciais. Ao contrário, as superfícies rugosas ou revestimentos texturizados (como por exemplo, rochas e tijolos), apesar de serem mais sensíveis ao depósito e adesão de partículas de sujeira, provocam o espalhamento desses fluxos, permitindo uma distribuição mais homogênea e diminuindo os desgastes diferenciais, evitando escorrimentos concentrados e irregulares, característicos das superfícies lisas (PEREZ, 1988b; PETRUCCI, 2000). Este fenômeno é ilustrado na figura 52.

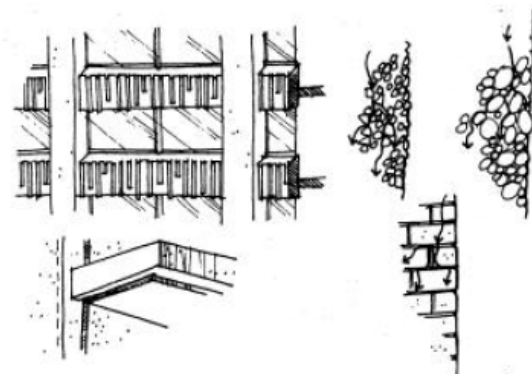


Figura 52: rugosidade e textura e a distribuição da água pelas superfícies da fachada (ROBINSON E BAKER, 1975)

Materiais com uma textura rugosa sofrem de forma mais homogênea mudanças de aspecto já que espalham a água pela fachada. Em geral, quanto mais irregular é a textura, maior é sua

resistência à intempérie desde o ponto de vista visual. As manchas de sujeira são mais percebidas nos materiais de superfícies lisas e porosas (PETRUCCI, 2000).

Com relação à adesão das partículas ao suporte, Carrié et al. (1975)¹⁰ citados por Petrucci (2000) e Melo Jr. (2010), observam que as irregularidades da base podem aumentar ou diminuir as forças de adesão, distinguindo três estados de superfície para um mesmo par de partículas e suporte:

- a) textura muito lisa: a superfície de contato e a aderência são ditas normais, com ausência de rugosidade (figura 53 (a));
- b) textura ligeiramente rugosa: as asperezas são inferiores às dimensões das partículas e a superfície de contato e as aderências são mínimas (figura 53 (b));
- c) textura na qual as asperezas do suporte são da ordem de grandeza da partícula: a superfície de contato e a adesão são importantes (figura 53 (c));

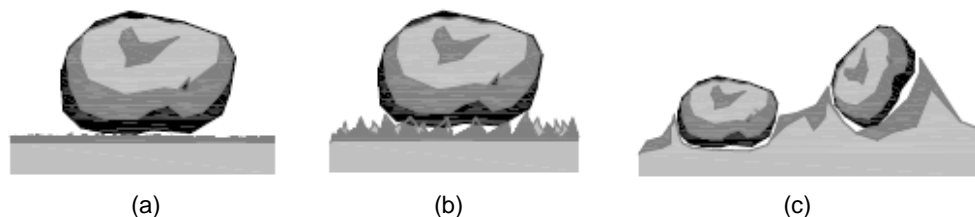


Figura 53: (a), (b) e (c) características das rugosidades superficiais dos materiais com influência na deposição e adesão das partículas de contaminação (MELO JR. 2010)

O último estado trata-se do mais desfavorável frente à deposição, por permitir que as partículas se alojem nas cavidades da superfície e se fixem de modo muito mais significativo do que se esta rugosidade fosse muito mais fina ou muito mais acentuada (PETRUCCI, 2000).

Vallejo (1990) considera de forma diferente os tipos de textura de materiais, caracterizadas tanto pelo tamanho das asperezas como por sua resposta à deposição e adesão das partículas de contaminação e à distribuição de água de chuva escorrida:

- a) textura rugosa: com asperezas de tamanho superior a 1 mm (de profundidade), mais suscetível ao desenvolvimento das sujidades, proporciona um lavado mais regular (característica das alvenarias de tijolos e pedras, dos concretos de agregados aparentes, entre outros);
- b) textura lisa: o tamanho (separação e profundidade) das asperezas está compreendido entre 10 e 1000 μm , característica das cerâmicas, concretos e revestimentos em argamassas desempenadas. É muito dependente do tipo de exposição da fachada e suja mais lentamente;
- c) textura polida: muito favorável a qualquer situação, é característica, por exemplo, dos tipos de acabamento de pedras naturais ou artificiais com tratamento de

polimento; possui baixo grau de permeabilidade e elevada uniformidade superficial (características dos materiais tradicionalmente impermeáveis, tais como os vidros, plásticos e metais), constituindo paramentos autolaváveis devido à sua pouca ou nula absorção de água, ou seja, nos quais a água de chuva aportada é empregada na sua quase totalidade na constituição dos escorrimentos, favoráveis ao arraste da sujeira depositada e raras vezes encapsulada.

Outra característica importante dos materiais é a dureza do suporte, que decidirá se os choques produzidos no momento do contato entre partícula e superfície permitem ou não sua adesão. Segundo a elasticidade do suporte e a energia cinética das partículas em suspensão no ar (devida ao agito e transporte pelo vento) estas podem rebotar e não aderir ao suporte. Por outro lado, a dureza do revestimento intervém também sobre a magnitude da força de adesão, quando o revestimento se deforma sob o impacto das partículas, aumentando a superfície de contato entre ambos. Situações similares ocorrem com o choque das gotas de água de chuva contra os paramentos, podendo ser ou não captadas pelo material de suporte, sendo imediatamente absorvidas ou adsorvidas por ele ou constituindo o fluxo deslizante ou o escoamento (VALLEJO, 1990).

2.2.2.1.2 Cor do revestimento

Apesar da cor dos materiais de fachada não ser uma propriedade que influa diretamente no processo de formação das pátinas de sujidade, a intensidade com que se percebem as manchas é diretamente proporcional ao contraste de cor e tonalidade entre os materiais de revestimento e o manchamento. Desta forma, a sujidade enraizada sobre uma fachada se fará tanto mais evidente quanto mais descontínua e heterogênea apareça, não só com respeito a sua localização, mas também a seu tom e intensidade (VALLEJO, 1990).

Os materiais de cores escuras (como as cerâmicas vitrificadas ou as madeiras tratadas) têm a propriedade de camuflar a sujeira, não tornando visível sua acumulação, por sua cor ser parecida à do material. As alvenarias de tijolos cerâmicos têm propriedades de cor únicas por variar ligeiramente de um a outro, podendo dissimular as diferenças de acumulação de sujidade que seriam apreciáveis em uma parede de cor uniforme. As manchas de sujidade são mais percebidas nos materiais de cores claras (PETRUCCI, 2000).

Segundo Vallejo (1990), as associações de tipos diferentes de materiais nas fachadas têm especial relevância, já que permitem a utilização seletiva dos materiais mais eficazes frente ao manchamento naqueles lugares onde se prevêem circunstâncias desfavoráveis, principalmente os lavados diferenciados.

2.2.2.1.3 Porosidade do revestimento

Apesar de qualquer material de uso normal, que compõe a camada exterior dos paramentos nas fachadas dos edifícios, encontrar-se submetido ao fenômeno patológico de manchamento por sujidades atmosféricas, o material poroso é mais sensível ao fenômeno (EL-SHIMI et al., 1980¹⁸ apud PETRUCCI, 2000).

Um material poroso e capilar é suscetível de se sujar em profundidade: a água fixa as poeiras e por capilaridade penetra nos materiais. Se os capilares são muito finos e numerosos, pode se produzir uma espécie de filtragem da água: a poeira se deposita na entrada dos capilares e o paramento suja-se de forma pronunciada; se os capilares são, ao contrário, muito grossos e pouco numerosos, os paramentos sujam-se em profundidade, mas de forma menos aparente (PETRUCCI, 2000). Isso explica porque certos materiais, tais como os tijolos cerâmicos ou as rochas, comportam-se melhor que as argamassas de cimento frente ao manchamento.

2.2.2.2 Geometria das fachadas

Na análise da geometria das fachadas, busca-se identificar as principais características de ordem construtiva ou formal, comuns à maioria das fachadas atualmente existentes, que afetam o fenômeno de manchamento por deposição de sujidades.

Segundo Marsh (1977) e Perez (1988b), no passado, os projetistas desviavam atenção para o conhecimento tradicional de detalhes construtivos e ornamentos, não considerando as consequências da chuva sobre as superfícies dos edifícios. Este conhecimento era aplicado mais por razões estéticas do que funcionais, apesar destes detalhes, em grande parte, apresentarem efeitos práticos como o de evitar concentrações de água de chuva e de descolar as lâminas de água que se formam sobre as superfícies das paredes.

Os primeiros edifícios construídos pelo homem, em todo mundo, mostram que os tetos eram montados formando um beiral suspenso, uma espécie de proteção para o edifício. Esta era a maneira efetiva de conduzir a chuva para fora do perímetro das paredes, através de um sistema de drenagem das águas pluviais e somente as paredes eram atingidas pela chuva impelida pelo vento formando gotas difusas. Só foi possível constatar a importância desses detalhes na melhora da durabilidade e estanqueidade à água dos edifícios quando a arquitetura moderna, predominantemente linear, suprimiu tais ornamentos das fachadas (PEREZ, 1988b).

De acordo com Petrucci (2000), apesar das fachadas dos edifícios terem passado por um drástico processo de despojamento formal e construtivo, ao longo deste século, em nome de uma nova estética e de uma nova lógica produtiva, são raros os casos em que as fachadas são

¹⁸ EL-SHIMI, M.; WHITE, R.; FAZIO, P. Influence of façade geometry on weathering. Can. J. Civ. Eng., Canada, v.7, p.597-613, 1980.

constituídas por um único plano vertical liso e contínuo. A maioria apresenta algum tipo de descontinuidade, por motivos de ordem estética, construtiva, funcional e mesmo de autoproteção, tais como aberturas, molduras, relevos, mudanças de planos, entre outros. Estas descontinuidades, além de suas formas e proporções gerais, ou seja, sua geometria é que fará com que as fachadas se exponham de maneira não uniforme aos agentes ambientais.

De acordo com Petrucci (2000), as formas e proporções do edifício, condicionantes da ação de limpeza em seco pelo vento e pela água da chuva incidente sobre os paramentos, encontram-se, por outro lado, bastante submetidas às legislações urbanísticas e aos problemas relacionados com a viabilidade físico-econômica dos empreendimentos; os edifícios apresentam-se, na maioria das vezes, na tradicional forma retangular para suas fachadas, caracterizando-se como obstáculos pouco aerodinâmicos à ação do vento. A ocorrência de panos corridos verticalmente, reentrantes ou salientes, contendo ou não as aberturas, e o fato de estarem parcialmente protegidos de fluxos inclinados e rasantes, além de poderem sofrer interrupções em cada planta pela alternância de vãos de abertura e parapeitos maciços, dificultam a formação da lâmina de escoamento (figura 54).

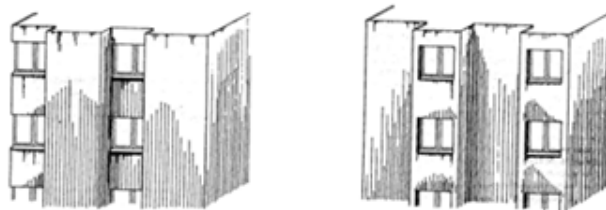


Figura 54: panos corridos verticalmente (VALLEJO, 1990)

Segundo a mesma autora, com relação aos planos maciços e à geometria da fachada, as características principais que afetam o processo de formação das sujidades dizem respeito à inclinação e defasagem dos diversos planos que contém a fachada com relação a um plano-base. A variação das dimensões desses planos vai desde planos que compõem grandes superfícies nas fachadas até, em uma escala menor, os relevos, juntas e detalhes menores de superfície, com maior influência na trajetória da água de chuva escoada.

Os elementos que criam reentrâncias e descontinuidades sobre as superfícies das fachadas se constituirão sempre em base para o acúmulo de sujeira. Por um lado, detalhes de fachada permitem o acúmulo de partículas, por outro, porém, contribuem com o controle de fluxos de água de chuva, administrando o processo de lavagem dos planos (LERSCH, 2003).

Existe na bibliografia especializada (MARSH, 1977; BAUER, 1987; PEREZ, 1988; BONIN, 1993; PETRUCCI, 2000; VIEIRA, 2005) sugestões de como projetar adequadamente detalhes arquitetônicos, visando evitar os manchamentos de fachadas por escoamentos da água da chuva. Beirais de oitões ou laterais, saliências ou projeções das paredes, tais como molduras horizontais e peitoris de janelas, são detalhes tradicionais de proteção das paredes. Porém, em

muitos casos, o incorreto detalhamento e execução de detalhes de superfície podem conduzir a concentrações ou canalizações de água sobre certas regiões da parede, tornando-as expostas e vulneráveis à degradação, apesar da superfície como um todo estar protegida.

É difícil de classificar todas as variações de detalhes que afetam a migração da água sobre as superfícies das fachadas. Serão apresentadas a seguir, classificadas em categorias gerais, algumas combinações dos elementos dos edifícios que têm influência no escoamento da água sobre suas superfícies.

2.2.2.2.1 Projeções horizontais

Entre os detalhes arquitetônicos que podem ser classificados como projeções horizontais temos as molduras horizontais ou plataformas, os peitoris e os coroamentos.

O efeito de abrigo de projeções horizontais de fachadas pode ser claramente visto pelo padrão de umedecimento das mesmas (fachadas) durante a chuva ou, mais permanentemente, como manchas ou descolorações. Estes detalhes de superfície, por proverem proteção a panos de revestimento, ficam mais expostos aos agentes agressivos do meio, necessitando maior cuidado no seu projeto. As argamassas de revestimento, por exemplo, por serem porosas, não são apropriadas para o acabamento final de coroamento de muros e paredes e peitoris de janelas (BONIN, 1993).

Perez (s/d) acrescenta que as superfícies horizontais tendem a acumular poeira, poluição, insetos e outras sujeiras que são arrastadas durante as chuvas, tendendo geralmente a escorrer pelas fachadas. Por essas e outras razões, existe a necessidade de se controlar esses fluxos, para que não provoquem desgastes ou manchas localizadas, mas ao contrário, garantam uniformidade no aspecto e durabilidade das fachadas.

2.2.2.2.1.1 Molduras horizontais ou plataformas

A função destes elementos é proteger os panos de revestimento posicionados logo abaixo e partes vulneráveis da fachada à penetração da água de chuva, incidente ou escorrida dos panos superiores. Estes detalhes provocam descolamento dos fluxos de água da superfície da fachada (BONIN, 1993).

Grande parte da contaminação que atinge os paramentos necessita da existência de plataformas e abrigos para permanecer estável, características estas relacionadas com a rugosidade dos materiais de revestimento e a existência de plataformas ou superfícies horizontais superiores de qualquer elemento saliente ou reentrante nas fachadas (PETRUCCI, 2000).

As plataformas que compõem a geometria da fachada, de acordo com a variação da inclinação com relação à horizontal, ficam mais ou menos expostas à deposição das partículas de sujeira (que costuma ser maior nos pavimentos inferiores, conforme figura 55 (a)) e à incidência de ventos e chuvas, fundamentais para o modelo de manchamento que se formará. Sua existência poderá ocasionar sérios problemas, quando expostas à ação direta da água da chuva e suas continuidades com outros planos verticais ou inclinados não são eficientes na expulsão da água de suas superfícies (figura 55 (b)) (PEREZ, 1988b; PETRUCCI, 2000).

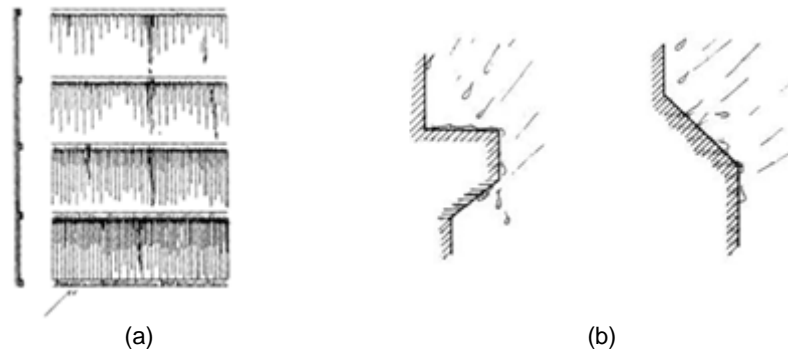


Figura 55: (a) e (b) molduras horizontais ou plataformas (VALLEJO, 1990)

De acordo com Perez (1988b), os detalhes arquitetônicos de fachada como pequenas saliências ou projeções na superfície das paredes são capazes de reduzir volume de água que escorre sobre as mesmas em mais de 50%. Bonin (1993) acrescenta que, para um desempenho satisfatório destes elementos, convêm observar sua geometria e dimensões. Algumas configurações de elementos construtivos que são capazes de redirecionar o fluxo de água que normalmente escorreria diretamente na parede são apresentados na figura 56.

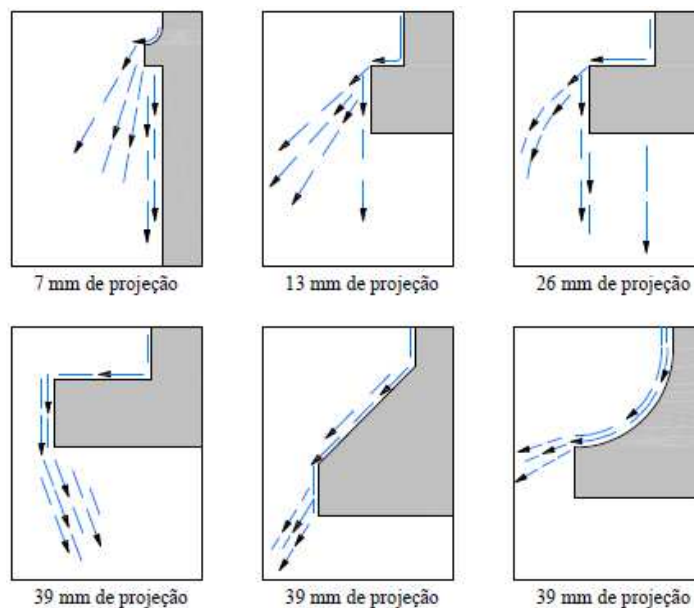


Figura 56: diagramas dos fluxos de água em pingadeiras com diferentes geometrias (PEREZ, 1988b; MELO JR., 2010)

As coberturas com amplas projeções, assim como as sacadas e terraços (figura 57), podem proporcionar também uma proteção valiosa contra a água da chuva, reduzindo toda área superficial que possa vir a estar molhada (HUBERTY, 1980).

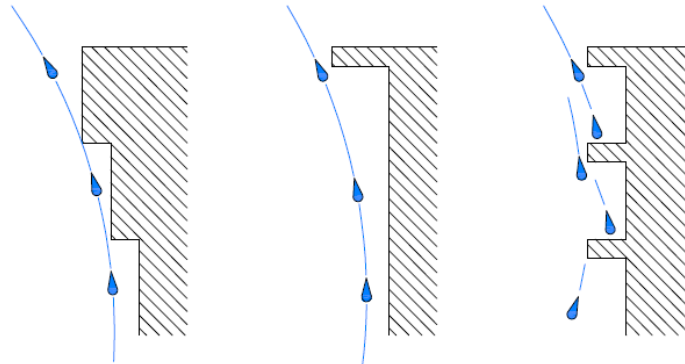


Figura 57: formas que proporcionam a proteção contra a água da chuva (HUBERTY, 1980; MELO JR., 2010)

Segundo o mesmo autor, a altura da edificação também influencia no grau de eficiência dos elementos construtivos horizontais incorporados às fachadas, isto é, para as pingadeiras, como exemplo, sua eficácia na proteção da fachada será maior para os pavimentos inferiores, onde o ângulo de incidência da chuva em relação à superfície é menor (figura 58).

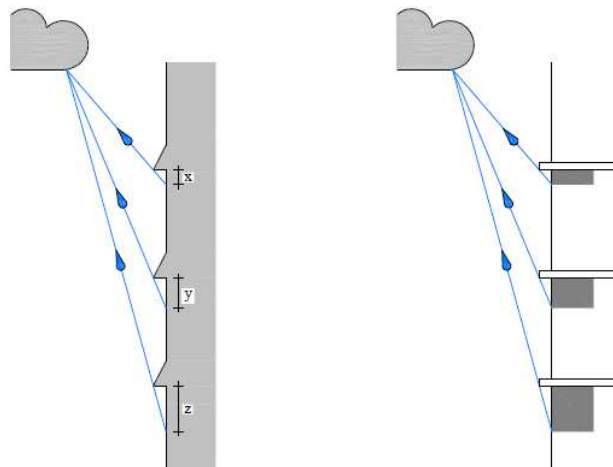


Figura 58: duas classes de elementos protetores: ambas impedem a lavagem da poeira depositada nas partes inferiores (HUBERTY, 1980; MELO JR., 2010)

Experiência realizada sobre o efeito de projeções nas fachadas em protótipos em verdadeira grandeza mostrou que as projeções situadas nas partes mais baixas do edifício permitem considerável proteção à parede logo abaixo, principalmente quando estas projeções são maiores que 200 mm. Já quando situadas em partes mais altas, os resultados foram diferentes; muitas vezes, a incidência de chuva sobre a superfície da parede, se comparada à mesma parede sem proteção, aumentou. Além disso, a incidência de chuva nos casos ensaiados aumentou para as projeções menores e velocidades de vento maiores. Os resultados dos ensaios em campo sugerem que as turbulências locais aumentam o índice de chuva incidente em regiões localizadas da fachada, devido ao carregamento das gotas pelos fluxos de ar. Os mesmos resultados indicam que as projeções podem ou não servir para proteger as juntas horizontais. Dessa forma, pode-se concluir que as saliências e outros detalhes construtivos, para que

contribuam na dissipação dos fluxos de água, devem ter geometria, tamanho e posicionamento adequados na fachada (PEREZ, s/d.).

2.2.2.2.1.2 Peitoris

Segundo Thomaz (1990), a presença de janelas ou portas forma saliências e/ou reentrâncias nas fachadas. Essas discontinuidades alteram o fluxo descendente da água na superfície da edificação. As janelas nas fachadas normalmente desenvolvem uma maior quantidade de água de escoamento do que os materiais do paramento, devido ao negligenciável coeficiente de absorção do vidro (figura 59) (PETRUCCI, 2000).

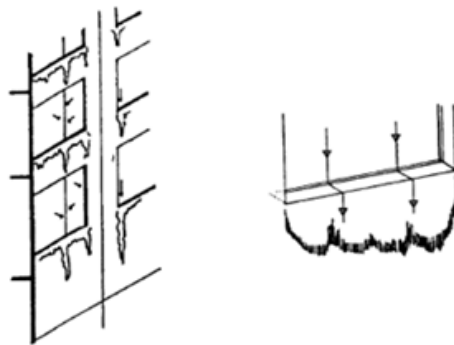


Figura 59: relação entre o desenho da janela e as manchas do escoamento da água da chuva (EL-SHIMI et al., 1980¹⁸ apud PETRUCCI, 2000)

Mudanças na aparência dos paramentos das fachadas abaixo das janelas estão diretamente associadas com o modo como a janela é desenhada para controlar o escoamento. A água poderá concentrar-se nos vértices inferiores do vão. No caso de peitoris de janelas, a água que incide sobre a superfície envidraçada certamente resultará em fluxos laterais ao peitoril. O resultado dessa concentração será o aparecimento de manchas nas fachadas resultantes do somatório do fluxo de água da chuva que passa pelo peitoril com o acúmulo de poeira que é depositado no peitoril ao longo do tempo. Além disso, observa-se também que a frequência desses eventos provoca manchas permanentes localizados nas paredes (figura 60) (PETRUCCI, 2000; VIEIRA, 2005).

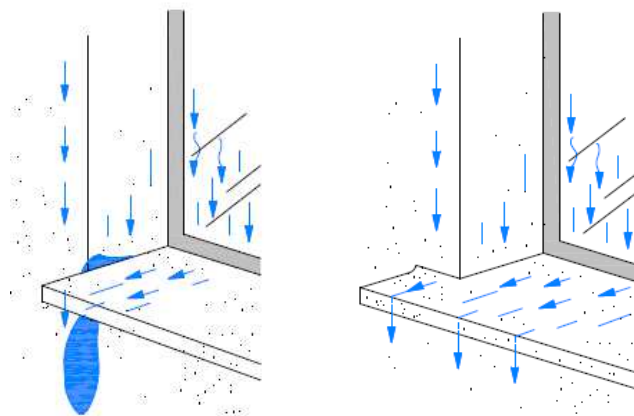


Figura 60: trajetória do fluxo de água nos peitoris (BONIN, 2003; MELO JR., 2010)

Segundo Bonin (2003) o peitoril de janela tem a função de livrar a parede posicionada abaixo da quantidade apreciável de água de chuva sobre ele incidente diretamente ou escorrida da superfície impermeável acima (vidro). Silva e Abrantes (2007) acrescentam que a função principal do peitoril é evitar a infiltração pelo topo do pano de peito (superfície horizontal junto a uma janela), mas também contribui para afastar a água da interface com o caixilho e da própria fachada. Para que tal aconteça, devem ser constituídos por materiais resistentes à água e pouco porosos.

De acordo com Addleson e Rice (1991), Bonin (2003), Silva e Abrantes (2007) e Perez (s/d.), a combinação de superfícies horizontais, verticais e inclinadas dos peitoris podem permitir o fluxo de água sobre os elementos sem desprendimento (gotejamento) nos cantos horizontais externos. Para um desempenho adequado, recomenda-se que a face superior do peitoril tenha uma inclinação mínima para o exterior para possibilitar o deslocamento da água, que se projete em relação ao plano da parede e que sua face inferior seja munida de lacrimal (pingadeira) para afastamento eficaz da água da face exterior da parede subjacente (figuras 61 e 62). Bonin (1993) recomenda que a face superior do peitoril tenha uma inclinação de no mínimo 20% para possibilitar o deslocamento da água e que se projete da parede no mínimo em 5 cm. Além disso, a fim de evitar infiltração de água e lavagem diferencial, por acúmulo de escoamento entre os extremos laterais do peitoril e a parede, recomenda-se engastar as extremidades do peitoril.

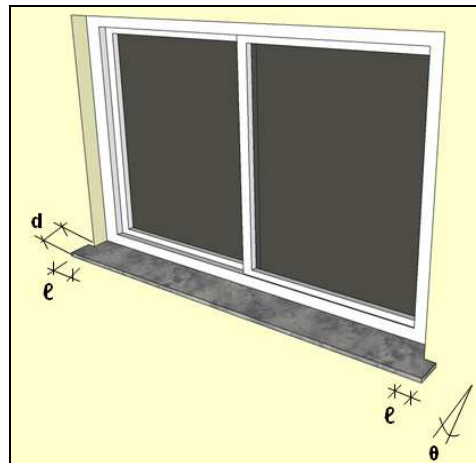


Figura 61: avanços laterais (ℓ), projeção da parede (d) e inclinação do peitoril (θ)

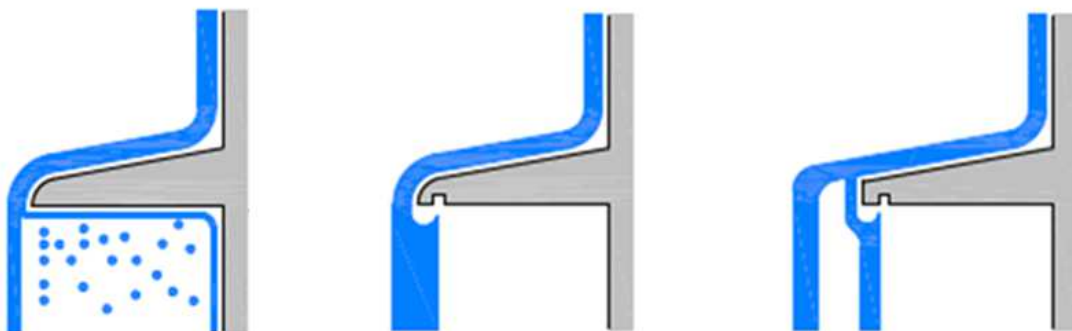


Figura 62: geometria dos ressaltos, pingadeiras e detalhes arquitetônicos, podendo ajudar a expulsar os fluxos de água superficiais ou provocar regiões de depósito de sujeiras (SILVA; TORRES, 2003)

Os peitoris devem responder a exigências de estanqueidade, conforto visual, higiene e durabilidade. O perfil longitudinal e o arremate com as ombreiras também exigem estudo e pormenorização, para evitar os escorrimentos laterais e as infiltrações pelos cantos das janelas. As normas técnicas francesas exigem que a pedra de peitoril se prolongue, lateralmente (e de preferência com sobre-elevação), sob a parede de alvenaria que constitui a ombreira do vão (SILVA; ABRANTES, 2007). De acordo com Romero e Simões (1995), o pequeno cuidado de prolongar o peitoril poucos centímetros em relação à largura efetiva do caixilho, evita a concentração de água nas laterais do peitoril (figura 60).

Apesar de se saber na teoria como executar os peitoris, na prática muito comumente eles não são executados da maneira correta, o que acaba por ocasionar manifestações patológicas nas fachadas das edificações. Escorrimentos de água nas laterais dos peitoris e manchamento por deposição de partículas de contaminação atmosférica são muito comuns de se observar em fachadas. Isso ocorre pois são pontos de alteração de concentração de fluxo de água e onde ocorrem turbulências de vento.

2.2.2.2.1.3 Coroamentos

A função destes elementos é evitar umidificação excessiva da parede, impedindo a penetração da água de chuva por sua face superior e expulsando-a o mais longe possível para o exterior (figura 63). Parapeitos a descoberto ou platibandas são particularmente vulneráveis, pois estão expostos em todos os sentidos: ciclos de molhagem e secagem, alta incidência de chuva e deposição de poluentes (BONIN, 1993). A presença de coroamentos ou cimalthas, com pequenas projeções, tanto para o interior, como para o exterior, podem reduzir a área da fachada atingida pela lâmina d'água (ROMERO; SIMÕES, 1995).

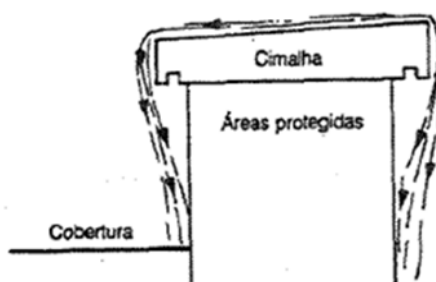


Figura 63: coroamento ou cimaltha (THOMAZ, 1990)

Segundo Bonin (1993), algumas recomendações para sua concepção são:

- a) a face superior deve ter uma inclinação mínima de 5%;
- b) devem ultrapassar o plano da parede e serem munidos de lacrimais em suas faces inferiores para rejeição da água;
- c) as juntas entre os elementos que compõem a proteção superior de muros e paredes devem ser estanques à água;

- d) para as proteções constituídas por elementos monolíticos, como em concreto, devem-se prever juntas de dilatação em intervalos de aproximadamente 10 m.

2.2.2.2.2 Canais contínuos

São classificadas como canais contínuos as projeções ou reentrâncias verticais que bloqueiam e coletam o fluxo de água que se move diagonalmente sobre uma superfície plana adjacente. Como exemplos temos colunas, elementos decorativos de fachadas (negativos e positivos), juntas de construção e expansão, entre outros (BONIN, 1993; PETRUCCI, 2000; VIEIRA, 2005). As figuras 64 e 65 ilustram esta condição de forma generalizada e fornece exemplos de detalhes e elementos dos edifícios que pertencem a esta categoria.

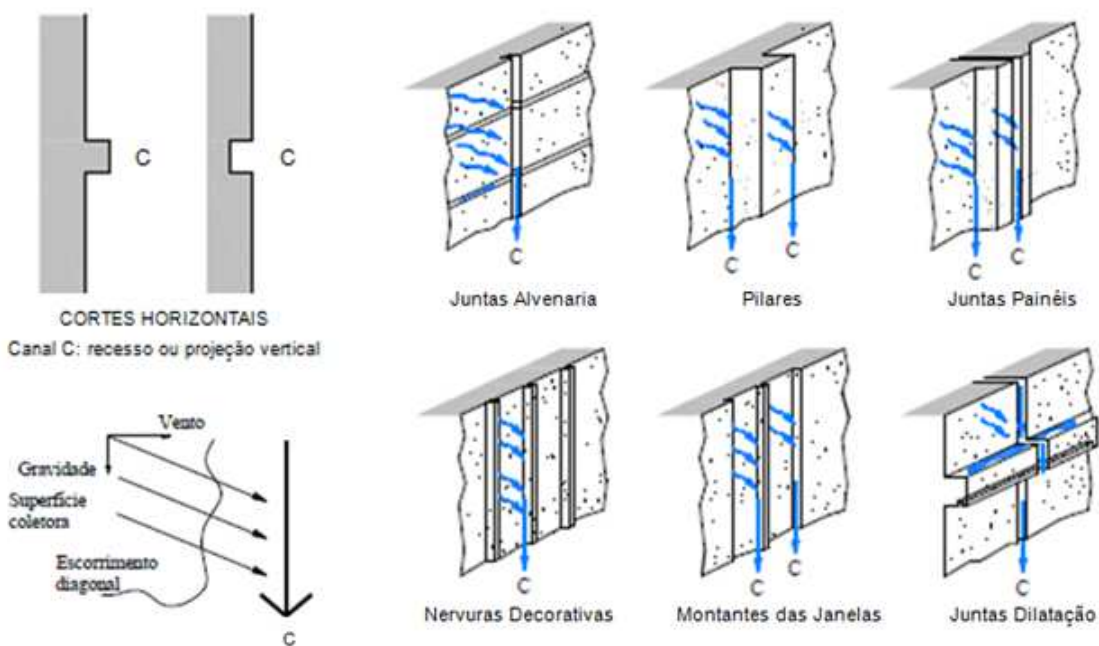


Figura 64: fluxos concentrados em canais contínuos (ROBINSON; BAKER, 1975)

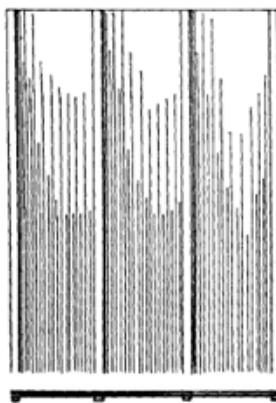


Figura 65: efeito dos canais contínuos no manchamento de fachada (VALLEJO, 1990)

2.2.2.2.3 Planos contínuos

São ditos planos contínuos a combinação de superfícies horizontais, verticais e inclinadas que permitem o fluxo de água sobre os elementos sem desprendimento (gotejamento) nos cantos horizontais externos. Como exemplos têm-se molduras verticais, horizontais e inclinadas, peitoris, entre outros (BONIN, 1993; PETRUCCI, 2000; VIEIRA, 2005). A figura 66 apresenta exemplos generalizados desta categoria e a figura 67 apresenta fachadas de edifícios nas quais tais detalhes estão evidentes.

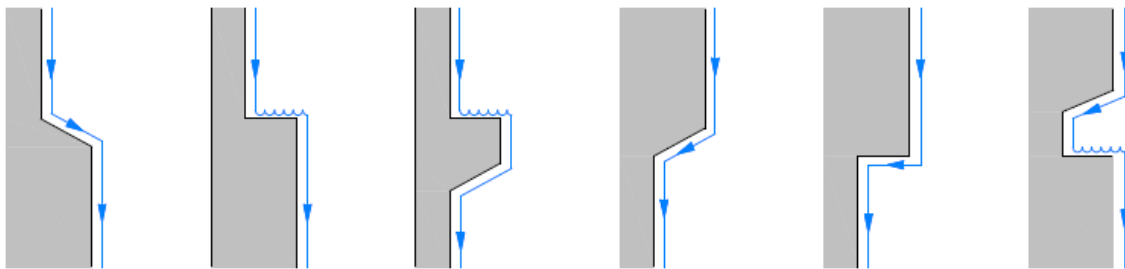


Figura 66: exemplos generalizados mostrando fluxo e possíveis represamentos em superfícies horizontais – cortes verticais (ROBINSON; BAKER, 1975)

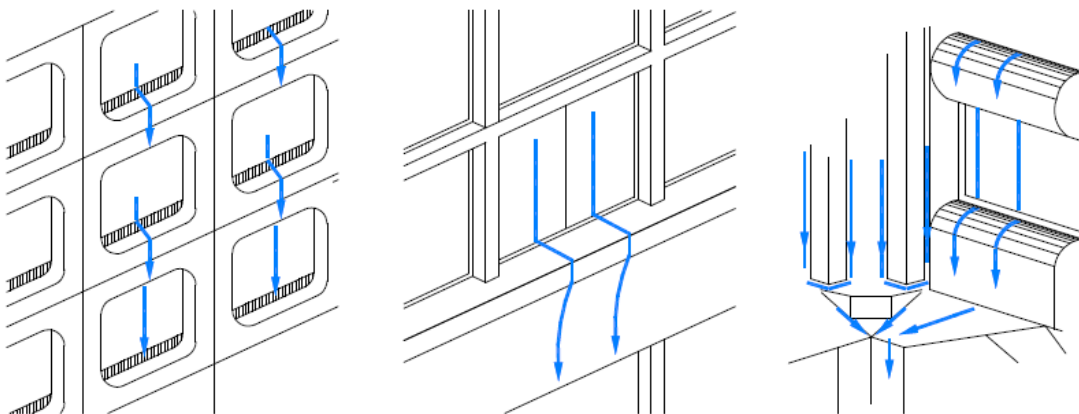


Figura 67: exemplos de fluxo de água de edifícios (escorrimento) (ROBINSON; BAKER, 1975)

2.2.2.2.4 Descontinuidades de planos e canais

Este fenômeno é a combinação das duas últimas situações descritas anteriormente. Os canais e planos combinados são identificados pela descontinuidade de planos e canais que determinam alterações na natureza do fluxo de água. Esta descontinuidade pode acarretar num aumento ou diminuição do fluxo de água, fazendo com que a água goteje ou aumentando ou diminuindo sua concentração, afetando suas qualidades de penetração ou erosivas (BONIN, 1993; PETRUCCI, 2000; VIEIRA, 2005). As figuras 68 a 70 apresentam generalizadas condições desta classificação.

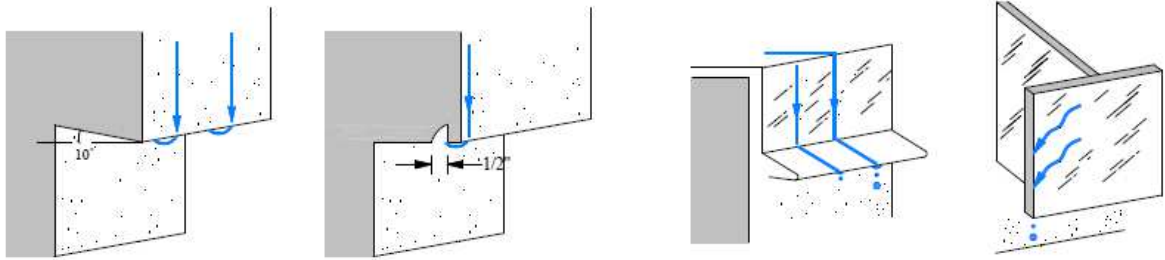


Figura 68: fluxo plano e fluxo canalizado sendo disperso em forma de gotejo devido a efeitos de descontinuidade (ROBINSON; BAKER, 1975)

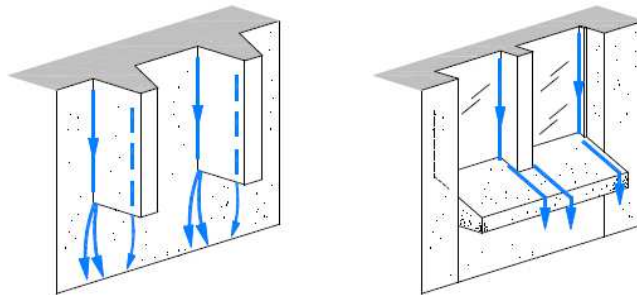


Figura 69: fluxo canalizado disperso em superfície plana (ROBINSON; BAKER, 1975)

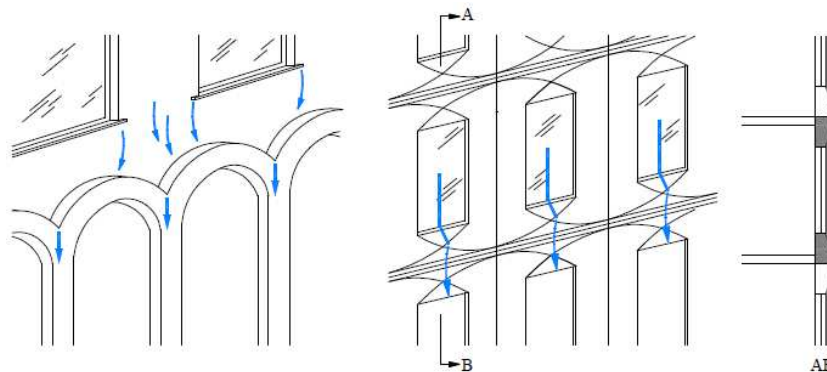


Figura 70: concentração e canalização de fluxo plano (ROBINSON; BAKER, 1975)

2.2.2.2.5 Diedros verticais

De acordo com Huberty (1980), Vallejo (1990) e Colegio (1996), os diedros verticais são capazes de modificar volume e forma das trajetórias do escoamento, segundo se trata de diedros côncavos (rincões) ou diedros convexos (esquinas), onde o escoamento da água se encontrará favorecido ou dificultado. Assim como sucede com os planos inclinados com relação à horizontal, a existência de um diedro côncavo ou convexo, com comportamentos característicos, conduzirá ao estudo diferenciado de cada um dos planos componentes (figura 71).

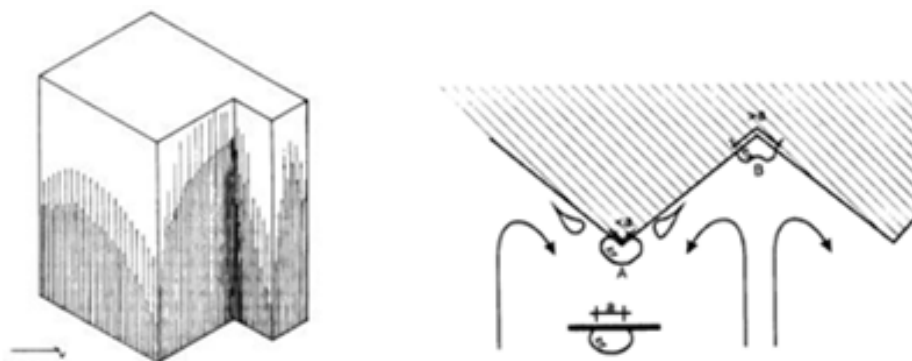


Figura 71: diedros côncavo (efeito de rincão) e convexo (efeito de aresta)
(HUBERTY, 1980; VALLEJO, 1990; COLEGIO, 1996)

O diedro côncavo (efeito de rincão) proporciona uma zona reentrante e protegida, difícil de penetrar pelo vento e a chuva de trajetória horizontal e rasante, o que o faz mais propício à deposição de tipo inercial que prefere condições de remanso, já que se dificulta o lavado direto, sempre que o diedro constitua uma reentrância a barlavento com respeito ao paramento geral da fachada. Como consequência do menor aporte de chuva incidente sobre o interior do diedro, a lâmina de escoamento será fraca e estará afetada pelo fenômeno denominado efeito de rincão, que consiste em uma diminuição da velocidade de frente de dita lâmina ao aproximar-se do rincão, já que nessa linha as gotas de água sofrem uma desaceleração causada pelo aumento da tensão de aderência superficial por aumento da superfície de contato; essa desaceleração se transmite por atrito às gotas contíguas que a acompanham em sua trajetória descendente.

O diedro convexo (efeito de aresta ou esquina) possui duas principais características que são, por um lado a aparição do efeito de aresta ou esquina, oposto ao efeito de rincão, que supõe uma evolução avançada da frente da lâmina de água escoada, na esquina, como consequência de uma diminuição da tensão de aderência por diminuição da área de contato das gotas de água no fio do diedro, e sua transmissão em cadeia às gotas adjacentes. Por conseguinte, o lavado será mais abundante e desenvolvido quanto mais próximo à aresta consideremos um ponto do paramento, originando uma marca característica se as condições de sujidade e exposição o permitem. Por outro lado, e excetuando-se o caso particular de vento formando idêntico ângulo com ambos planos do diedro, sucederá que um deles, o mais exposto, experimentará uma maior limpeza já que protegerá o contíguo e tanto mais quanto menor seja o ângulo diedro, pelo que dito plano manterá uma pátina homogênea em contraste com o plano exposto, possivelmente submetido a lavados diferenciados com certa intensidade de chuva, acusando-se então o efeito de aresta.

Perez (s/d.) acrescenta que convém ressaltar que os cantos dos edifícios a 90° ou a 270° , como encontro de panos de vedação, são regiões de alta turbulência que propiciam uma concentração de chuvas incidentes. Nestas regiões devem-se evitar juntas verticais. Quando inevitáveis, estas devem ser cuidadosamente projetadas e executadas.

