

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA,
MECÂNICA DAS ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

**INFLUÊNCIA DA CHUVA DIRIGIDA E DOS
DETALHES ARQUITETÔNICOS NA
DURABILIDADE DE REVESTIMENTOS DE
FACHADA**

CARLOS MARIANO MELO JÚNIOR

GOIÂNIA
2010

CARLOS MARIANO MELO JÚNIOR

**INFLUÊNCIA DA CHUVA DIRIGIDA E DOS
DETALHES ARQUITETÔNICOS NA
DURABILIDADE DE REVESTIMENTOS DE
FACHADA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Mecânica das Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Profa. Dra. Helena Carasek

GOIÂNIA
2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
GPT/BC/UFG**

Melo Júnior, Carlos Mariano
M528i Influência da chuva dirigida e dos detalhes arquitetônicos
na durabilidade de revestimentos de fachada / Carlos
Mariano Melo Júnior. - 2010.
204 f. : il.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Helena Carasek.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás,
Escola de Engenharia Civil, 2010.

Bibliografia

Inclui listas de figuras, tabelas, abreviaturas e siglas.

1. Durabilidade 2. Fachada 3. Chuva dirigida 4. Infiltração
5. Manchamento.

CDU: 72.02

Autorizamos a reprodução total ou parcial deste trabalho, para fins de estudo e pesquisa.

Goiânia, _____/_____/_____

Assinatura:

CARLOS MARIANO MELO JÚNIOR

**INFLUÊNCIA DA CHUVA DIRIGIDA E DOS DETALHES
ARQUITETÔNICOS NA DURABILIDADE DE REVESTIMENTOS DE
FACHADA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Mecânica das Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Goiás para obtenção do título de Mestre.

Prof.^a. Dr.^a. Helena Carasek
Universidade Federal de Goiás

(Orientadora)

Prof.^a. Dr.^a. Maria Carolina Brandstetter
Universidade Federal de Goiás

(Membro interno)

Prof. Dr. Elton Bauer
Universidade de Brasília

(Membro externo)

Aprovado em ____/____/____.

*Ao nosso Deus.
À minha mãe, meu pai e meu irmão.
A toda minha família e amigos.*

AGRADECIMENTOS

À professora Helena Carasek, que proporcionou a oportunidade de ampliar meus conhecimentos, apoiando e incentivando com carinho e paciência no desenvolvimento desta dissertação.

Ao Pró-Engenharias - CONSITRA e a CAPES, entidades financiadoras, pela oportunidade de aprimoramento acadêmico concedida.

Aos professores do GECON e da Escola de Engenharia da UFG, pelo conhecimento transmitido e experiências compartilhadas.

Aos funcionários da UFG pela disposição e atenção na prestação dos seus serviços.

Aos meus colegas de curso pelo companheirismo. Em especial a Leiliane, Moema, Marco Antônio, Thiago e Juliana, amigos acima de tudo.

À amiga Regina Sartori e a professora Juliana Nery, pela disposição na elaboração das cartas de recomendação e pelo incentivo à renovação do saber.

Aos pesquisadores Michele Giongo e Fabiano Morelli, pelas orientações para compreensão de aspectos referentes ao tema.

À Elizabete Alves, chefe do 10º DISME do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, pelo apoio e promoção na obtenção de dados estatísticos fundamentais para a formulação do trabalho.

À pesquisadora Márcia Shirakawa e ao estagiário Henrique Tanaka da Universidade Estadual de São Paulo – USP, que enriqueceram este trabalho por meio de conhecimentos e informações técnicas.

A todas as empresas construtoras que disponibilizaram importantes informações imprescindíveis à elaboração da pesquisa.

A todas aquelas pessoas que direta ou indiretamente colaboraram com a realização desta dissertação.