3 PENETRAÇÃO OU INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM FACHADAS

Uma das mais antigas, senão a principal, função da habitação é proteger o homem das ações e intempéries climáticas. Concebendo o edifício como habitação, o mesmo é dotado de uma interface a qual separa o ambiente interno (protegido) do ambiente externo (desprotegido). Essa interface denominada de envelope do edifício deve resistir às solicitações impostas pelos agentes externos (vento, chuva, ruído, entre outros), impedindo ou, em alguns casos, amenizando a ação desses para o ambiente interno (BAUER, 1987; CHOI, 1998; LACASSE, 2003).

Resende e Medeiros (2004) acrescentam que as fachadas possuem funções relacionadas com a habitabilidade, como proteção térmica, acústica, estanqueidade e segurança estrutural, além de estética. De acordo com Blocken e Carmeliet (2000), Petrucci (2000) e Resende e Medeiros (2004), elas proporcionam o isolamento dos usuários dos edifícios frente aos inúmeros agentes agressivos, como forças de impacto, o vento, a chuva, a umidade, a poluição atmosférica, as plantas e microorganismos, a variação de temperatura, a radiação solar e as vibrações. Estes fatores têm um efeito sobre o umedecimento ou secagem dos elementos de construção, ou ambos.

Precipitação e as características do vento fornecem uma boa indicação do potencial de molhamento de um determinado local, considerando que os níveis de umidade atmosférica afetam o potencial de secagem. Temperatura externa, vento e umidade atmosférica são fatores que podem contribuir para a condensação nas paredes (LACASSE, 2003).

De acordo com Perez (1988b), os problemas de umidade podem manifestar-se nas edificações em todos os seus componentes construtivos e nem sempre a forma de manifestação do problema está associada a uma única causa. Em geral, há um conjunto de causas, sendo uma delas preponderante. Existe uma classificação, internacionalmente aceita, para o estudo e trabalhos sobre os problemas de umidade, com pequenas variações de um país para outro, onde se procura conciliar a origem do fenômeno e a forma como este se manifesta. Esta classificação é representada como segue:

- a) umidade de obra: originada nos trabalhos de construção dos edifícios, que se mantêm durante um certo período após o término da obra, diminuindo depois gradualmente até desaparecer;

- b) umidade de absorção e capilaridade: com origem na absorção da água existente no solo pelas fundações das paredes e pavimentos, migrando para as fachadas e pisos;
- c) umidade de infiltração: proveniente da água de chuva que penetra nos edifícios através dos elementos constituintes de sua envoltória exterior;
- d) umidade de condensação: proveniente do vapor de água que se condensa nas superfícies, ou no interior dos elementos de construção;
- e) umidade acidental: proveniente de vazamentos do sistema de distribuição e/ou coleta de águas da edificação.

A frequência no aparecimento destes tipos de umidade está associada à idade da construção, ao clima, aos materiais e técnicas construtivas aplicadas. Além disso, os problemas de umidade quando aparecem em uma edificação, geralmente acarretam grande desconforto e degradam a construção rapidamente, sendo as soluções, via de regra, dispendiosas (PEREZ, 1988b). Neste trabalho está sendo estudado o terceiro caso de umidade, referente à infiltração de água pelas fachadas através de chuva dirigida.

Segundo Perez (s/d.), nos edifícios brasileiros, os problemas mais frequentes de umidade são os de estanqueidade à água de infiltração. Os problemas de umidade devidos à infiltração representam grande parte dos problemas de umidade e originam-se principalmente nas fachadas (janelas, portas e paredes). Apesar da complexidade dos fenômenos envolvidos, a solução deles é mais fácil do que nos casos de condensação, principalmente se forem pensados já na fase de projeto. Por serem partes de um mesmo fenômeno, as penetrações de ar e de água pela envoltória do edifício não podem ser dissociadas. Se a penetração de ar não controlada pode causar grandes desconfortos e prejuízos do ponto de vista energético, a água é desastrosa quanto à degradação dos materiais. Em geral, as superfícies externas do edifício são preparadas para conviver com a umidade, enquanto as internas e o mobiliário não o são. Isto faz com que esses problemas tomem, às vezes, proporções alarmantes.

De acordo com Perez (1988b), os problemas de umidade poderiam ser sensivelmente reduzidos se, na fase de projeto, fossem considerados. Além disso, a idade da construção faz com que os problemas de umidade agravem-se, por outro lado, o usuário deveria sempre reformar o edifício diminuindo a frequência de alguns tipos de umidade.

Nos apartamentos, os problemas de umidade são mais frequentes devido ao fato de estarem em maiores alturas, sujeitos a maiores solicitações climáticas (vento, chuva, sol, entre outros) e devido a dificuldades dos trabalhos de manutenção, pois o usuário não tem acesso à fachada externa para fazer eventuais reparos, tendo que depender de serviços especializados (PEREZ, 1988b).

De acordo com Bauer (1987), a infiltração ou penetração da água através da fachada tem relação direta com 2 fatores:

- a) falta de avaliação do grau de exposição da parede ou agressividade do meio externo;
- b) erros de concepção da fachada quanto a solicitações a ela impostas.

A exposição da fachada, no caso da incidência da chuva sobre a parede é traduzida pelo grau de exposição da parede frente ao intemperismo. A ação das intempéries (chuva e vento) sobre uma parede é diferenciada da ação sobre outra parede devido a vários fatores como: orientação da fachada, dinâmica dos fluxos de ar, proteções de fachada, forma do edifício, entre outros (BAUER, 1987).

Perez (1988a) e Thomaz (1990) complementam que a espessura e rugosidade da parede, qualidade do tratamento superficial, presença de detalhes arquitetônicos na fachada, orientação da fachada levando em consideração a predominância dos ventos, intensidade e duração das chuvas, propriedades do material constituinte dos componentes (higroscopicidade, porosidade, absorção de água, entre outros) e mão-de-obra de execução são fatores que determinarão à quantidade de umidade que penetrará nas paredes.

Para se evitar a deterioração das superfícies do edifício expostas à chuva e diminuir os riscos de infiltrações de água, são necessários três procedimentos (MARSH, 1977):

- a) controlar efetivamente os fluxos de água que se acumulam na superfície;
- b) dissipar os fluxos de maiores concentrações;
- c) proteger as partes vulneráveis do edifício (aberturas, juntas, etc.) de serem molhadas pelos fluxos de água.

Garden (1963)¹⁹ citado por Bauer (1987), estudando os mecanismos de penetração da chuva, sistematizou a penetração na ocorrência simultânea de três condições: água sobre a superfície da parede, aberturas através das quais a água pode penetrar e forças que obrigam a água a penetrar pelas aberturas. Caso uma das condições acima não ocorra, a penetração de água não ocorre. A seguir são descritos cada um destes mecanismos.

3.1 ÁGUA SOBRE A SUPERFÍCIE DA PAREDE

A existência de água sobre a superfície da parede é suprida quando da ocorrência de precipitação. A incidência de chuva sobre a parede é maior ou menor em função das condições

107_____

¹⁹ GARDEN, G. K. Rain penetration and its control. Ottawa, Canadian Building Digest, 1963.

de exposição da parede (chuva, vento e orientação). Dependendo da absorção e da capacidade de “armazenagem” de umidade dos materiais de superfície, e também da taxa de precipitação de chuvas, um substancial filme de água pode ser formado e escoar pela face da parede. O escoamento desse filme é influenciado pela textura da superfície, gravidade e movimentação do ar ao longo da face da parede (GARDEN, 1963¹⁹ apud BAUER, 1987).

O comportamento da água oriunda de chuvas sobre a fachada poderá ocorrer em quatro estágios: o primeiro será pelo fenômeno de capilaridade, onde a umidade de chuvas pouco intensas é absorvida superficialmente pelos poros dos materiais que revestem a fachada (figura 72 (a)); após determinado período, ocorre a saturação destes poros (figura 72 (b)); sobre a superfície saturada, há uma formação de lâmina de água fina que escoar lentamente influenciando no aumento da absorção (figura 72 (c)); e escoamento de fluxo de água após absorção de umidade de chuva muito intensa (figura 72 (d)). Quanto maior a intensidade do vento maior será o poder de penetração de água na parede e a rugosidade do revestimento irá determinar a velocidade de escoamento. Assim, quanto mais rugosa for a superfície, mais lento será o escoamento e maior será a capacidade de absorção por capilaridade (SILVA, 2007; MELO JR., 2010).

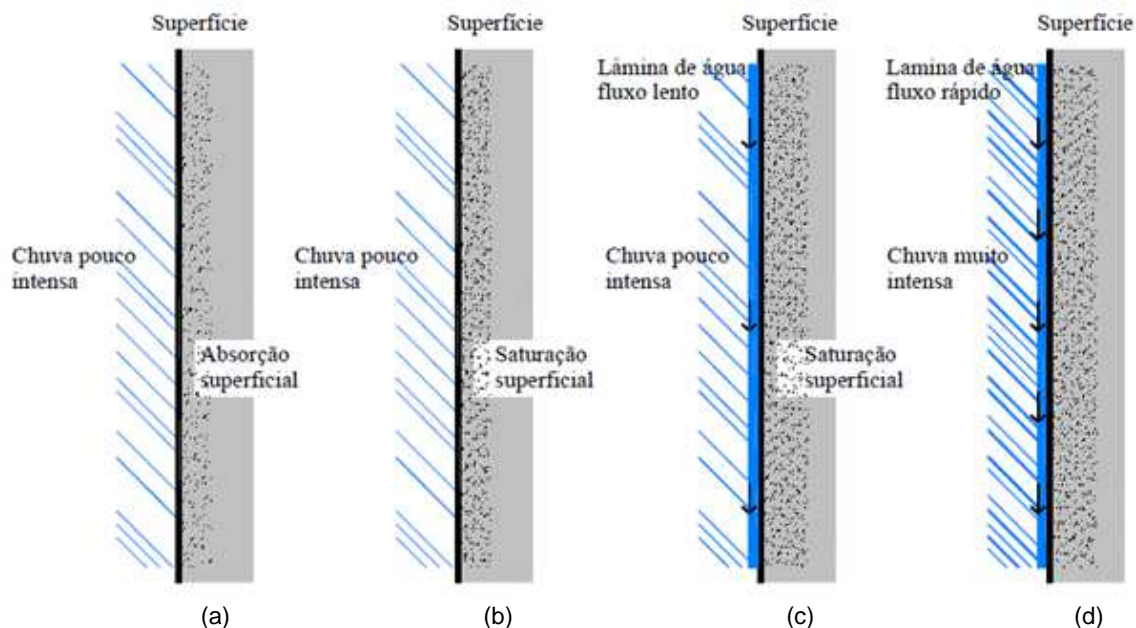


Figura 72: (a), (b), (c) e (d) fases de interação de água nas fachadas (MELO JR., 2010)

De acordo com Morales (1999), a água depositada nas superfícies do edifício tende a ser absorvida pelo revestimento. Tão logo a taxa de depósito exceda a taxa de absorção, a água começará a escorrer pela parede. Em superfícies não porosas (metal, vidro) a água escorrerá quase imediatamente após ter sido depositada. Em revestimentos externos a água da chuva depositada sobre suas superfícies pode penetrar pelos poros, fissuras, ou ambos. Esta umidade é mais tarde removida por evaporação natural efetivada por radiação solar, vento e baixa

umidade relativa do ar. A natureza do material e de sua superfície influi na velocidade de evaporação (BONIN, 1993).

Bonin (1993) acrescenta que revestimentos porosos absorvem e retêm água que, cessada a incidência, evapora. Quanto mais denso e impermeável o revestimento, menos água é retida, mas maiores são as probabilidades de ocorrência de fissuras (com conseqüente penetração de água através delas) e as dificuldades da evaporação da água que as tenha penetrado ou condensado entre a base e o revestimento.

Superfícies rugosas, além de quebrarem o fluxo da água espalhando-a (evitando pontos de concentração de umidade), possuem maior superfície de evaporação. Na resistência à penetração de água, revestimentos porosos com superfície de textura rugosa são normalmente mais eficientes do que revestimentos densos e pouco permeáveis com acabamento superficial liso (BONIN, 1993).

3.2 ABERTURAS ATRAVÉS DAS QUAIS A ÁGUA PODE PENETRAR

A segunda condição, de existência de aberturas para penetração da água é satisfeita devido à existência na face da parede de poros, fissuras, rachaduras, interfaces e juntas mal ligadas entre materiais ou elementos. Deve-se salientar que certas aberturas são características dos materiais, como é o caso dos poros (os materiais de construção são porosos em sua grande maioria), enquanto que outras aberturas são oriundas de defeitos que muitas vezes são difíceis de evitar, como é o caso das fissuras.

De acordo com Perez (s/d.), as aberturas do envelope, por onde a água de chuva pode passar, são os capilares, as fissuras características dos materiais, as trincas resultantes das movimentações do componente, as juntas entre os componentes e, às vezes, espaçamentos ou frestas resultantes das condições precárias de execução.

Para dar uma ordem de grandeza dimensional das aberturas, Polisseni (1986), apresenta a seguinte classificação (tabela 3):

Tabela 3: ordem de grandeza das aberturas (adaptado de POLISSENI, 1986)

Classificação	Dimensão
Poros / capilares	$0,280 \times 10^{-9} \text{ m} < \theta < 0,013 \times 10^{-3} \text{ m}$
Fissuras	$0,013 \times 10^{-3} \text{ m} < \theta < 1,000 \times 10^{-3} \text{ m}$
Rachaduras	$1,000 \times 10^{-3} \text{ m} < \theta$

θ = abertura

Também deve ser ressaltada a existência de aberturas de ordem construtiva, como é o caso das juntas de dilatação, as quais podem ser suscetíveis a penetração da água caso apresentem problemas de vedação (QUALITÉ CONSTRUCTION, 1995).

Com a racionalização e pré-fabricação do edifício como um todo e de suas partes, aumentou o número de juntas no envelope externo, os materiais envolvidos se diversificaram, as vedações tornaram-se menos espessas e os problemas de umidade aumentaram. Esta realidade irreversível obriga-nos a considerar com cuidado devido (ainda não despendido), as questões relativas à estanqueidade (PEREZ, s/d.).

Segundo o mesmo autor, as juntas são as partes mais vulneráveis do envelope do edifício sob qualquer exigência de desempenho que se analise e em particular do ponto de vista da estanqueidade ao ar ou à água. O desempenho da junta quanto à estanqueidade depende, dentre outros, dos fatores que seguem:

- a) desenho da junta;
- b) material que constitui a junta;
- c) localização da junta no envelope do edifício;
- d) das forças externas que atuam sobre as juntas e outras.

Em decorrência dos pontos de turbulência do vento ocorrerem principalmente nas esquinas de paredes e próximo à cobertura, há um aumento do índice de chuva incidente nestes pontos. Logo, não recomenda-se a previsão de juntas próximo destes locais (BONIN, 1993).

No caso de paredes de alvenaria, a penetração da chuva, na maioria dos casos, ocorre através de pequenas fissuras entre argamassa e o tijolo, sendo que ela se torna bastante permeável caso receba incidência direta da chuva. A resistência à penetração da chuva depende de se obter um perfeito enchimento das juntas e uma boa ligação entre a argamassa e o tijolo (BAUER, 1987).

3.3 FORÇAS QUE OBRIGAM A ÁGUA A PENETRAR PELAS ABERTURAS

A terceira condição, segundo Bauer (1987), define que não ocorrerá penetração da água, mesmo que exista água sobre a superfície da parede e aberturas, a menos que uma força ou combinação de forças seja capaz de induzir a água a penetrar através das aberturas. A perturbação causada por uma força em uma abertura de pequena dimensão (poro), cheia de água é demonstrada na figura 73.

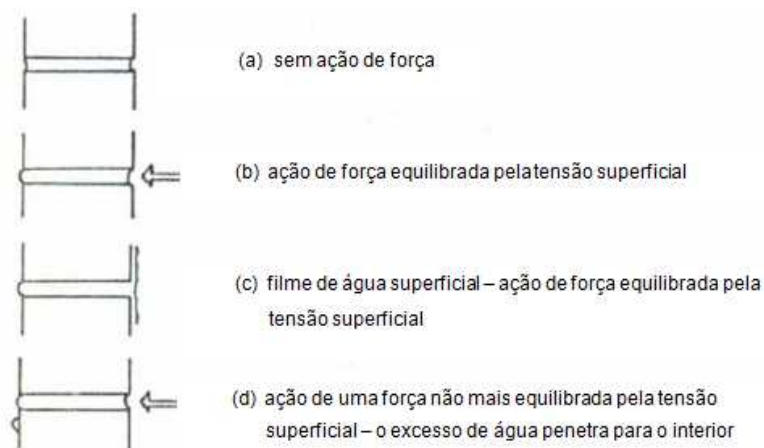


Figura 73: ação de uma força em um capilar cheio de água (BAUER, 1987)

As forças que contribuem para penetração da água podem ser classificadas da seguinte maneira (BAUER, 1987):

- a) forças de absorção capilar;
- b) forças de gravidade;
- c) forças externas (forças de inércia das gotas incidentes sobre as fachadas e pressão do vento).

Todas essas forças podem atuar combinadas ou em separado produzindo a penetração da água da chuva. A faixa em que cada força é mais significativa é delimitada através das dimensões das aberturas, diferenciando-se, portanto os processos ou mecanismos de penetração da chuva (BAUER, 1987).

De acordo com Perez (s/d.), as forças que atuam na superfície do envelope do edifício são: a energia cinética das gotas de chuva; a ação capilar; a gravidade e as diferenças de pressão entre os ambientes que se encontram interligados pelas aberturas. A combinação dessas forças depende da geometria e do espaçamento entre as bordas da junta. Observa-se que na combinação da pressão do vento com a ação capilar a resultante é sensivelmente maior do que a ação do vento ou da capilaridade isoladamente.

Garden (1963)¹⁹, citado por Bauer (1987) e Melo Jr. (2010), representou esquematicamente os fatores que influenciam a penetração da água da chuva pelas fachadas e associou a eles faixas dimensionais (aberturas) para as quais eles se tornam relevantes (figura 74).

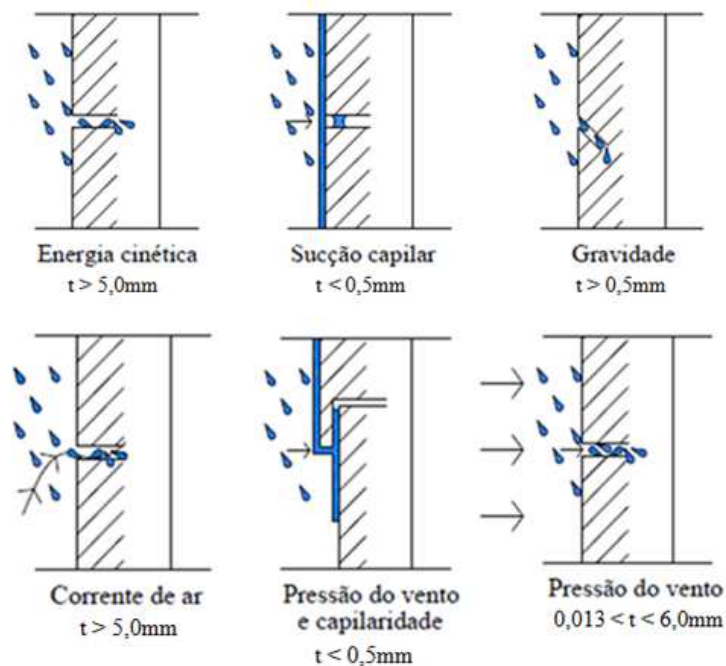


Figura 74: forças produzindo penetração da chuva (adaptado de BAUER, 1987; MELO JR., 2010)

O processo de absorção por capilaridade tem início quando a chuva incide na superfície da fachada. Caso a taxa de incidência da chuva seja menor que o potencial de absorção da parede, a quantidade de água absorvida depende somente da intensidade da chuva, e toda chuva incidente é absorvida. Se a taxa de absorção é menor que a da chuva, forma-se um filme de água sobre a superfície, e a água em excesso escorre para baixo devido à força gravitacional (GIVONI, 1981²⁰ apud BAUER, 1987).

A força de gravidade agindo na água sobre a superfície da fachada ou nas aberturas de maior dimensão irá propiciar a penetração da água desde que o fluxo de água encontre uma abertura em posição descendente. O fluxo de água também pode ser dirigido para o interior das aberturas através de irregularidades na superfície (BAUER, 1987).

Sob a influência do vento, as gotas de chuva podem se aproximar da parede com considerável velocidade, sendo que, devido a sua energia cinética, é possível que penetrem em largas aberturas. Caso a abertura seja pequena, a gota irá se subdividir em gotículas devido ao impacto, sendo que essas pequenas gotas podem penetrar pela abertura. Entretanto, caso não exista abertura suficiente, a água não pode penetrar por esse meio exclusivamente. As forças de vento atuam no sentido de empurrar a água que está na superfície para o interior da parede através de poros e fissuras (aberturas). Basicamente a pressão externa devido ao vento é maior que a interna favorecendo-se a penetração da água (BAUER, 1987).

De acordo com Silva (2007) e Melo Jr. (2010) a influência da pressão do vento sobre a infiltração age somatoriamente à presença da força de gravidade e de capilaridade, ao meio poroso, capilar e nas juntas defeituosas (figura 75).

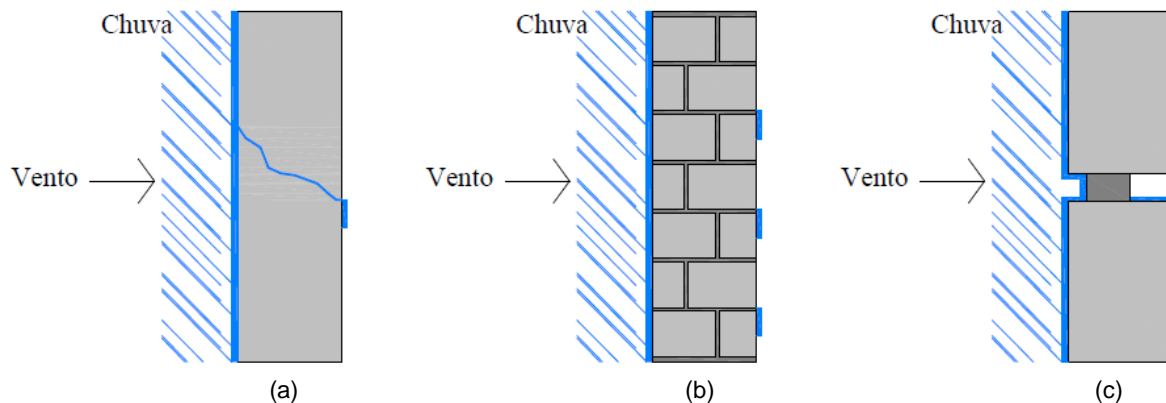


Figura 75: tipos de infiltração em paredes: (a) infiltração de água por gravidade associada à capilaridade e pressão do vento; (b) infiltração de água através de meio poroso associada à capilaridade e à ação da pressão do vento e (c) água da chuva sob ação do vento em junta defeituosa (MELO JR., 2010)

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

A pesquisa experimental é caracterizada como uma sequência de ensaios estruturada, a qual possibilita a determinação entre a causa e o efeito de um determinado fenômeno. Esta metodologia é destinada a otimizar o planejamento, a execução e a análise dos resultados de um experimento (VARGAS, 1985; RIBEIRO; TEN CATEN, 2003; CERVO; BERVIAN, 2006).

O programa experimental desta pesquisa objetiva analisar a influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no que se refere ao manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida.

4.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

A correta execução de um planejamento experimental possibilita uma maior eficiência em termos de informação, se comparado com qualquer outra sequência de ensaios não estruturada. Permite, ainda, otimizar os recursos e o tempo empregado na pesquisa, viabilizando em termos técnicos e econômicos a realização do projeto (MARCONI; LAKATOS, 2002; RIBEIRO; TEN CATEN, 2003; DAL MOLIN et al., 2005; CERVO; BERVIAN, 2006).

Ribeiro e Ten Caten (2003) acrescentam que o planejamento experimental permite ao pesquisador encontrar o ajuste ótimo entre os parâmetros do sistema, além de maximizar o seu desempenho, reduzir os custos e torná-lo pouco suscetível aos fatores não controláveis ou fatores de ruído. Os parâmetros do sistema são definidos como os fatores que podem influenciar no desempenho do produto, processo ou serviço e são subdivididos em fatores controláveis, fatores de ruído e fatores constantes.

Segundo os mesmos autores, de forma geral, os fatores controláveis (variáveis independentes), podem exercer influência sobre as variáveis de resposta, portanto, é interessante controlá-los no processo, para avaliar o seu efeito nas variáveis de resposta. Já os fatores de ruído são variáveis que não podem ser controladas, sendo responsáveis pelo erro experimental e pela ocorrência de variabilidade residual no sistema. Os fatores constantes são aquelas variáveis que não foram escolhidas como prioritárias no desenvolvimento da pesquisa, entretanto, devem ser mantidas constantes, uma vez que influenciam nas variáveis de resposta do sistema.

Desta forma, quando o planejamento experimental é executado corretamente, assegura a realização de uma sequência estruturada de ensaios, permitindo a realização da análise adequada dos resultados, com embasamento científico (RIBEIRO; TEN CATEN, 2003). Nesta etapa, foram definidas as variáveis de resposta e os fatores controláveis a serem utilizados na pesquisa, assim como a matriz experimental.

4.1.1 Variáveis de resposta

As variáveis de resposta por definição são aquelas responsáveis pelos aspectos que podem ser medidos, sendo também responsáveis pelo seu desempenho. Essas variáveis permitem quantificar as características referentes à qualidade do produto (RIBEIRO; TEN CATEN, 2003).

Inicialmente, as edificações em modelos reduzidos foram ensaiadas somente com vento. Dessa forma, as variáveis de resposta dos ensaios são os **coeficientes de pressão do vento** (gradientes de pressão), medidos através de sensores em determinados pontos pré-estabelecidos da fachada. Posteriormente, foram ensaiadas em túnel de vento com inserção de aspersores de água simulando chuva dirigida, para comparar os resultados com os obtidos somente com a ação do vento. Dessa forma a variável de resposta desta segunda etapa se deu por **análise visual do manchamento da fachada**, onde foram utilizados papéis sensíveis a água, que mudam de cor ao entrarem em contato com líquido.

4.1.2 Fatores ou variáveis controláveis

Os fatores controláveis ou variáveis controláveis por definição são os parâmetros do processo eleitos a serem estudados, em diferentes níveis no experimento (RIBEIRO; TEN CATEN, 2003). Nesta pesquisa as variáveis de controle estudadas são:

- a) volumetria (forma arquitetônica da edificação);
- b) entorno (altura das edificações vizinhas);
- c) ângulo de incidência do vento na fachada;
- d) fachadas analisadas.

Outras variáveis existentes na pesquisa, mas que foram mantidas fixas nos experimentos (fatores constantes) são: velocidade do vento incidente, umidade relativa do ar, temperatura do ar e tamanho das gotas de chuva (faixa/espectro de tamanho de gotas).

Conforme explicado na revisão bibliográfica, existem também outras variáveis que atuam no manchamento de fachadas, mas que não foram objeto de estudo nesta pesquisa. São elas: partículas de poluição atmosférica, radiação solar e materiais de revestimento das fachadas.

4.1.3 Níveis fixos

Julgou-se importante entender e avaliar a influência de cada um dos fatores controláveis, em diferentes níveis, bem como, a interação existente entre eles. Devido à complexidade dos ensaios, se optou por diminuir a quantidade de níveis fixos para os ensaios com interação vento-chuva.

4.1.3.1 Níveis fixos dos ensaios de vento

Para os ensaios somente com vento os níveis fixos são:

- a) volumetria: 3 formas arquitetônicas;
- b) entorno: 3 alturas das edificações vizinhas;
- c) ângulo de incidência do vento na fachada: 7 ângulos;
- d) fachadas analisadas: 4 fachadas da edificação;

Para a primeira etapa de ensaios resultaram 63 combinações diferentes (entre volumetria, entorno e ângulo de incidência do vento). Considerando-se as quatro fachadas, se tem 252 combinações.

4.1.3.2 Níveis fixos dos ensaios de vento e chuva (chuva dirigida)

Para os ensaios com vento e chuva os níveis fixos são:

- a) volumetria: 3 formas arquitetônicas;
- b) entorno: 3 alturas das edificações vizinhas;
- c) ângulo de incidência do vento na fachada: 1 ângulo;
- d) fachadas analisadas: 1 fachada da edificação;

Devido à complexidade dos ensaios desta segunda etapa, houve a necessidade de se reduzir o experimento, resultando em 9 combinações diferentes.

4.2 MÉTODO DE ENSAIO – PROJETO DOS MODELOS E TÉCNICA EXPERIMENTAL

A seguir serão descritas as escolhas dos níveis fixos das variáveis analisadas e explicado onde e como foi realizada a parte experimental desta pesquisa.

4.2.1 Definição dos níveis fixos das variáveis controláveis

4.2.1.1 Volumetria das edificações

Para a determinação das volumetrias das edificações que seriam estudadas neste trabalho, realizou-se uma pesquisa nos meios de divulgação (internet, jornais e anúncios) das principais construtoras e incorporadoras da cidade de Porto Alegre/RS buscando as formas arquitetônicas dos edifícios que estão sendo construídos, que foram recentemente entregues ou que estão em fase de lançamento. Como existem inúmeros tipos de volumetrias de edifícios, optou-se por estudar apenas três dentre as formas de edificações que vêm sendo bastante construídas. São elas: volumetria prismática, volumetria com avanço central (ou recuos laterais) e volumetria com avanços laterais (ou recuo central).

Para simplificar a execução dos modelos a serem ensaiados e uma vez que se está estudando a volumetria em si das edificações, se optou por não considerar as aberturas (janelas e portas). Além disso, não foram objetos de estudo nesta pesquisa detalhes arquitetônicos como sacadas, molduras e outros tipos de avanços ou recuos.

A altura das edificações estudadas foi de 46 m, o que corresponde a aproximadamente 16 pavimentos. Esta é uma das maiores alturas de prédios que vem sendo executados em Porto Alegre/RS e que é permitida pela legislação municipal vigente.

As dimensões das edificações estudadas são apresentadas na figura 76. Para a execução dos ensaios foram construídos modelos reduzidos em escala. A partir de agora será utilizada neste trabalho a seguinte nomenclatura para os modelos construídos:

- a) forma 1: Modelo 1 (forma quadrada);
- b) forma 2: Modelo 2 (forma de cruz);
- c) forma 3: Modelo 3 (forma de H).

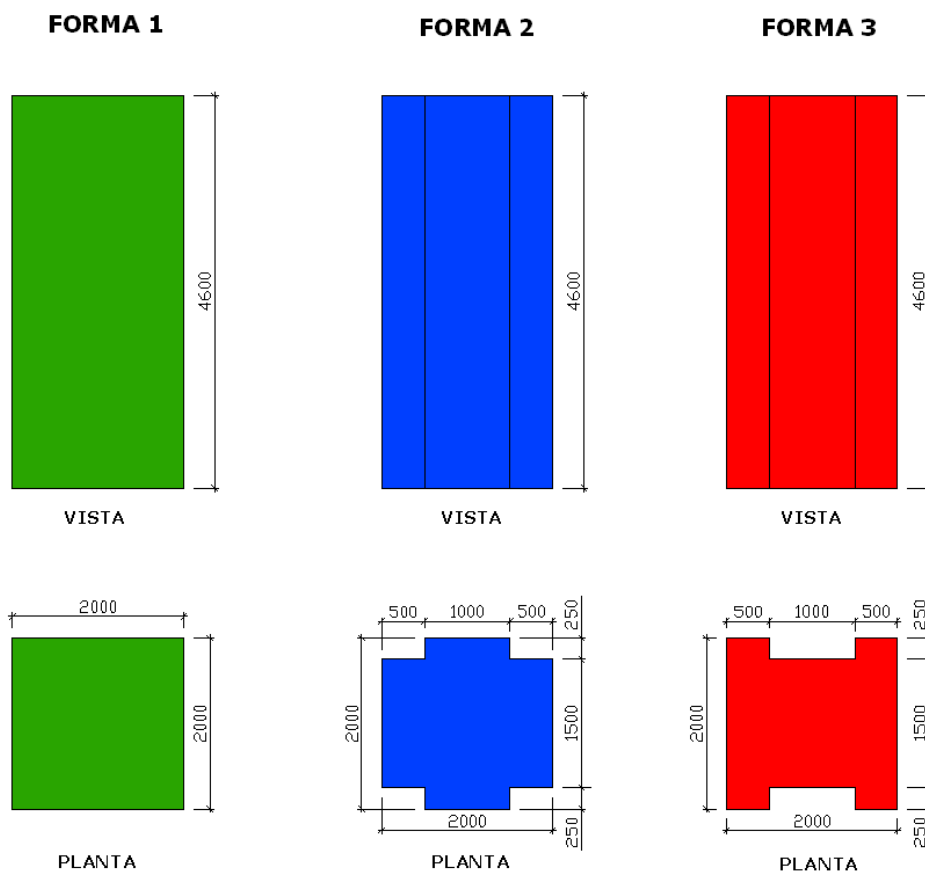


Figura 76: dimensões das edificações estudadas (medidas em cm)

4.2.1.2 Altura das edificações de entorno

Para as edificações de entorno se considerou apenas uma volumetria, a prismática (forma quadrada), por ser a mais básica, uma vez que a volumetria do entorno não é objeto de estudo. As alturas das edificações de entorno escolhidas para serem estudadas foram de 23 m e 46 m, que correspondem aproximadamente a 8 e 16 pavimentos, respectivamente. Estas alturas correspondem a meia-altura e a mesma altura das edificações estudadas. Além disso, as medidas da base são as mesmas.

Para a execução dos ensaios foram construídos modelos reduzidos em escala das edificações de entorno com as dimensões apresentadas na figura 77.

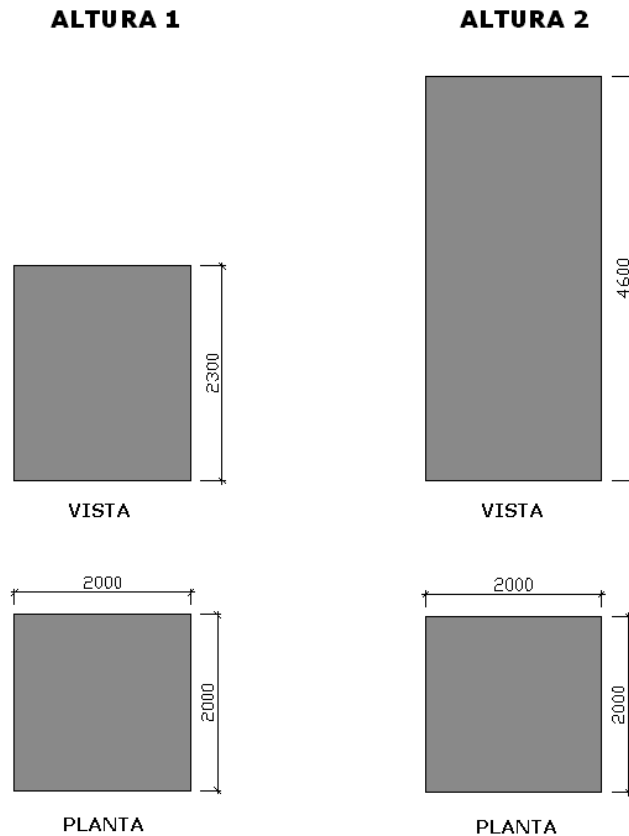


Figura 77: volumetrias e dimensões das edificações de entorno (medidas em cm)

A partir de agora será utilizada neste trabalho a seguinte nomenclatura para os modelos de entorno:

- a) sem edificações de entorno: Entorno 1 (edificação principal isolada);
- b) altura 1: Entorno 2 (edificações de entorno com altura na metade do prédio principal);
- c) altura 2: Entorno 3 (edificações de entorno com mesma altura do prédio principal).

A distância considerada, em escala real, das edificações de entorno entre si e das edificações de entorno com a edificação principal é de 15 m. Estas distâncias podem ser visualizadas para o Modelo 1 na figura 78, e são as mesmas para os Modelos 2 e 3.

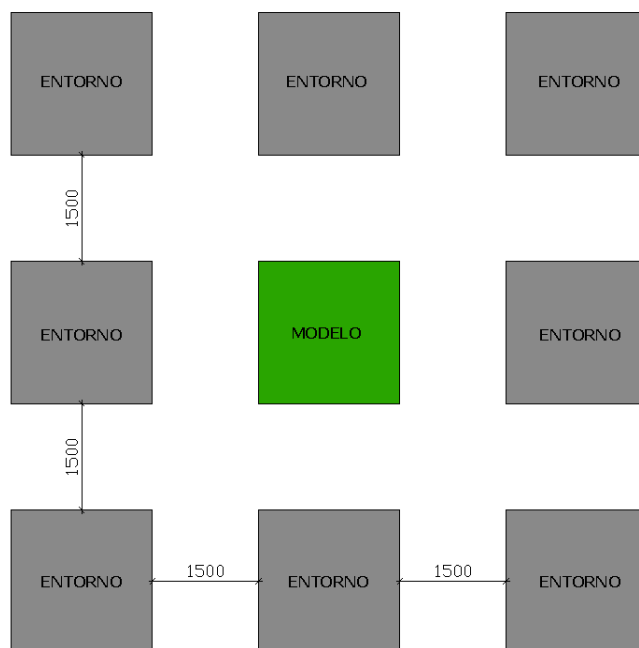


Figura 78: configuração das distâncias entre edificações (medidas em cm)

4.2.1.3 Ângulo de incidência do vento na fachada

Para os ensaios de vento, foram ensaiados 7 ângulos de incidência de vento com relação à fachada principal para cada configuração, variando a cada 15° , de 0° a 90° . Não foram ensaiados ângulos maiores que 90° uma vez que as fachadas são simétricas.

Devido à complexidade dos ensaios de chuva dirigida, se ensaiou apenas 1 ângulo de incidência de vento com relação à fachada principal para cada configuração. Optou-se por realizar os ensaios apenas com o ângulo de 0° , ou seja, vento incidindo perpendicularmente à fachada.

4.2.1.4 Fachadas analisadas

Para os ensaios de vento, foram colocadas tomadas de pressão distribuídas ao longo das 4 fachadas das edificações. Desta forma, foi possível analisar como ocorre a distribuição das pressões do vento ao longo de todo o prédio.

Para os ensaios de chuva dirigida, como só foram realizados ensaios com vento incidindo a 0° , foram analisadas apenas a fachada principal de cada edificação para cada configuração.

4.2.2 Ensaios em túnel de vento

Diversos túneis têm sido construídos ou adaptados por laboratórios com a finalidade de aplicação na construção civil. Podem-se citar os túneis para fins aeronáuticos e os que simulam a camada limite atmosférica (CLA) para estudar os efeitos do vento em edificações. Os túneis aerodinâmicos, para fins aeronáuticos, geram ventos uniformes de muito baixa turbulência e de velocidades mais altas que os túneis de vento aplicados à construção civil (BLESSMANN, 1990).

Os ensaios deste trabalho foram realizados no túnel de vento de camada limite Professor Joaquim Blessmann do Laboratório de Aerodinâmica das Construções (LAC) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

O Túnel de Vento Professor Joaquim Blessmann (figura 79) é um túnel de camada limite e circuito fechado e está em operação desde 1977. O túnel tem viabilizado, ao longo destes anos, o desenvolvimento de estudos de efeitos estáticos e dinâmicos em construções civis em geral, além de determinar características de ventos simulados entre outras pesquisas como: efeitos sobre usuários, efeitos sobre transeuntes, veículos e plantas, dispersão de poluentes, estudo de características de camada limite, ventilação interna, estudos hidráulicos por via aerodinâmica, entre outros (MACHADO, 2008).



Figura 79: vista externa da câmara de ensaios do túnel de vento Professor Joaquim Blessmann da UFRGS

4.2.2.1 Características do túnel de vento

A câmara de ensaios do túnel de vento Professor Joaquim Blessmann apresenta as características a seguir (MACHADO, 2008):

- a) relação comprimento/altura $\approx 10,3$;
- b) dimensões médias = 1,39 m x 0,90 m x 9,32 m (largura x altura x comprimento);
- c) velocidade máxima de escoamento com vento uniforme e suave sem a presença de modelos ≈ 44 m/s (160 km/h);
- d) número de Reynolds do túnel = $2,6 \times 10^6$;
- e) motor elétrico que acionam as hélices do ventilador = 100 HP.

4.2.2.2 Mesas para fixação dos modelos

O túnel de vento dispõe atualmente de quatro mesas giratórias (cada uma com suas aplicações específicas) para fixação dos modelos, conforme mostra a figura 80 (MACHADO, 2008):

- a) mesa M-I: ensaios do tipo aerodinâmico no piso do túnel, em camada limite de pequena espessura e escoamento de baixa turbulência; ensaios para a indústria da construção com geradores de turbulência na câmara de simuladores. Nesta mesa, o modelo pode ser colocado tanto na vertical como na horizontal;
- b) mesa M-II: ensaios do tipo aeronáutico no eixo do túnel, ensaios para a indústria da construção civil com blocos colocados no piso e/ou geradores de turbulência na câmara de simuladores ou com jatos transversais;
- c) mesa M-III: esta mesa possui grande rigidez e foi construída especificamente para estudos dinâmicos em estruturas de grande alçamento, tais como torres, chaminés, mastros, entre outros;
- d) mesa M-IV: utilizada para ensaios de modelos que necessitam ser reproduzidos em maior escala, ensaios para baixas velocidades do vento.

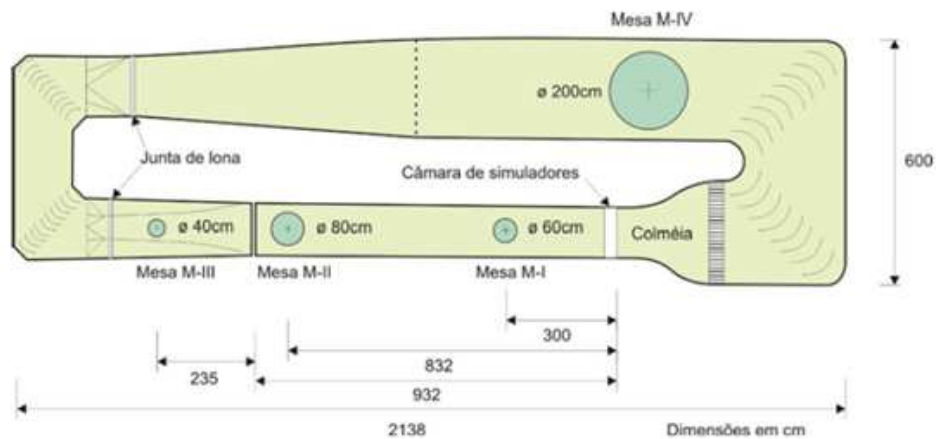


Figura 80: planta baixa do circuito aerodinâmico do túnel de vento Professor Joaquim Blessmann da UFRGS (MACHADO, 2008)

A primeira etapa do experimento, quando os modelos reduzidos foram ensaiados somente com vento, foi realizada na mesa M-II (figura 81 (a)). A segunda etapa, com vento e aspersores de água simulando chuva dirigida, foi realizada na mesa M-IV do túnel de vento (figura 81 (b)).



(a)



(b)

Figura 81: (a) mesa M-II e (b) mesa M-IV do túnel de vento onde os ensaios foram realizados

4.2.2.3 Simulação no vento no túnel

O túnel de vento Professor Joaquim Blessmann permite a simulação das principais características de ventos naturais. De acordo com Davenport e Isyumov (1967)²¹ citados por Loredo-Souza (2007), a simulação correta das características do vento natural em túneis de vento é requisito básico para aplicações em Engenharia Civil, sem a qual os resultados obtidos podem se afastar consideravelmente da realidade.

Os perfis verticais das velocidades médias para os ventos ensaiados são apresentados na figura 82.

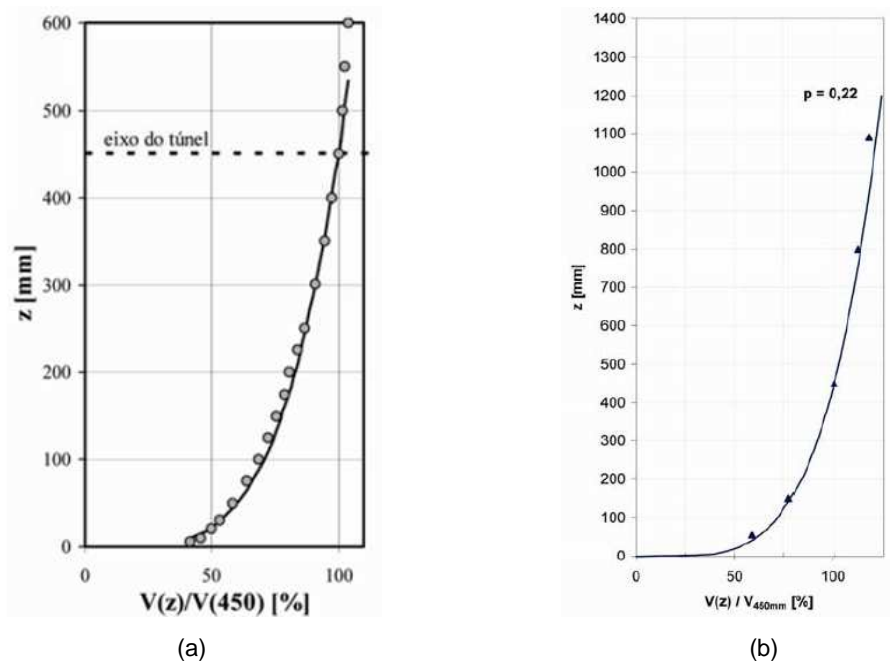


Figura 82: perfis verticais de velocidades médias do vento deslizante e turbulento simulado com (a) expoente $p=0,23$ na mesa M-II e (b) $p=0,22$ na mesa M-IV (LOREDO-SOUZA, 2007)

Os perfis de velocidades médias mostrados são expressos, aproximadamente, pela lei potencial:

$$\bar{V}(x_3) / \bar{V}_{ref} = (x_3 / x_{ref})^p \quad (\text{equação 6})$$

Sendo: $\bar{V}(x_3)$ = velocidade média na altura x_3 , \bar{V}_{ref} = velocidade média em uma altura de referência, x_3 = altura do topo da edificação (neste caso 46 m), x_{ref} = altura de referência no túnel e p = expoente da lei potencial de variação de S_2 (fator de rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno).

Foram simulados ventos com perfis potenciais de velocidades médias de expoentes $p = 0,23$ (ensaios com vento) e $p = 0,22$ (ensaios com vento e chuva). De acordo com a NBR 6123

²¹ DAVENPRT, A. G., ISYUMOV, N. The Application of The Boundary Layer Wind Tunnel to the Prediction of Wind Loading. In: Proceedings of the International Research Seminar: Wind Effects on Buildings and Structures. Ottawa, Canadá, v. 1, 1967, p. 201-230.

(1988), estes correspondem a terrenos com rugosidade entre as categorias III e IV. As características das rugosidades dos terrenos simulados são as seguintes:

- a) categoria III: terreno plano ou ondulado com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3 m. Exemplos: granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos, fazendas com sebes e/ou muros e subúrbios a considerável distância do centro, com casas baixas e esparsas.
- b) categoria IV: terreno coberto por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10 m. Esta categoria inclui também zonas com obstáculos maiores e que ainda não possam ser consideradas na categoria V. Exemplos: zonas de parques e bosques com muitas árvores; cidades pequenas e seus arredores; subúrbios densamente construídos de grandes cidades e áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas.

Optou-se por testar o modelo para ventos incidentes com estas características uma vez que com o correr dos anos há tendência de aumento da rugosidade das zonas construídas devido a prováveis futuras urbanizações, o que poderá causar alguma redução nos esforços estáticos em algumas zonas da edificação. Por outro lado, possíveis efeitos nocivos de vizinhança, pela construção futura de outras edificações nas cercanias imediatas da edificação em estudo, podem ocorrer (LOREDO-SOUZA, 2007).

4.2.3 Realização dos ensaios

A pesquisa foi dividida em duas etapas: *Etapa 1 – Estudo da Ação do Vento Sobre as Fachadas* e *Etapa 2 – Estudo da Interação Vento-Chuva Sobre as Fachadas*. A primeira etapa teve por finalidade o entendimento do escoamento devido ao vento em torno dos modelos de edificações estudados, etapa básica para que pudesse entender o comportamento isolado do vento no manchamento das fachadas e posteriormente para analisar seu efeito juntamente com a chuva. Após este entendimento foi realizada a simulação física da chuva combinada com vento.

A determinação das características do escoamento em volta de estruturas em túnel de vento se faz necessária quando não se tem estudos teóricos suficientes para se predizer o comportamento dessas estruturas. Podem ser utilizados modelos em escala natural ou modelos em escala reduzida, dependendo do espaço disponível no interior do túnel (MACHADO, 2008).

4.2.3.1 Ensaios com vento (estudo da ação do vento sobre as fachadas)

Esta fase corresponde à Etapa 1 do estudo e teve por finalidade o entendimento do escoamento devido ao vento em torno das edificações.

4.2.3.1.1 Modelos reduzidos

Para esta etapa se executou um projeto dos modelos reduzidos das edificações (Modelo 1 - forma quadrada, Modelo 2 - forma de cruz e Modelo 3 - forma de H), na escala 1:250. O projeto contemplou o dimensionamento das peças do modelo reduzido e o posicionamento das tomadas de pressão. O posicionamento destes pontos de medição com a numeração dos mesmos é apresentado no Apêndice A que se encontra no CD anexo a este trabalho. O Modelo 1 possui 140 tomadas de pressão ao longo das 4 fachadas, o Modelo 2 possui 140 tomadas e o Modelo 3 possui 160 tomadas. Pode-se observar que o espaçamento entre tomadas de pressão reduz à medida que ficam mais próximas ao topo e às laterais das fachadas, pois são os locais onde se tem maiores pressões, uma vez que são por onde o vento escapa do obstáculo horizontal e verticalmente mudando de trajetória no topo e nas laterais da face a barlavento.

Os modelos em escala reduzida foram confeccionados em chapas de acrílico com espessuras de 2 mm cortadas a laser. Cada modelo foi confeccionado com uma cor diferente de acrílico (modelo 1 – verde, modelo 2 – azul, modelo 3 – vermelho) para facilitar a visualização. As peças internas de sustentação dos modelos (cambotas) foram confeccionadas em acrílico cristal (incolor) de 4 mm de espessura. Na figura 83 podem ser visualizadas estas peças.

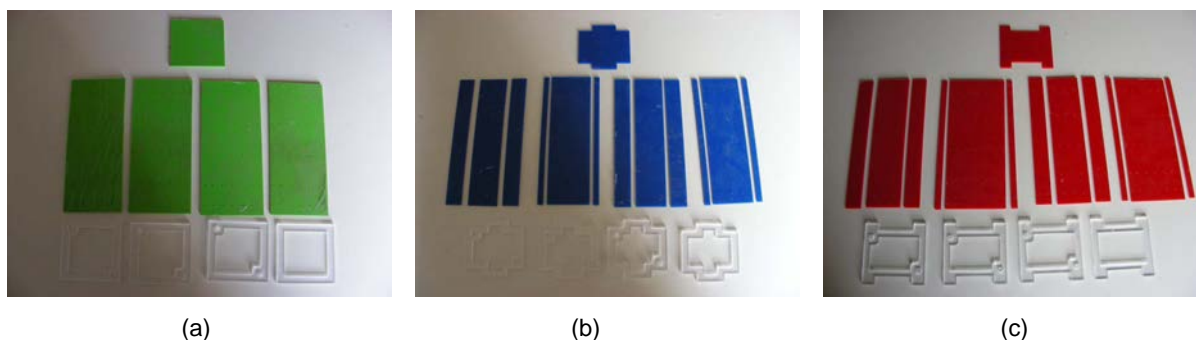


Figura 83: peças em acrílico dos modelos reduzidos para ensaio com vento: (a) modelo 1, (b) modelo 2 e (c) modelo 3

Os modelos foram montados na oficina do Laboratório de Aerodinâmica das Construções da UFRGS. A figura 84 mostra a etapa de montagem dos modelos com as mangueiras de tomadas de pressão numeradas.

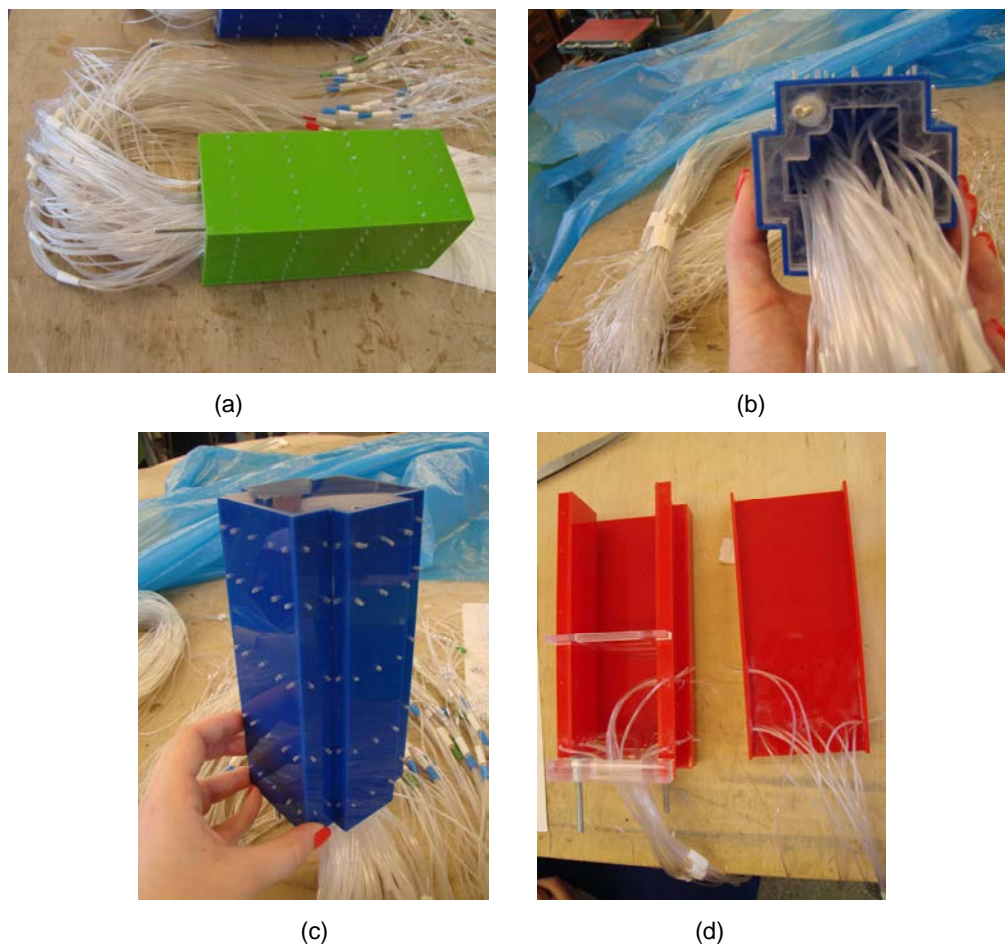


Figura 84: (a), (b), (c) e (d) confecção dos modelos reduzidos para ensaio com vento

Os modelos reduzidos dos entornos foram confeccionados em madeira, assim como a mesa giratória com marcação das posições (figura 85).

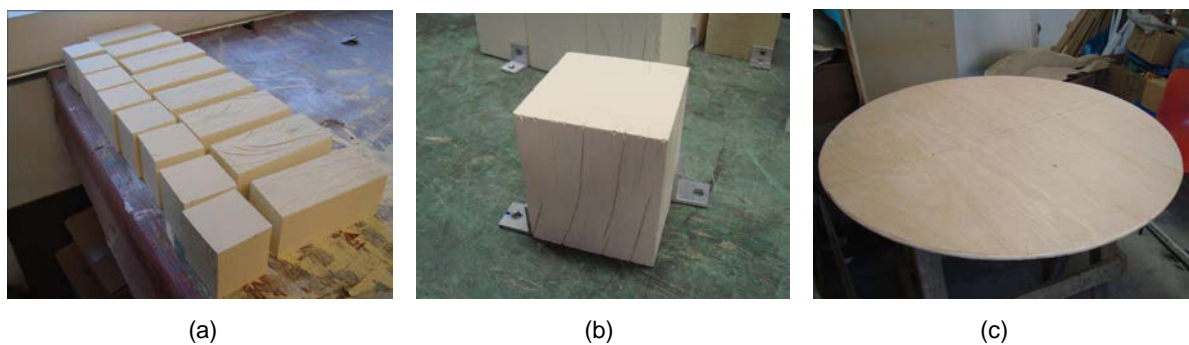
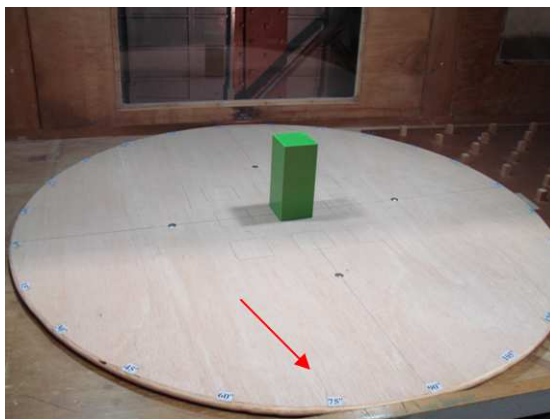
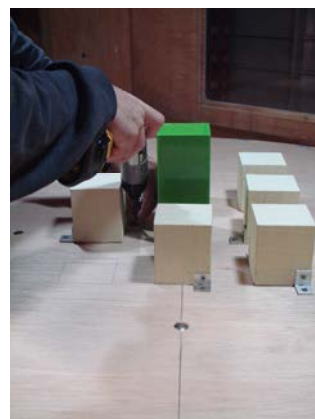


Figura 85: (a), (b) modelos reduzidos dos entornos e (c) mesa giratória do ensaio de vento

A mesa giratória foi marcada com os ângulos de 0 a 360° a cada 15° (figura 86 (a)). Os modelos foram aparafusados na mesa de madeira para fixação (figura 86 (b)).



(a)



(b)

Figura 86: (a) mesa com ângulos de incidência do vento marcados e (b) fixação dos modelos reduzidos

4.2.3.1.2 Simulação do vento e realização dos ensaios

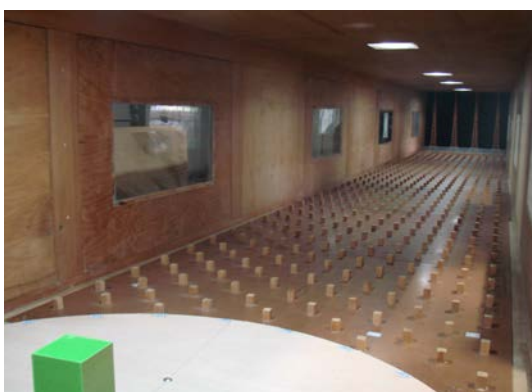
Os modelos reduzidos foram ensaiados na mesa M-II do túnel de vento de camada limite (figura 87) onde foram medidas os coeficientes de pressões do vento (gradientes de pressão) através de transdutores de pressão (figura 88).



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 87: (a) e (b) parte externa e (c) e (d) parte interna do túnel de vento



Figura 88: (a) e (b) mangueiras ligadas aos transdutores de pressão do túnel de vento

Para controle, em cada experimento se preencheu uma planilha de ensaio (figura 89) com os valores variação de pressão interna do túnel (Δp_a) em mmH_2O , temperatura em $^\circ\text{C}$ e pressão atmosférica em mmHg e horário de execução, além de um check-list de execução dos ensaios. A figura 90 mostra os equipamentos utilizados para medição de temperatura e pressão atmosférica.

Nome do amostra	α	Δp (mmH ₂ O)	T ($^\circ\text{C}$)	Pa (mmHg)	Hora (hh:mm)	Observações
PCP_Ensaio_Mod 1_Entrada 1_023_30Hz_030.0a	3	2,3	23,2	76,7	10:15	
PCP_Ensaio_Mod 1_Entrada 1_023_30Hz_074.0a	11	2,3	23,2	76,7	10:25	
PCP_Ensaio_Mod 1_Entrada 1_023_30Hz_030.0a	30	2,3	23,2	76,7	10:35	
PCP_Ensaio_Mod 1_Entrada 1_023_30Hz_043.0a	43	2,3	23,2	76,7	10:45	
PCP_Ensaio_Mod 1_Entrada 1_023_30Hz_060.0a	60	2,3	23,2	76,7	10:55	
PCP_Ensaio_Mod 1_Entrada 1_023_30Hz_073.0a	73	2,3	23,2	76,7	11:05	
PCP_Ensaio_Mod 1_Entrada 1_023_30Hz_090.0a	90	2,3	23,2	76,7	11:15	

Figura 89: planilha de ensaio



Figura 90: termômetro digital e barômetro

A operação do túnel de vento é controlada através de um programa computacional e os resultados de pressão obtidos são salvos em arquivo digital (figura 91).



(a)



(b)

Figura 91: (a) e (b) bancada de operação do túnel de vento com programas computacionais

Os ensaios de vento são bastante rápidos. Cada canal de leitura (correspondendo a cada tomada de pressão) registra 8.192 valores de pressão do vento em apenas 16 segundos. O programa computacional calcula o valor médio de pressão para cada tomada, o valor máximo, o valor mínimo e rms (equivalente ao desvio padrão quando a média é zero). Com estes valores é gerada uma planilha de coeficientes de pressão para cada tomada, que serão apresentadas no capítulo seguinte.

4.2.3.1.3 Configuração dos ensaios (matriz experimental)

O programa experimental dos ensaios de vento foi realizado completo, sem necessidade de fracioná-lo. A figura 92 ilustra as configurações dos ensaios que foram realizados.

		MATRIZ EXPERIMENTAL (ENSAIOS VENTO)						
		VENTO						
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
MODELO 1	ENTORNO 1							
	ENTORNO 2							
	ENTORNO 3							
MODELO 2	ENTORNO 1							
	ENTORNO 2							
	ENTORNO 3							
MODELO 3	ENTORNO 1							
	ENTORNO 2							
	ENTORNO 3							

Figura 92: matriz experimental da etapa 1 da pesquisa

4.2.3.2 Ensaios com chuva dirigida (estudo da interação vento-chuva sobre as fachadas)

Esta fase corresponde à Etapa 2 do estudo e teve por finalidade o entendimento do comportamento dos dois fluidos (vento e chuva) atuando simultaneamente sobre as fachadas das edificações.

Conforme citado na justificativa da realização desta pesquisa, os problemas associados à chuva conduzida pelo vento têm sido estudados por alguns autores, embora em grande parte dos casos somente em escala natural. A simulação física da interação vento-chuva nas fachadas de edificações usando modelos reduzidos em túnel de vento de camada limite foi desenvolvida em 1994 (SURRY et al., 1994) no Canadá e, posteriormente, em 2007 foi realizado no túnel de vento da UFRGS um estudo com objetivo de simular a incidência de chuva no interior de um ginásio de esportes (LOREDO-SOUZA, 2007). Não se tem conhecimento de outros estudos semelhantes que tenham sido publicados.

As dificuldades deste tipo de ensaio são devidas à complexidade de se projetar e desenvolver os mecanismos de simulação da chuva natural, além de projetar e desenvolver técnicas para permitir a medição da quantidade de chuva que impacta as diversas áreas das superfícies externas da edificação.

4.2.3.2.1 Modelos reduzidos

Para esta etapa se executou um novo projeto dos modelos reduzidos das edificações na escala 1:150. Todos foram confeccionados em chapas de acrílico cor branco com espessuras de 3 mm cortadas a laser. As peças internas de sustentação dos modelos (cambotas) foram confeccionadas em acrílico cristal (incolor) de 4 mm de espessura e as bases em acrílico cristal (incolor) de 6 mm de espessura.

Os modelos reduzidos dos entornos foram confeccionados também em acrílico cristal (incolor) de 6 mm de espessura. Optou-se por executar os modelos de entorno transparentes para poder se visualizar a chuva através deles durante os ensaios. A espessura foi definida para que não houvesse necessidade de se colocar cambotas para sustentação dos modelos, o que atrapalharia a visualização através deles.

Os modelos foram montados na oficina do Laboratório de Aerodinâmica das Construções da UFRGS e os ensaios da Etapa 2 foram realizados na mesa M-IV do túnel de vento. A mesa giratória desta etapa foi confeccionada em madeira pintada. Como os modelos ficaram pesados o suficiente para não se movimentarem durante os ensaios no túnel de vento, não houve a necessidade de serem aparafusados na mesa.

4.2.3.2.2 Simulação da chuva

Os problemas envolvidos na simulação da chuva dirigida em escala reduzida são diversos e significativos, sendo alguns deles (LOREDO-SOUZA, 2007):

- a) a chuva possui uma variada gama de propriedades em termos de intensidade e dimensão das gotas. Para uma mesma tempestade, a intensidade da precipitação pode variar bastante. Além disso, a estatística relacionada à combinação vento-chuva tem recebido pouca atenção se comparada aos dois fenômenos isolados. Isto torna a interpretação dos resultados oriundos da modelagem em escala reduzida um delicado problema, especialmente em termos das características de longo prazo relacionadas à chuva conduzida pelo vento;
- b) a interação entre as gotas d'água carregadas pelo vento e os padrões de escoamento em torno da edificação requerem a satisfação de certas leis de semelhança para garantir que a interação está modelada adequadamente;
- c) produzir um modelo de queda de chuva requer o emprego de dispositivos tipo aspersores ou sprays que propiciem uma distribuição dos tamanhos das gotas conforme os requerimentos da modelagem. Uma complicação prática é a evaporação das gotas durante sua queda;
- d) são necessárias técnicas especiais para determinar a distribuição da deposição de água sobre a superfície da edificação;
- e) após a água atingir a edificação, haverá migração sob ação da gravidade, do próprio vento, de tensões superficiais ou mesmo por capilaridade. Alguns detalhes destes processos estão além da capacidade física de modelagem e, portanto, requerem outras abordagens.

A adimensionalização das equações do movimento das gotas de chuva interagindo com o escoamento do vento em torno de uma edificação revela que a simulação através de modelos reduzidos pode ser realizada se as seguintes condições de semelhança forem seguidas (RAIMONDO; HASSSZ, 1978²² apud LOREDO-SOUZA, 2007):

- a) simulação das características do vento natural;
- b) manutenção da razão constante entre a velocidade terminal da gota (V_t) e a velocidade do vento (V), definindo assim o ângulo de queda da chuva induzida pelo vento;

²² RAIMONDO, S.; HAASZ, A. A. Single and Dual Air Curtain Jets Used as Protection Against Precipitation. University of Toronto UTIAS Report 227, 1978.

- c) manutenção do número de Froude (V^2/Hg – velocidade do vento, V , ao quadrado, dividida pela altura do modelo ou edificação, H , e pela aceleração da gravidade, g).

Segundo os mesmos autores, a adoção do ângulo correto de queda da chuva induzida pelo vento garante a qualidade da simulação sob condições estáveis. Este requerimento engloba um conjunto de diversos parâmetros, incluindo o coeficiente de arrasto da gota de chuva, sua forma e tamanho, pois todos estes contribuem para o eventual equilíbrio que determina V_t .

A simulação das características do vento natural é uma técnica bem desenvolvida no LAC e em diversos laboratórios de outros países. Este, bem como os requisitos b e c, foram satisfeitos adotando-se a escala geométrica de 1/150. De acordo com Surry et al. (1994), os requerimentos de modelagem admitem que a intensidade da precipitação em si não é um parâmetro importante.

O equipamento utilizado nos ensaios foi o mesmo desenvolvido pelo LAC para outro estudo (LOREDO-SOUZA, 2007), o qual simulou fielmente a chuva, obtendo resultados satisfatórios. Para simulação da chuva se utilizou um conjunto de aspersores (figura 93 (a) e (b)) escolhidos para reproduzir as dimensões das gotas. Estes aspersores foram dispostos de forma a criar uma distribuição uniforme da chuva simulada. O conjunto de aspersores era ligado a um cilindro contendo água (figura 94 (a)), ligado a um compressor, que permitia que a água que passasse pela tubulação não contivesse bolhas de ar. Era possível ajustar manualmente a pressão de aspersão de água e o controle do acionamento e desligamento dos aspersores era feito por um registro. A tubulação de água que ligava os aspersores foi conectada a um aspirador de pó e água (figura 94 (b)), para que no momento em que se desejasse interromper a aspersão de água, esta fosse imediatamente sugada e não continuasse respingado.



(a)

(b)

Figura 93: (a) equipamento de simulação de chuva (instalações internas no túnel de vento) e (b) aspersores de água utilizados nos ensaios

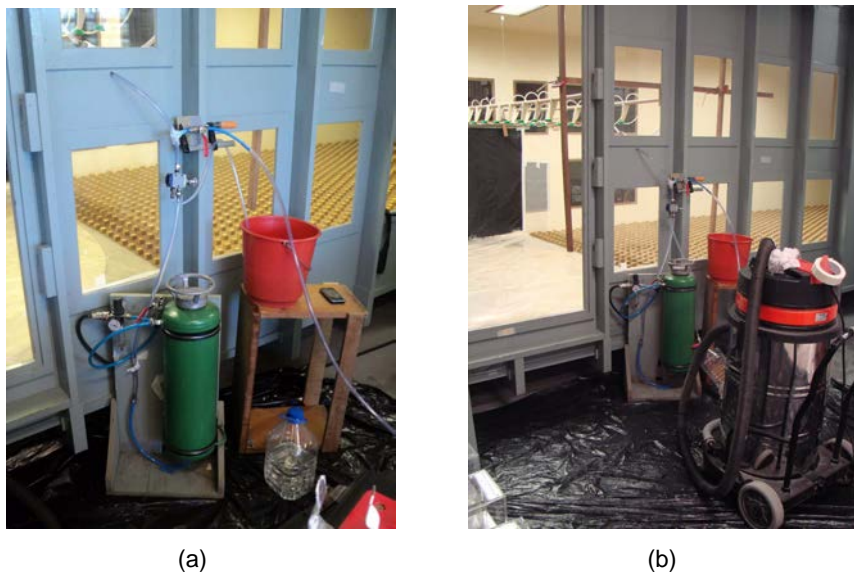


Figura 94: (a) e (b) equipamento de simulação de chuva (instalações externas ao túnel de vento)

4.2.3.2.3 Realização dos ensaios

Primeiramente foram realizados diversos testes com o propósito de calibração dos ensaios. Foram testadas diversas pressões de aspersão de água, velocidades do vento e tempo de realização do ensaio combinados, buscando a melhor configuração que representasse a chuva dirigida. Estes testes iniciais foram necessários e muito importantes.

Precisou-se primeiramente encontrar a pressão de água ideal, de modo que a maior parte das gotas caísse verticalmente sobre os modelos, simulando a chuva sem vento. Posteriormente, testaram-se diversas velocidades de vento, de forma que esta não fosse tão alta para que as partículas de água não fossem carregadas pelo vento por uma longa distância, que poderia sair do limite do túnel de vento, nem não tão baixa que não fosse capaz de arrastar as partículas, formando um ângulo de incidência da chuva dirigida. Com isso, se definiu a posição ideal para dispor os modelos no túnel. Por fim, calibrou-se o tempo de realização do ensaio, para que o mesmo não fosse tão longo de modo que a água chegasse a escorrer pelas fachadas e sim, suficiente para se visualizar os resultados.

Após esta fase de testes iniciais, se chegou à conclusão que a melhor pressão de água dos aspersores era de 4 Bar, a velocidade do túnel de vento expressa pela frequência do inversor do túnel de 3 Hz e o tempo de incidência da chuva na fachada de 5 segundos (que representa um tempo maior em escala real) . A velocidade do vento final de ensaio foi da ordem de 25 km/h na altura do topo da edificação em escala natural.

4.2.3.2.4 Medições da deposição de chuva sobre a fachada

Quando da realização dos ensaios para o primeiro estudo com chuva dirigida realizado no LAC em 2007, diversas técnicas foram avaliadas para a medição da deposição da chuva, entre elas sensores eletrostáticos e diversos tipos de papéis sensíveis à água.

Segundo Loredou-Souza (2007), dos diversos tipos de papéis sensíveis à água que foram testados, o mais preciso foi um papel fabricado na Suíça, importado da TeeJet, uma divisão da Spraying Systems Co. (empresa com sede nos Estados Unidos). Este papel muda sua cor de amarelo para azul escuro imediatamente com o contato com a água (figura 95). Cobrindo-se a edificação com este papel obtém-se um panorama visual imediato da área molhada resultante da ação da chuva. Este procedimento permite a simulação simultânea de todo o espectro de dimensões das gotas de chuva, mas para isso os testes devem ser de curta duração para que os padrões referentes à área molhada possam ser identificados.

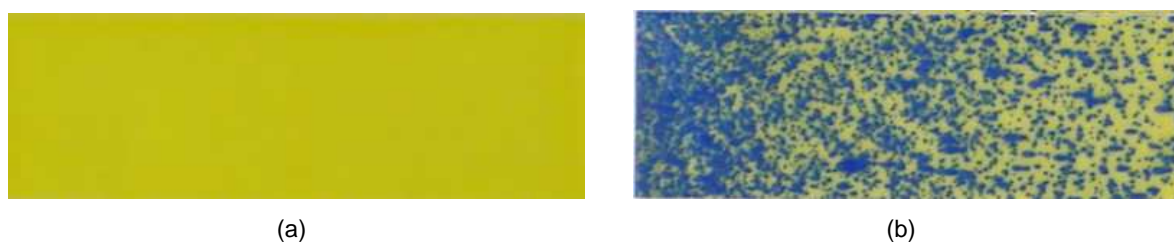


Figura 95: papel sensível à água (a) antes da exposição e (b) após exposição à água

Uma grande vantagem deste papel sensível à água, é que quando as gotas entram em contato com o ele, elas não se espalham ou borram o papel. Dessa forma é possível se visualizar exatamente as áreas que foram afetadas pela chuva dirigida. Este papel é ainda sensível o suficiente para permitir a contagem das gotas e o cálculo de tamanhos de gota no tamanho da mancha sobre o papel, caso necessário. Este papel sensível à água é vendido em pacotes com 50 unidades com dimensões de 26 x 76 mm.

O papel utilizado é tão sensível à água que a própria umidade do ar, das mãos, dos equipamentos de corte e fixação e da respiração alteram a sua cor rapidamente. Desta forma, o procedimento de colagem do papel sobre os modelos era uma etapa muito delicada dos ensaios. Os papéis foram colados com fita dupla face sobre os modelos e era necessário se utilizar luvas e máscara, além do procedimento ser realizado em sala climatizada (figura 96). Os modelos só eram retirados da sala climatizada no momento do ensaio, diretamente para o túnel de vento.



Figura 96: colagem nos papéis sensíveis à água nas fachadas dos modelos em sala climatizada

4.2.3.2.5 Configuração dos ensaios (matriz experimental)

Devido ao alto custo para realização dos experimentos com chuva dirigida e à dificuldade de realização dos mesmos, houve a necessidade de se diminuir a etapa 2 da pesquisa. Sendo assim, o programa experimental foi realizado somente para o ângulo de 0° . A figura 97 ilustra as configurações dos ensaios que foram realizados.

MATRIZ EXPERIMENTAL (VENTO E CHUVA)			
VENTO = 0°			
	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
ENTORNO 1			
ENTORNO 2			
ENTORNO 3			

Figura 97: matriz experimental da etapa 2 da pesquisa

Após a realização dos ensaios previstos na matriz experimental acima, foram realizados alguns extras (complementares), com fim exploratório. A figura 98 apresenta suas configurações.

ENSAIOS EXTRAS COM CHUVA					
	ENSAIO 1	ENSAIO 2	ENSAIO 3	ENSAIO 4	ENSAIO 5
CONFIGURAÇÃO					
DESCRIÇÃO	Modelo 1, entorno 1, só chuva, sem vento	Modelo 1, entorno 1, vento a 0°, com velocidade do vento superior	Modelo baixo, entorno 3, vento a 0°	Modelo 2, entorno 1, vento a 30°	Modelo 3, entorno 1, vento a 15°

Figura 98: ensaios extras realizados na etapa 2 da pesquisa

O ensaio extra 1 foi realizado somente com chuva, caindo verticalmente sobre a edificação, simulando uma situação hipotética sem vento. O ensaio 2 foi realizado com vento e chuva, porém aumentando a velocidade do vento na fachada. O ensaio 3 foi realizado com uma edificação baixa (mesmas dimensões das edificações do Entorno 2) com Entorno 3. Por fim, optou-se por realizar 2 ensaios com chuva dirigida com ângulo de incidência diferente de 0° para verificar como se comporta o molhamento nas reentrâncias e saliências dos modelos 2 e 3. Com posse dos resultados dos ensaios somente com vento, escolheu-se um ângulo para cada modelo que apresentavam situações mais críticas de sobrepressões de vento. Desta forma, o ensaio 4 foi realizado com o Modelo 2 e ângulo de vento de 30° e o ensaio 5 com o Modelo 3 e ângulo de 15°, ambos com entorno 1.

Além destes cinco ensaios extras, foi realizado um último teste a fim de simular e visualizar em maior escala o descolamento do vento e da chuva da aresta horizontal superior da edificação.

Os resultados dos ensaios são apresentados no capítulo 5.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de vento e de chuva dirigida. É realizada também uma análise desses resultados, buscando verificar se os objetivos propostos foram atingidos através dos ensaios realizados.

5.1 ENSAIOS COM VENTO

Os resultados dos coeficientes de pressão do vento obtidos nos ensaios realizados são apresentados no Apêndice B que se encontra no CD anexo a este trabalho. Os valores em preto são coeficientes positivos e correspondem a resultados de sobrepressão do vento nas tomadas. Já os valores em vermelho são coeficientes negativos e correspondem a resultados de sucção do vento nas tomadas.

Com posse dos resultados de coeficientes obtidos, os mesmos foram divididos em faixas de sobrepressão e sucção. A figura 99 apresenta a legenda de cores das faixas de coeficientes adotada. Valores positivos (tons de azul) correspondem a resultados de sobrepressão do vento e valores negativos (tons de amarelo, laranja e vermelho) correspondem a resultados de sucção do vento.


LEGENDA	
SOBREPRESSÃO	SUCÇÃO
 $CP > 1,2$	 $CP < -3,5$
 $1,0 < CP \leq 1,2$	 $-3,0 > CP \geq -3,5$
 $0,8 < CP \leq 1,0$	 $-2,5 > CP \geq -3,0$
 $0,6 < CP \leq 0,8$	 $-2,0 > CP \geq -2,5$
 $0,4 < CP \leq 0,6$	 $-1,5 > CP \geq -2,0$
 $0,2 < CP \leq 0,4$	 $-1,0 > CP \geq -1,5$
 $0,0 < CP \leq 0,2$	 $-0,5 > CP \geq -1,0$
 $CP = 0,0$	 $0,0 > CP \geq -0,5$

Figura 99: legenda de cores dos coeficientes de pressão do vento

Os resultados dos coeficientes foram plotados nos modelos em 3D para uma melhor visualização dos resultados. Nas figuras 100 a 106 são apresentados os resultados por fachada de cada modelo para cada ângulo de vento.

		RESULTADOS ENSAIOS DE VENTO				
		Vento 0°				
		Imagem do Ensaio	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4
MODELO 1	ENTORNO 1					
	ENTORNO 2					
	ENTORNO 3					
MODELO 2	ENTORNO 1					
	ENTORNO 2					
	ENTORNO 3					
MODELO 3	ENTORNO 1					
	ENTORNO 2					
	ENTORNO 3					

Figura 100: resultados de coeficientes de pressão do vento com vento a 0°

		RESULTADOS ENSAIOS DE VEIITO				
		Vento 15°				
		Imagem do Ensaio	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4
MODELO 1	EITORNIO 1					
	EITORNIO 2					
	EITORNIO 3					
MODELO 2	EITORNIO 1					
	EITORNIO 2					
	EITORNIO 3					
MODELO 3	EITORNIO 1					
	EITORNIO 2					
	EITORNIO 3					

Figura 101: resultados de coeficientes de pressão do vento com vento a 15°

RESULTADOS ENSAIOS DE VENTO						
Vento 30°						
	Imagem do Ensaio	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4	
MODELO 1	ENTORNO 1					
	ENTORNO 2					
	ENTORNO 3					
MODELO 2	ENTORNO 1					
	ENTORNO 2					
	ENTORNO 3					
MODELO 3	ENTORNO 1					
	ENTORNO 2					
	ENTORNO 3					

Figura 102: resultados de coeficientes de pressão do vento com vento a 30°

		RESULTADOS ENSAIOS DE VENTO				
		Vento 45°				
		Imagem do Ensaio	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4
MODELO 1	EINTORNO 1					
	EINTORNO 2					
	EINTORNO 3					
MODELO 2	EINTORNO 1					
	EINTORNO 2					
	EINTORNO 3					
MODELO 3	EINTORNO 1					
	EINTORNO 2					
	EINTORNO 3					

Figura 103: resultados de coeficientes de pressão do vento com vento a 45°

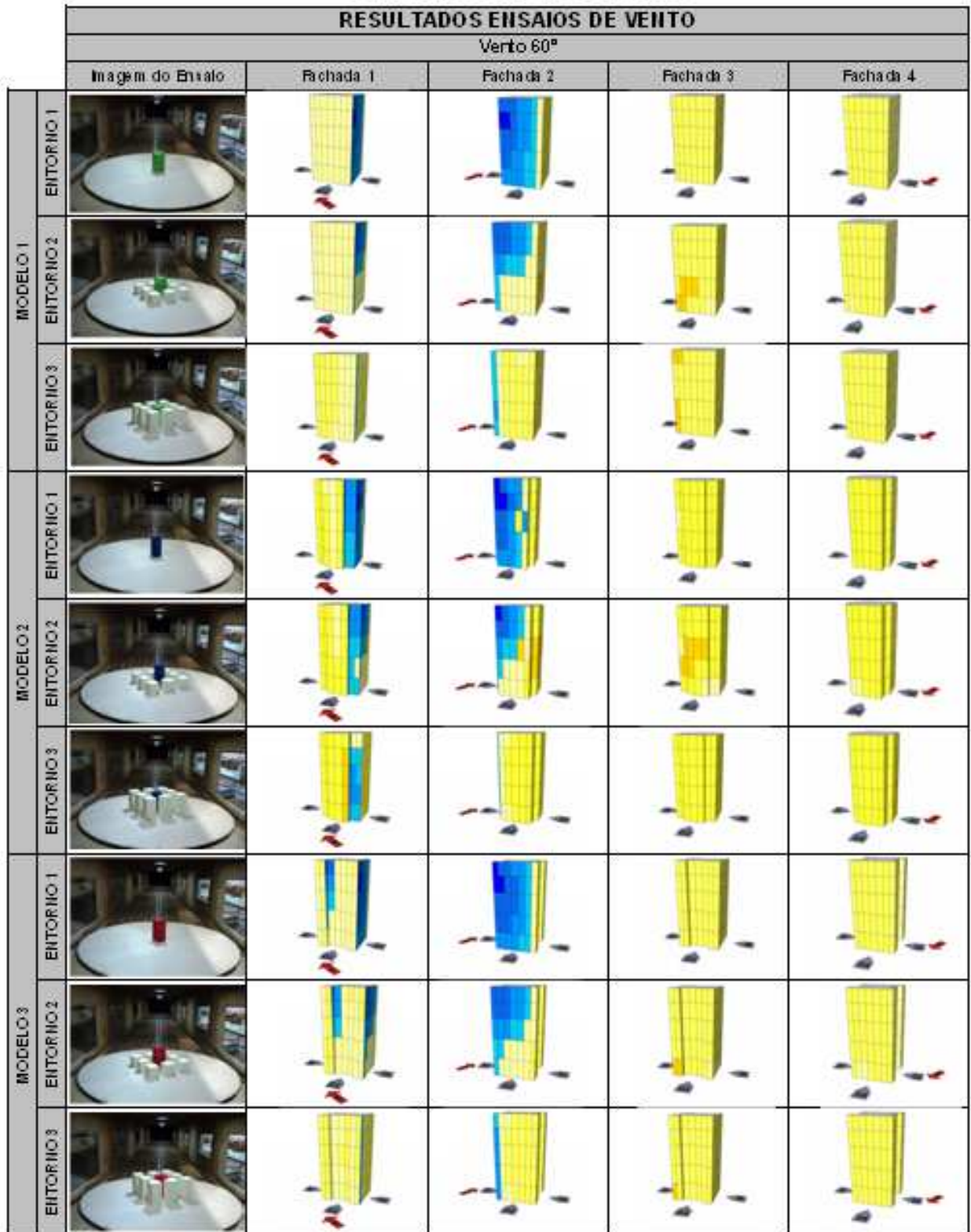


Figura 104: resultados de coeficientes de pressão do vento com vento a 60°

RESULTADOS ENSAIOS DE VENTO						
Vento 75°						
		Imagem do Ensaio	Fachada 1	Fachada 2	Fachada 3	Fachada 4
MODELO 1	EINTORNO 1					
	EINTORNO 2					
	EINTORNO 3					
MODELO 2	EINTORNO 1					
	EINTORNO 2					
	EINTORNO 3					
MODELO 3	EINTORNO 1					
	EINTORNO 2					
	EINTORNO 3					

Figura 105: resultados de coeficientes de pressão do vento com vento a 75°

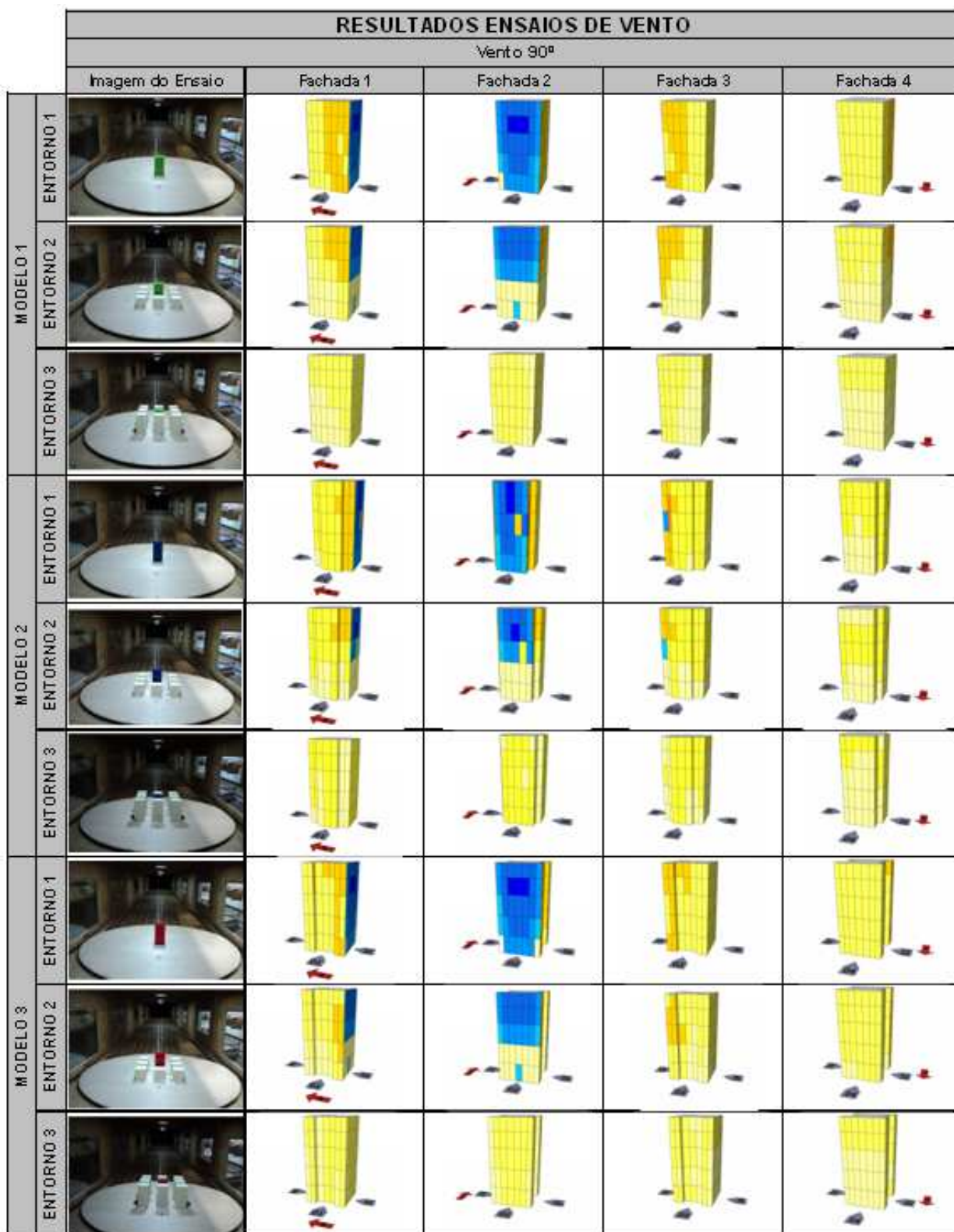


Figura 106: resultados de coeficientes de pressão do vento com vento a 90°

Os resultados foram apresentados em coeficientes de pressão de vento, pois caso fossem apresentados em valores de pressão, ficariam vinculados às velocidades dos ensaios. Com os resultados em coeficientes se pode calcular as pressões para as velocidades características de qualquer cidade.

Conforme apresentado nas figuras, pode-se verificar que o vento se comportou como esperado, de acordo com a bibliografia. Quando atingiu a 0° a fachada principal a barlavento (fachada 1), apresentou sobrepressões de vento com ponto máximo de pressão em aproximadamente 2/3 da altura da fachada. Isso se verificou para os 3 modelos.

Nos cantos da edificação (arestas laterais e superior) ocorreu uma aceleração do escoamento. Isso ocorre pois o edifício age como um obstáculo ao escoamento do vento que, ao encontrá-lo segundo uma incidente normal, tende a escapar de todas as faces possíveis mudando de trajetória abruptamente nas arestas laterais e topo da face a barlavento.

As demais fachadas das edificações, com o vento incidindo a 0° na fachada a barlavento, apresentaram pressões negativas (sucção). Nas fachadas laterais (fachadas 2 e 4) as pressões vão diminuindo (ficando mais próximas a zero) conforme vão se aproximando da fachada a sotavento (fachada 3). Na fachada a sotavento a pressão do vento é uniforme e negativa, distribuindo-se de forma constante sobre toda a face.