*O conhecimento é o processo de acumular
dados; a sabedoria reside na sua simplificação.*

Martin H. Fischer

RESUMO

A durabilidade das fachadas está relacionada ao desempenho frente à ação deletéria dos elementos climáticos, dentre eles a chuva dirigida, bem como dos efeitos proporcionados pelos elementos presentes nas fachadas dos edifícios. A compreensão destes aspectos é importante para a prevenção de manifestações patológicas, aumentando a capacidade da edificação em desempenhar suas funções por um maior período. A presença de detalhes arquitetônicos e construtivos pode funcionar como barreiras de proteção ou elemento condutor de umidade da chuva, assim como plataforma para deposição de poluentes e microorganismos, causando manchamento das fachadas. Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo apontar as influências da chuva dirigida e dos elementos das fachadas sobre a durabilidade das fachadas de edifícios localizados na cidade de Goiânia, relacionando-as com os pontos cardeais Norte, Sul, Leste e Oeste. Metodologicamente, o trabalho propôs-se à: criação dos primeiros mapas de chuva dirigida para a cidade de Goiânia, com dados obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia, no período de 2002 a 2008; realização de medições de umidade superficial nas quatro fachadas de edifício local com revestimento em argamassa mista; levantamento de dados de casos de infiltração junto às assistências técnicas de construtoras, relacionando-os com suas respectivas orientações; identificação de microorganismos coletados sobre elementos de fachadas e inspeção visual com registro fotográfico do manchamento de fachadas de edifícios em decorrência da ineficiência dos detalhes arquitetônicos e construtivos. Como principais resultados, constatou-se que as infiltrações e manchamentos ocorrem de maneira diferenciada para cada fachada em função, principalmente, das especificidades do clima da cidade de Goiânia. A partir da análise dos resultados dos índices de chuva dirigida, verificou-se que as fachadas voltadas à direção Norte estão mais suscetíveis à penetração de umidade por fissuras e aberturas, fato também confirmado pelo levantamento de casos de infiltração. Pela identificação de microorganismos, observou-se que fachadas voltadas a Sul tendem a favorecer o crescimento de fungos, enquanto que as demais apresentaram o crescimento de fototróficos, justificado pela maior incidência solar nessas fachadas e as manchas descritas genericamente como sujidades devida à poluição possuem a presença também de microorganismos. Do ponto de vista do manchamento, observou-se uma maior formação de manchas próximas às regiões de peitoris e sobre pingadeiras nas fachadas voltadas à direção Sul e maior presença de manchas nas platibandas das fachadas voltadas à direção Norte. Os *fantômes* ocorreram com maior frequência nas vedações das fachadas Sul.

Palavras – chave: Durabilidade; Fachada; Chuva dirigida; Infiltração; Manchamento.

ABSTRACT

The durability of the facades is related to performance against the deleterious effects of climatic elements, among them the wind driven rain, and the effects provided by the elements presents in building facades. Understanding these aspects is important for the prevention of pathological manifestations, increasing the capacity of the building to perform his functions for a long period. The presence of architectural and construction details can act as protective barriers or conductive elements of moisture from rain, well as a platform for deposition of pollutants and microorganisms, causing staining of the facades. Thus, this paper aims to point out the influences of wind driven rain and elements of facades of the durability of the facades of buildings located in Goiania-GO, related them to the cardinal points North, South, East and West. Methodologically, the paper seeks to: creation of the first maps of wind-driven rain to the city of Goiania, with data obtained from the National Institute of Meteorology in the period of 2002 to 2008; carrying out measurements of surfaces moisture on the four facades of the local building with mixed mortar rendering; data collection of cases of infiltration along the technical assistance for builders, relating them to their respective guidelines; identification of microorganisms collected on the façade elements and visual inspection with photographic record of the facades staining due to the inefficiency of the architectural and construction details. As main results, it was found that the infiltration and staining occur differently for each façade, due mainly, the specific climate of the city of Goiania. From the analysis of the results of the indices of wind driven rain, it was found that the facades oriented toward the North are more susceptible to moisture penetration by cracks and openings, fact also confirmed by the survey of cases of infiltration. For the identification of microorganisms, it was observed that facades face South tend to favor the growth of fungi, while the others showed the growth of phototrophs, justified by the increased incidence of the sunlight on these facades and the staining described generically as dirt due the pollutions are also the presence of microorganisms. From the standpoint of staining, observed an increased formation of spots near the region of window sill and dripping on the facades facing the South direction and greater presence of staining on the parapets of the facades facing the North directions. The fantômes occurred more frequently in walls of the South facades.