Com os demais ângulos de incidência do vento, as áreas de sobrepressão se deslocaram lateralmente. Para o ângulo de 90° o perfil de atuação do vento é praticamente idêntico ao do ângulo de 0° apenas deslocado para a fachada 2.

Quando da inserção de entorno aos modelos, o vento se comportou de forma diferente. O padrão do escoamento de vento sobre as edificações depende das características de aproximação (entorno imediato e direção) e das dimensões da edificação (altura e largura).

No caso do Entorno 2, quando se tem uma edificação mais alta que a vizinhança agindo como um obstáculo frente ao escoamento, o vento flui e ao encontrar a edificação segundo uma incidente normal, tenta escapar horizontal e verticalmente mudando de trajetória abruptamente no topo e nas laterais da face, da mesma forma que com o Entorno 1. Neste caso, porém, a zona abaixo da altura das edificações de entorno (metade inferior) ficou protegida da ação do vento, apresentando sucções. A aproximadamente 2/3 da altura da fachada, também há o ponto máximo de pressão. Com o Entorno 2, em algumas configurações, pode-se observar o vórtice de pé de fachada.

Para o Entorno 3, em que as edificações vizinhas são da mesma altura, pode-se dizer que as fachadas ficam praticamente todas protegidas da ação direta do vento, tendo apenas o efeito de sucção. Devido à formação de corredores de vento entre as edificações, em algumas configurações pode-se observar sobrepressões de vento próximas às arestas verticais.

Analisando-se a questão da ação do vento na *manifestação patológica de manchamento de fachadas por partículas de poluição atmosféricas* pode-se dizer que as correntes de ar que mudam bruscamente de velocidade e direção podem atuar sobre as fachadas produzindo uma

eliminação das partículas depositadas em seco, sendo maior esta eliminação em suas partes mais expostas como arestas laterais e topo. Por outro lado, nas partes baixas da fachada, onde o vento incide com menor intensidade, a força de abrasão diminui, passando a taxa de deposição a ser superior. O manchamento, nessas partes, irá aumentando lentamente.

Ou seja, em edificações isoladas, em altas velocidades, o vento pode atuar positivamente na diminuição do manchamento por partículas de poluição nas partes altas das fachadas. Em velocidades mais baixas e em edificações com muitas saliências, ele pode auxiliar na deposição das partículas. E nas partes mais baixas das edificações, onde as velocidades do vento já são mais baixas e onde há mais partículas de poluição, o manchamento passa a ser superior (figura 50). Conforme citado na revisão bibliográfica, as direções Leste, Sudeste e Sul são as principais direções do vento em Porto Alegre. Desta forma, é importante que os projetistas dêem atenção especial para estas fachadas quando da elaboração de projetos de novas edificações.

No caso de haver entorno, o fenômeno de manchamento por partículas de poluição atmosféricas é mais complexo, pois o mesmo influi no deslocamento do vento, deixando a edificação praticamente toda protegida do vento até a altura do entorno. Isso leva muitos projetistas a não se preocuparem com a questão de manchamento das fachadas caso a edificação esteja protegida por edifícios vizinhos.

Pensando desta forma e considerando-se apenas a ação do vento sobre as fachadas, os projetistas deveriam se preocupar em proteger ou atuar de alguma forma (utilizando texturas, cores, materiais) para prevenir os manchamentos somente nas zonas que não fiquem protegidas por edificações de entorno e ainda, dependendo da velocidade do vento, o mesmo poderia beneficiar estas zonas mais altas eliminando as partículas depositadas (efeito de abrasão). Em edificações isoladas (sem entorno), deveriam se preocupar em proteger as partes mais baixas das edificações, onde o vento atua em velocidades mais baixas, auxiliando a deposição de partículas.

O certo é que o vento raramente atua isoladamente no manchamento das fachadas. A ação do mesmo é reforçada pelo lavado ocasionado pela chuva. Desta forma, o manchamento de fachadas deve ser estudado considerando a ação conjunta destes dois fluidos (chuva dirigida), e não apenas do vento, como ocorre em muitas vezes.

5.2 ENSAIOS COM CHUVA DIRIGIDA

Os resultados dos ensaios de chuva dirigida são visuais. As imagens dos padrões de molhamento das fachadas dos ensaios realizados são apresentadas a seguir.

5.2.1 Entorno 1

5.2.1.1 Modelo 1

A figura 107 apresenta a configuração do ensaio, com o Modelo 1, Entorno 1 e vento 0° logo após a sua realização.

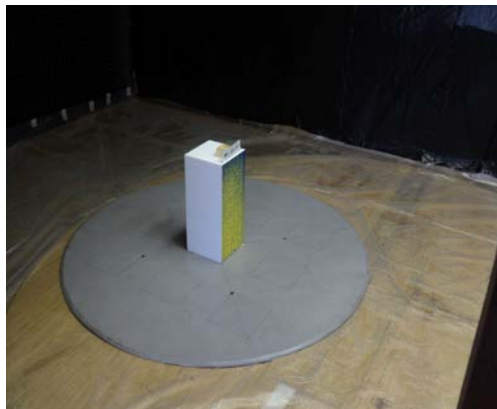


Figura 107: configuração do ensaio: Modelo 1, Entorno 1, Vento 0° - logo após ensaio

O resultado obtido neste primeiro ensaio (figura 108) foi bastante satisfatório, pois se conseguiu reproduzir a parábola de molhamento da chuva dirigida na edificação, conforme é apresentada na bibliografia (figura 23). Analisando a figura 108, pode-se verificar que o topo e as bordas laterais da fachada apresentam maior concentração da cor azul (locais atingidos pela água). O molhamento da fachada foi menor no centro (menos concentração de azul) e diminui a medida que se aproxima da base da edificação.

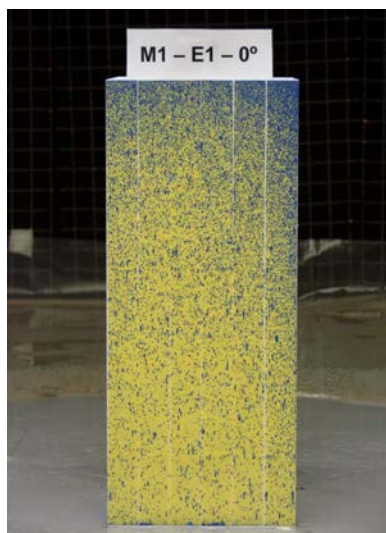


Figura 108: resultado do ensaio: Modelo 1, Entorno 1, Vento 0°

5.2.1.2 Modelo 2

A figura 109 apresenta o Modelo 2 com Entorno 1 e vento 0°, antes de se ser ensaiado, com os papéis sensíveis à água ainda amarelos, e logo após o ensaio, com a fachada marcada nos locais molhados pela chuva dirigida.

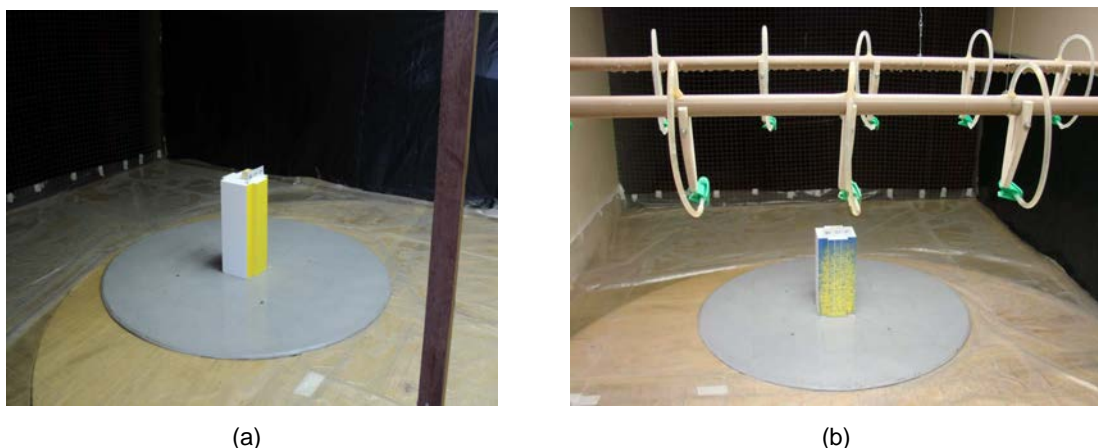


Figura 109: configuração do ensaio: Modelo 2, Entorno 1, Vento 0° - (a) antes do ensaio e (b) logo após ensaio

O resultado obtido deste ensaio (figura 110) também apresentou a parábola de molhamento da chuva dirigida. O topo e as bordas laterais externas (não da saliência central) da fachada apresentam maior concentração da cor azul (locais atingidos pela água). O molhamento da fachada foi menor no centro e diminui a medida que se aproxima da base da edificação.

Com o vento a 0° incidindo na fachada, as laterais da saliência central da fachada praticamente não foram molhadas, recebendo apenas alguns respingos de água. Isso pode ser verificado na figura 110 (b) e (c).

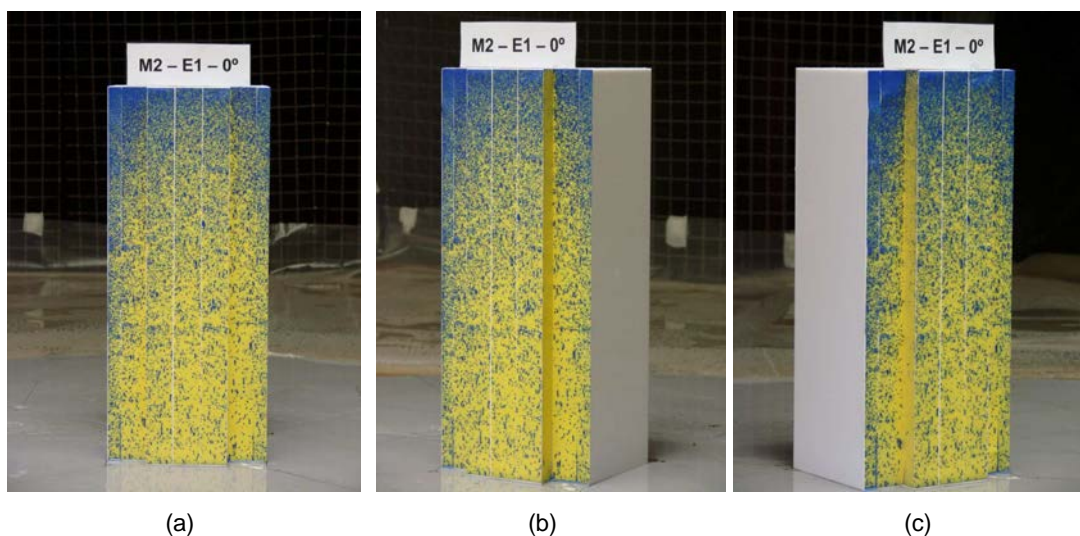
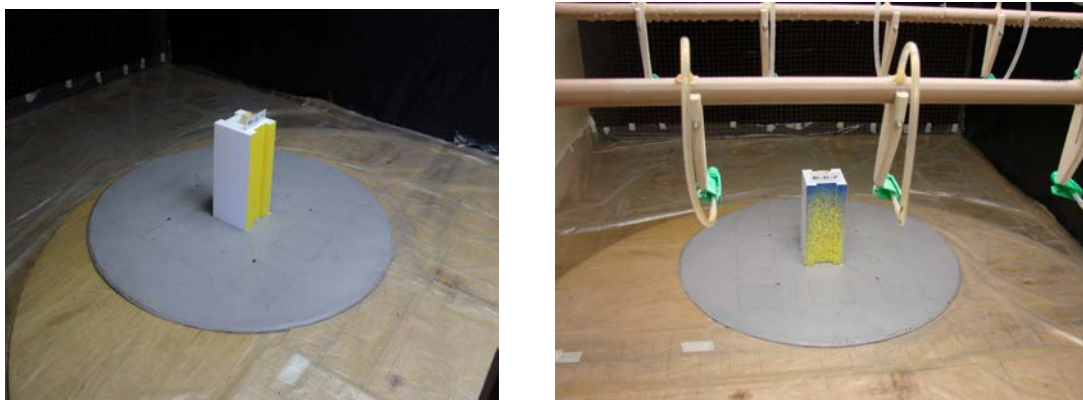


Figura 110: (a), (b) e (c) resultado do ensaio: Modelo 2, Entorno 1, Vento 0°

5.2.1.3 Modelo 3

A figura 111 apresenta a configuração do ensaio com o Modelo 3, Entorno 1 e vento 0° , antes de se ser ensaiado, com os papéis sensíveis à água ainda amarelos, e logo após o ensaio, com a fachada marcada nos locais molhados pela chuva dirigida.



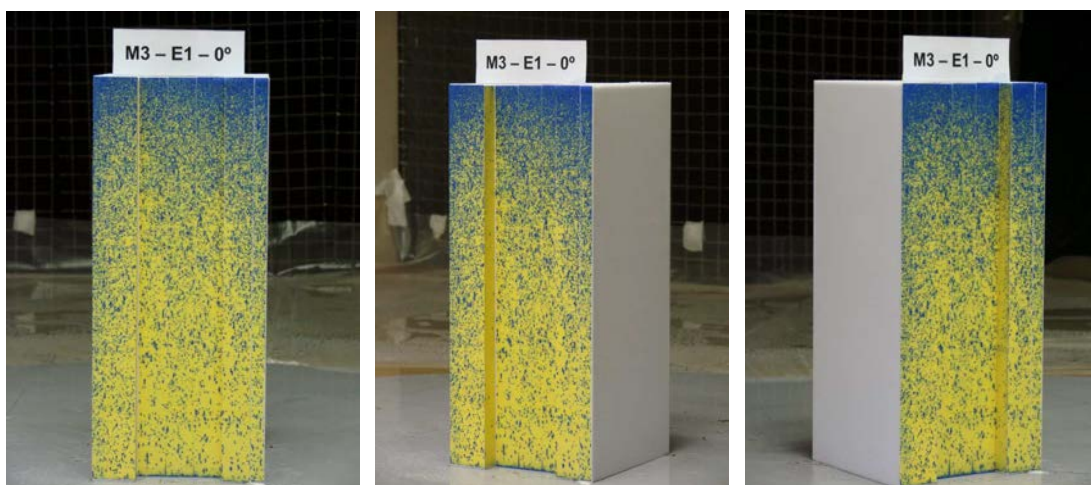
(a)

(b)

Figura 111: configuração do ensaio: Modelo 3, Entorno 1, Vento 0° - (a) antes do ensaio e (b) logo após ensaio

O resultado deste ensaio (figura 112) reproduziu também a parábola de molhamento da chuva dirigida, olhando-se a fachada de frente. O topo e as bordas laterais externas da fachada foram atingidas em maior concentração pela chuva dirigida.

Com o vento a 0° incidindo na fachada, as laterais da reentrância central da fachada praticamente não foram molhadas, recebendo apenas alguns respingos de água. Isso pode ser verificado na figura 112 (b) e (c).



(a)

(b)

(c)

Figura 112: (a), (b) e (c) resultado do ensaio: Modelo 3, Entorno 1, Vento 0°

5.2.1.4 Comparação

A figura 113 apresenta uma imagem comparativa dos padrões de molhamento da fachada principal dos 3 modelos, sem entorno e com vento a 0° . Pode-se verificar que a parábola foi reproduzida nos 3 ensaios, independente da forma da edificação.

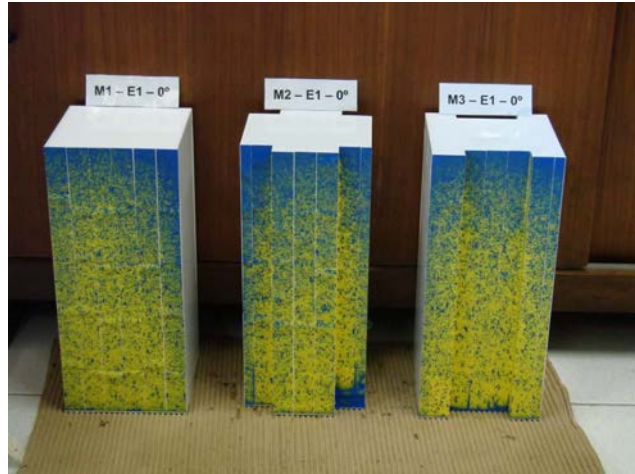


Figura 113: comparação dos resultados dos 3 modelos com Entorno 1 e Vento 0°

A água que ficou acumulada no piso do túnel de vento molhou o papel sensível à água da base dos modelos 2 e 3 durante o tempo de registros fotográficos. Sugere-se para quando se for realizar novos ensaios, que se coloque uma pequena base nos modelos com o fim de afastá-los do piso molhado.

5.2.2 Entorno 2

5.2.2.1 Modelo 1

A figura 114 apresenta o Modelo 1 com Entorno 2 e vento 0° antes de se ser ensaiado, com os papéis sensíveis à água ainda amarelos, e logo após o ensaio, com a fachada marcada nos locais molhados pela chuva dirigida.

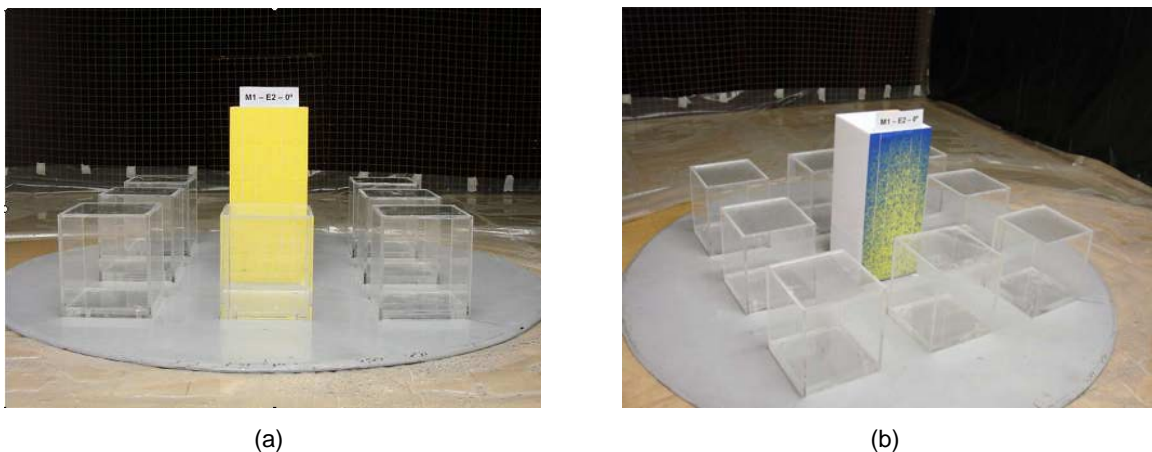


Figura 114: configuração do ensaio: Modelo 1, Entorno 2, Vento 0° - (a) antes do ensaio e (b) logo após ensaio

O resultado obtido deste ensaio (figura 115) também reproduziu a parábola de molhamento da chuva dirigida na edificação. O entorno com edificações baixas (metade da altura) em nada influenciou no padrão de molhamento da fachada.

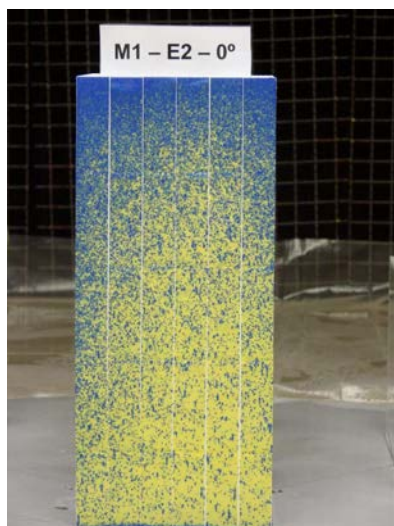


Figura 115: resultado do ensaio: Modelo 1, Entorno 2, Vento 0°

5.2.2.2 Modelo 2

A figura 116 apresenta a configuração do Modelo 2, Entorno 2 e vento 0° antes de se ser ensaiado e logo após o ensaio, com a fachada marcada nos locais atingidos pela chuva dirigida.

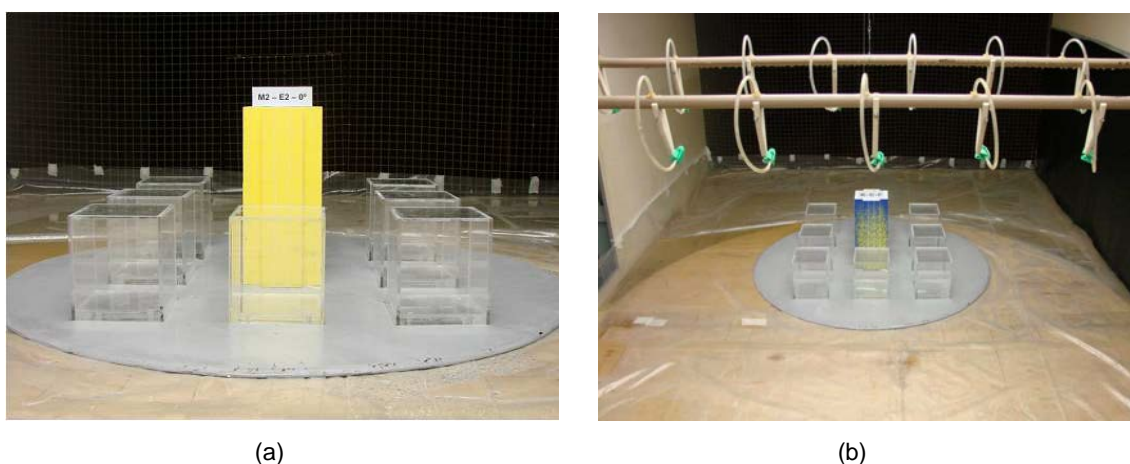


Figura 116: configuração do ensaio: Modelo 2, Entorno 2, Vento 0° - (a) antes do ensaio e (b) logo após ensaio

O resultado deste ensaio (figura 117) apresentou, da mesma forma que os anteriores, a parábola de molhamento da chuva dirigida. Com o vento a 0° incidindo na fachada, as laterais da saliência central não foram molhadas, recebendo apenas alguns respingos de água, como pode ser verificado na figura 117 (b) e (c).

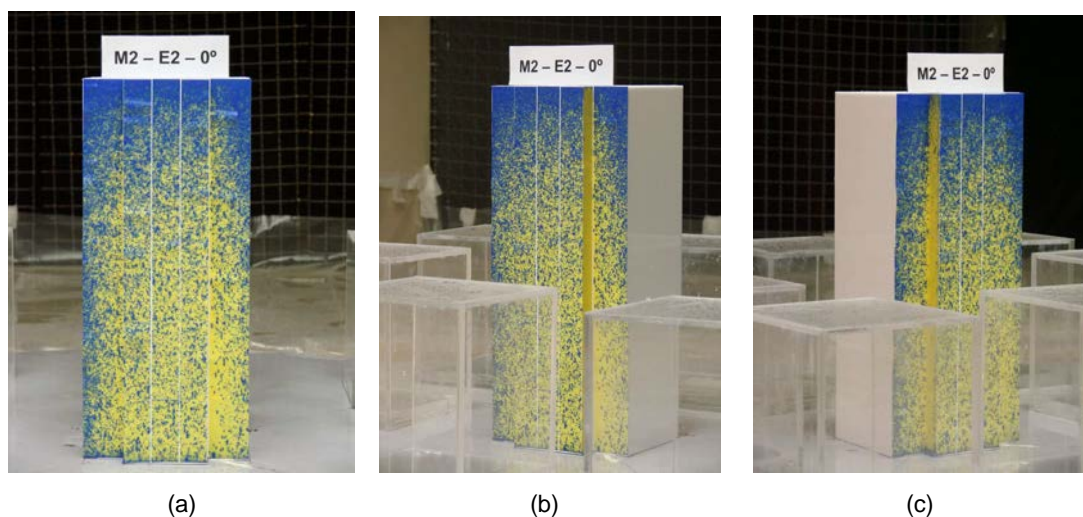


Figura 117: (a), (b) e (c) resultado do ensaio: Modelo 2, Entorno 2, Vento 0°

5.2.2.3 Modelo 3

A figura 118 apresenta a configuração do ensaio com o Modelo 3, Entorno 2 e vento 0°, antes e após o ensaio.

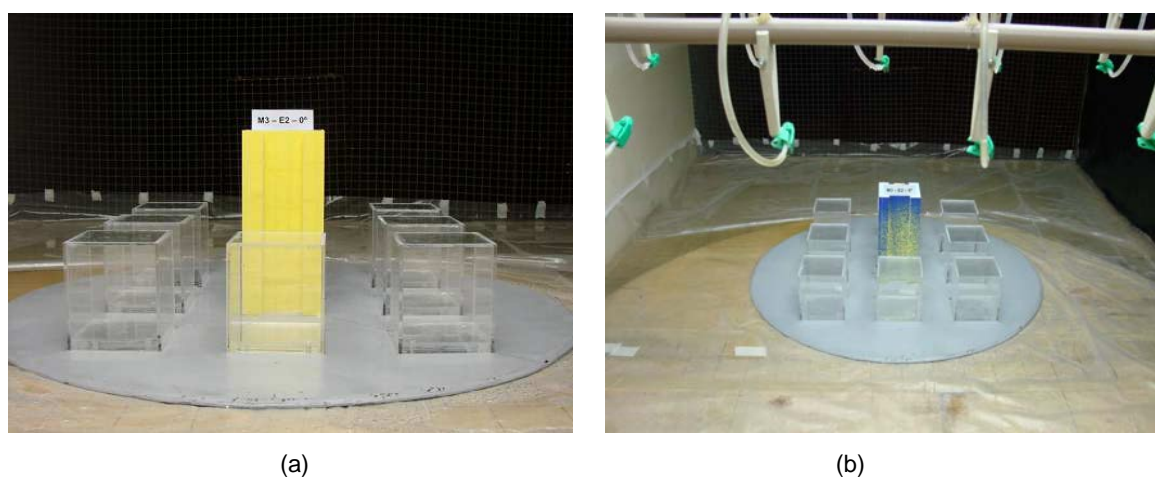


Figura 118: configuração do ensaio: Modelo 3, Entorno 2, Vento 0° - (a) antes do ensaio e (b) logo após ensaio

O resultado deste ensaio (figura 119) reproduziu também a parábola de molhamento da chuva dirigida, olhando-se a fachada de frente. O topo e as bordas laterais externas da fachada foram atingidos em maior concentração pela chuva dirigida.

Com o vento a 0° incidindo na fachada, as laterais da reentrância central da fachada praticamente não foram molhadas, recebendo apenas alguns respingos de água. Isso pode ser visualizado na figura 119 (b) e (c).

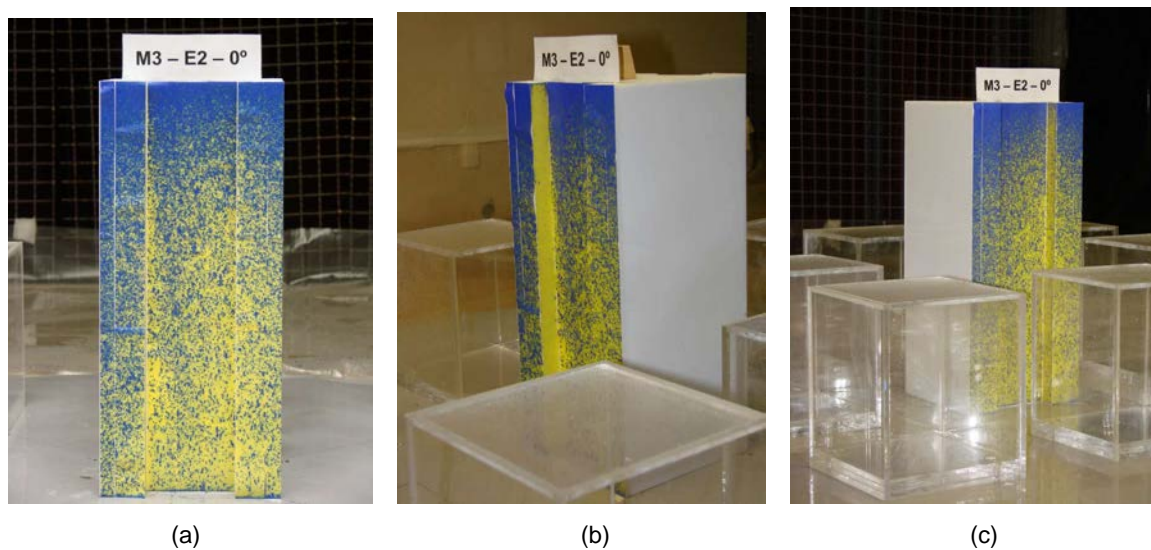


Figura 119: (a), (b) e (c) resultado do ensaio: Modelo 3, Entorno 2, Vento 0°

5.2.2.4 Comparação

A figura 120 apresenta a comparação dos padrões de molhamento da fachada principal dos 3 modelos, com entorno baixo e com vento a 0°. De uma forma geral, pode-se dizer que a parábola de molhamento foi reproduzida também nestes 3 ensaios, independente da forma da edificação. O entorno com edificações baixas (metade da altura) em nada protegeu o molhamento da fachada.

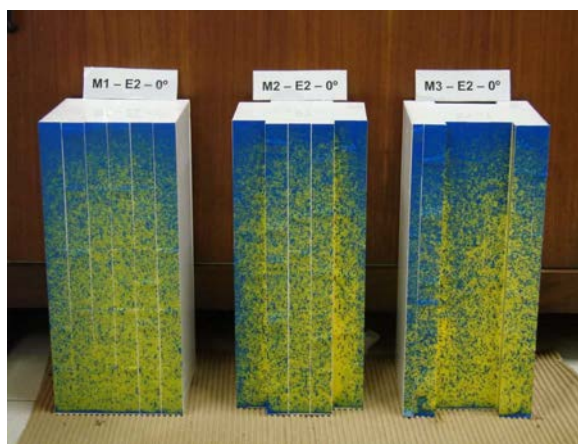


Figura 120: comparação dos resultados dos 3 modelos com Entorno 2 e Vento 0°

5.2.3 Entorno 3

5.2.3.1 Modelo 1

A figura 121 mostra o Modelo 1 com Entorno 3 e vento 0° antes de se ser ensaiado e logo após o ensaio.

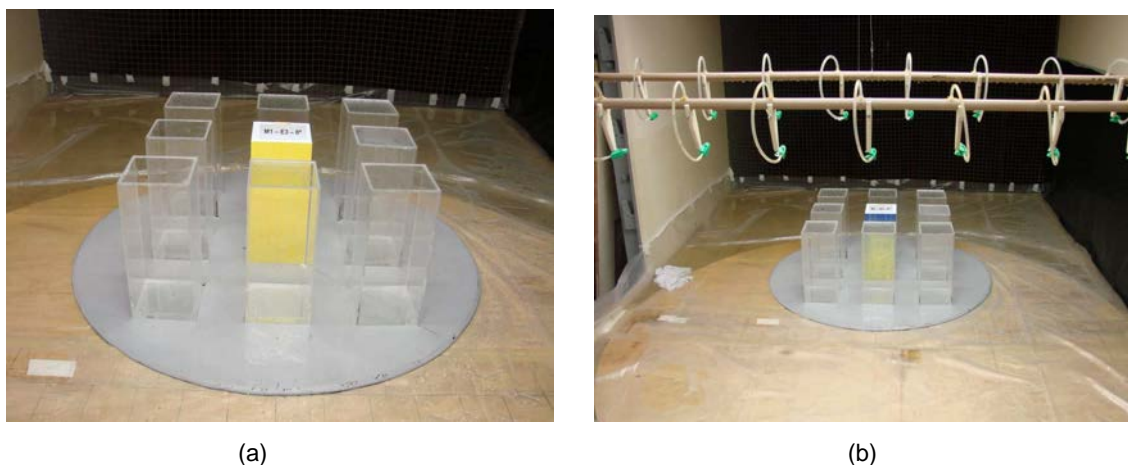


Figura 121: configuração do ensaio: Modelo 1, Entorno 3, Vento 0° - (a) antes do ensaio e (b) logo após ensaio

Esta configuração de ensaio também reproduziu aproximadamente a parábola de molhamento na fachada (figura 122). Desta forma, constata-se que o entorno alto não protegeu a fachada da chuva dirigida e não afetou de maneira a modificar o padrão de molhamento.

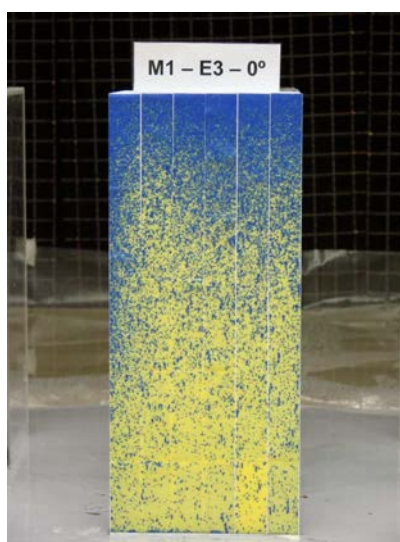


Figura 122: resultado do ensaio: Modelo 1, Entorno 3, Vento 0°

5.2.3.2 Modelo 2

A figura 123 apresenta a configuração do Modelo 2, Entorno 3 e vento 0° antes de se ser ensaiado e após o ensaio.

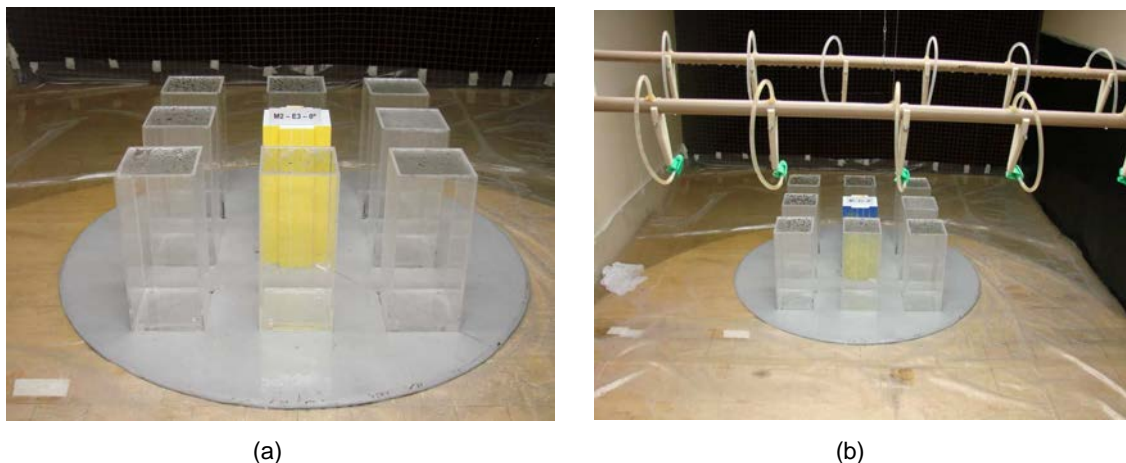


Figura 123: configuração do ensaio: Modelo 2, Entorno 3, Vento 0° - (a) antes do ensaio e (b) logo após ensaio

A parábola de molhamento da chuva dirigida também foi reproduzida neste ensaio (figura 124). Com o vento a 0° incidindo na fachada, as laterais da saliência central não foram molhadas, recebendo apenas alguns respingos de água (figura 124 (b) e (c)).

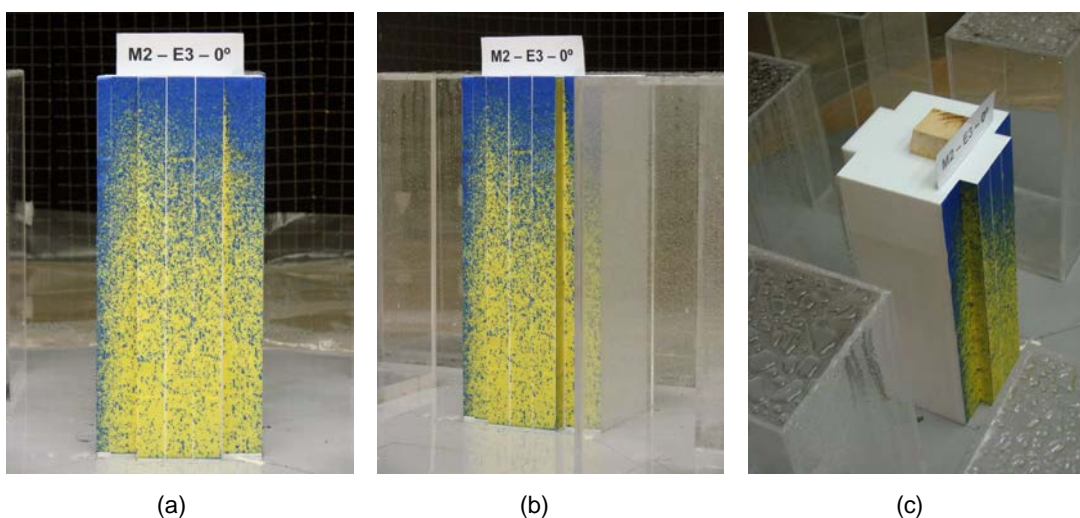


Figura 124: (a), (b) e (c) resultado do ensaio: Modelo 2, Entorno 2, Vento 0°

5.2.3.3 Modelo 3

A figura 125 mostra a configuração do ensaio com o Modelo 3, Entorno 3 e vento 0° , antes e após o ensaio.

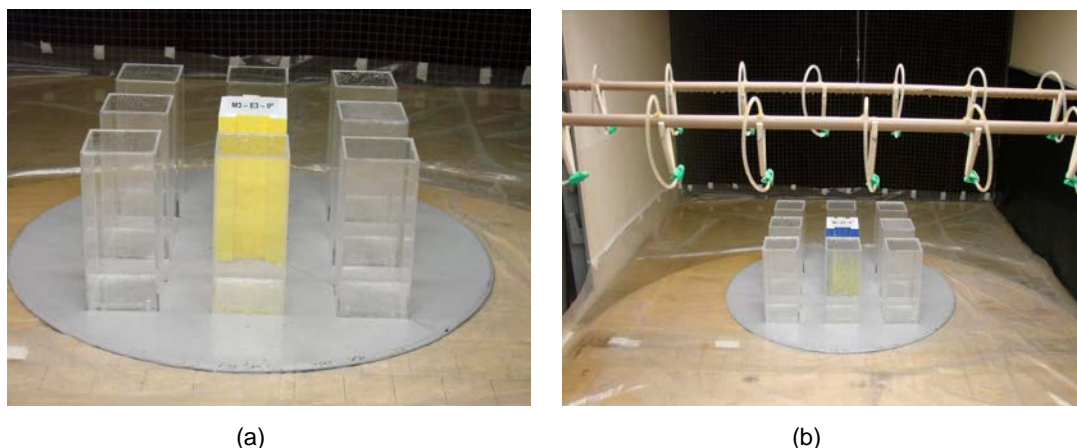


Figura 125: configuração do ensaio: Modelo 3, Entorno 3, Vento 0° - (a) antes do ensaio e (b) logo após ensaio

Da mesma forma que os ensaios anteriores, esta configuração reproduziu também a parábola de molhamento da chuva dirigida (figura 126). O topo e as bordas laterais externas da fachada foram atingidos em maior concentração pela chuva dirigida, com um molhamento ligeiramente maior na saliência esquerda.

Com o vento a 0° incidindo na fachada, as laterais da reentrância central da fachada não foram molhadas, recebendo apenas alguns respingos de água, como pode ser visto na figura 126 (b) e (c).

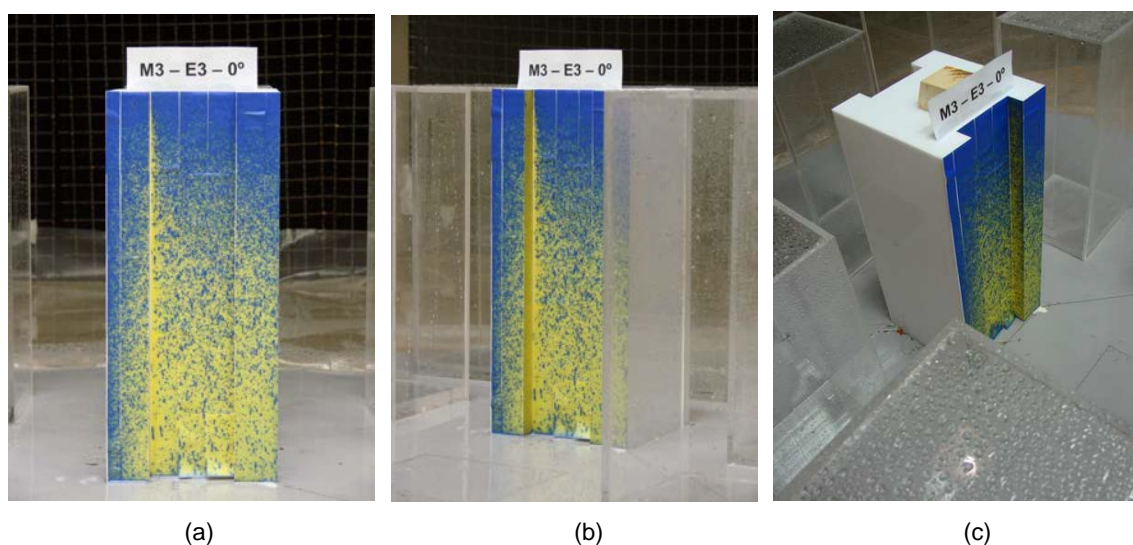


Figura 126: (a), (b) e (c) resultado do ensaio: Modelo 3, Entorno 3, Vento 0°

5.2.3.4 Comparação

Na figura 127 está a comparação dos padrões de molhamento da fachada principal dos 3 modelos, com entorno alto e com vento a 0° . Pode-se dizer que a parábola de molhamento também foi reproduzida nestes 3 ensaios, independente da forma da edificação. Da mesma forma que o Entorno 2, o Entorno 3 em nada protegeu o molhamento da fachada.

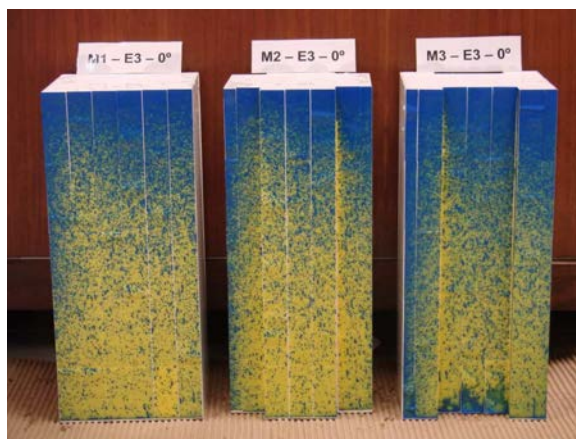


Figura 127: comparação dos resultados dos 3 modelos com Entorno 3 e Vento 0°

5.2.4 Resumo dos resultados

Com base nas imagens obtidas como resultados da Etapa 2 da parte experimental da pesquisa, elaborou-se um quadro resumo (figura 128) onde se pode visualizar e comparar melhor os padrões de molhamento da chuva dirigida apresentados nos itens 5.2.1 a 5.2.3.

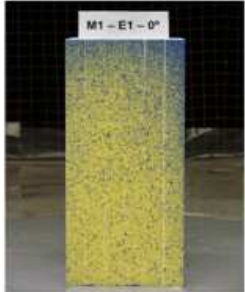
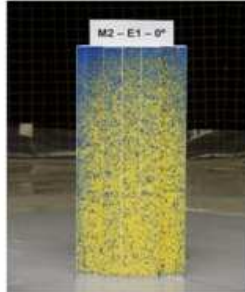
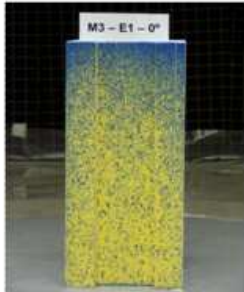
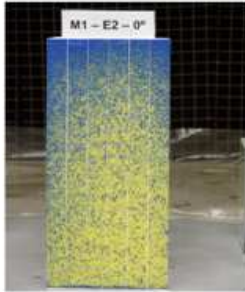
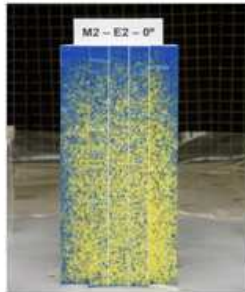
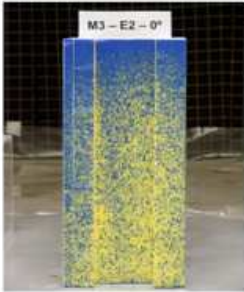
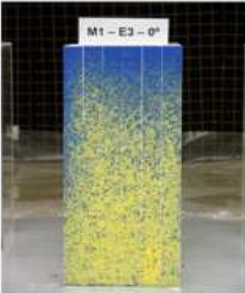
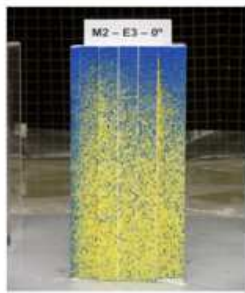
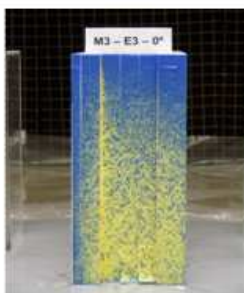
RESUMO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CHUVA DIRIGIDA			
Ângulo de incidência do vento = 0°			
	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
ENTORNO 1 (prédio isolado)			
ENTORNO 2 (entorno baixo)			
ENTORNO 3 (entorno alto)			

Figura 128: resumo dos resultados dos ensaios de chuva dirigida com vento incidindo a 0°

Através da análise do quadro comparativo, constatou-se que:

- a) comparando-se as formas das edificações entre si (comparação das colunas do quadro), pode-se dizer que o Modelo 3 foi o que apresentou maior área molhada (maior área azul), seguido do Modelo 2 e, por fim, do Modelo 1. Porém, constatou-se que para o vento a 0° , a forma da fachada praticamente não influenciou no padrão de molhamento, já que a parábola foi reproduzida para todos os modelos. As reentrâncias e saliências dos Modelos 2 e 3 não afetaram o molhamento e as suas laterais permaneceram sem molhar, recebendo apenas alguns respingos de chuva;
- b) comparando-se os efeitos dos diferentes entornos das edificações entre si (comparação das linhas do quadro), constatou-se que o Entorno 3 apresentou uma faixa maior (mais larga) molhada na parte superior da fachada que os demais modelos, entretanto as bases das fachadas do Entorno 3 receberam menor ação da chuva (base mais amarela). Já o Entorno 2 apresentou uma maior distribuição ao longo da altura da fachada. Ao contrário do esperado, o Entorno 1 (sem entorno) foi a configuração que apresentou melhores resultados, ou seja, fachada menos molhada. Pode-se dizer então que os entornos não protegeram a fachada da ação da chuva dirigida, pelo contrário, agravaram o molhamento;
- c) a melhor configuração ensaiada, em se tratando de manchamento e infiltração de água na fachada por ação de chuva dirigida, foi a do Modelo 1 com Entorno 1. O prédio prismático e isolado foi o que se mostrou, nesta pesquisa, menos suscetível ao molhamento da fachada principal e conseqüentemente, com menor probabilidade de manchamento e infiltração de água;
- d) a pior configuração ensaiada foi a do Modelo 3 com Entorno 3. O prédio com forma de H e com entorno alto foi o que se mostrou, nesta pesquisa, mais suscetível ao molhamento da fachada principal e, conseqüentemente, com maior probabilidade de manchamento e infiltração de água.

Com base no apresentado acima, pode-se verificar que a ação dos dois fluidos (vento e chuva) atuando simultaneamente é diferente da ação do vento isoladamente. No caso do entorno baixo, este age como obstáculo ao vento, empurrando para cima e para as laterais ao atingi-lo, o que pode justificar o um maior molhamento na parte superior da fachada em relação ao prédio isolado. Além disso, o entorno baixo pode gerar turbulência entre o prédio baixo à barlavento e o modelo, o que pode explicar um maior molhamento da base.

Quanto ao entorno alto, o resultado foi contrário ao esperado. Previa-se que o entorno protegesse a edificação central e, pelo contrário, o molhamento da fachada foi maior. A

configuração dos ensaios com o Entorno 3 canaliza o vento (Efeito Venturi) nos espaçamentos entre as edificações. O aumento da velocidade nestas zonas, juntamente com a ação da água pode ter influenciado a um maior molhamento.

As volumetrias com forma de cruz e de H são as mais comuns de ocorrerem em centros urbanos (entorno alto), uma vez que as edificações costumam ter alguns panos salientes ou reentrantes, e estas configurações foram as que apresentaram os piores resultados. Desta forma, este estudo vem a alertar a importância de se executar projetos de fachadas.

Com a reprodução da parábola de molhamento em todas as configurações, pode-se dizer que as zonas mais afetadas quanto à infiltração de água por chuva dirigida são o topo e as zonas próximas às arestas verticais da fachada a barlavento. As demais zonas recebem a água em menor intensidade.

Com o aumento do tempo de incidência da chuva dirigida ou sua maior intensidade, a água inicia a escorrer ao longo da fachada, levando consigo as partículas de poluição depositadas, causando o manchamento por escorrimento. As zonas mais afetadas quanto ao manchamento também são o topo e as laterais da fachada onde incide a chuva, e vai diminuindo gradativamente em direção à base e ao centro.

5.2.5 Ensaios extras

Com o decorrer da execução dos ensaios optou-se por realizar alguns ensaios extras com fim exploratório para complementar os resultados obtidos. Como estes experimentos são de alto custo e em função do tempo disponível para execução dos ensaios, decidiu-se por ensaiar apenas as seguintes configurações: prédio isolado somente com ação da chuva (sem vento); prédio isolado com velocidade do vento maior que a utilizada nos outros ensaios; prédio baixo entre entorno alto e por fim os Modelos 2 e 3 com ângulo de incidência do vento diferente de 0°. Além disso, realizou-se um último ensaio, mudando a dimensão da edificação, buscando se visualizar o descolamento da chuva com o vento da aresta superior. Os resultados destes ensaios são apresentados a seguir.

5.2.5.1 Ensaio 1: apenas chuva, sem vento

Este ensaio foi realizado a fim de comprovar a situação hipotética apresentada na bibliografia (figura 19), em que a chuva, ao cair verticalmente, sem vento, não molha as fachadas da edificação. A figura 129 (a) apresenta a configuração do ensaio, o qual foi realizado com o Modelo 1 e o Entorno 1.

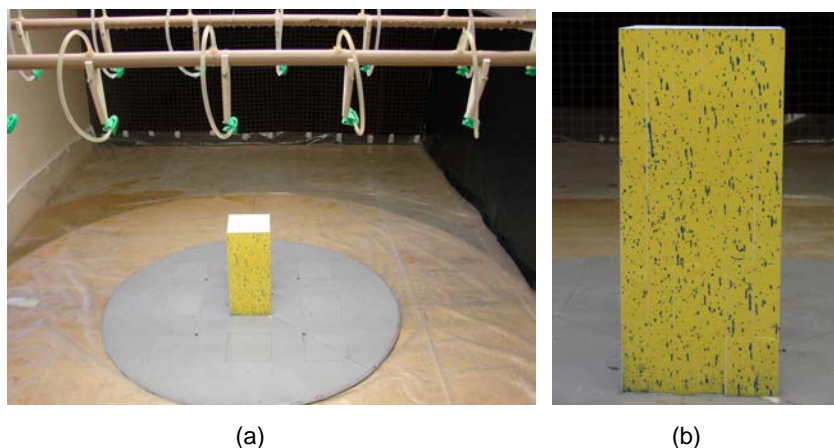


Figura 129: (a) configuração do ensaio só com chuva e (b) resultado obtido

Neste ensaio se teve o cuidado de calibrar os aspersores para que a chuva caísse perfeitamente na vertical sobre o modelo ensaiado. Analisando o resultado deste ensaio (figura 129 (b)) pode-se constatar que só ocorreram alguns respingos na fachada, situação muito diferente da encontrada quando da ação conjunta do vento (chuva dirigida).

5.2.5.2 Ensaio 2: velocidade do vento elevada

Durante a realização dos testes iniciais de calibração da velocidade do vento, pressão de água dos aspersores, tempo de execução dos ensaios e posicionamento dos modelos no túnel, surgiu a curiosidade de se realizar um ensaio extra utilizando uma velocidade maior do vento.

Para que a chuva chegasse a atingir o modelo, a mesa de ensaios teve que ser deslocada para o fim do túnel de vento. A figura 130 (a) apresenta a configuração do ensaio, o qual foi realizado com o Modelo 1, Entorno 1, vento incidente a 0° , ensaio com 5 segundos de duração, pressão dos aspersores de 4 Bar, alterando somente o valor da velocidade do vento. A velocidade do vento neste ensaio foi da ordem de 33 km/h na altura do topo da edificação em escala natural.

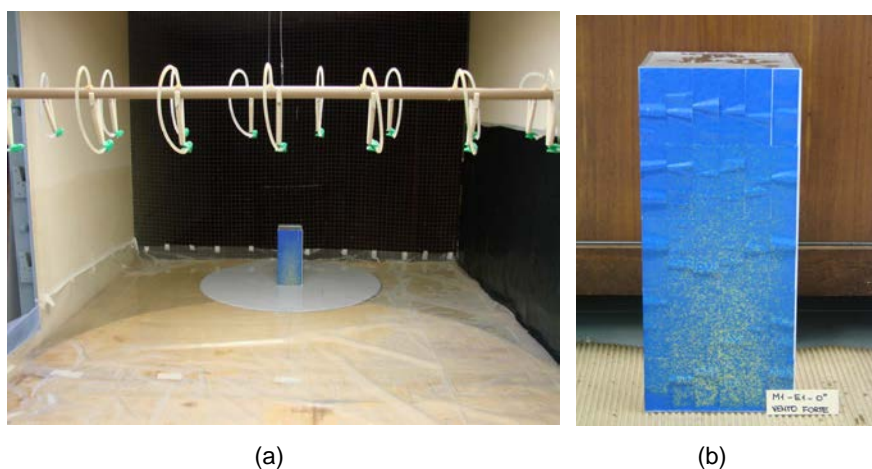


Figura 130: (a) configuração do ensaio com velocidade do vento elevada e (b) resultado obtido

O resultado deste ensaio é apresentado na figura 130 (b). Percebe-se que a fachada foi completamente molhada pela chuva, e numa intensidade bastante superior quando comparada aos outros ensaios. Com esta configuração não foi possível de se perceber nitidamente a

parábola de molhamento, apenas uma pequena menor concentração de chuva na parte central inferior da fachada.

5.2.5.3 Ensaio 3: modelo baixo entre entorno alto

Ao contrário do que era esperado e uma vez que se constatou que o entorno de mesma altura da edificação central não protegeu a sua fachada, surgiu a curiosidade de se ensaiar um modelo baixo entre o entorno alto, com a mesma velocidade do vento dos outros ensaios. A configuração deste ensaio é apresentada na figura 131 (a).

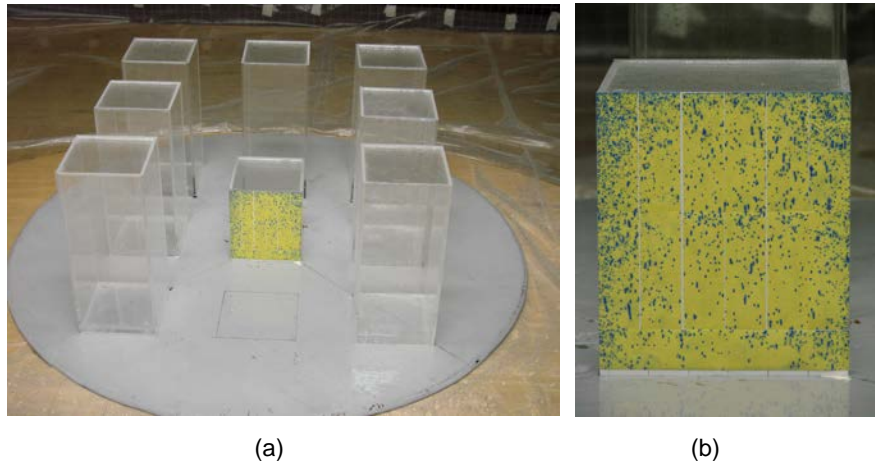


Figura 131: (a) configuração do ensaio com prédio baixo entre entorno alto (b) resultado obtido

A figura 131 (b) apresenta o resultado deste ensaio. Percebe-se nitidamente que os edifícios vizinhos protegeram a edificação central. A concentração de chuva dirigida que atingiu a fachada do modelo é nitidamente inferior quando comparada à da edificação central alta. Percebe-se uma ligeira formação da parábola, uma vez que a concentração de chuva é um pouco maior no topo e nas bordas laterais da fachada.

5.2.5.4 Ensaio 4: Modelo 2 com vento a 30°

Este ensaio foi realizado com o Modelo 2, Entorno 1 e ângulo de incidência do vento de 30°. O ângulo do vento foi escolhido com base nos resultados dos ensaios de vento uma vez que foi um ângulo que apresentou valores altos de sobrepessões.

Para este ensaio a fachada adjacente também foi revestida com o papel sensível a água. A configuração do ensaio é apresentada na figura 132 (a).

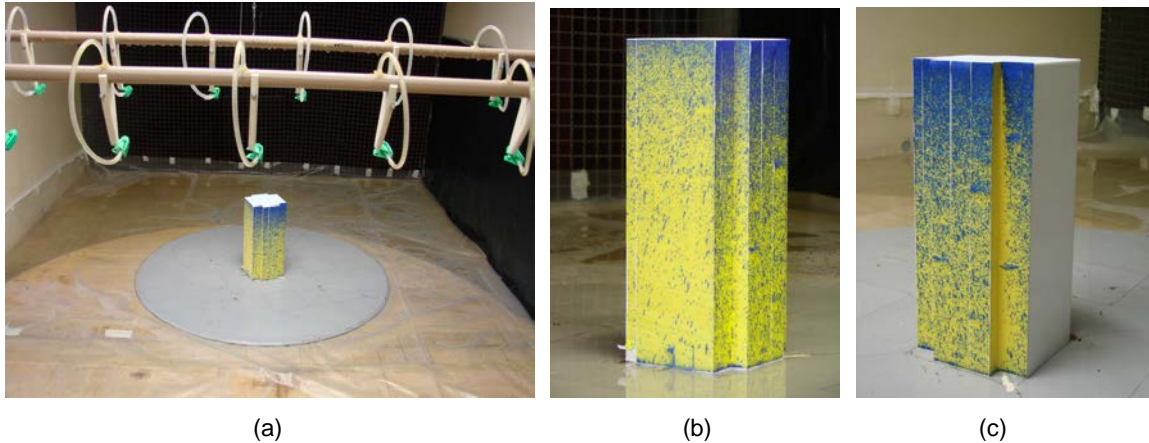


Figura 132: (a) configuração do ensaio com Modelo 2 e vento a 30° e (b) e (c) resultado obtido

O resultado deste ensaio é apresentado na figura 132 (b) e (c). A parábola de molhamento pode ser visualizada tanto na fachada principal (um pouco deslocada para a lateral em função do ângulo) e também na fachada lateral, porém em menor intensidade,

Com o vento incidindo em ângulo diferente de 0° , o avanço central da fachada do prédio atua protegendo a parte da fachada que fica atrás do mesmo. Na figura 132 (c) pode-se verificar a parte da fachada que ficou protegida pelo avanço. Desta forma, pode-se constatar que dependendo da direção do vento, o avanço central pode proteger ou não influenciar (ângulo de 0°) no padrão de molhamento da fachada.

5.2.5.5 Ensaio 5: Modelo 3 com vento a 15°

Este ensaio foi realizado com o Modelo 3, Entorno 1 e ângulo de incidência do vento de 15° . O ângulo do vento também foi escolhido com base nos resultados dos ensaios de vento uma vez que foi um ângulo que apresentou altos valores de sobrepressões.

Da mesma forma que o ensaio 4, a fachada adjacente também foi revestida com o papel sensível a água (figura 133 (a)).

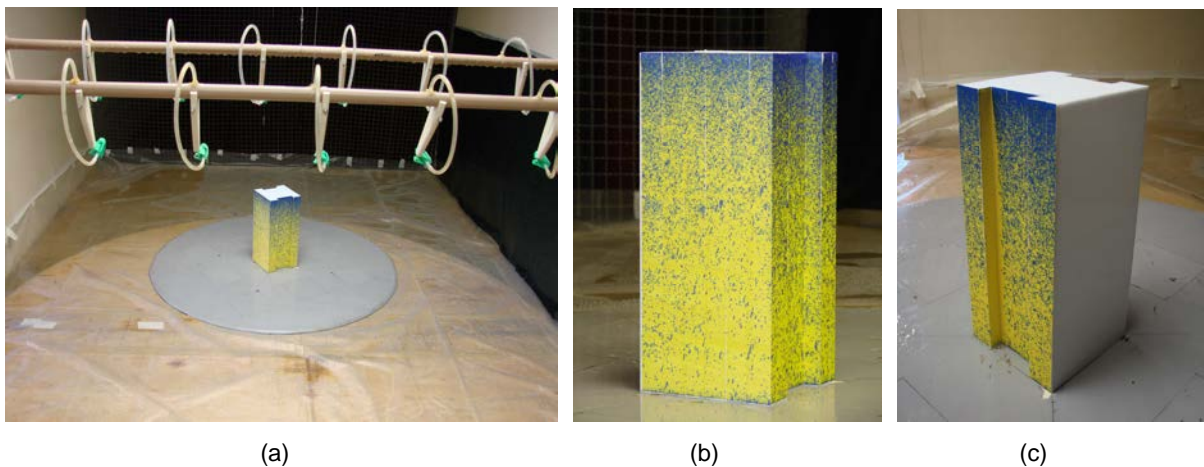


Figura 133: (a) configuração do ensaio com Modelo 3 e vento a 15° e (b) e (c) resultado obtido

A figura 133 (b) e (c) apresenta o resultado deste ensaio. A parábola de molhamento também pode ser visualizada na fachada principal (deslocada para a lateral em função do ângulo de incidência do vento) e também na fachada lateral, em menor intensidade.

Com o vento incidindo em ângulo diferente de 0° , o recuo central da fachada do prédio ficou um pouco mais protegido. A figura 133 (c) mostra que uma parte do recuo ficou protegida pelo avanço lateral, constatando-se que dependendo da direção do vento, os avanços laterais protegem ou não influenciam ($\text{ângulo de } 0^\circ$) no padrão de molhamento da fachada.

5.2.5.6 Descolamento do vento e da chuva do topo da edificação

Este teste foi realizado com o intuito de se tentar visualizar o descolamento da chuva e vento nas laterais da fachada, região onde ocorre uma maior velocidade do vento. Para que este descolamento fosse nítido, teve-se que aumentar as dimensões da edificação. A figura 134 apresenta a configuração do ensaio.

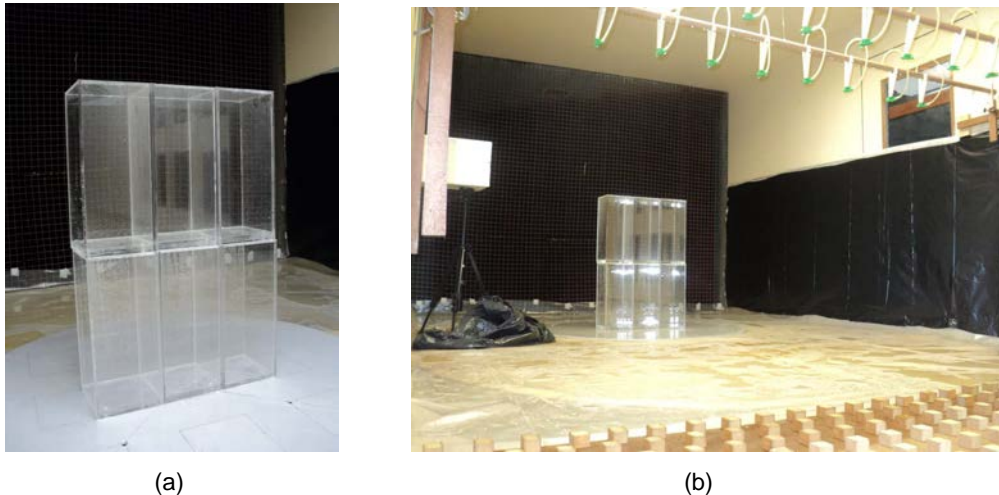


Figura 134: (a) modelo ensaiado e (b) configuração do ensaio

Para a tentativa de registro fotográfico e em vídeo deste fenômeno, inseriu-se uma câmera fotográfica digital, protegida da água, presa em tripé, no interior do túnel para captar o ensaio (figura 135).

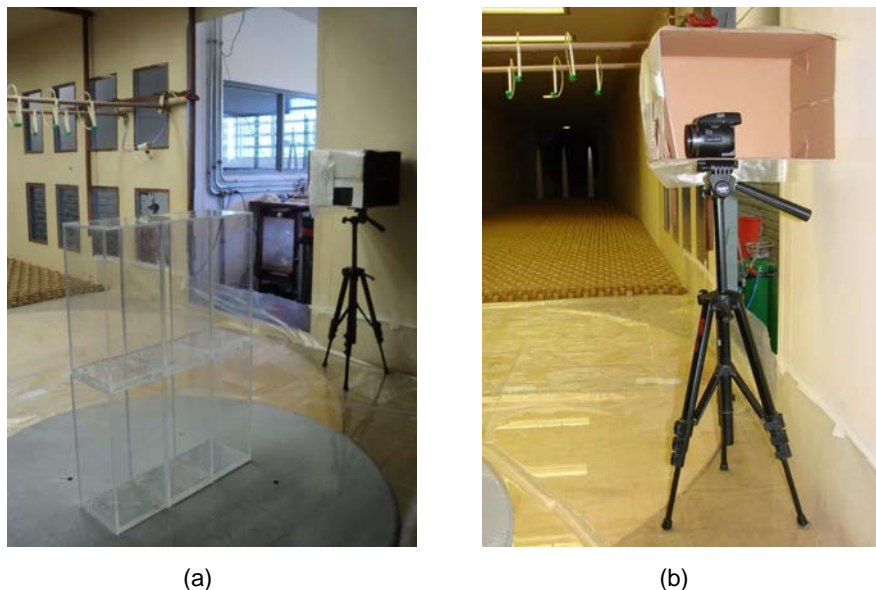


Figura 135: (a) configuração do ensaio e (b) câmera fotográfica protegida para realização do ensaio

O descolamento do topo da edificação foi muito bem visualizado a olho nu e nas gravações em vídeos. A figura 136 apresenta a chuva incidindo sobre a fachada, bem como seu descolamento (marcado com a seta) na aresta superior da edificação.

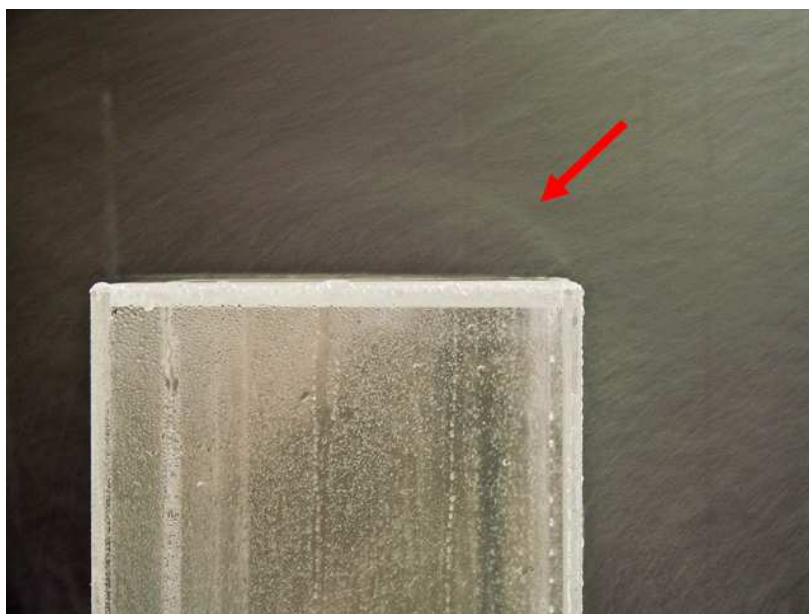


Figura 136: descolamento do vento e chuva na aresta superior da edificação

5.3 COMPARAÇÕES DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE VENTO E DE CHUVA DIRIGIDA

Com base nos resultados desta pesquisa foi comprovado experimentalmente que a ação dos dois fluidos vento e chuva atuando simultaneamente sobre a fachada da edificação é muito diferente da ação de cada um deles atuando isoladamente. As figuras 137 a 145 apresentam um comparativo dos resultados obtidos nas Etapas 1 e 2.

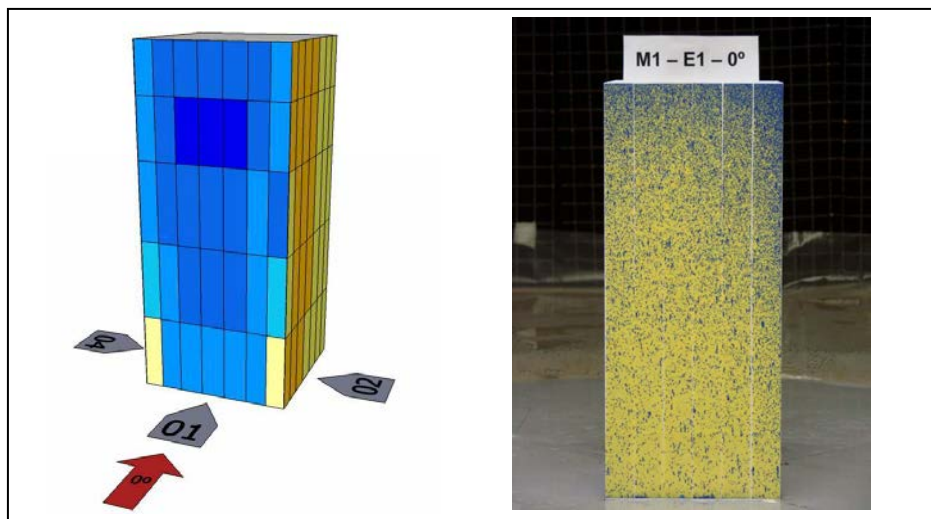


Figura 137: resultados dos ensaios de vento e chuva dirigida (Modelo 1, Entorno 1, vento 0°)

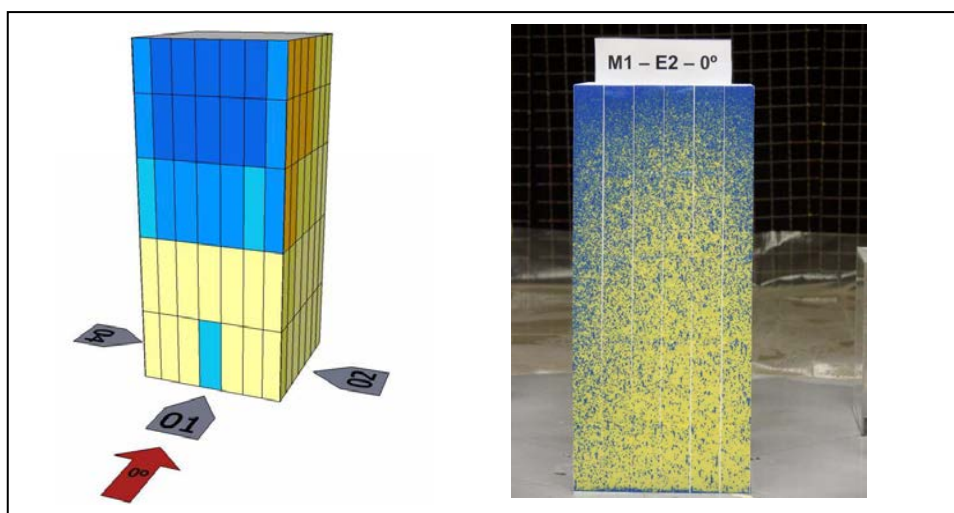


Figura 138: resultados dos ensaios de vento e chuva dirigida (Modelo 1, Entorno 2, vento 0°)

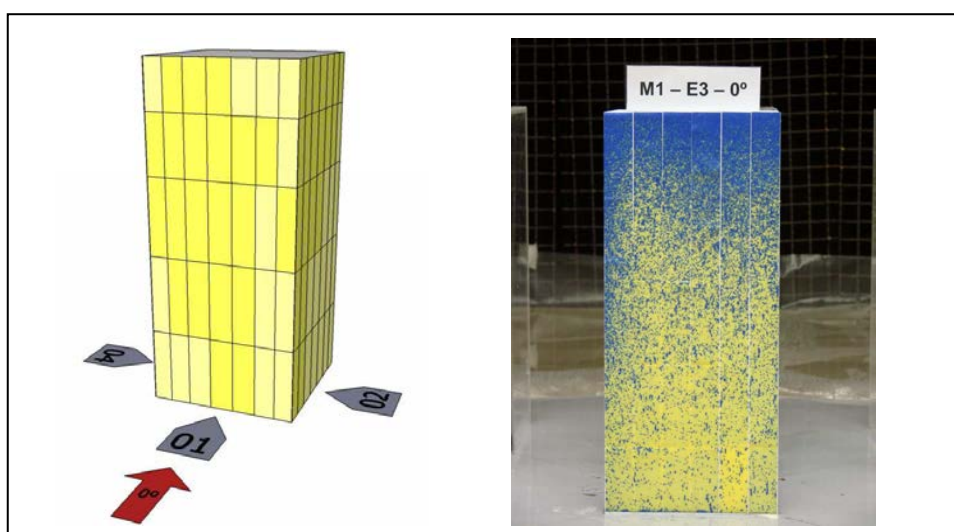


Figura 139: resultados dos ensaios de vento e chuva dirigida (Modelo 1, Entorno 3, vento 0°)

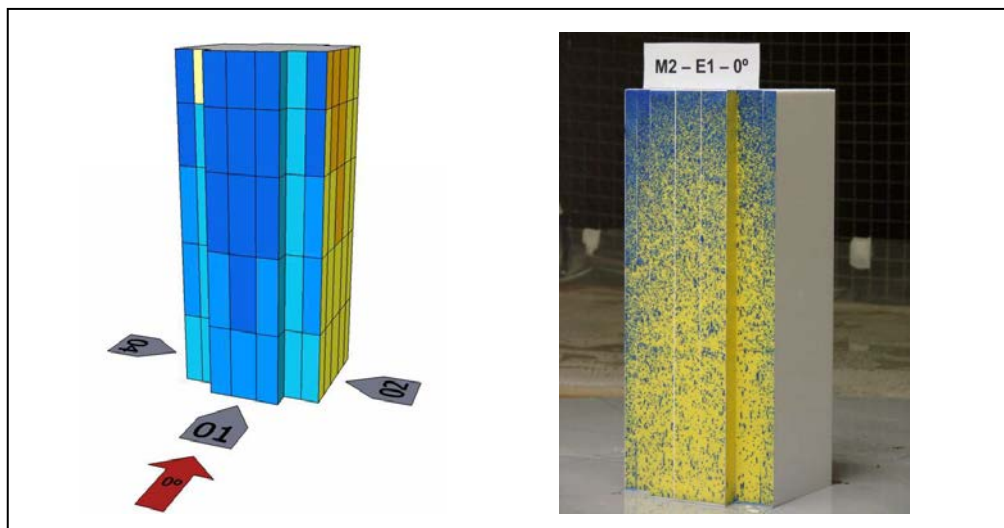


Figura 140: resultados dos ensaios de vento e chuva dirigida (Modelo 2, Entorno 1, vento 0°)

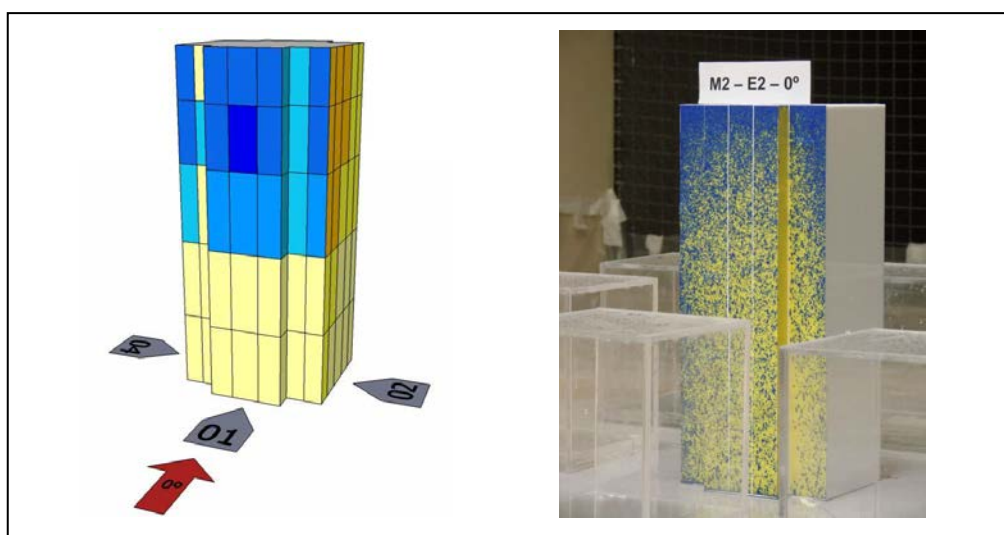


Figura 141: resultados dos ensaios de vento e chuva dirigida (Modelo 2, Entorno 2, vento 0°)

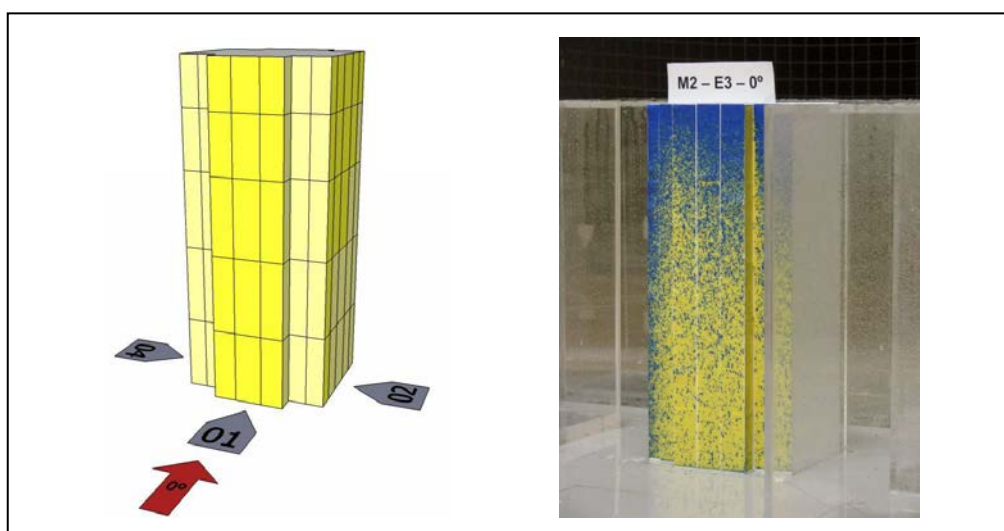


Figura 142: resultados dos ensaios de vento e chuva dirigida (Modelo 2, Entorno 3, vento 0°)

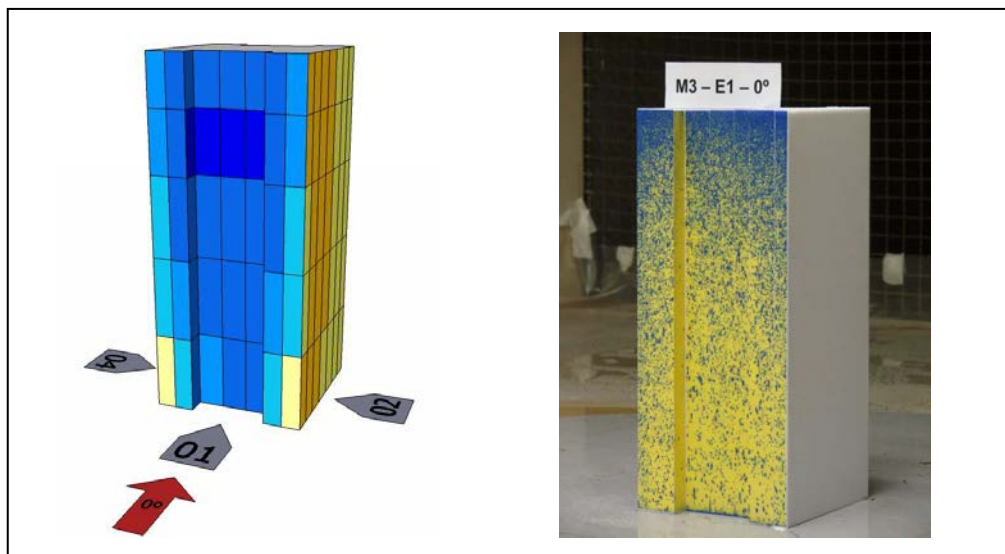


Figura 143: resultados dos ensaios de vento e chuva dirigida (Modelo 3, Entorno 1, vento 0°)

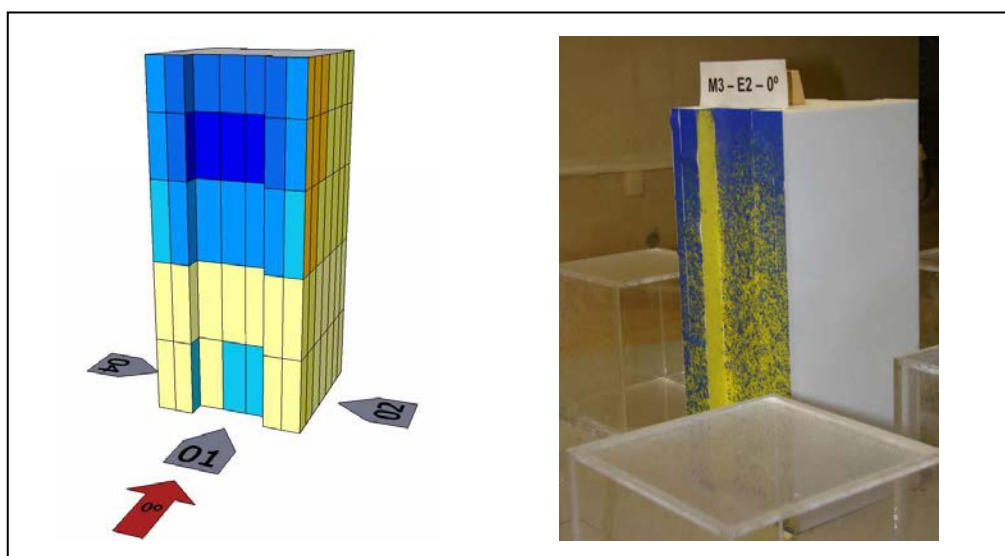


Figura 144: resultados dos ensaios de vento e chuva dirigida (Modelo 3, Entorno 2, vento 0°)

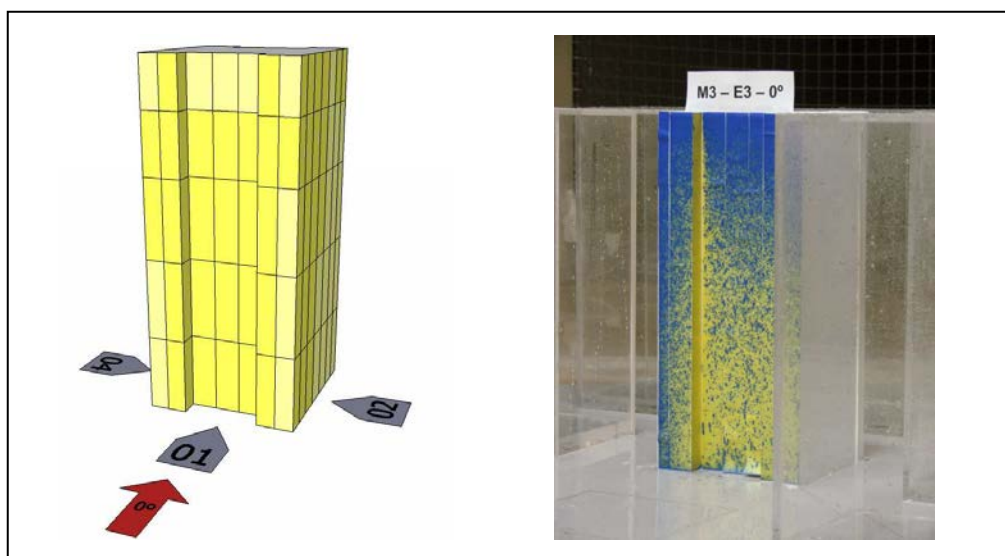


Figura 145: resultados dos ensaios de vento e chuva dirigida (Modelo 3, Entorno 3, vento 0°)

Comparando-se os resultados obtidos nos ensaios de vento com os de chuva dirigida, verificou-se que:

- a) os padrões de molhamento da chuva dirigida sobre as fachadas em nada se assemelham com a distribuição de pressões do vento;
- b) nas edificações isoladas (sem entorno) os ensaios de vento apresentam maiores valores de pressão, com vento incidindo a 0° na fachada principal, a aproximadamente $2/3$ da altura; já nos ensaios de chuva dirigida, o padrão de molhamento forma uma parábola, onde as áreas mais afetadas são o topo e proximidades das arestas laterais da fachada;
- c) nos ensaios de vento as edificações de entorno atuaram positivamente no sentido de proteção da edificação principal. Isto não ocorreu nos ensaios de chuva dirigida, onde todos os modelos apresentaram a parábola de molhamento, demarcando as áreas mais afetadas da fachada;
- d) a forma da edificação não influenciou de forma significativa os resultados dos ensaios de vento e de chuva dirigida, com vento incidindo a 0° na fachada. Porém, nos ensaios de vento, as saliências ou reentrâncias foram atingidas pelo vento (sobrepessões) e nos ensaios com vento e chuva as mesmas não foram atingidas pela chuva dirigida, ficando protegidas, recebendo apenas alguns respingos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve por objetivo principal avaliar a influência da volumetria e das condições de entorno no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida. Para tal avaliação realizaram-se ensaios da ação do vento atuando isoladamente sobre as fachadas e da ação conjunta do vento e da chuva (chuva dirigida). Além disso, foram realizados alguns ensaios extras a título de complementação dos resultados obtidos.

As conclusões desta pesquisa, baseadas nos resultados encontrados, são apresentadas a seguir. Entretanto, a representatividade dos resultados deve ser firmada pela realização de novos estudos, buscando confirmar e complementar os dados obtidos neste trabalho.

São propostas neste capítulo também, algumas sugestões para trabalhos futuros, visando dar continuidade aos estudos deste tema e despertar a curiosidade de outros pesquisadores neste assunto.

6.1 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho chegaram-se às seguintes conclusões:

6.1.1 Quanto ao vento

Para as três formas estudadas com o vento incidindo a fachada a barlavento a 0° as sobrepressões do vento atingem o ponto máximo de pressão em aproximadamente $2/3$ da altura da fachada e as demais fachadas apresentam pressões negativas (sucção). Nas fachadas laterais as pressões vão diminuindo (ficando mais próximas a zero) conforme vão se aproximando da fachada a sotavento. Nesta fachada a pressão do vento é uniforme e negativa, distribuindo-se de forma constante sobre toda a face.

Conforme aumenta o ângulo de incidência do vento, as áreas de sobrepressão se deslocam lateralmente com o vento. Dependendo do ângulo, as saliências das edificações em forma de cruz e de H protegem parte das fachadas. Para o ângulo de 90° o perfil de atuação do vento é idêntico ao do ângulo de 0° , apenas deslocado para a fachada seguinte.

Com a inserção de edificações de entorno com metade da altura da edificação principal, a área abaixo da altura das edificações de entorno (metade inferior) fica protegida da ação do vento,

apresentando sucções. A aproximadamente 2/3 da altura da fachada a barlavento, também há o ponto máximo de pressão.

Com a inserção de edificações de entorno com mesma altura da edificação principal, as fachadas ficam praticamente todas protegidas da ação direta do vento, sofrendo efeito de sucção. Devido à formação de corredores de vento entre as edificações, em algumas configurações se observaram sobrepressões de vento próximas às arestas verticais.

6.1.2 Quanto à chuva dirigida

Com relação à forma da edificação, se concluiu que esta praticamente não influencia no padrão de molhamento das fachadas. Para as três formas estudadas, a parábola de molhamento foi reproduzida. De uma forma geral, baseado nos ensaios que foram realizados sem repetição, constatou-se que, para o ângulo de 0° de incidência do vento, a forma H foi a que apresentou maior área molhada, seguida da forma de cruz e, por fim, da forma prismática. As reentrâncias e saliências das edificações não afetam o molhamento e as suas laterais permanecem sem molhar, recebendo apenas alguns poucos respingos de chuva.

Com relação aos efeitos dos diferentes entornos das edificações, se concluiu que o entorno alto apresentou uma faixa maior (mais larga) molhada na parte superior da fachada que os demais modelos, entretanto as bases das fachadas receberam menor ação da chuva. O entorno baixo apresenta uma maior distribuição do molhamento ao longo da altura da fachada. E, ao contrário do esperado, a edificação isolada (sem entorno) foi a configuração que apresentou melhores resultados, ou seja, menor molhamento da fachada. Desta forma, constatou-se com os ensaios realizados que os entornos não protegem a fachada da ação da chuva dirigida, e sim, agravaram o molhamento.

Levando em consideração o manchamento e infiltração de água na fachada por ação de chuva dirigida, a melhor configuração de forma e entorno encontrada neste trabalho foi o prédio prismático e isolado (sem entorno), que se apresentou menos suscetível ao molhamento da fachada principal. Já a pior configuração foi a do prédio com forma H e com entorno alto.

Com relação aos ensaios extras realizados com fim exploratório, conclui-se que:

- a) quando a chuva atua isoladamente sobre a edificação, sem ação do vento, esta não molha as suas fachadas, que recebem apenas alguns respingos de água;
- b) ventos com velocidades consideravelmente mais elevadas de incidência molham as fachadas em maior magnitude pela chuva, não podendo se perceber nitidamente a parábola de molhamento;
- c) quando um prédio está protegido por vizinhança com o dobro de sua altura, este fica bastante protegido da ação da chuva dirigida pois a chuva que atinge a

fachada a barlavento é consideravelmente inferior quando comparada a uma edificação central alta;

- d) com ângulos de incidência do vento diferentes de 0° , as saliências das edificações em forma de cruz e de H protegem as áreas das fachadas que ficam atrás das mesmas;
- e) a ocorrência do descolamento da chuva dirigida foi comprovada com a visualização do mesmo, ensaiando-se uma edificação em maior escala.

6.1.3 Demais conclusões

Com base nos resultados encontrados pode-se afirmar que a ação dos dois fluidos (vento e chuva) atuando simultaneamente é muito diferente da ação do vento atuando isoladamente nas edificações. A chuva dirigida não obedece as mesmas leis da distribuição de pressões de vento (embora esse seja um dos principais agentes na distribuição de chuvas nas paredes verticais). Isso contradiz a postura adotada de muitos projetistas que se preocupam em proteger ou atuar de alguma forma preventiva contra manchamentos e infiltrações de água somente nas áreas das fachadas que não estão protegidas por edificações vizinhas. Essa postura é válida apenas para a ação do vento, porém, quando da atuação conjunta da chuva a situação é muito mais complexa.

Conforme citado na revisão bibliográfica, as direções Leste, Sudeste e Sul são as principais direções do vento, e conseqüentemente de chuva dirigida, na cidade de Porto Alegre/RS. Desta forma, e baseado nos resultados apresentados neste trabalho, é importante que os projetistas dêem atenção especial para estas fachadas quando da elaboração de novos projetos de edificações.

Pôde-se concluir, levando em consideração as limitações da pesquisa e baseando-se nos resultados obtidos, que este trabalho cumpre os seus objetivos. Com a análise dos resultados obtidos se verificou que as hipóteses propostas no início deste trabalho foram em grande parte negadas, conforme observações a seguir:

- a) diferentes volumetrias de edifícios não influenciam de maneira diferente o manchamento e a infiltração de água em fachadas com o vento incidindo a 0° ;
- b) quanto maiores as alturas das edificações de entorno, as edificações ficam mais protegidas quanto ao manchamento se for considerada apenas a ação do vento atuando isoladamente. Para a ação da chuva dirigida, quanto maiores as alturas das edificações de entorno, as edificações ficam mais suscetíveis ao manchamento e à infiltração de água em suas fachadas, porém o entorno com o dobro da altura protege a edificação central;

- c) a intensidade da ação da chuva dirigida é a mesma independente do ângulo de incidência do vento. Com ângulos de vento oblíquos às fachadas, as saliências das edificações protegem as áreas que se encontram atrás das mesmas.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visto que o presente estudo ficou limitado pelas variáveis controláveis propostas, e que durante a sua realização surgiram novos questionamentos, sugere-se para pesquisas futuras:

- realizar uma análise quantitativa das áreas afetadas pela chuva dirigida através de programa computacional de análise de imagens, buscando informar a porcentagem da fachada que foi molhada e a que ficou seca para cada configuração de ensaio;
- estudar outras formas de edificações, com diferentes saliências e reentrâncias, formas arredondadas, diferentes alturas, larguras e comprimentos;
- estudar outras configurações de entorno, variando as alturas das edificações e as distâncias da edificação principal;
- estudar outros tipos de entorno e sua influência na edificação principal, como por exemplo vegetações (árvores) e muros;
- estudar experimentalmente a influência de aberturas (janelas e portas), peitoris, sacadas, marquises e outros detalhes arquitetônicos;
- estudar experimentalmente a influência de diferentes materiais aplicados nas fachadas, como texturas, tintas, cerâmicas ou pastilhas, alumínio composto (acm), entre outros;
- estudar experimentalmente os efeitos da chuva dirigida juntamente com partículas de poluição atmosférica.

REFERÊNCIAS

ADDLESON, L; RICE, C. **Performance of Materials in Buildings**: a study of the principles and agencies of change. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1991.

AROZTEGUI, J. M. **Desempenho térmico de janelas: contribuição para o estudo de uma regulamentação de conforto térmico natural nos edifícios**. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1984. Caderno Técnico 75.

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

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

BAUER, E. **Resistência a penetração da chuva em fachadas de alvenaria de materiais cerâmicos: uma análise de desempenho**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre, 1987.

BIRKELAND, O. Rain Penetration. In: **Moisture problems in buildings**. RILEM/CIB Symposium. Helsinki, 1965.

BLESSMANN, J. **Aerodinâmica das construções**. 2 ed. Porto Alegre. Ed. da UFRGS, 1990. 263 p.

_____. **O vento na engenharia estrutural**. Porto Alegre. Ed. da UFRGS, 1995. 166p.

BLOCKEN, B.; CARMELIET, J. Driving rain on building envelopes: I – numerical estimation and full-scale experimental verification. **Journal of Building Physics**, Belgium, v. 24, 2000.

_____. A review of wind-driven rain research in building science. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Elsevier, v. 92, 2004, p. 1079-1130.

_____. On the accuracy of wind-driven rain measurements on buildings. **Building and Environment**, Elsevier, v. 41, 2006, p. 1798-1810.

BONIN, L. C. (Coord.). Manuais de referência técnica. In: SEMINÁRIO QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL - Gestão e tecnologia, 2., 1993, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Curso de pós-graduação em Engenharia Civil, NORIE, UFRGS, 1993.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 8104**: Code of practice for assessing exposure of walls to winddriven rain. London, BSI, 1992, 74p.

CARRIÓ, J. M. Humedades en fachada. Filtración y condensación. In: CARRIÓ J. M. (Coord.). **Patología y técnicas de intervención. Fachadas y cubiertas**. Tratado de Rehabilitación. Madrid: Organización del Master de Restauración Arquitectónica. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, 1999 p. 55-76.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; DA SILVA, R. **Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

CHOI, E. C. C. Criteria for Water Penetration Testing. In: KUDDER, R. J.; ERDLY, J. L. (Ed.). **Water Leakage Through Building Facades**. ASTM STP 1314, American Society for Testing and Materials. United States, Orlando, 1998. p. 3-16.

CLAUZON, J. **Comment réussir vos enduits de façades**. Paris: Editeur SEDIMA, 1994.

COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS. **Durabilidad de estructuras de hormigón**: recomendaciones y manuales técnicos. Guía de diseño. Estructuras y edificación. 2. ed. Madrid: Ed. GEHO-CEB, Grupo Español del Hormigón, 1996. (Boletín, 12).

CONSEIL INTERNATIONAL DU BÂTIMENT POUR LA RECHERCHE L'ÉTUDE ET LA DOCUMENTATION. Working Comissions W60. **Working with the performance approach in building**. CIB Report. Publication, 64. Rotterdam, 1982. 30 p.

CONSOLI, O. J.; REPETTE, W. L. **Desempenho de fachadas**: análise de componentes sob aspectos do projeto arquitetônico. Desempenho de sistemas construtivos. Chapecó, 2006.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado**: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul, 1988. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 1988.

DAL MOLIN, D. C. C.; KULAKOWSKI, M. P.; RIBEIRO, J. L. D. Contribuições ao planejamento de experimentos em projetos de pesquisa de engenharia civil. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 37-49, abr./jun. 2005.

GANDEMER, J. **Wind environment around buildings; aerodynamic concepts**. In: International conference on wind effects on buildings and structures, 4, 1975, Heathrow. Proceedings... Heathrow: Keith J. Eaton, 1975.

GENEL, F. **Salissures de façade: comment les éviter? Exemples de solutions techniques**. Guide pratique. Paris: CSTB, 2005.

GIONGO, M. **Análise do nível de exposição das edificações à chuva dirigida para Florianópolis**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007. 107 p.

GIONGO, M.; PADARATZ, I. J.; LAMBERTS, R. **Um estudo sobre chuva dirigida em Florianópolis-SC**. XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Fortaleza, 2008.

GRUNAU, E. B. **La lutte contre l'humidité dans les façades**. Paris: Editions Eyrolles, 1970.

HUBERTY, J. M. **Durabilité d'aspect des bétons apparents: le vieillissement des façades**. Centre Scientifique et Technique de la Construction, Fédération de l'Industrie du Béton, Fédération de l'Industrie Cimentière. Bruxelles, 1980.

INCULEY, D.; SURRY, D.; SKERLJ, P. F. **The experimental simulation of Wind and rain effects on the building envelope**. The Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory, The University

of Western Ontario, London, Ontario, Canada. IRC-NRC-BLWTL Conference on Curtain Wall, 1994.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Climatologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 31 jul. 2010.

JOHN, V. M. **Avaliação da durabilidade de materiais componentes e edificações: emprego do Índice de Degradação**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre, 1987.

KARAGIOZIS, A.; HADJISOPHOCLEOUS, G.; CAO, S. Wind-driven rain distributions on two buildings. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Elsevier, v. 67&68, 1997, p. 559-572.

LACASSE, M. A. **Durability and performance of building envelopes**. Institute for Research in Construction, National Research Council Canada. IRC Building Science Insight 2003 Seminar Series. Canada, 2003.

LACY, R. E. Driving-rain maps and the onslaught of rain on buildings. In: **Moisture problems in buildings**. RILEM/CIB Symposium. Helsinki, 1965.

LANER, F. J. **Manifestações patológicas nos viadutos, pontes e passarelas do município de Porto Alegre**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre, 2001.

LERSCH, I. M. **Contribuição para identificação dos principais fatores e mecanismos de degradação em edificações do patrimônio cultural de Porto Alegre**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre, 2003.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das construções**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1986.

LIMA, C. B. S.; LIVI, F. P.; MURILLO, R. M. R.; SILVA, N. L. A.; MELCHIORS, D. J. Emissões Atmosféricas: impacto na qualidade do ar. In: MENEGAT, R.; FERNANDES, L. A. D.; PORTO, M. L.; CARRARO, C. C. (Coord.). **Atlas ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1998 p. 163-164.

LIMA, M. G.; ESTRELA, P. H. T. **Determinação e análise de índices de exposição à chuva dirigida para São José dos Campos – SP com base em dados dos anos de 2008 e 2009**. XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Canela, 2010.

LIMA, M. G. L.; MORELLI, F. **Mapa brasileiro de “chuva dirigida” – algumas considerações**. VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas e I International Symposium on Mortars Technology. Florianópolis, 2005.

LIMA, M. G. L.; MORELLI, F.; LENCIONI, J. W. Discussão sobre os parâmetros ambientais de degradação do ambiente construído – estudos relativos a materiais e sistemas para fachadas. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas e I International Symposium on Mortars Technology. **Anais...** Florianópolis, 2005.

LIVI, F. P. Elementos do clima: o contraste de tempos frios e quentes. In: MENEGAT, R.; FERNANDES, L. A. D.; PORTO, M. L.; CARRARO, C. C. (Coord.). **Atlas ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1998. p. 73–78.

LIVI, F. P.; LIMA, C. B. S.; MURILLO, R. M. R. Mapa de potencial de poluição atmosférica por emissões veiculares. In: MENEGAT, R.; FERNANDES, L. A. D.; PORTO, M. L.; CARRARO, C. C. (Coord.). **Atlas ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1998. p. 168.

LOREDO-SOUZA, A. M. (Coord.). **Estudo da interação vento-chuva sobre o ginásio SESC Rio**. Laboratório de Aerodinâmica das Construções. Porto Alegre, 2007 (não publicado).

MACHADO, D. S. **Caracterização aerodinâmica de cabos de pontes estaiadas submetidos à ação combinada de chuva e vento**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre, 2008.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa**: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MARSH, P. **Air and rain penetration of buildings**. London: The Construction Press, 1977.

MARTÍN, J. G. **Revestimientos contínuos. Tradicionales y modernos**. 1 ed. Madrid: Fundación Escuela de la Edificación, 2005.

MASCARÓ, L. E. A. R. de (Coord.). **Estudo da influência do adensamento da cidade de Porto Alegre na ventilação urbana**. Porto Alegre: UFRGS, Faculdade de Arquitetura, Propar, 1996. 78p.

_____. **Energia na edificação: estratégia para minimizar seu consumo**. São Paulo: Ed. Projeto, 1985.

_____. **Ambiência Urbana** = Urban environment. 2. ed. Porto Alegre: + 4 Editora, 2004, p.199.

MELO JR., C. M. **Influência da chuva dirigida e dos detalhes arquitetônicos na durabilidade de revestimentos de fachada**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geotecnia, Construção Civil e Mecânica das Estruturas, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2010. 204 p.

MELO JR., C. M.; CARASEK, H. **Comportamento diferenciado na deterioração de revestimentos de argamassa: influência da chuva dirigida**. IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Belo Horizonte, 2011.

MORALES, S. L. Comportamiento hídrico de los edificios de construcción tradicional, y de sus materiales. Criterios generales. In: CARRIÓ J. M. (Coord.). **Patología y técnicas de intervención. Fachadas y cubiertas**. Tratado de Rehabilitación. Madrid: Organización del Master de Restauración Arquitectónica. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, 1999 p. 15-27.

PAGNUSSAT, D. T.; PAULETTI, C.; POSSER, N. D.; MASUERO, A. B. Avaliação das manifestações patológicas em fachadas de prédio histórico na cidade de Porto Alegre. In: V Simpósio brasileiro de tecnologias das argamassas. **Anais...** São Paulo, 2003.

PERES, R. M. **Levantamento e identificação de manifestações patológicas em prédio histórico – um estudo de caso**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre, 2001.

PEREZ, A. R. Manutenção dos edifícios. **Tecnologia de edificações**. São Paulo: PINI/IPT, 1988a. p. 611-614.

_____. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas. **Tecnologia de edificações**. São Paulo: PINI/IPT, 1988b. p. 571-578.

_____. **Estanqueidade das fachadas**. s/d.

PETRUCCI, H. M. C. **A alteração da aparência das fachadas dos edifícios**: interação entre as condições ambientais e a forma construída. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre, 2000. 107p.

POLISSENI, A. E. **Método para avaliar a capacidade de impermeabilizante de revestimento de paredes – método do cachimbo**. Dissertação de mestrado profissionalizante. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre, 1986.

QUALITÉ CONSTRUCTION. **L'étanchéité a l'eau des façades lourdes**. Première Partie. Édition E.G. Paris, 1995.

RESENDE, M. M. **Manutenção preventiva de revestimentos de fachada de edifícios**: limpeza de revestimentos cerâmicos. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

RESENDE, M. M.; MEDEIROS, J. S. **Manutenção preventiva de revestimentos de fachada de edifícios**: limpeza de revestimentos cerâmicos. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2004.

RIBEIRO, J. L. D.; TEN CATEN, C. **Projeto de Experimentos**. Série monográfica Qualidade. PPGE/UFGRS, FEENG, Porto Alegre, Brasil. 2003.

RICHTER, C. **Qualidade da alvenaria estrutural em habitações de baixa renda: uma análise da confiabilidade e da conformidade**. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre, 2007.

RIVERO, R. O. **Arquitetura e clima: condicionamento técnico natural**. Porto Alegre: Ed. D. C. Luzzato, UFRGS, 1985.

ROBINSON, G.; BAKER, M. C. **Wind-driven rain and buildings**. Technical Paper, 445. Ottawa: National Research Council Canada, Division of Building Research, 1975.

ROMERO, M. A.; SIMÕES, J. R. L. **A importância do detalhamento de componentes construtivos de fachada nos edifícios**. I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Goiânia, 1995.

SATO, N. M. N. et al. Condensação de vapor de água e desenvolvimento de microorganismos em fachadas de edifícios: estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 9. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2002.

SATTLER, M. **Conforto Térmico. Caracterização dos fatos e elementos determinantes do clima.** Porto Alegre: UFRGS, 2009.

SCHWARTZ, B. **Enduits de façades.** Elancourt: Publications CATED, 1995.

SILVA, A. C. S. B.; GIRALT, R. P., Estabelecimento de um índice de chuva dirigida para Porto Alegre. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Rio de Janeiro, 1995. **Anais...** v2. Rio de Janeiro. 1995. p. 605-610.

SILVA, A. F. **Manifestações patológicas em fachadas com revestimentos argamassados: estudo de caso em edifícios em Florianópolis.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007. 190 p.

SILVA, J. M.; ABRANTES, V. Patologia em paredes de alvenaria: causas e soluções. In: LOURENÇO, P. B. et al. (Eds.). **Seminário sobre Paredes de Alvenaria.** Portugal, 2007.

SILVA, J. M.; TORRES, M. I. **Deficiências do desempenho dos peitoris na protecção das fachadas contra a acção da água.** 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios – PATORREB. FEUP, Porto, 2003.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: PINI, 1998.

SURRY, D.; INCULET, D. R.; SKERLJ, P. F.; LIN J-X.; DAVENPORT, A. G. Wind, rain and the building envelope: a status report of ongoing research at the University of Western Ontario. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Elsevier, v. 53, 1994, p. 19-36.

TERRA, R. C. **Levantamento de manifestações patológicas em revestimentos de fachadas das edificações da cidade de Pelotas, 2001.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2001.

THOMAZ, E. **Manual técnico de alvenaria.** Patologia. São Paulo: Ed. Projeto, 1990. p. 97-117.

UBER, L. L. **A climatologia aplicada ao ambiente construído:** uma contribuição à caracterização climática de Porto Alegre/RS. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre, 1992. 131p.

VALLEJO, F. J. L. Ensuciamiento físico de fachadas. Limpieza y prevención. In: CARRIÓ J. M. (Coord.). **Patologia y técnicas de intervención. Fachadas y cubiertas.** Tratado de Rehabilitación. Madrid: Organización del Master de Restauración Arquitectónica. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, 1999 p. 205-236.

VALLEJO, F. J. L. **Ensuciamiento de fachadas por contaminación atmosférica; análisis y prevención.** Valladolid: Universidad, Secretariado de Publicaciones, 1990.

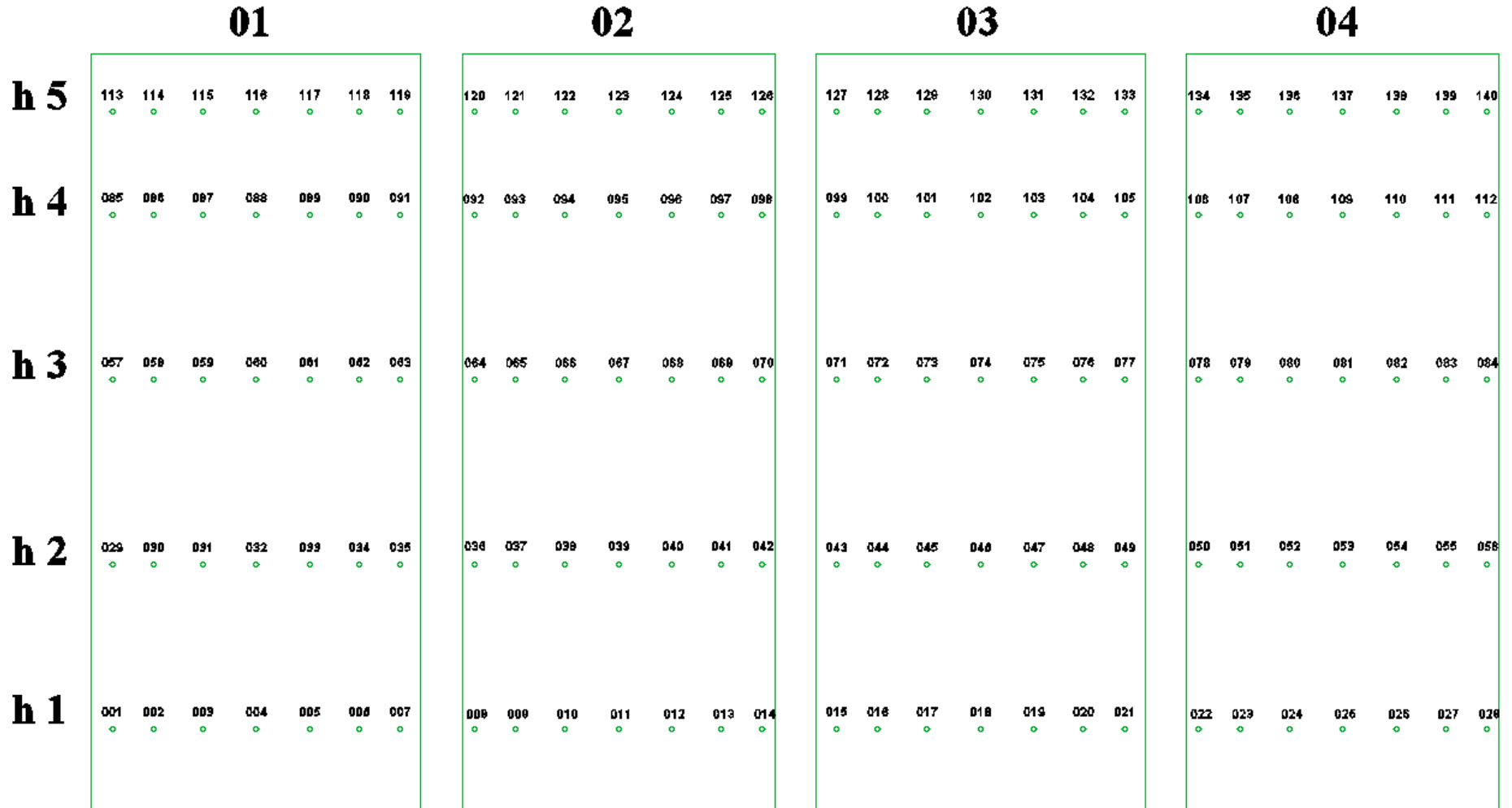
VARGAS, M. **Metodologia da pesquisa tecnológica.** Rio de Janeiro: Globo, 1985.

VIEIRA, A. A. **Influência dos detalhes arquitetônicos no estado de conservação das fachadas de edificações do patrimônio cultural do centro histórico de Porto Alegre – estudo de caso.** Dissertação de mestrado profissionalizante. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre, 2005.

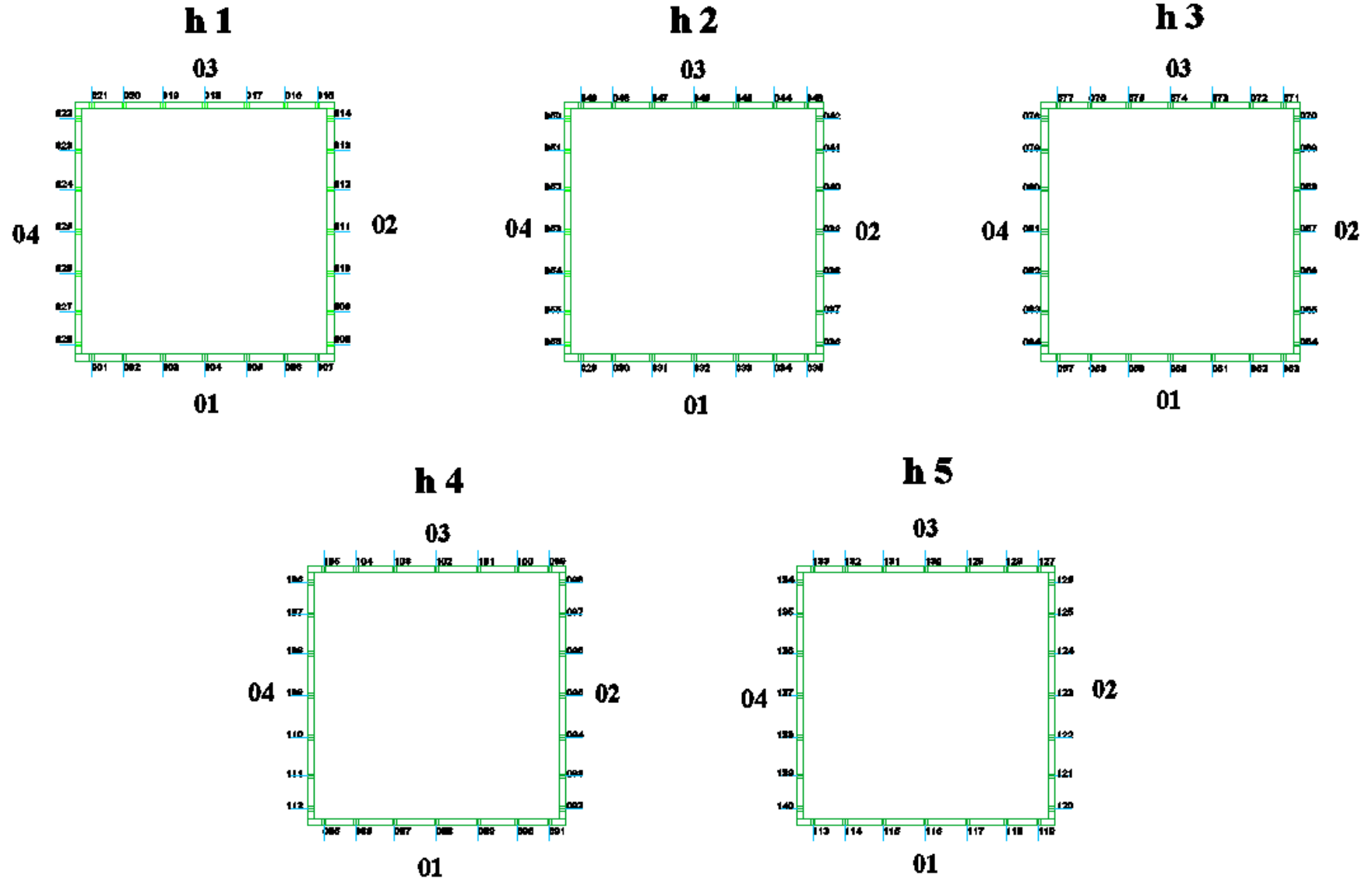
APÊNDICES

APÊNDICE A – TOMADAS DE PRESSÃO DOS MODELOS REDUZIDOS ENSAIADOS
COM VENTO

MODELO 1 - NUMERAÇÃO TOMADAS (VISTAS FACHADAS)



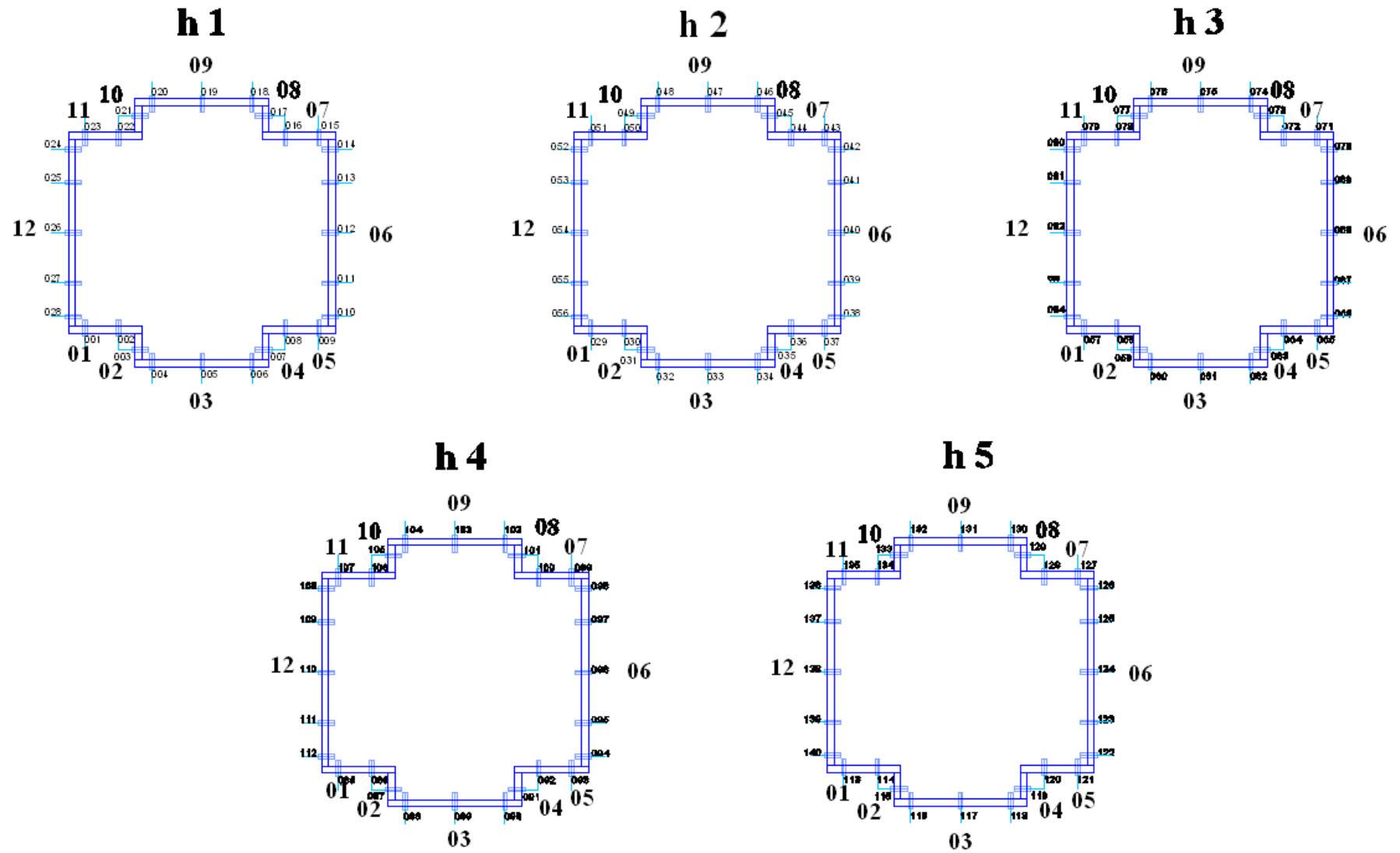
MODELO 1 - NUMERAÇÃO TOMADAS (CORTES)



MODELO 2 - NUMERAÇÃO TOMADAS (VISTAS FACHADAS)

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12																
h 5	119 ○	114 ○	115 ○	116 ○	117 ○	118 ○	119 ○	120 ○	121 ○	122 ○	123 ○	124 ○	125 ○	126 ○	127 ○	128 ○	129 ○	130 ○	131 ○	132 ○	133 ○	134 ○	135 ○	136 ○	137 ○	138 ○	139 ○	140 ○
h 4	085 ○	086 ○	087 ○	088 ○	089 ○	090 ○	091 ○	092 ○	093 ○	094 ○	095 ○	096 ○	097 ○	098 ○	099 ○	100 ○	101 ○	102 ○	103 ○	104 ○	105 ○	106 ○	107 ○	108 ○	109 ○	110 ○	111 ○	112 ○
h 3	057 ○	058 ○	059 ○	060 ○	061 ○	062 ○	063 ○	064 ○	065 ○	066 ○	067 ○	068 ○	069 ○	070 ○	071 ○	072 ○	073 ○	074 ○	075 ○	076 ○	077 ○	078 ○	079 ○	080 ○	081 ○	082 ○	083 ○	084 ○
h 2	029 ○	030 ○	031 ○	032 ○	033 ○	034 ○	035 ○	036 ○	037 ○	038 ○	039 ○	040 ○	041 ○	042 ○	043 ○	044 ○	045 ○	046 ○	047 ○	048 ○	049 ○	050 ○	051 ○	052 ○	053 ○	054 ○	055 ○	056 ○
h 1	001 ○	002 ○	003 ○	004 ○	005 ○	006 ○	007 ○	008 ○	009 ○	010 ○	011 ○	012 ○	013 ○	014 ○	015 ○	016 ○	017 ○	018 ○	019 ○	020 ○	021 ○	022 ○	023 ○	024 ○	025 ○	026 ○	027 ○	028 ○

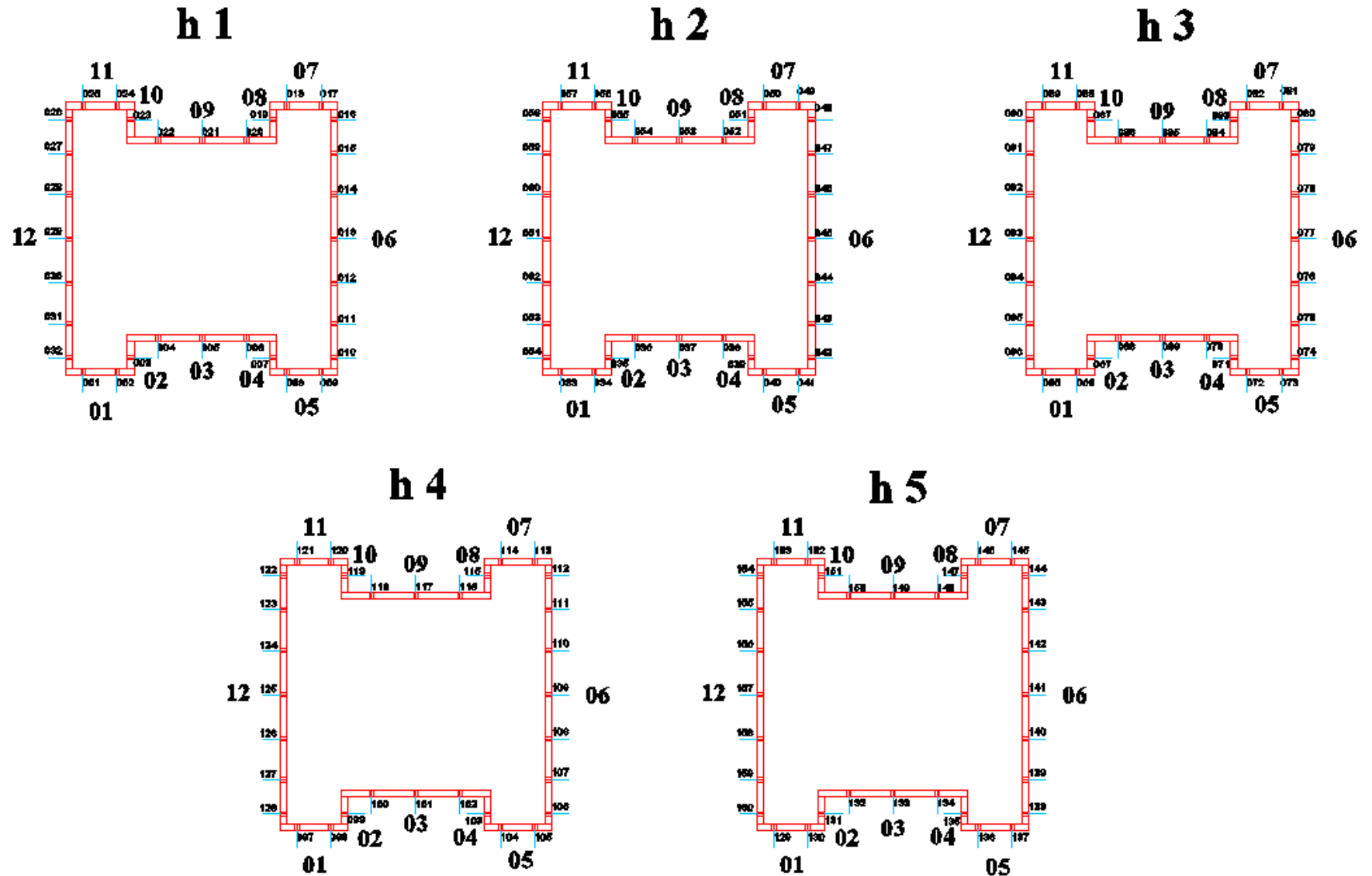
MODELO 2 - NUMERAÇÃO TOMADAS (CORTES)



MODELO 3 - NUMERAÇÃO TOMADAS (FACHADAS)

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12																					
h 5	129 ◊	130 ◊	131 ◊	132 ◊	133 ◊	134 ◊	135 ◊	136 ◊	137 ◊	138 ◊	139 ◊	140 ◊	141 ◊	142 ◊	143 ◊	144 ◊	145 ◊	146 ◊	147 ◊	148 ◊	149 ◊	150 ◊	151 ◊	152 ◊	153 ◊	154 ◊	155 ◊	156 ◊	157 ◊	158 ◊	159 ◊	160 ◊	
h 4	097 ◊	098 ◊	099 ◊	100 ◊	101 ◊	102 ◊	103 ◊	104 ◊	105 ◊	106 ◊	107 ◊	108 ◊	109 ◊	110 ◊	111 ◊	112 ◊	113 ◊	114 ◊	115 ◊	116 ◊	117 ◊	118 ◊	119 ◊	120 ◊	121 ◊	122 ◊	123 ◊	124 ◊	125 ◊	126 ◊	127 ◊	128 ◊	
h 3	065 ◊	066 ◊	067 ◊	068 ◊	069 ◊	070 ◊	071 ◊	072 ◊	073 ◊	074 ◊	075 ◊	076 ◊	077 ◊	078 ◊	079 ◊	080 ◊	081 ◊	082 ◊	083 ◊	084 ◊	085 ◊	086 ◊	087 ◊	088 ◊	089 ◊	090 ◊	091 ◊	092 ◊	093 ◊	094 ◊	095 ◊	096 ◊	097 ◊
h 2	033 ◊	034 ◊	035 ◊	036 ◊	037 ◊	038 ◊	039 ◊	040 ◊	041 ◊	042 ◊	043 ◊	044 ◊	045 ◊	046 ◊	047 ◊	048 ◊	049 ◊	050 ◊	051 ◊	052 ◊	053 ◊	054 ◊	055 ◊	056 ◊	057 ◊	058 ◊	059 ◊	060 ◊	061 ◊	062 ◊	063 ◊	064 ◊	
h 1	001 ◊	002 ◊	003 ◊	004 ◊	005 ◊	006 ◊	007 ◊	008 ◊	009 ◊	010 ◊	011 ◊	012 ◊	013 ◊	014 ◊	015 ◊	016 ◊	017 ◊	018 ◊	019 ◊	020 ◊	021 ◊	022 ◊	023 ◊	024 ◊	025 ◊	026 ◊	027 ◊	028 ◊	029 ◊	030 ◊	031 ◊	032 ◊	

MODELO 3 - NUMERAÇÃO TOMADAS (CORTES)



APÊNDICE B – RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE VENTO
(PLANILHAS DE COEFICIENTES DE PRESSÃO)

RESULTADOS VENTO - MODELO 1 / ENTORNO 1							
Cp _{Médio}							
Tomada	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	0,01	0,07	0,17	0,28	0,38	0,46	0,65
2	0,25	0,18	0,06	0,10	0,25	0,42	0,68
3	0,34	0,29	0,19	0,00	0,18	0,46	0,81
4	0,38	0,35	0,28	0,10	0,12	0,54	0,94
5	0,34	0,35	0,32	0,15	0,12	0,73	1,06
6	0,24	0,29	0,34	0,20	0,16	0,91	1,08
7	0,01	0,12	0,31	0,23	0,26	0,96	1,03
8	1,02	0,97	0,30	0,23	0,28	0,11	0,02
9	1,06	0,90	0,18	0,20	0,31	0,29	0,25
10	1,05	0,72	0,13	0,15	0,29	0,34	0,35
11	0,93	0,53	0,14	0,09	0,25	0,35	0,39
12	0,79	0,44	0,19	0,01	0,17	0,29	0,36
13	0,67	0,41	0,25	0,09	0,05	0,19	0,27
14	0,64	0,46	0,38	0,27	0,17	0,05	0,02
15	0,55	0,53	0,54	0,57	0,63	0,74	1,00
16	0,53	0,54	0,55	0,57	0,63	0,74	1,03
17	0,53	0,57	0,59	0,62	0,67	0,78	1,05
18	0,52	0,56	0,59	0,63	0,68	0,78	0,97
19	0,53	0,56	0,59	0,65	0,71	0,78	0,84
20	0,54	0,56	0,57	0,64	0,74	0,78	0,72
21	0,54	0,59	0,57	0,63	0,77	0,81	0,68
22	0,61	0,80	0,79	0,64	0,57	0,58	0,56
23	0,66	0,78	0,75	0,64	0,58	0,56	0,55
24	0,77	0,78	0,71	0,64	0,59	0,55	0,53
25	0,93	0,79	0,69	0,63	0,59	0,56	0,53
26	1,07	0,79	0,67	0,62	0,59	0,57	0,55
27	1,08	0,77	0,65	0,59	0,57	0,55	0,55
28	1,03	0,74	0,62	0,56	0,54	0,53	0,55
29	0,11	0,01	0,13	0,28	0,39	0,48	0,80
30	0,36	0,25	0,11	0,09	0,26	0,46	0,81
31	0,45	0,37	0,25	0,04	0,18	0,51	0,91
32	0,47	0,43	0,35	0,13	0,11	0,62	1,01
33	0,44	0,45	0,42	0,22	0,08	0,81	1,05
34	0,36	0,43	0,47	0,31	0,13	0,99	1,02
35	0,10	0,25	0,44	0,34	0,32	1,06	0,99
36	0,98	1,05	0,38	0,33	0,41	0,25	0,13
37	1,01	1,00	0,19	0,29	0,42	0,41	0,35
38	1,03	0,79	0,11	0,21	0,37	0,44	0,45
39	1,02	0,62	0,13	0,12	0,30	0,42	0,47
40	0,92	0,51	0,19	0,02	0,20	0,35	0,44
41	0,81	0,46	0,26	0,09	0,09	0,26	0,37
42	0,78	0,48	0,39	0,26	0,12	0,04	0,16
43	0,60	0,55	0,58	0,61	0,65	0,71	0,97
44	0,56	0,56	0,59	0,62	0,65	0,72	0,99
45	0,54	0,57	0,61	0,65	0,68	0,75	1,02
46	0,53	0,57	0,62	0,67	0,70	0,76	1,01
47	0,55	0,57	0,63	0,69	0,74	0,79	0,93
48	0,56	0,57	0,62	0,69	0,76	0,82	0,83
49	0,60	0,61	0,63	0,70	0,81	0,87	0,82
50	0,74	0,86	0,81	0,69	0,62	0,59	0,60
51	0,79	0,83	0,79	0,70	0,63	0,57	0,58
52	0,90	0,81	0,75	0,69	0,64	0,58	0,56
53	1,03	0,80	0,73	0,69	0,64	0,59	0,56
54	1,06	0,76	0,69	0,65	0,61	0,58	0,55
55	1,05	0,75	0,67	0,63	0,60	0,57	0,58

56	1,00	0,72	0,65	0,60	0,58	0,55	0,61
57	0,23	0,09	0,08	0,27	0,39	0,49	0,83
58	0,48	0,35	0,17	0,06	0,26	0,47	0,85
59	0,58	0,49	0,34	0,09	0,15	0,50	0,94
60	0,59	0,55	0,45	0,19	0,08	0,66	1,04
61	0,57	0,58	0,54	0,30	0,03	0,88	1,05
62	0,21	0,37	0,58	0,47	0,32	1,10	0,98
63	0,47	0,55	0,60	0,40	0,10	1,09	1,02
64	0,97	1,09	0,41	0,44	0,55	0,39	0,24
65	1,02	1,10	0,17	0,36	0,53	0,53	0,46
66	1,04	0,90	0,09	0,25	0,47	0,56	0,56
67	1,05	0,67	0,11	0,17	0,39	0,53	0,59
68	0,97	0,53	0,19	0,06	0,28	0,46	0,56
69	0,86	0,47	0,28	0,07	0,14	0,34	0,48
70	0,83	0,49	0,40	0,25	0,07	0,13	0,28
71	0,64	0,60	0,66	0,69	0,70	0,72	0,97
72	0,61	0,62	0,68	0,71	0,72	0,75	1,01
73	0,58	0,63	0,69	0,72	0,73	0,76	1,04
74	0,57	0,63	0,70	0,74	0,76	0,78	1,04
75	0,59	0,63	0,72	0,76	0,79	0,82	0,98
76	0,61	0,64	0,73	0,78	0,82	0,86	0,89
77	0,66	0,67	0,75	0,80	0,85	0,91	0,90
78	0,82	0,90	0,87	0,80	0,73	0,66	0,67
79	0,86	0,86	0,84	0,78	0,72	0,63	0,63
80	0,98	0,83	0,81	0,77	0,71	0,64	0,61
81	1,06	0,81	0,79	0,75	0,71	0,64	0,61
82	1,08	0,78	0,76	0,73	0,69	0,64	0,61
83	1,05	0,76	0,74	0,71	0,67	0,63	0,64
84	1,01	0,74	0,73	0,69	0,66	0,61	0,67
85	0,29	0,13	0,07	0,27	0,40	0,49	0,80
86	0,54	0,39	0,19	0,06	0,27	0,44	0,85
87	0,64	0,54	0,37	0,11	0,15	0,44	0,98
88	0,66	0,61	0,48	0,22	0,07	0,60	1,10
89	0,63	0,64	0,58	0,32	0,01	0,92	1,14
90	0,54	0,63	0,65	0,42	0,07	1,17	1,09
91	0,28	0,45	0,65	0,52	0,35	1,17	1,07
92	1,02	1,15	0,43	0,51	0,64	0,48	0,31
93	1,07	1,17	0,11	0,40	0,61	0,62	0,54
94	1,11	0,91	0,04	0,30	0,53	0,63	0,63
95	1,09	0,61	0,10	0,20	0,44	0,60	0,65
96	0,98	0,45	0,17	0,09	0,33	0,53	0,63
97	0,86	0,44	0,28	0,05	0,18	0,40	0,55
98	0,80	0,48	0,41	0,26	0,06	0,16	0,33
99	0,67	0,64	0,69	0,72	0,74	0,76	1,03
100	0,64	0,64	0,70	0,73	0,75	0,77	1,07
101	0,63	0,66	0,71	0,74	0,76	0,79	1,11
102	0,62	0,66	0,72	0,76	0,78	0,80	1,08
103	0,63	0,68	0,75	0,78	0,80	0,82	0,99
104	0,64	0,69	0,77	0,80	0,82	0,85	0,87
105	0,66	0,72	0,79	0,82	0,84	0,88	0,83
106	0,76	0,89	0,86	0,81	0,77	0,71	0,69
107	0,83	0,85	0,84	0,79	0,74	0,69	0,67
108	0,97	0,83	0,82	0,78	0,73	0,68	0,66
109	1,09	0,82	0,80	0,76	0,71	0,67	0,66
110	1,13	0,80	0,78	0,74	0,70	0,66	0,66
111	1,09	0,79	0,78	0,73	0,69	0,65	0,67
112	1,05	0,78	0,77	0,72	0,68	0,64	0,69
113	0,31	0,15	0,05	0,24	0,37	0,47	0,70
114	0,51	0,38	0,18	0,05	0,25	0,41	0,79

115	0,53	0,44	0,28	0,03	0,20	0,41	0,96
116	0,57	0,52	0,39	0,14	0,13	0,47	1,11
117	0,55	0,56	0,47	0,21	0,08	0,77	1,20
118	0,49	0,58	0,57	0,31	0,09	1,22	1,17
119	0,29	0,47	0,64	0,48	0,41	1,31	1,13
120	1,09	1,28	0,48	0,42	0,60	0,49	0,32
121	1,13	1,18	0,11	0,31	0,54	0,59	0,52
122	1,15	0,74	0,09	0,21	0,44	0,57	0,56
123	1,09	0,47	0,14	0,13	0,36	0,52	0,56
124	0,95	0,40	0,21	0,04	0,27	0,45	0,55
125	0,80	0,40	0,26	0,05	0,16	0,37	0,51
126	0,71	0,46	0,38	0,22	0,04	0,18	0,34
127	0,65	0,61	0,65	0,70	0,75	0,80	1,10
128	0,64	0,61	0,66	0,70	0,75	0,80	1,13
129	0,64	0,63	0,67	0,72	0,76	0,82	1,16
130	0,62	0,62	0,66	0,71	0,76	0,81	1,08
131	0,64	0,66	0,70	0,75	0,79	0,83	0,96
132	0,63	0,68	0,71	0,75	0,79	0,82	0,80
133	0,65	0,72	0,76	0,78	0,81	0,86	0,72
134	0,69	0,86	0,83	0,78	0,74	0,72	0,68
135	0,77	0,84	0,82	0,76	0,71	0,69	0,67
136	0,93	0,84	0,80	0,74	0,69	0,66	0,66
137	1,08	0,84	0,79	0,72	0,66	0,63	0,65
138	1,16	0,83	0,78	0,70	0,65	0,61	0,65
139	1,16	0,82	0,78	0,70	0,65	0,61	0,66
140	1,12	0,81	0,77	0,70	0,64	0,61	0,67

LEGENDA: valores em preto: sobrepressão ; valores em vermelho: sucção

RESULTADOS VENTO - MODELO 1 / ENTORNO 2							
Cp _{Médio}							
Tomada	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	0,35	0,32	0,48	0,53	0,50	0,43	0,42
2	0,16	0,11	0,32	0,40	0,40	0,35	0,40
3	0,03	0,07	0,31	0,36	0,36	0,33	0,40
4	0,02	0,14	0,34	0,33	0,32	0,33	0,42
5	0,03	0,27	0,31	0,25	0,27	0,34	0,45
6	0,17	0,38	0,17	0,12	0,20	0,36	0,51
7	0,35	0,45	0,02	0,02	0,18	0,39	0,61
8	0,54	0,45	0,17	0,02	0,09	0,34	0,31
9	0,49	0,42	0,23	0,11	0,14	0,32	0,12
10	0,45	0,40	0,28	0,24	0,28	0,22	0,00
11	0,44	0,39	0,33	0,33	0,33	0,12	0,01
12	0,42	0,38	0,36	0,35	0,31	0,07	0,07
13	0,41	0,38	0,39	0,38	0,31	0,13	0,21
14	0,42	0,44	0,46	0,49	0,45	0,33	0,39
15	0,48	0,66	0,65	0,91	1,06	0,90	0,58
16	0,46	0,66	0,73	0,97	1,09	0,74	0,50
17	0,45	0,67	0,85	1,04	0,96	0,59	0,47
18	0,45	0,59	0,74	0,90	0,72	0,50	0,44
19	0,46	0,48	0,56	0,67	0,58	0,47	0,43
20	0,46	0,45	0,54	0,49	0,49	0,45	0,42
21	0,45	0,46	0,60	0,45	0,45	0,43	0,42
22	0,40	0,41	0,47	0,38	0,51	0,47	0,49
23	0,40	0,43	0,47	0,40	0,45	0,45	0,48
24	0,40	0,43	0,52	0,52	0,52	0,52	0,46
25	0,42	0,46	0,64	0,79	0,72	0,66	0,46
26	0,44	0,51	0,89	1,04	0,88	0,72	0,47
27	0,48	0,68	1,13	1,06	0,82	0,68	0,46
28	0,54	0,86	1,07	0,93	0,69	0,64	0,44
29	0,14	0,32	0,52	0,55	0,50	0,46	0,43
30	0,14	0,22	0,36	0,41	0,41	0,40	0,42
31	0,19	0,21	0,28	0,32	0,35	0,37	0,42
32	0,22	0,20	0,22	0,26	0,31	0,36	0,45
33	0,21	0,15	0,11	0,16	0,26	0,35	0,50
34	0,16	0,04	0,05	0,05	0,21	0,34	0,64
35	0,13	0,07	0,14	0,01	0,27	0,46	0,99
36	0,87	0,50	0,28	0,05	0,10	0,05	0,23
37	0,59	0,40	0,25	0,12	0,02	0,07	0,23
38	0,48	0,39	0,28	0,20	0,15	0,14	0,22
39	0,43	0,38	0,31	0,27	0,22	0,17	0,20
40	0,44	0,40	0,36	0,34	0,29	0,19	0,17
41	0,43	0,42	0,40	0,40	0,36	0,19	0,08
42	0,44	0,47	0,48	0,52	0,49	0,24	0,03
43	0,51	0,60	0,67	0,86	0,99	1,19	1,04
44	0,50	0,64	0,72	0,91	1,01	1,14	0,61
45	0,48	0,67	0,81	0,98	1,04	1,00	0,48
46	0,47	0,62	0,77	0,97	1,03	0,83	0,45
47	0,47	0,54	0,68	0,89	0,96	0,69	0,43
48	0,47	0,55	0,70	0,81	0,86	0,61	0,43
49	0,47	0,59	0,76	0,79	0,78	0,57	0,44
50	0,40	0,54	0,77	0,76	0,70	0,61	0,48
51	0,40	0,59	0,87	0,83	0,68	0,57	0,50
52	0,42	0,69	0,96	0,92	0,74	0,57	0,49
53	0,43	0,83	1,05	1,00	0,83	0,65	0,47
54	0,47	1,01	1,06	1,02	0,84	0,68	0,47
55	0,61	1,16	1,04	0,96	0,77	0,64	0,47

56	0,93	1,20	1,01	0,90	0,71	0,59	0,46
57	0,09	0,10	0,24	0,42	0,46	0,46	0,46
58	0,23	0,15	0,02	0,25	0,34	0,40	0,48
59	0,26	0,27	0,09	0,14	0,26	0,36	0,55
60	0,26	0,33	0,15	0,05	0,21	0,34	0,71
61	0,27	0,38	0,21	0,04	0,17	0,42	0,97
62	0,09	0,34	0,28	0,30	0,38	1,21	1,39
63	0,25	0,41	0,27	0,17	0,20	0,78	1,25
64	1,41	1,25	0,37	0,22	0,25	0,36	0,11
65	1,27	0,85	0,21	0,10	0,24	0,39	0,22
66	0,97	0,49	0,21	0,03	0,18	0,35	0,25
67	0,71	0,39	0,23	0,10	0,12	0,29	0,24
68	0,55	0,39	0,28	0,17	0,06	0,23	0,24
69	0,49	0,42	0,35	0,26	0,03	0,11	0,22
70	0,47	0,47	0,44	0,39	0,22	0,09	0,10
71	0,50	0,59	0,70	0,81	0,90	1,06	1,40
72	0,52	0,62	0,73	0,84	0,91	1,08	1,26
73	0,51	0,64	0,76	0,87	0,93	1,10	0,98
74	0,50	0,62	0,77	0,89	0,95	1,08	0,72
75	0,50	0,62	0,77	0,91	0,96	1,03	0,57
76	0,51	0,66	0,78	0,90	0,95	0,94	0,50
77	0,50	0,71	0,81	0,90	0,96	0,87	0,48
78	0,46	0,88	0,98	0,92	0,81	0,72	0,50
79	0,48	0,94	0,98	0,92	0,79	0,67	0,52
80	0,54	1,03	0,99	0,93	0,79	0,64	0,51
81	0,69	1,10	0,99	0,93	0,80	0,65	0,51
82	0,91	1,10	0,96	0,90	0,77	0,64	0,50
83	1,22	1,09	0,96	0,88	0,75	0,62	0,51
84	1,40	1,06	0,94	0,86	0,72	0,59	0,50
85	0,27	0,08	0,12	0,31	0,44	0,48	0,58
86	0,51	0,36	0,14	0,10	0,31	0,43	0,67
87	0,58	0,50	0,31	0,05	0,20	0,40	0,83
88	0,60	0,57	0,41	0,15	0,13	0,49	1,04
89	0,58	0,62	0,50	0,25	0,08	0,75	1,21
90	0,50	0,61	0,57	0,36	0,11	1,06	1,22
91	0,26	0,47	0,59	0,49	0,44	1,12	1,17
92	1,14	1,12	0,43	0,47	0,59	0,48	0,31
93	1,22	1,09	0,14	0,34	0,56	0,59	0,52
94	1,20	0,79	0,10	0,22	0,48	0,59	0,59
95	1,04	0,52	0,14	0,13	0,39	0,54	0,60
96	0,81	0,41	0,21	0,04	0,29	0,47	0,59
97	0,65	0,42	0,30	0,09	0,14	0,35	0,52
98	0,56	0,47	0,43	0,28	0,09	0,11	0,32
99	0,53	0,60	0,70	0,76	0,79	0,89	1,15
100	0,52	0,61	0,71	0,78	0,81	0,93	1,21
101	0,52	0,62	0,73	0,80	0,83	0,98	1,21
102	0,52	0,62	0,73	0,81	0,85	1,00	1,04
103	0,52	0,62	0,73	0,82	0,86	0,97	0,83
104	0,52	0,63	0,73	0,81	0,86	0,93	0,66
105	0,53	0,68	0,75	0,81	0,88	0,96	0,58
106	0,54	0,94	0,92	0,82	0,75	0,68	0,55
107	0,62	0,93	0,91	0,83	0,75	0,65	0,54
108	0,78	0,98	0,90	0,84	0,74	0,63	0,53
109	1,00	1,01	0,90	0,84	0,74	0,63	0,54
110	1,18	0,99	0,87	0,81	0,73	0,62	0,53
111	1,23	0,95	0,86	0,81	0,73	0,62	0,54
112	1,16	0,91	0,83	0,78	0,71	0,61	0,55
113	0,32	0,13	0,07	0,25	0,41	0,48	0,59
114	0,51	0,37	0,16	0,05	0,28	0,42	0,67

115	0,57	0,48	0,30	0,07	0,20	0,40	0,82
116	0,56	0,51	0,36	0,12	0,18	0,49	1,05
117	0,55	0,56	0,45	0,21	0,12	0,72	1,20
118	0,48	0,56	0,53	0,29	0,12	1,13	1,20
119	0,28	0,47	0,61	0,47	0,48	1,21	1,13
120	1,10	1,22	0,48	0,42	0,61	0,48	0,33
121	1,18	1,13	0,14	0,28	0,53	0,55	0,52
122	1,18	0,74	0,14	0,18	0,43	0,53	0,56
123	1,04	0,50	0,18	0,11	0,35	0,48	0,57
124	0,83	0,42	0,23	0,03	0,26	0,43	0,55
125	0,67	0,42	0,29	0,06	0,15	0,35	0,51
126	0,57	0,46	0,39	0,23	0,05	0,16	0,36
127	0,54	0,59	0,70	0,73	0,77	0,86	1,11
128	0,53	0,60	0,70	0,75	0,79	0,91	1,18
129	0,54	0,61	0,71	0,77	0,81	0,97	1,20
130	0,52	0,59	0,70	0,75	0,81	0,98	1,05
131	0,53	0,60	0,70	0,76	0,83	0,94	0,84
132	0,53	0,61	0,70	0,75	0,82	0,88	0,67
133	0,54	0,65	0,73	0,76	0,85	0,91	0,59
134	0,57	0,89	0,89	0,77	0,73	0,66	0,56
135	0,65	0,89	0,87	0,77	0,72	0,63	0,56
136	0,81	0,95	0,87	0,77	0,71	0,62	0,55
137	1,02	1,01	0,86	0,78	0,71	0,61	0,55
138	1,18	0,98	0,84	0,77	0,71	0,61	0,54
139	1,20	0,94	0,83	0,77	0,71	0,61	0,55
140	1,13	0,89	0,81	0,76	0,71	0,61	0,56

LEGENDA: valores em preto: sobrepressão ; valores em vermelho: sucção

RESULTADOS VENTO - MODELO 1 / ENTORNO 3							
Cp _{Médio}							
Tomada	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	0,44	0,44	0,54	0,63	0,59	0,53	0,45
2	0,49	0,42	0,52	0,60	0,55	0,48	0,45
3	0,50	0,48	0,57	0,57	0,52	0,47	0,45
4	0,54	0,53	0,53	0,48	0,49	0,45	0,47
5	0,54	0,41	0,32	0,29	0,41	0,42	0,49
6	0,41	0,12	0,00	0,07	0,30	0,37	0,50
7	0,19	0,13	0,19	0,04	0,27	0,35	0,54
8	0,57	0,57	0,44	0,04	0,14	0,03	0,39
9	0,51	0,46	0,41	0,21	0,24	0,39	0,52
10	0,49	0,46	0,49	0,43	0,55	0,55	0,52
11	0,48	0,47	0,55	0,60	0,67	0,54	0,51
12	0,46	0,48	0,56	0,64	0,62	0,46	0,54
13	0,45	0,48	0,55	0,62	0,52	0,43	0,50
14	0,44	0,52	0,58	0,63	0,52	0,43	0,35
15	0,43	0,56	0,64	0,77	1,03	0,84	0,60
16	0,43	0,57	0,65	0,78	0,93	0,74	0,54
17	0,44	0,59	0,67	0,79	0,82	0,66	0,53
18	0,44	0,57	0,66	0,76	0,72	0,60	0,50
19	0,44	0,55	0,63	0,73	0,67	0,58	0,49
20	0,44	0,55	0,63	0,69	0,64	0,56	0,47
21	0,43	0,56	0,65	0,68	0,62	0,53	0,44
22	0,42	0,54	0,62	0,66	0,64	0,55	0,44
23	0,43	0,55	0,63	0,67	0,62	0,54	0,44
24	0,44	0,57	0,66	0,72	0,64	0,56	0,45
25	0,46	0,61	0,73	0,76	0,67	0,59	0,45
26	0,48	0,68	0,84	0,79	0,69	0,60	0,45
27	0,51	0,81	0,97	0,78	0,67	0,59	0,45
28	0,53	0,89	1,00	0,76	0,65	0,57	0,44
29	0,44	0,50	0,66	0,67	0,61	0,52	0,45
30	0,52	0,47	0,64	0,68	0,60	0,50	0,46
31	0,52	0,54	0,68	0,66	0,58	0,48	0,47
32	0,57	0,57	0,63	0,56	0,54	0,47	0,49
33	0,57	0,44	0,38	0,32	0,46	0,43	0,50
34	0,42	0,08	0,10	0,04	0,35	0,36	0,51
35	0,21	0,25	0,42	0,09	0,32	0,32	0,55
36	0,58	0,68	0,77	0,10	0,22	0,02	0,39
37	0,51	0,46	0,49	0,29	0,31	0,42	0,54
38	0,50	0,47	0,53	0,52	0,64	0,61	0,54
39	0,47	0,47	0,55	0,65	0,74	0,60	0,52
40	0,47	0,50	0,59	0,72	0,74	0,53	0,56
41	0,45	0,49	0,58	0,68	0,66	0,49	0,51
42	0,44	0,52	0,60	0,68	0,66	0,49	0,30
43	0,44	0,56	0,64	0,78	1,03	0,86	0,60
44	0,45	0,57	0,66	0,80	0,96	0,75	0,54
45	0,45	0,58	0,67	0,80	0,84	0,67	0,52
46	0,45	0,58	0,66	0,78	0,75	0,62	0,50
47	0,45	0,56	0,63	0,74	0,68	0,59	0,48
48	0,45	0,56	0,63	0,70	0,64	0,56	0,45
49	0,45	0,58	0,65	0,69	0,63	0,55	0,44
50	0,41	0,54	0,63	0,67	0,63	0,56	0,44
51	0,42	0,57	0,66	0,70	0,63	0,56	0,45
52	0,45	0,60	0,72	0,74	0,64	0,57	0,46
53	0,46	0,65	0,80	0,77	0,67	0,59	0,46
54	0,48	0,72	0,90	0,78	0,68	0,60	0,46
55	0,52	0,85	0,99	0,77	0,67	0,59	0,46

56	0,55	0,95	1,01	0,74	0,64	0,57	0,45
57	0,54	0,56	0,71	0,69	0,61	0,53	0,46
58	0,57	0,55	0,72	0,71	0,62	0,51	0,48
59	0,56	0,58	0,72	0,69	0,60	0,50	0,49
60	0,58	0,58	0,65	0,59	0,55	0,48	0,51
61	0,59	0,45	0,42	0,37	0,46	0,44	0,53
62	0,38	0,28	0,39	0,02	0,31	0,32	0,60
63	0,52	0,08	0,06	0,09	0,34	0,37	0,56
64	0,62	0,72	0,75	0,21	0,09	0,04	0,52
65	0,56	0,49	0,48	0,35	0,37	0,43	0,60
66	0,55	0,55	0,60	0,65	0,75	0,70	0,59
67	0,52	0,53	0,62	0,72	0,80	0,68	0,59
68	0,50	0,53	0,62	0,74	0,79	0,63	0,61
69	0,48	0,53	0,61	0,72	0,75	0,58	0,58
70	0,46	0,53	0,61	0,70	0,73	0,58	0,43
71	0,47	0,58	0,66	0,80	0,93	0,85	0,62
72	0,48	0,60	0,68	0,83	0,92	0,78	0,57
73	0,48	0,61	0,70	0,84	0,84	0,70	0,54
74	0,45	0,60	0,69	0,79	0,75	0,64	0,51
75	0,45	0,59	0,66	0,73	0,69	0,61	0,50
76	0,45	0,58	0,65	0,68	0,66	0,59	0,47
77	0,44	0,60	0,66	0,67	0,65	0,57	0,44
78	0,43	0,57	0,65	0,68	0,67	0,59	0,44
79	0,45	0,59	0,68	0,69	0,66	0,58	0,45
80	0,47	0,62	0,73	0,74	0,67	0,60	0,46
81	0,50	0,68	0,81	0,79	0,70	0,63	0,47
82	0,52	0,74	0,88	0,81	0,70	0,63	0,48
83	0,57	0,84	0,94	0,80	0,69	0,62	0,50
84	0,62	0,91	0,93	0,77	0,67	0,60	0,48
85	0,56	0,59	0,73	0,70	0,63	0,56	0,52
86	0,60	0,57	0,72	0,70	0,62	0,54	0,52
87	0,59	0,59	0,70	0,66	0,59	0,52	0,52
88	0,58	0,58	0,63	0,57	0,54	0,50	0,54
89	0,57	0,45	0,39	0,36	0,45	0,46	0,56
90	0,52	0,11	0,03	0,16	0,37	0,41	0,59
91	0,44	0,27	0,29	0,12	0,41	0,39	0,63
92	0,62	0,77	0,64	0,14	0,14	0,01	0,54
93	0,58	0,50	0,40	0,27	0,30	0,41	0,59
94	0,55	0,51	0,48	0,50	0,63	0,62	0,58
95	0,53	0,53	0,55	0,63	0,72	0,64	0,58
96	0,52	0,53	0,57	0,66	0,71	0,59	0,58
97	0,51	0,53	0,58	0,67	0,69	0,58	0,56
98	0,50	0,55	0,60	0,69	0,71	0,61	0,46
99	0,54	0,63	0,70	0,85	0,97	0,87	0,63
100	0,55	0,65	0,71	0,87	0,97	0,81	0,58
101	0,53	0,65	0,72	0,86	0,88	0,73	0,55
102	0,50	0,63	0,71	0,79	0,77	0,67	0,53
103	0,51	0,59	0,69	0,73	0,72	0,63	0,51
104	0,52	0,56	0,68	0,69	0,69	0,60	0,50
105	0,51	0,56	0,69	0,69	0,68	0,58	0,49
106	0,47	0,57	0,67	0,69	0,69	0,57	0,51
107	0,48	0,59	0,69	0,70	0,68	0,58	0,54
108	0,49	0,63	0,73	0,73	0,69	0,61	0,52
109	0,52	0,68	0,80	0,79	0,73	0,65	0,52
110	0,54	0,75	0,89	0,83	0,73	0,67	0,54
111	0,58	0,84	0,96	0,84	0,72	0,68	0,57
112	0,60	0,87	0,94	0,80	0,70	0,65	0,56
113	0,50	0,57	0,63	0,63	0,59	0,57	0,53
114	0,54	0,48	0,56	0,59	0,54	0,54	0,52

115	0,53	0,45	0,58	0,57	0,52	0,52	0,51
116	0,54	0,51	0,60	0,53	0,52	0,54	0,54
117	0,50	0,44	0,39	0,37	0,46	0,52	0,55
118	0,46	0,13	0,06	0,27	0,43	0,51	0,58
119	0,37	0,28	0,13	0,26	0,47	0,49	0,64
120	0,67	0,91	0,69	0,28	0,03	0,00	0,47
121	0,58	0,56	0,45	0,30	0,28	0,39	0,54
122	0,55	0,54	0,47	0,43	0,53	0,51	0,55
123	0,53	0,54	0,49	0,52	0,56	0,47	0,54
124	0,52	0,53	0,50	0,55	0,50	0,47	0,53
125	0,52	0,52	0,50	0,56	0,50	0,53	0,49
126	0,52	0,54	0,54	0,60	0,57	0,60	0,40
127	0,56	0,65	0,72	0,88	1,08	0,97	0,65
128	0,57	0,65	0,72	0,88	1,02	0,85	0,57
129	0,58	0,66	0,73	0,88	0,94	0,77	0,55
130	0,56	0,64	0,71	0,84	0,87	0,70	0,51
131	0,57	0,64	0,71	0,81	0,82	0,68	0,51
132	0,55	0,63	0,69	0,78	0,77	0,64	0,50
133	0,54	0,62	0,70	0,76	0,74	0,63	0,51
134	0,50	0,61	0,72	0,74	0,71	0,65	0,56
135	0,50	0,63	0,75	0,76	0,71	0,66	0,58
136	0,51	0,67	0,79	0,79	0,72	0,67	0,58
137	0,50	0,71	0,84	0,82	0,73	0,68	0,58
138	0,52	0,77	0,90	0,83	0,72	0,67	0,58
139	0,56	0,86	0,98	0,84	0,73	0,68	0,59
140	0,60	0,92	0,99	0,83	0,73	0,67	0,58

LEGENDA: valores em preto: sobrepressão ; valores em vermelho: sucção

RESULTADOS VENTO - MODELO 2 / ENTORNO 1							
Cp _{Médio}							
Tomada	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	0,03	0,05	0,32	0,66	0,71	0,56	0,50
2	0,08	0,11	0,52	0,85	0,78	0,57	0,50
3	0,06	0,14	0,53	0,86	0,81	0,60	0,53
4	0,28	0,17	0,08	0,38	0,52	0,51	0,53
5	0,35	0,33	0,17	0,12	0,37	0,50	0,60
6	0,29	0,31	0,23	0,18	0,65	0,70	0,74
7	0,04	0,21	0,34	0,31	0,11	0,49	1,27
8	0,07	0,25	0,37	0,30	0,08	0,49	1,20
9	0,05	0,17	0,31	0,32	0,10	0,41	1,05
10	0,96	1,07	0,40	0,20	0,33	0,27	0,07
11	0,99	1,03	0,25	0,17	0,31	0,34	0,28
12	0,95	0,77	0,20	0,07	0,23	0,32	0,35
13	0,81	0,58	0,27	0,08	0,06	0,17	0,27
14	0,77	0,55	0,40	0,28	0,19	0,12	0,04
15	0,66	0,60	0,57	0,60	0,74	1,05	1,11
16	0,70	0,63	0,60	0,63	0,76	1,07	1,22
17	0,70	0,63	0,60	0,63	0,77	1,09	1,19
18	0,64	0,62	0,59	0,63	0,75	0,91	0,73
19	0,63	0,61	0,61	0,65	0,76	0,82	0,57
20	0,65	0,61	0,61	0,68	0,80	0,74	0,50
21	0,70	0,61	0,55	0,55	0,65	0,64	0,50
22	0,70	0,59	0,55	0,55	0,66	0,66	0,51
23	0,65	0,59	0,56	0,58	0,70	0,69	0,51
24	0,78	0,76	0,70	0,67	0,67	0,57	0,47
25	0,82	0,73	0,67	0,65	0,66	0,54	0,46
26	0,93	0,71	0,64	0,63	0,65	0,54	0,46
27	0,95	0,70	0,63	0,61	0,62	0,53	0,47
28	0,92	0,68	0,61	0,59	0,60	0,51	0,46
29	0,24	0,12	0,28	0,77	0,84	0,63	0,56
30	0,06	0,20	0,62	0,94	0,85	0,61	0,54
31	0,07	0,15	0,57	0,92	0,83	0,60	0,53
32	0,38	0,26	0,04	0,38	0,52	0,52	0,56
33	0,46	0,43	0,24	0,07	0,37	0,53	0,69
34	0,39	0,47	0,37	0,26	0,87	0,86	0,91
35	0,09	0,32	0,49	0,47	0,26	0,46	1,35
36	0,11	0,35	0,51	0,47	0,20	0,56	1,36
37	0,22	0,30	0,44	0,44	0,15	0,48	1,22
38	0,94	1,17	0,51	0,30	0,47	0,39	0,15
39	0,97	1,13	0,25	0,25	0,44	0,48	0,41
40	0,98	0,87	0,18	0,11	0,31	0,42	0,46
41	0,91	0,65	0,26	0,05	0,14	0,27	0,40
42	0,87	0,59	0,39	0,25	0,12	0,03	0,14
43	0,70	0,63	0,59	0,61	0,74	1,10	1,29
44	0,76	0,68	0,65	0,68	0,81	1,17	1,39
45	0,74	0,65	0,62	0,65	0,78	1,15	1,33
46	0,67	0,64	0,62	0,65	0,76	0,97	0,88
47	0,64	0,63	0,63	0,67	0,78	0,89	0,65
48	0,67	0,61	0,64	0,71	0,84	0,81	0,54
49	0,75	0,63	0,60	0,59	0,67	0,70	0,53
50	0,73	0,59	0,58	0,58	0,67	0,70	0,52
51	0,70	0,60	0,60	0,62	0,73	0,74	0,54
52	0,88	0,80	0,74	0,71	0,68	0,59	0,48
53	0,89	0,75	0,70	0,68	0,67	0,55	0,46
54	0,95	0,71	0,66	0,65	0,66	0,54	0,45
55	0,95	0,70	0,64	0,63	0,64	0,55	0,46

56	0,92	0,68	0,63	0,61	0,62	0,54	0,48
57	0,36	0,26	0,28	0,89	0,89	0,65	0,59
58	0,11	0,22	0,68	1,01	0,89	0,63	0,57
59	0,14	0,14	0,61	0,97	0,86	0,61	0,55
60	0,50	0,34	0,00	0,37	0,53	0,53	0,60
61	0,59	0,55	0,34	0,00	0,35	0,54	0,74
62	1,43 *	1,44 *	1,43 *	1,44 *	1,44 *	1,44 *	1,44 *
63	0,17	0,43	0,62	0,60	0,38	0,47	1,43
64	0,16	0,46	0,63	0,59	0,30	0,62	1,46
65	0,35	0,41	0,56	0,56	0,22	0,53	1,35
66	0,96	1,22	0,55	0,39	0,60	0,51	0,25
67	1,00	1,23	0,26	0,31	0,54	0,59	0,51
68	1,01	0,96	0,15	0,16	0,40	0,54	0,59
69	0,74	0,68	0,66	0,68	0,77	1,11	1,39
70	0,94	0,68	0,25	0,02	0,21	0,37	0,51
71	0,93	0,63	0,43	0,27	0,10	0,02	0,21
72	0,78	0,71	0,69	0,72	0,82	1,17	1,52
73	0,77	0,70	0,68	0,70	0,81	1,17	1,44
74	0,71	0,68	0,68	0,71	0,79	1,00	0,97
75	0,69	0,69	0,70	0,73	0,82	0,94	0,73
76	0,71	0,69	0,72	0,77	0,89	0,88	0,59
77	0,78	0,68	0,68	0,68	0,73	0,74	0,57
78	0,77	0,66	0,67	0,68	0,74	0,74	0,57
79	0,75	0,67	0,69	0,71	0,79	0,79	0,59
80	0,94	0,83	0,78	0,76	0,74	0,63	0,52
81	0,95	0,80	0,76	0,75	0,74	0,61	0,52
82	0,98	0,74	0,71	0,71	0,71	0,58	0,50
83	0,96	0,73	0,70	0,69	0,70	0,58	0,51
84	0,93	0,72	0,69	0,68	0,68	0,58	0,52
85	0,46	0,41	0,16	0,94	0,92	0,66	0,61
86	0,10	0,30	0,75	1,02	0,89	0,64	0,60
87	0,14	0,18	0,66	1,01	0,89	0,64	0,60
88	0,56	0,38	0,02	0,37	0,52	0,54	0,63
89	0,65	0,62	0,38	0,02	0,32	0,54	0,78
90	0,57	0,68	0,56	0,22	0,97	0,96	1,04
91	0,17	0,49	0,68	0,66	0,44	0,49	1,47
92	0,19	0,54	0,71	0,66	0,37	0,66	1,46
93	0,44	0,50	0,64	0,64	0,29	0,50	1,33
94	0,98	1,27	0,58	0,43	0,68	0,59	0,32
95	1,01	1,29	0,24	0,35	0,61	0,68	0,59
96	1,03	0,94	0,12	0,19	0,47	0,62	0,67
97	0,96	0,62	0,25	0,01	0,25	0,44	0,59
98	0,91	0,58	0,41	0,24	0,04	0,11	0,32
99	0,76	0,70	0,69	0,72	0,80	1,11	1,40
100	0,77	0,70	0,70	0,73	0,83	1,17	1,52
101	0,77	0,70	0,69	0,73	0,83	1,18	1,48
102	0,74	0,71	0,70	0,73	0,81	1,01	1,04
103	0,73	0,72	0,72	0,75	0,82	0,94	0,75
104	0,74	0,73	0,74	0,78	0,86	0,86	0,62
105	0,79	0,73	0,74	0,75	0,79	0,74	0,62
106	0,76	0,71	0,74	0,76	0,81	0,74	0,63
107	0,76	0,72	0,73	0,75	0,81	0,75	0,59
108	0,92	0,83	0,78	0,78	0,78	0,66	0,56
109	0,94	0,80	0,76	0,76	0,76	0,64	0,57
110	1,00	0,76	0,73	0,73	0,73	0,61	0,55
111	0,98	0,76	0,73	0,72	0,73	0,62	0,57
112	0,94	0,75	0,72	0,71	0,71	0,61	0,57
113	0,47	0,50	0,11	0,82	0,90	0,65	0,60
114	0,17	0,71	0,94	1,05	0,90	0,64	0,61

115	0,01	0,28	0,65	0,96	0,85	0,60	0,56
116	0,51	0,35	0,03	0,33	0,49	0,51	0,58
117	0,59	0,57	0,35	0,02	0,27	0,48	0,69
118	0,53	0,63	0,52	0,15	0,92	0,84	0,99
119	0,03	0,37	0,61	0,59	0,46	0,40	1,33
120	0,05	0,46	0,62	0,56	0,29	0,66	1,37
121	0,50	0,54	0,63	0,58	0,23	0,47	1,28
122	1,05	1,42	0,62	0,40	0,64	0,59	0,35
123	1,08	1,28	0,16	0,28	0,54	0,62	0,57
124	1,07	0,70	0,13	0,14	0,40	0,55	0,62
125	0,92	0,50	0,23	0,01	0,24	0,43	0,58
126	0,83	0,54	0,40	0,25	0,04	0,13	0,36
127	0,73	0,68	0,68	0,72	0,82	1,15	1,36
128	0,74	0,69	0,68	0,74	0,87	1,18	1,39
129	0,76	0,70	0,69	0,75	0,87	1,20	1,37
130	0,72	0,67	0,68	0,72	0,82	1,01	0,92
131	0,72	0,70	0,70	0,74	0,83	0,95	0,67
132	0,73	0,72	0,71	0,75	0,84	0,83	0,59
133	0,77	0,73	0,71	0,74	0,81	0,76	0,63
134	0,76	0,72	0,71	0,74	0,82	0,77	0,65
135	0,73	0,73	0,72	0,74	0,81	0,73	0,59
136	0,85	0,82	0,76	0,75	0,77	0,65	0,56
137	0,92	0,79	0,74	0,73	0,74	0,63	0,56
138	1,03	0,78	0,72	0,70	0,71	0,60	0,56
139	1,05	0,79	0,74	0,71	0,71	0,60	0,57
140	1,01	0,78	0,74	0,71	0,70	0,60	0,57

LEGENDA: valores em preto: sobrepessão ; valores em vermelho: sucção

* Tomada 62 com problema neste ensaio. Resultados foram interpolados com valores das tomadas vizinha resultando em:

0° = 0,4 < Cp ≤ 0,6

5° = 0,4 < Cp ≤ 0,6

30° = 0,2 < Cp ≤ 0,4

45° = 0,0 > Cp ≥ -0,5

60° = -0,5 > Cp ≥ -1,0

75° = -0,5 > Cp ≥ -1,0

90° = -0,5 > Cp ≥ -1,0

RESULTADOS VENTO - MODELO 2 / ENTORNO 2							
Cp _{Médio}							
Tomada	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	0,29	0,35	0,51	0,59	0,61	0,48	0,41
2	0,18	0,29	0,60	0,81	0,75	0,56	0,47
3	0,19	0,32	0,62	0,83	0,78	0,58	0,49
4	0,15	0,22	0,45	0,57	0,56	0,44	0,43
5	0,08	0,23	0,41	0,46	0,51	0,40	0,42
6	0,20	0,35	0,48	0,53	0,75	0,72	0,53
7	0,25	0,22	0,10	0,11	0,11	0,00	0,37
8	0,25	0,21	0,13	0,11	0,11	0,03	0,42
9	0,31	0,27	0,12	0,08	0,08	0,03	0,46
10	0,56	0,49	0,38	0,12	0,03	0,23	0,30
11	0,48	0,44	0,32	0,23	0,27	0,31	0,18
12	0,44	0,43	0,38	0,38	0,40	0,29	0,12
13	0,43	0,45	0,44	0,46	0,43	0,27	0,22
14	0,46	0,51	0,53	0,60	0,53	0,37	0,35
15	0,57	0,73	0,71	0,99	0,98	0,76	0,48
16	0,53	0,71	0,73	0,98	0,89	0,65	0,38
17	0,54	0,71	0,74	1,01	0,91	0,64	0,35
18	0,48	0,64	0,78	0,89	0,63	0,55	0,51
19	0,46	0,57	0,72	0,69	0,52	0,49	0,43
20	0,46	0,48	0,53	0,48	0,45	0,47	0,42
21	0,49	0,52	0,54	0,38	0,44	0,50	0,46
22	0,48	0,50	0,51	0,38	0,46	0,54	0,48
23	0,46	0,50	0,58	0,39	0,41	0,44	0,39
24	0,42	0,45	0,49	0,32	0,34	0,42	0,41
25	0,42	0,45	0,50	0,35	0,37	0,43	0,40
26	0,43	0,48	0,61	0,58	0,60	0,52	0,41
27	0,48	0,58	0,88	0,97	0,84	0,54	0,42
28	0,60	0,75	0,93	0,87	0,72	0,50	0,41
29	0,11	0,18	0,53	0,79	0,72	0,57	0,54
30	0,19	0,41	0,74	1,01	0,88	0,64	0,57
31	0,20	0,38	0,69	0,98	0,85	0,63	0,55
32	0,20	0,25	0,45	0,61	0,59	0,48	0,48
33	0,23	0,25	0,31	0,44	0,50	0,52	0,49
34	0,22	0,23	0,23	0,56	0,81	0,96	0,72
35	0,12	0,08	0,17	0,09	0,08	0,16	0,25
36	0,07	0,13	0,20	0,10	0,07	0,14	0,32
37	0,08	0,08	0,11	0,02	0,01	0,06	0,51
38	0,98	0,85	0,55	0,13	0,03	0,06	0,20
39	0,59	0,48	0,36	0,18	0,11	0,07	0,21
40	0,49	0,46	0,39	0,33	0,28	0,20	0,26
41	0,47	0,49	0,44	0,44	0,40	0,28	0,21
42	0,50	0,56	0,53	0,61	0,58	0,40	0,16
43	0,62	0,70	0,70	0,99	1,10	1,12	0,46
44	0,65	0,76	0,77	1,04	1,12	0,98	0,24
45	0,63	0,73	0,74	1,01	1,11	0,90	0,14
46	0,57	0,74	0,78	1,04	1,08	0,81	0,73
47	0,50	0,66	0,77	0,97	0,96	0,67	0,47
48	0,50	0,58	0,67	0,84	0,78	0,61	0,48
49	0,54	0,67	0,71	0,62	0,65	0,67	0,58
50	0,52	0,63	0,66	0,62	0,64	0,69	0,59
51	0,50	0,63	0,75	0,69	0,64	0,64	0,54
52	0,46	0,65	0,83	0,72	0,59	0,59	0,53
53	0,46	0,73	0,91	0,83	0,66	0,53	0,49
54	0,51	0,89	1,00	1,02	0,84	0,56	0,45
55	0,71	1,05	1,01	1,00	0,78	0,55	0,48

56	1,03	1,09	0,99	0,94	0,73	0,50	0,48
57	0,20	0,10	0,19	0,93	0,89	0,64	0,58
58	0,06	0,48	0,84	1,10	0,91	0,64	0,57
59	0,05	0,36	0,71	1,06	0,88	0,62	0,56
60	0,22	0,13	0,17	0,51	0,56	0,52	0,53
61	0,29	0,33	0,07	0,20	0,39	0,54	0,59
62	1,44	1,44	1,43	1,44	1,44	1,44	1,44
63	0,10	0,36	0,32	0,46	0,18	0,05	0,62
64	0,13	0,40	0,34	0,45	0,11	0,15	0,80
65	0,26	0,35	0,25	0,42	0,02	0,40	0,97
66	1,29	1,35	0,59	0,17	0,27	0,43	0,13
67	1,22	1,14	0,38	0,03	0,20	0,40	0,21
68	0,92	0,60	0,30	0,12	0,09	0,29	0,23
69	0,60	0,64	0,71	0,86	1,04	1,25	0,98
70	0,67	0,46	0,36	0,25	0,03	0,15	0,24
71	0,60	0,53	0,50	0,46	0,30	0,16	0,12
72	0,63	0,69	0,74	0,93	1,10	1,28	0,82
73	0,62	0,68	0,73	0,91	1,09	1,26	0,61
74	0,59	0,68	0,75	0,91	1,07	1,11	0,88
75	0,56	0,68	0,77	0,93	1,06	0,99	0,60
76	0,56	0,66	0,76	0,95	1,05	0,85	0,54
77	0,60	0,73	0,76	0,81	0,81	0,74	0,59
78	0,60	0,71	0,73	0,80	0,81	0,74	0,59
79	0,59	0,75	0,79	0,86	0,85	0,74	0,61
80	0,64	0,98	0,97	0,93	0,79	0,66	0,56
81	0,75	1,01	0,96	0,93	0,79	0,64	0,56
82	0,95	1,02	0,93	0,91	0,78	0,61	0,51
83	1,15	1,01	0,92	0,88	0,74	0,60	0,53
84	1,21	0,99	0,90	0,86	0,71	0,58	0,53
85	0,46	0,41	0,04	0,97	0,93	0,63	0,58
86	0,05	0,48	0,89	1,14	0,90	0,61	0,56
87	0,07	0,31	0,72	1,11	0,89	0,61	0,56
88	0,52	0,31	0,03	0,42	0,54	0,54	0,61
89	0,61	0,55	0,31	0,02	0,33	0,58	0,77
90	0,56	0,63	0,48	0,25	0,98	1,06	1,02
91	0,17	0,47	0,59	0,65	0,40	0,41	1,21
92	0,18	0,53	0,62	0,66	0,32	0,52	1,19
93	0,44	0,47	0,55	0,64	0,22	0,44	1,08
94	1,04	1,20	0,71	0,36	0,60	0,56	0,33
95	1,10	1,21	0,32	0,28	0,53	0,62	0,56
96	1,09	0,89	0,20	0,12	0,39	0,55	0,62
97	0,90	0,61	0,31	0,07	0,18	0,37	0,56
98	0,78	0,55	0,44	0,29	0,11	0,05	0,35
99	0,61	0,64	0,70	0,75	0,88	1,23	1,15
100	0,61	0,65	0,72	0,81	1,00	1,30	1,22
101	0,61	0,65	0,71	0,81	0,99	1,32	1,18
102	0,57	0,65	0,72	0,80	0,92	1,09	1,04
103	0,56	0,65	0,73	0,81	0,92	0,99	0,75
104	0,57	0,65	0,73	0,83	0,96	0,87	0,61
105	0,61	0,68	0,72	0,75	0,77	0,71	0,58
106	0,59	0,65	0,70	0,76	0,80	0,70	0,58
107	0,60	0,68	0,72	0,76	0,78	0,70	0,56
108	0,81	0,96	0,89	0,84	0,72	0,62	0,52
109	0,89	0,92	0,86	0,83	0,72	0,60	0,52
110	1,05	0,88	0,82	0,81	0,70	0,57	0,51
111	1,05	0,84	0,80	0,80	0,69	0,57	0,52
112	0,98	0,80	0,78	0,78	0,67	0,56	0,52
113	0,47	0,49	0,18	0,79	0,90	0,61	0,56
114	0,19	0,83	1,09	1,20	0,92	0,60	0,56

115	0,03	0,35	0,69	1,05	0,84	0,55	0,51
116	0,51	0,32	0,00	0,36	0,50	0,51	0,60
117	0,60	0,54	0,31	0,01	0,28	0,53	0,75
118	0,53	0,60	0,47	0,12	0,94	0,96	0,99
119	0,03	0,36	0,55	0,62	0,45	0,40	1,19
120	0,05	0,45	0,58	0,58	0,29	0,62	1,17
121	0,49	0,51	0,57	0,59	0,21	0,46	1,06
122	1,04	1,29	0,75	0,37	0,61	0,55	0,36
123	1,12	1,23	0,23	0,25	0,50	0,58	0,56
124	1,09	0,79	0,20	0,11	0,36	0,51	0,60
125	0,86	0,54	0,28	0,03	0,20	0,38	0,57
126	0,74	0,53	0,44	0,26	0,08	0,08	0,37
127	0,59	0,62	0,70	0,72	0,85	1,27	1,15
128	0,59	0,64	0,71	0,79	0,99	1,30	1,20
129	0,61	0,65	0,72	0,80	0,99	1,33	1,24
130	0,56	0,62	0,70	0,75	0,88	1,09	0,99
131	0,55	0,63	0,71	0,75	0,86	0,99	0,75
132	0,56	0,63	0,70	0,74	0,86	0,83	0,62
133	0,60	0,65	0,68	0,66	0,75	0,71	0,60
134	0,59	0,64	0,68	0,67	0,78	0,73	0,61
135	0,58	0,65	0,69	0,68	0,73	0,69	0,54
136	0,76	0,93	0,86	0,78	0,68	0,58	0,50
137	0,85	0,85	0,81	0,76	0,66	0,56	0,50
138	1,05	0,85	0,78	0,75	0,65	0,54	0,49
139	1,07	0,82	0,78	0,76	0,65	0,54	0,50
140	0,99	0,78	0,76	0,75	0,65	0,54	0,50

LEGENDA: valores em preto: sobrepressão ; valores em vermelho: sucção

RESULTADOS VENTO - MODELO 2 / ENTORNO 3							
Cp _{Médio}							
Tomada	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	0,40	0,45	0,61	0,76	0,64	0,55	0,48
2	0,39	0,49	0,73	0,82	0,68	0,57	0,46
3	0,41	0,51	0,75	0,85	0,71	0,60	0,49
4	0,63	0,54	0,65	0,70	0,62	0,55	0,49
5	0,62	0,59	0,63	0,65	0,67	0,62	0,52
6	0,70	0,75	0,69	0,88	1,16	1,07	0,72
7	0,25	0,08	0,18	0,28	0,18	0,07	0,26
8	0,22	0,11	0,20	0,28	0,18	0,06	0,29
9	0,17	0,13	0,20	0,24	0,16	0,07	0,30
10	0,56	0,72	0,60	0,19	0,14	0,29	0,51
11	0,50	0,49	0,47	0,39	0,48	0,54	0,55
12	0,48	0,49	0,54	0,63	0,68	0,58	0,55
13	0,46	0,50	0,57	0,69	0,63	0,50	0,55
14	0,45	0,52	0,60	0,71	0,61	0,49	0,53
15	0,45	0,54	0,63	0,82	0,85	0,61	0,33
16	0,45	0,55	0,65	0,82	0,76	0,51	0,26
17	0,45	0,56	0,65	0,83	0,73	0,45	0,22
18	0,45	0,56	0,65	0,76	0,74	0,74	0,71
19	0,45	0,55	0,64	0,70	0,64	0,59	0,51
20	0,45	0,52	0,60	0,64	0,61	0,56	0,47
21	0,44	0,54	0,60	0,59	0,62	0,57	0,47
22	0,44	0,53	0,59	0,60	0,63	0,59	0,48
23	0,43	0,53	0,59	0,59	0,62	0,58	0,48
24	0,44	0,52	0,59	0,60	0,57	0,52	0,45
25	0,46	0,54	0,61	0,62	0,56	0,50	0,44
26	0,48	0,58	0,66	0,67	0,59	0,51	0,44
27	0,50	0,65	0,76	0,71	0,60	0,52	0,45
28	0,53	0,73	0,85	0,71	0,58	0,51	0,44
29	0,38	0,52	0,73	0,81	0,70	0,61	0,52
30	0,40	0,58	0,84	0,86	0,72	0,61	0,51
31	0,37	0,56	0,80	0,84	0,70	0,59	0,50
32	0,63	0,58	0,71	0,73	0,64	0,55	0,49
33	0,63	0,63	0,70	0,70	0,79	0,67	0,53
34	0,72	0,96	0,94	0,93	1,31	1,21	0,75
35	0,26	0,17	0,34	0,28	0,32	0,21	0,23
36	0,24	0,20	0,37	0,28	0,30	0,20	0,27
37	0,24	0,20	0,34	0,19	0,24	0,15	0,32
38	0,55	0,74	0,89	0,25	0,17	0,33	0,54
39	0,49	0,48	0,53	0,45	0,55	0,58	0,57
40	0,48	0,50	0,58	0,68	0,75	0,64	0,57
41	0,46	0,50	0,59	0,73	0,73	0,55	0,58
42	0,44	0,52	0,60	0,74	0,73	0,54	0,53
43	0,45	0,55	0,63	0,82	0,91	0,66	0,32
44	0,48	0,58	0,67	0,85	0,85	0,58	0,27
45	0,46	0,56	0,65	0,83	0,83	0,51	0,20
46	0,45	0,56	0,65	0,78	0,77	0,73	0,74
47	0,45	0,55	0,64	0,71	0,66	0,59	0,52
48	0,45	0,53	0,60	0,66	0,62	0,56	0,48
49	0,47	0,56	0,62	0,62	0,64	0,59	0,50
50	0,45	0,53	0,59	0,60	0,63	0,59	0,49
51	0,44	0,54	0,60	0,61	0,62	0,59	0,51
52	0,45	0,54	0,61	0,62	0,59	0,54	0,46
53	0,45	0,55	0,62	0,62	0,56	0,51	0,45
54	0,48	0,58	0,67	0,67	0,58	0,51	0,44
55	0,51	0,66	0,77	0,71	0,61	0,53	0,45

56	0,55	0,75	0,86	0,72	0,60	0,53	0,46
57	0,43	0,57	0,74	0,79	0,70	0,61	0,52
58	0,44	0,59	0,80	0,84	0,73	0,63	0,53
59	0,40	0,56	0,77	0,81	0,70	0,61	0,51
60	0,64	0,59	0,73	0,73	0,65	0,56	0,50
61	0,62	0,63	0,72	0,70	0,75	0,66	0,54
62	1,43	1,43	1,42	1,42	1,42	1,43	1,43
63	0,37	0,16	0,27	0,21	0,28	0,21	0,33
64	0,37	0,18	0,29	0,21	0,24	0,18	0,36
65	0,42	0,17	0,24	0,10	0,14	0,10	0,44
66	0,55	0,66	0,74	0,36	0,26	0,38	0,58
67	0,52	0,49	0,54	0,53	0,62	0,62	0,59
68	0,51	0,52	0,61	0,72	0,78	0,68	0,59
69	0,46	0,57	0,65	0,79	0,84	0,70	0,42
70	0,47	0,51	0,61	0,73	0,77	0,62	0,59
71	0,46	0,54	0,63	0,75	0,77	0,61	0,58
72	0,50	0,59	0,68	0,82	0,82	0,64	0,35
73	0,49	0,58	0,67	0,82	0,83	0,61	0,31
74	0,47	0,58	0,67	0,78	0,74	0,70	0,70
75	0,45	0,57	0,66	0,71	0,67	0,63	0,56
76	0,46	0,56	0,63	0,66	0,63	0,59	0,52
77	0,49	0,57	0,62	0,62	0,62	0,60	0,53
78	0,48	0,55	0,60	0,61	0,62	0,60	0,54
79	0,46	0,56	0,62	0,62	0,61	0,59	0,54
80	0,45	0,56	0,62	0,61	0,59	0,54	0,47
81	0,48	0,58	0,64	0,64	0,60	0,53	0,47
82	0,50	0,60	0,67	0,67	0,61	0,52	0,43
83	0,54	0,66	0,73	0,72	0,63	0,54	0,44
84	0,59	0,72	0,78	0,73	0,62	0,54	0,46
85	0,43	0,61	0,76	0,80	0,72	0,63	0,55
86	0,44	0,65	0,84	0,84	0,75	0,65	0,56
87	0,41	0,62	0,78	0,82	0,74	0,64	0,55
88	0,67	0,60	0,70	0,71	0,64	0,57	0,53
89	0,64	0,62	0,69	0,67	0,67	0,64	0,56
90	0,65	0,89	0,86	0,78	1,12	1,17	0,68
91	0,44	0,15	0,20	0,12	0,19	0,15	0,40
92	0,40	0,19	0,25	0,15	0,17	0,14	0,39
93	0,45	0,18	0,20	0,03	0,06	0,07	0,47
94	0,59	0,72	0,72	0,34	0,27	0,40	0,59
95	0,54	0,50	0,51	0,48	0,57	0,59	0,58
96	0,52	0,52	0,57	0,66	0,73	0,62	0,58
97	0,51	0,53	0,60	0,70	0,73	0,59	0,59
98	0,49	0,54	0,61	0,70	0,72	0,60	0,57
99	0,52	0,60	0,67	0,79	0,82	0,72	0,45
100	0,53	0,61	0,68	0,81	0,81	0,66	0,36
101	0,54	0,61	0,68	0,81	0,83	0,66	0,34
102	0,52	0,61	0,69	0,79	0,76	0,69	0,69
103	0,50	0,60	0,69	0,74	0,71	0,63	0,56
104	0,51	0,57	0,67	0,70	0,67	0,60	0,54
105	0,53	0,57	0,65	0,67	0,66	0,60	0,58
106	0,52	0,54	0,64	0,66	0,65	0,59	0,58
107	0,50	0,56	0,66	0,66	0,64	0,57	0,55
108	0,48	0,56	0,65	0,66	0,63	0,54	0,51
109	0,49	0,59	0,67	0,68	0,64	0,54	0,51
110	0,50	0,62	0,71	0,71	0,64	0,55	0,48
111	0,55	0,69	0,79	0,74	0,64	0,57	0,50
112	0,59	0,75	0,84	0,73	0,63	0,56	0,50
113	0,38	0,46	0,38	0,61	0,66	0,62	0,55
114	0,41	0,61	0,84	0,92	0,81	0,67	0,57

115	0,35	0,66	0,79	0,81	0,72	0,60	0,50
116	0,61	0,53	0,57	0,63	0,59	0,55	0,52
117	0,55	0,46	0,51	0,53	0,53	0,59	0,53
118	0,57	0,67	0,58	0,58	0,91	1,10	0,67
119	0,43	0,09	0,05	0,04	0,01	0,06	0,36
120	0,37	0,11	0,05	0,05	0,03	0,00	0,39
121	0,39	0,16	0,04	0,12	0,12	0,04	0,46
122	0,63	0,76	0,62	0,34	0,23	0,34	0,50
123	0,55	0,52	0,45	0,41	0,48	0,48	0,51
124	0,52	0,51	0,49	0,54	0,57	0,45	0,52
125	0,51	0,51	0,51	0,57	0,53	0,47	0,52
126	0,51	0,54	0,56	0,63	0,59	0,53	0,49
127	0,54	0,62	0,69	0,83	0,93	0,83	0,45
128	0,53	0,62	0,69	0,82	0,86	0,70	0,35
129	0,54	0,62	0,70	0,84	0,84	0,66	0,32
130	0,54	0,61	0,68	0,77	0,80	0,76	0,69
131	0,56	0,63	0,69	0,77	0,74	0,66	0,56
132	0,55	0,61	0,68	0,74	0,70	0,63	0,55
133	0,55	0,60	0,66	0,69	0,68	0,63	0,60
134	0,55	0,60	0,67	0,70	0,68	0,64	0,61
135	0,52	0,58	0,66	0,68	0,65	0,58	0,53
136	0,47	0,58	0,69	0,69	0,65	0,57	0,53
137	0,49	0,61	0,72	0,70	0,64	0,56	0,54
138	0,51	0,65	0,76	0,70	0,63	0,56	0,53
139	0,55	0,75	0,86	0,73	0,64	0,57	0,53
140	0,63	0,84	0,90	0,74	0,65	0,57	0,53

LEGENDA: valores em preto: sobrepressão ; valores em vermelho: sucção

RESULTADOS VENTO - MODELO 3 / ENTORNO 1							
Cp _{Médio}							
Tomada	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	0,07	0,13	0,26	0,39	0,47	0,49	0,68
2	0,14	0,06	0,36	0,51	0,53	0,47	0,70
3	0,46	0,48	0,40	0,23	0,00	0,43	0,88
4	0,38	0,40	0,35	0,15	0,07	0,47	0,86
5	0,45	0,46	0,36	0,17	0,15	0,73	0,99
6	0,47	0,46	0,35	0,17	0,15	0,75	0,95
7	0,45	0,45	0,35	0,18	0,13	0,69	0,92
8	0,15	0,29	0,33	0,21	0,17	0,87	1,03
9	0,04	0,11	0,28	0,22	0,28	0,94	1,02
10	1,08	1,01	0,29	0,25	0,31	0,12	0,00
11	1,12	0,96	0,18	0,22	0,35	0,30	0,26
12	1,07	0,76	0,13	0,17	0,33	0,36	0,36
13	0,92	0,56	0,15	0,10	0,28	0,35	0,39
14	0,78	0,48	0,22	0,00	0,18	0,28	0,35
15	0,67	0,46	0,30	0,13	0,04	0,16	0,24
16	0,64	0,54	0,49	0,39	0,28	0,17	0,10
17	0,58	0,59	0,59	0,60	0,67	0,83	1,11
18	0,58	0,60	0,60	0,63	0,64	0,74	1,05
19	0,52	0,56	0,58	0,60	0,68	0,79	0,92
20	0,52	0,55	0,58	0,60	0,67	0,76	0,90
21	0,51	0,56	0,57	0,61	0,69	0,80	0,99
22	0,50	0,56	0,62	0,68	0,73	0,81	0,86
23	0,50	0,57	0,62	0,66	0,72	0,81	0,87
24	0,57	0,58	0,59	0,64	0,74	0,80	0,70
25	0,57	0,60	0,58	0,64	0,78	0,82	0,64
26	0,62	0,81	0,77	0,64	0,58	0,60	0,58
27	0,66	0,77	0,72	0,64	0,58	0,57	0,57
28	0,77	0,77	0,69	0,64	0,59	0,56	0,56
29	0,93	0,80	0,69	0,64	0,61	0,57	0,56
30	1,03	0,79	0,67	0,62	0,59	0,57	0,56
31	1,04	0,76	0,65	0,59	0,57	0,56	0,57
32	1,01	0,75	0,64	0,58	0,56	0,54	0,58
33	0,09	0,01	0,15	0,32	0,43	0,53	0,83
34	0,32	0,13	0,29	0,50	0,47	0,57	0,84
35	0,49	0,51	0,48	0,37	0,07	0,58	0,98
36	0,50	0,51	0,47	0,32	0,01	0,61	0,97
37	0,49	0,50	0,45	0,21	0,15	0,76	0,96
38	0,49	0,49	0,34	0,14	0,17	0,77	0,92
39	0,49	0,48	0,36	0,17	0,13	0,70	0,88
40	0,33	0,44	0,43	0,25	0,18	0,92	1,03
41	0,11	0,27	0,42	0,30	0,39	1,00	1,00
42	1,00	1,07	0,35	0,37	0,45	0,26	0,11
43	1,04	1,02	0,15	0,31	0,46	0,43	0,37
44	1,06	0,84	0,10	0,22	0,41	0,45	0,45
45	1,02	0,65	0,13	0,14	0,34	0,43	0,48
46	0,91	0,53	0,20	0,03	0,24	0,37	0,46
47	0,80	0,49	0,28	0,09	0,10	0,25	0,37
48	0,76	0,50	0,41	0,28	0,13	0,01	0,13
49	0,62	0,60	0,62	0,64	0,67	0,75	1,00
50	0,59	0,61	0,62	0,64	0,67	0,76	1,02
51	0,52	0,55	0,58	0,61	0,66	0,73	0,90
52	0,52	0,56	0,60	0,62	0,67	0,75	0,93
53	0,52	0,57	0,61	0,65	0,71	0,78	0,98
54	0,51	0,57	0,64	0,71	0,74	0,80	0,96
55	0,55	0,61	0,67	0,71	0,74	0,82	1,01

56	0,60	0,58	0,63	0,68	0,75	0,83	0,84
57	0,61	0,61	0,62	0,68	0,79	0,88	0,81
58	0,76	0,87	0,79	0,69	0,62	0,61	0,63
59	0,79	0,82	0,75	0,68	0,61	0,57	0,59
60	0,89	0,79	0,72	0,68	0,62	0,57	0,57
61	0,99	0,77	0,70	0,67	0,63	0,58	0,57
62	1,02	0,75	0,67	0,64	0,61	0,59	0,58
63	1,01	0,73	0,66	0,62	0,60	0,58	0,60
64	0,97	0,72	0,64	0,60	0,58	0,57	0,63
65	0,20	0,09	0,11	0,30	0,44	0,58	0,90
66	0,45	0,23	0,27	0,62	0,48	0,60	0,88
67	0,59	0,62	0,59	0,51	0,17	0,66	1,00
68	0,60	0,61	0,57	0,47	0,08	0,68	0,99
69	0,59	0,60	0,56	0,30	0,17	0,86	0,98
70	0,60	0,60	0,40	0,13	0,19	0,82	0,94
71	0,58	0,56	0,42	0,18	0,15	0,76	0,93
72	0,45	0,57	0,53	0,30	0,19	0,95	1,01
73	0,20	0,38	0,55	0,41	0,44	0,98	0,97
74	0,99	1,10	0,34	0,48	0,56	0,37	0,19
75	1,02	1,09	0,10	0,37	0,56	0,55	0,47
76	1,07	0,90	0,05	0,30	0,52	0,58	0,57
77	1,05	0,67	0,10	0,19	0,43	0,55	0,60
78	0,94	0,52	0,18	0,08	0,32	0,47	0,57
79	0,84	0,49	0,29	0,07	0,16	0,34	0,48
80	0,81	0,52	0,43	0,29	0,10	0,08	0,22
81	0,66	0,64	0,67	0,70	0,71	0,76	1,00
82	0,64	0,65	0,68	0,71	0,72	0,77	1,02
83	0,56	0,60	0,65	0,69	0,72	0,76	0,93
84	0,56	0,60	0,66	0,70	0,72	0,77	0,95
85	0,57	0,62	0,68	0,73	0,77	0,81	1,00
86	0,55	0,62	0,70	0,75	0,76	0,82	0,99
87	0,56	0,64	0,70	0,74	0,75	0,81	1,01
88	0,63	0,64	0,70	0,75	0,79	0,86	0,89
89	0,65	0,66	0,71	0,77	0,83	0,91	0,88
90	0,81	0,89	0,82	0,77	0,70	0,65	0,68
91	0,84	0,85	0,80	0,76	0,70	0,63	0,65
92	0,93	0,81	0,77	0,75	0,70	0,63	0,62
93	1,02	0,79	0,75	0,74	0,70	0,64	0,62
94	1,04	0,77	0,73	0,71	0,68	0,64	0,62
95	1,02	0,75	0,71	0,70	0,67	0,63	0,65
96	0,98	0,74	0,70	0,69	0,65	0,62	0,69
97	0,25	0,11	0,12	0,32	0,47	0,55	0,86
98	0,55	0,37	0,12	0,62	0,50	0,51	0,87
99	0,65	0,67	0,65	0,62	0,35	0,59	1,02
100	0,65	0,66	0,62	0,58	0,25	0,63	0,99
101	0,65	0,66	0,63	0,48	0,09	0,87	1,00
102	0,66	0,65	0,38	0,00	0,26	0,84	0,97
103	0,65	0,60	0,40	0,15	0,16	0,73	0,94
104	0,56	0,66	0,59	0,33	0,17	1,03	1,05
105	0,31	0,51	0,65	0,48	0,48	1,04	1,01
106	1,06	1,17	0,32	0,56	0,66	0,46	0,28
107	1,11	1,15	0,04	0,44	0,65	0,64	0,55
108	1,14	0,88	0,01	0,34	0,58	0,65	0,64
109	1,09	0,58	0,09	0,22	0,49	0,61	0,66
110	0,94	0,44	0,16	0,11	0,37	0,54	0,65
111	0,82	0,44	0,28	0,04	0,20	0,41	0,56
112	0,74	0,50	0,42	0,26	0,06	0,13	0,30
113	0,67	0,65	0,68	0,72	0,74	0,79	1,03
114	0,66	0,66	0,69	0,72	0,74	0,79	1,06

115	0,60	0,63	0,66	0,71	0,74	0,78	0,95
116	0,60	0,63	0,67	0,72	0,74	0,79	0,97
117	0,61	0,65	0,69	0,74	0,77	0,82	1,01
118	0,60	0,66	0,69	0,74	0,76	0,83	1,00
119	0,61	0,67	0,70	0,74	0,76	0,83	1,03
120	0,65	0,69	0,74	0,77	0,79	0,84	0,87
121	0,66	0,71	0,76	0,79	0,81	0,89	0,83
122	0,75	0,87	0,82	0,80	0,75	0,71	0,69
123	0,81	0,84	0,81	0,79	0,74	0,69	0,68
124	0,94	0,81	0,78	0,77	0,72	0,68	0,67
125	1,06	0,81	0,77	0,76	0,71	0,68	0,67
126	1,11	0,79	0,75	0,74	0,70	0,67	0,67
127	1,07	0,77	0,74	0,72	0,68	0,66	0,68
128	1,04	0,76	0,73	0,71	0,68	0,65	0,71
129	0,32	0,17	0,05	0,24	0,39	0,48	0,75
130	0,55	0,43	0,09	0,45	0,54	0,39	0,81
131	0,49	0,53	0,52	0,56	0,46	0,28	1,02
132	0,51	0,52	0,48	0,50	0,35	0,39	0,98
133	0,50	0,51	0,49	0,51	0,06	0,88	1,07
134	0,51	0,49	0,14	0,38	0,48	0,96	1,03
135	0,48	0,34	0,01	0,17	0,32	0,86	1,01
136	0,55	0,61	0,49	0,22	0,18	1,06	1,08
137	0,35	0,54	0,64	0,44	0,52	1,13	1,05
138	1,16	1,34	0,34	0,48	0,62	0,47	0,29
139	1,21	1,15	0,05	0,35	0,58	0,59	0,51
140	1,15	0,64	0,08	0,24	0,49	0,57	0,56
141	1,03	0,43	0,14	0,15	0,40	0,53	0,57
142	0,88	0,40	0,20	0,07	0,32	0,47	0,56
143	0,77	0,45	0,29	0,06	0,18	0,36	0,51
144	0,69	0,50	0,40	0,24	0,05	0,14	0,31
145	0,67	0,63	0,66	0,69	0,74	0,82	1,06
146	0,68	0,65	0,67	0,71	0,76	0,84	1,10
147	0,64	0,62	0,65	0,70	0,75	0,82	1,01
148	0,64	0,63	0,65	0,70	0,75	0,83	1,04
149	0,65	0,65	0,67	0,72	0,77	0,85	1,08
150	0,63	0,66	0,67	0,71	0,75	0,84	0,98
151	0,64	0,67	0,68	0,72	0,76	0,85	1,02
152	0,67	0,73	0,75	0,77	0,79	0,84	0,83
153	0,66	0,73	0,75	0,77	0,79	0,86	0,72
154	0,69	0,85	0,81	0,79	0,74	0,74	0,69
155	0,76	0,82	0,80	0,77	0,71	0,71	0,68
156	0,88	0,82	0,78	0,75	0,69	0,67	0,67
157	1,02	0,84	0,77	0,75	0,69	0,66	0,68
158	1,12	0,82	0,76	0,73	0,68	0,65	0,68
159	1,17	0,82	0,76	0,73	0,68	0,65	0,70
160	1,13	0,80	0,75	0,71	0,67	0,63	0,70

LEGENDA: valores em preto: sobrepressão ; valores em vermelho: sucção

RESULTADOS VENTO - MODELO 3 / ENTORNO 2							
Cp _{Médio}							
Tomada	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	0,40	0,36	0,56	0,67	0,57	0,49	0,48
2	0,27	0,21	0,64	0,86	0,69	0,51	0,49
3	0,14	0,20	0,04	0,10	0,16	0,21	0,37
4	0,05	0,14	0,09	0,17	0,24	0,23	0,38
5	0,14	0,02	0,21	0,18	0,25	0,36	0,44
6	0,14	0,04	0,17	0,18	0,26	0,38	0,48
7	0,17	0,03	0,14	0,17	0,25	0,36	0,47
8	0,33	0,48	0,16	0,10	0,21	0,35	0,52
9	0,44	0,55	0,02	0,03	0,20	0,37	0,63
10	0,54	0,52	0,13	0,06	0,15	0,27	0,35
11	0,51	0,49	0,19	0,05	0,05	0,31	0,16
12	0,49	0,46	0,27	0,21	0,25	0,26	0,02
13	0,47	0,44	0,33	0,33	0,34	0,17	0,02
14	0,46	0,43	0,39	0,39	0,35	0,12	0,04
15	0,44	0,44	0,44	0,43	0,36	0,16	0,18
16	0,45	0,52	0,59	0,65	0,57	0,42	0,41
17	0,49	0,81	0,76	1,01	1,09	1,04	0,61
18	0,48	0,74	0,79	1,03	1,09	0,88	0,52
19	0,53	0,63	0,55	0,82	0,89	0,75	0,50
20	0,53	0,68	0,57	0,84	0,95	0,74	0,51
21	0,48	0,55	0,64	0,94	0,92	0,54	0,48
22	0,48	0,44	0,64	0,81	0,66	0,37	0,44
23	0,46	0,44	0,71	0,92	0,63	0,31	0,41
24	0,56	0,42	0,66	0,60	0,54	0,47	0,47
25	0,57	0,41	0,75	0,51	0,48	0,43	0,44
26	0,46	0,39	0,53	0,37	0,51	0,49	0,46
27	0,44	0,42	0,51	0,37	0,45	0,46	0,45
28	0,44	0,43	0,52	0,47	0,47	0,48	0,46
29	0,46	0,46	0,61	0,69	0,70	0,65	0,50
30	0,48	0,49	0,78	0,91	0,83	0,73	0,54
31	0,52	0,60	1,00	1,00	0,77	0,68	0,55
32	0,61	0,78	1,05	0,94	0,66	0,63	0,56
33	0,15	0,28	0,54	0,61	0,55	0,50	0,48
34	0,19	0,26	0,75	0,87	0,64	0,53	0,53
35	0,12	0,10	0,02	0,00	0,13	0,13	0,19
36	0,11	0,10	0,03	0,04	0,18	0,21	0,26
37	0,12	0,13	0,05	0,17	0,27	0,40	0,47
38	0,14	0,26	0,34	0,27	0,29	0,43	0,67
39	0,16	0,25	0,24	0,21	0,27	0,39	0,61
40	0,24	0,18	0,06	0,13	0,24	0,37	0,69
41	0,16	0,01	0,10	0,11	0,36	0,60	1,06
42	0,77	0,54	0,25	0,02	0,19	0,18	0,15
43	0,54	0,43	0,23	0,02	0,10	0,04	0,13
44	0,48	0,44	0,28	0,14	0,08	0,09	0,19
45	0,46	0,44	0,33	0,25	0,19	0,15	0,21
46	0,46	0,45	0,37	0,33	0,27	0,19	0,21
47	0,46	0,48	0,43	0,41	0,35	0,21	0,15
48	0,48	0,54	0,52	0,56	0,52	0,33	0,12
49	0,60	0,69	0,75	0,92	0,97	1,23	0,95
50	0,55	0,71	0,77	0,94	1,00	1,19	0,62
51	0,51	0,55	0,61	0,79	0,87	0,92	0,59
52	0,52	0,59	0,64	0,83	0,90	0,97	0,62
53	0,51	0,61	0,68	0,88	0,96	0,91	0,47
54	0,49	0,58	0,70	0,92	0,92	0,71	0,29
55	0,51	0,62	0,76	0,98	1,00	0,70	0,24

56	0,58	0,61	0,76	0,86	0,90	0,68	0,54
57	0,56	0,63	0,81	0,89	0,85	0,62	0,46
58	0,48	0,57	0,79	0,75	0,69	0,64	0,53
59	0,45	0,59	0,84	0,79	0,66	0,58	0,51
60	0,45	0,66	0,92	0,86	0,72	0,58	0,50
61	0,46	0,79	0,99	0,94	0,80	0,67	0,53
62	0,52	0,96	1,01	0,97	0,83	0,70	0,56
63	0,65	1,11	1,00	0,93	0,77	0,65	0,57
64	0,98	1,18	0,99	0,87	0,71	0,60	0,54
65	0,10	0,09	0,24	0,46	0,50	0,48	0,54
66	0,25	0,09	0,26	0,94	0,61	0,47	0,59
67	0,31	0,39	0,33	0,38	0,11	0,00	0,50
68	0,34	0,38	0,31	0,34	0,03	0,12	0,56
69	0,32	0,35	0,28	0,14	0,24	0,52	0,87
70	0,34	0,29	0,01	0,28	0,33	0,78	1,00
71	0,30	0,21	0,04	0,12	0,26	0,69	0,90
72	0,24	0,32	0,17	0,01	0,27	0,94	1,23
73	0,10	0,29	0,23	0,20	0,45	1,17	1,31
74	1,43	1,19	0,35	0,29	0,29	0,36	0,05
75	1,20	0,71	0,17	0,16	0,29	0,43	0,22
76	0,90	0,47	0,19	0,05	0,23	0,39	0,25
77	0,66	0,42	0,24	0,05	0,15	0,33	0,25
78	0,54	0,43	0,29	0,14	0,07	0,26	0,25
79	0,51	0,46	0,37	0,24	0,04	0,14	0,23
80	0,52	0,52	0,50	0,43	0,26	0,12	0,08
81	0,59	0,62	0,75	0,83	0,87	0,98	1,35
82	0,60	0,64	0,77	0,85	0,88	1,02	1,23
83	0,55	0,58	0,69	0,80	0,85	0,88	0,90
84	0,55	0,59	0,70	0,81	0,85	0,92	1,01
85	0,55	0,61	0,74	0,85	0,87	0,96	0,81
86	0,53	0,61	0,73	0,86	0,88	0,93	0,45
87	0,53	0,62	0,75	0,87	0,88	0,95	0,36
88	0,58	0,68	0,76	0,87	0,89	0,93	0,57
89	0,56	0,72	0,79	0,89	0,91	0,90	0,52
90	0,50	0,84	0,95	0,88	0,78	0,71	0,56
91	0,53	0,93	0,96	0,89	0,78	0,67	0,58
92	0,60	1,01	0,96	0,90	0,79	0,66	0,56
93	0,77	1,08	0,96	0,91	0,79	0,67	0,57
94	0,99	1,10	0,94	0,89	0,78	0,67	0,57
95	1,25	1,09	0,93	0,86	0,76	0,65	0,57
96	1,38	1,07	0,92	0,84	0,73	0,62	0,56
97	0,27	0,05	0,14	0,35	0,49	0,57	0,75
98	0,56	0,33	0,07	0,74	0,62	0,54	0,79
99	0,63	0,63	0,63	0,62	0,36	0,50	0,91
100	0,64	0,61	0,59	0,58	0,28	0,55	0,90
101	0,64	0,60	0,59	0,53	0,08	0,73	0,95
102	0,65	0,56	0,25	0,30	0,39	0,73	0,92
103	0,62	0,47	0,24	0,02	0,23	0,64	0,86
104	0,56	0,59	0,50	0,21	0,21	0,96	1,10
105	0,33	0,49	0,59	0,40	0,51	1,00	1,03
106	1,15	1,10	0,38	0,50	0,57	0,47	0,25
107	1,21	1,01	0,10	0,37	0,55	0,62	0,51
108	1,18	0,71	0,09	0,26	0,48	0,62	0,58
109	1,00	0,49	0,16	0,15	0,39	0,57	0,60
110	0,78	0,42	0,22	0,05	0,29	0,50	0,59
111	0,65	0,45	0,32	0,10	0,13	0,36	0,52
112	0,59	0,50	0,46	0,31	0,12	0,09	0,30
113	0,59	0,61	0,72	0,77	0,79	0,86	1,07
114	0,59	0,61	0,73	0,78	0,80	0,89	1,13

115	0,56	0,59	0,70	0,76	0,79	0,85	0,87
116	0,56	0,59	0,70	0,77	0,79	0,86	0,93
117	0,57	0,60	0,72	0,79	0,82	0,88	0,98
118	0,56	0,60	0,71	0,80	0,84	0,89	0,86
119	0,56	0,61	0,72	0,81	0,84	0,89	0,87
120	0,58	0,65	0,73	0,79	0,82	0,87	0,76
121	0,58	0,68	0,75	0,79	0,83	0,90	0,67
122	0,61	0,94	0,92	0,82	0,74	0,68	0,60
123	0,69	0,93	0,90	0,83	0,74	0,66	0,59
124	0,83	0,97	0,89	0,84	0,74	0,65	0,58
125	1,03	1,01	0,88	0,84	0,75	0,66	0,58
126	1,17	0,99	0,86	0,83	0,74	0,66	0,58
127	1,19	0,94	0,83	0,81	0,73	0,65	0,59
128	1,13	0,90	0,81	0,79	0,71	0,64	0,61
129	0,34	0,13	0,06	0,26	0,42	0,56	0,73
130	0,57	0,40	0,12	0,47	0,65	0,54	0,78
131	0,51	0,51	0,55	0,58	0,46	0,51	0,91
132	0,56	0,50	0,51	0,52	0,37	0,54	0,87
133	0,54	0,48	0,51	0,54	0,03	0,77	0,94
134	0,55	0,43	0,08	0,54	0,59	0,75	0,89
135	0,49	0,21	0,06	0,24	0,39	0,68	0,86
136	0,56	0,55	0,46	0,18	0,21	0,92	1,00
137	0,37	0,51	0,62	0,41	0,54	1,00	0,95
138	1,13	1,19	0,38	0,45	0,57	0,47	0,29
139	1,21	1,03	0,09	0,32	0,52	0,58	0,51
140	1,14	0,65	0,13	0,20	0,43	0,56	0,56
141	0,98	0,47	0,18	0,12	0,35	0,52	0,58
142	0,81	0,42	0,23	0,04	0,27	0,47	0,57
143	0,69	0,46	0,33	0,09	0,13	0,36	0,52
144	0,62	0,49	0,44	0,27	0,09	0,13	0,34
145	0,60	0,59	0,71	0,74	0,76	0,84	0,97
146	0,60	0,61	0,73	0,76	0,79	0,89	1,03
147	0,58	0,58	0,68	0,74	0,76	0,82	0,85
148	0,59	0,58	0,69	0,75	0,77	0,84	0,90
149	0,60	0,59	0,70	0,76	0,80	0,87	0,95
150	0,58	0,59	0,69	0,76	0,82	0,87	0,86
151	0,59	0,60	0,71	0,80	0,84	0,89	0,90
152	0,60	0,64	0,71	0,73	0,79	0,84	0,78
153	0,59	0,66	0,72	0,73	0,78	0,85	0,68
154	0,63	0,88	0,90	0,79	0,73	0,68	0,62
155	0,71	0,87	0,86	0,78	0,72	0,66	0,60
156	0,83	0,92	0,85	0,79	0,72	0,65	0,59
157	1,01	1,00	0,85	0,81	0,73	0,65	0,59
158	1,15	0,99	0,83	0,80	0,73	0,65	0,59
159	1,21	0,94	0,82	0,80	0,73	0,66	0,62
160	1,15	0,88	0,79	0,78	0,72	0,65	0,63

LEGENDA: valores em preto: sobrepessão ; valores em vermelho: sucção

RESULTADOS VENTO - MODELO 3 / ENTORNO 3							
Cp _{Médio}							
Tomada	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	0,36	0,48	0,71	0,82	0,65	0,56	0,48
2	0,51	0,59	0,96	1,17	0,84	0,60	0,52
3	0,52	0,27	0,08	0,04	0,12	0,29	0,35
4	0,56	0,34	0,18	0,08	0,22	0,35	0,40
5	0,57	0,55	0,51	0,37	0,48	0,54	0,55
6	0,55	0,60	0,65	0,57	0,56	0,51	0,54
7	0,54	0,56	0,59	0,51	0,52	0,49	0,51
8	0,52	0,31	0,21	0,22	0,40	0,44	0,50
9	0,34	0,06	0,16	0,07	0,43	0,51	0,54
10	0,56	0,41	0,26	0,10	0,23	0,10	0,25
11	0,53	0,41	0,34	0,08	0,09	0,25	0,48
12	0,51	0,45	0,45	0,35	0,45	0,52	0,57
13	0,49	0,48	0,54	0,57	0,64	0,59	0,55
14	0,48	0,50	0,59	0,67	0,63	0,52	0,54
15	0,46	0,51	0,60	0,66	0,53	0,44	0,54
16	0,46	0,58	0,68	0,75	0,58	0,48	0,48
17	0,44	0,58	0,68	0,82	1,04	0,86	0,54
18	0,44	0,59	0,69	0,84	0,94	0,76	0,51
19	0,45	0,54	0,62	0,72	0,75	0,67	0,53
20	0,44	0,54	0,62	0,75	0,77	0,69	0,57
21	0,44	0,54	0,63	0,73	0,75	0,65	0,51
22	0,42	0,53	0,62	0,71	0,63	0,53	0,40
23	0,43	0,55	0,64	0,73	0,60	0,48	0,35
24	0,43	0,53	0,62	0,67	0,62	0,58	0,51
25	0,43	0,55	0,64	0,65	0,60	0,55	0,46
26	0,41	0,52	0,60	0,63	0,64	0,57	0,46
27	0,41	0,52	0,60	0,64	0,62	0,55	0,46
28	0,40	0,52	0,61	0,67	0,62	0,55	0,45
29	0,42	0,55	0,65	0,74	0,68	0,60	0,47
30	0,42	0,57	0,70	0,76	0,68	0,60	0,47
31	0,43	0,63	0,77	0,77	0,66	0,58	0,46
32	0,44	0,70	0,84	0,76	0,65	0,57	0,46
33	0,38	0,59	0,79	0,79	0,65	0,55	0,46
34	0,54	0,65	1,01	1,16	0,80	0,61	0,51
35	0,52	0,38	0,23	0,05	0,27	0,33	0,34
36	0,54	0,45	0,39	0,20	0,38	0,44	0,42
37	0,55	0,58	0,61	0,42	0,50	0,51	0,52
38	0,55	0,59	0,65	0,61	0,54	0,49	0,53
39	0,53	0,56	0,61	0,56	0,51	0,47	0,50
40	0,54	0,34	0,24	0,26	0,43	0,44	0,50
41	0,38	0,09	0,27	0,05	0,57	0,57	0,56
42	0,58	0,41	0,41	0,04	0,34	0,21	0,28
43	0,53	0,41	0,39	0,13	0,10	0,24	0,50
44	0,51	0,46	0,50	0,43	0,52	0,56	0,58
45	0,49	0,48	0,57	0,63	0,70	0,63	0,55
46	0,47	0,50	0,60	0,71	0,71	0,56	0,54
47	0,45	0,51	0,61	0,70	0,65	0,48	0,54
48	0,44	0,52	0,61	0,68	0,64	0,48	0,42
49	0,45	0,57	0,66	0,79	0,97	0,88	0,51
50	0,44	0,57	0,67	0,80	0,91	0,75	0,48
51	0,42	0,53	0,61	0,70	0,75	0,67	0,50
52	0,43	0,54	0,62	0,72	0,78	0,71	0,52
53	0,43	0,55	0,63	0,73	0,76	0,66	0,50
54	0,42	0,54	0,63	0,72	0,67	0,52	0,38
55	0,45	0,57	0,67	0,76	0,68	0,49	0,34

56	0,44	0,55	0,63	0,69	0,66	0,60	0,51
57	0,43	0,56	0,64	0,67	0,62	0,56	0,45
58	0,41	0,54	0,62	0,66	0,63	0,58	0,46
59	0,41	0,54	0,62	0,66	0,61	0,55	0,46
60	0,42	0,56	0,66	0,70	0,63	0,56	0,46
61	0,43	0,59	0,70	0,74	0,67	0,59	0,47
62	0,44	0,63	0,76	0,76	0,68	0,60	0,47
63	0,46	0,69	0,83	0,76	0,67	0,59	0,47
64	0,47	0,76	0,88	0,75	0,64	0,57	0,47
65	0,51	0,66	0,83	0,81	0,68	0,58	0,49
66	0,60	0,73	1,01	1,09	0,84	0,66	0,53
67	0,56	0,46	0,41	0,20	0,28	0,32	0,39
68	0,58	0,50	0,49	0,31	0,37	0,41	0,44
69	0,60	0,60	0,63	0,50	0,52	0,56	0,55
70	0,58	0,60	0,66	0,63	0,58	0,55	0,55
71	0,58	0,59	0,64	0,60	0,56	0,53	0,54
72	0,61	0,44	0,38	0,37	0,48	0,51	0,56
73	0,50	0,06	0,19	0,15	0,59	0,62	0,60
74	0,59	0,39	0,36	0,00	0,28	0,20	0,42
75	0,55	0,42	0,38	0,19	0,15	0,25	0,58
76	0,54	0,48	0,52	0,48	0,56	0,57	0,62
77	0,52	0,52	0,61	0,69	0,73	0,67	0,60
78	0,49	0,52	0,63	0,74	0,76	0,64	0,59
79	0,48	0,53	0,64	0,74	0,74	0,60	0,59
80	0,46	0,54	0,64	0,73	0,73	0,60	0,52
81	0,47	0,60	0,69	0,80	0,89	0,85	0,56
82	0,47	0,60	0,70	0,83	0,89	0,78	0,52
83	0,43	0,55	0,63	0,71	0,74	0,68	0,52
84	0,43	0,55	0,64	0,72	0,76	0,71	0,54
85	0,44	0,57	0,66	0,75	0,77	0,69	0,54
86	0,42	0,56	0,65	0,73	0,70	0,58	0,41
87	0,43	0,57	0,67	0,76	0,71	0,56	0,36
88	0,45	0,57	0,65	0,69	0,67	0,62	0,52
89	0,44	0,58	0,66	0,68	0,65	0,59	0,47
90	0,42	0,56	0,63	0,64	0,63	0,59	0,46
91	0,44	0,58	0,66	0,66	0,63	0,58	0,48
92	0,45	0,60	0,68	0,69	0,66	0,58	0,47
93	0,48	0,64	0,73	0,75	0,70	0,61	0,48
94	0,49	0,67	0,77	0,78	0,71	0,62	0,49
95	0,52	0,72	0,82	0,79	0,69	0,61	0,50
96	0,54	0,76	0,84	0,77	0,67	0,60	0,49
97	0,51	0,69	0,83	0,80	0,68	0,60	0,54
98	0,59	0,78	1,03	1,09	0,84	0,64	0,56
99	0,56	0,31	0,16	0,08	0,17	0,24	0,39
100	0,59	0,39	0,29	0,19	0,26	0,35	0,44
101	0,57	0,59	0,56	0,36	0,43	0,56	0,54
102	0,59	0,66	0,73	0,69	0,66	0,62	0,57
103	0,55	0,61	0,68	0,62	0,59	0,57	0,55
104	0,61	0,40	0,31	0,34	0,44	0,51	0,56
105	0,52	0,07	0,17	0,19	0,54	0,61	0,59
106	0,59	0,40	0,37	0,03	0,25	0,19	0,47
107	0,56	0,43	0,35	0,16	0,14	0,26	0,57
108	0,54	0,49	0,47	0,44	0,53	0,56	0,60
109	0,52	0,53	0,57	0,64	0,70	0,65	0,60
110	0,50	0,53	0,60	0,69	0,72	0,62	0,59
111	0,49	0,54	0,61	0,71	0,71	0,59	0,60
112	0,49	0,55	0,62	0,71	0,71	0,61	0,55
113	0,52	0,62	0,70	0,82	0,86	0,82	0,57
114	0,52	0,63	0,71	0,83	0,87	0,78	0,53

115	0,49	0,58	0,66	0,74	0,76	0,68	0,53
116	0,48	0,58	0,67	0,75	0,77	0,69	0,54
117	0,49	0,59	0,68	0,77	0,78	0,69	0,52
118	0,48	0,58	0,68	0,74	0,73	0,62	0,43
119	0,48	0,60	0,69	0,77	0,74	0,61	0,39
120	0,50	0,56	0,67	0,70	0,70	0,62	0,56
121	0,50	0,57	0,69	0,70	0,69	0,60	0,51
122	0,46	0,56	0,67	0,69	0,69	0,59	0,53
123	0,47	0,59	0,69	0,71	0,69	0,59	0,55
124	0,47	0,61	0,72	0,73	0,70	0,60	0,54
125	0,49	0,65	0,77	0,78	0,72	0,64	0,53
126	0,50	0,70	0,83	0,80	0,72	0,65	0,54
127	0,51	0,75	0,87	0,80	0,71	0,64	0,55
128	0,54	0,80	0,89	0,78	0,69	0,62	0,54
129	0,44	0,62	0,59	0,64	0,59	0,58	0,55
130	0,52	0,63	0,72	0,86	0,68	0,61	0,59
131	0,54	0,14	0,05	0,07	0,12	0,22	0,37
132	0,50	0,17	0,13	0,15	0,19	0,32	0,43
133	0,47	0,32	0,26	0,25	0,36	0,62	0,54
134	0,50	0,78	0,87	0,80	0,77	0,69	0,59
135	0,53	0,68	0,76	0,72	0,70	0,64	0,57
136	0,54	0,35	0,29	0,39	0,48	0,55	0,56
137	0,44	0,10	0,01	0,32	0,60	0,76	0,63
138	0,61	0,54	0,43	0,18	0,09	0,18	0,41
139	0,56	0,50	0,38	0,23	0,16	0,26	0,51
140	0,54	0,53	0,45	0,41	0,49	0,52	0,56
141	0,51	0,53	0,49	0,55	0,60	0,51	0,57
142	0,50	0,52	0,51	0,58	0,56	0,47	0,56
143	0,51	0,54	0,54	0,61	0,55	0,52	0,56
144	0,51	0,55	0,58	0,64	0,62	0,61	0,52
145	0,53	0,62	0,70	0,81	0,88	0,84	0,57
146	0,54	0,63	0,72	0,84	0,88	0,79	0,54
147	0,51	0,59	0,67	0,76	0,77	0,68	0,54
148	0,51	0,60	0,68	0,77	0,78	0,70	0,56
149	0,52	0,61	0,69	0,79	0,80	0,70	0,50
150	0,50	0,59	0,68	0,77	0,76	0,66	0,41
151	0,51	0,61	0,69	0,79	0,77	0,64	0,37
152	0,54	0,62	0,69	0,75	0,75	0,67	0,60
153	0,52	0,61	0,69	0,73	0,72	0,62	0,52
154	0,48	0,60	0,72	0,73	0,70	0,64	0,57
155	0,47	0,62	0,74	0,74	0,70	0,63	0,58
156	0,47	0,64	0,77	0,76	0,70	0,64	0,58
157	0,48	0,69	0,82	0,79	0,72	0,66	0,58
158	0,50	0,73	0,87	0,80	0,72	0,66	0,59
159	0,53	0,81	0,94	0,81	0,73	0,66	0,60
160	0,57	0,88	0,95	0,80	0,71	0,65	0,58

LEGENDA: valores em preto: sobrepressão ; valores em vermelho: sucção