Keywords: Durability; Facades; Wind driver rain; Infiltration; Staining.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1 - Desempenho ao longo do tempo (ABNT NBR 15575-1, 2008)	22
Figura 1.2 - Manchas de sujidade próximas ao peitoril de janelas de edifícios na cidade de Goiânia	26
Figura 1.3 - Proliferação de microorganismos na platibanda de edifício na cidade de Goiânia	27

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 - Componentes do ciclo hidrológico (Disponível em: http://geo-geografias.blogspot.com).....	32
Figura 2.2 - Precipitação anual (a) e número de dias de chuva anual (b) (INMET, 2004)	34
Figura 2.3 - Mancha interna devido à penetração de água através da esquadria presente na fachada.....	40
Figura 2.4 - Mapa de isopletas da velocidade básica (V_0 em m/s) para o Brasil (ABNT NBR 6123, 1988).....	42
Figura 2.5 - Variação da velocidade do vento em diferentes tipos de terrenos (PENWARDEN; WISE, 1975 <i>apud</i> VIEIRA, 2005)	43
Figura 2.6 - Efeito da rugosidade superficial nas características do vento (MAC DONALD, 1975 <i>apud</i> VIEIRA, 2005)	43
Figura 2.7 - Efeito abrigo (GANDEMER, 1975)	44
Figura 2.8 - Efeito barreira (GANDEMER, 1975).....	45
Figura 2.9 - Efeito Venturi (GANDEMER, 1975)	45
Figura 2.10 - Efeito corredor ou canal (GANDEMER, 1978)	46
Figura 2.11 - Efeito abertura (GANDEMER, 1978)	46
Figura 2.12 - Simulação em túnel de vento do escoamento do vento ao redor de um edifício alto com edificação baixa a barlavento. Vista superior (a), perspectiva (b), vista lateral (c) e forma simplificada do típico escoamento do vento (PENWARDEN; WISE, 1975 <i>apud</i> VIEIRA, 2005)	47
Figura 2.13 - Atuação do vento e chuva sobre edificações com diferentes níveis de proteção. Representação em elevação (a) e em planta (b) (VALLEJO, 1990)	49
Figura 2.14 - Parábola da chuva incidente (COUPER, 1972 <i>apud</i> PETRUCCI, 2000).....	50

Figura 2.15 - Vetor de intensidade de chuva R e suas componentes. Intensidade da chuva dirigida Rcd e intensidade de precipitação no plano horizontal Rh (BLOCKEN; CARMELIET, 2004).....	51
Figura 2.16 - Sistemas de forças atuantes sobre uma gota de chuva (BAUER, 1987).....	51
Figura 2.17 - Influência do vento na direção da chuva e na exposição das fachadas: (a) situação sem vento; (b) situação com vento (THOMAZ, 1990)	52
Figura 2.18 - Modelos de coletores de medição da água aderida da chuva dirigida (BLOCKEN; CARMELIET, 2004).....	53
Figura 2.19 - Índice direcional de chuva dirigida direcional (m ² /s) – Florianópolis, 1961-1970 (GIONGO, 2007).....	55
Figura 2.20 - Montante de chuva dirigida em parede vertical – Florianópolis 1991/1993 – 1996 (GIONGO, 2007).....	58
Figura 2.21 - Mapa de chuva dirigida do Reino Unido. Esquerda: Mapa de chuva dirigida com graus de exposição: branco = protegido; cinza claro = moderado; cinza escuro = severo. Direita: Mapa de chuva dirigida direcional, onde o comprimento das retas representa a magnitude do índice de chuva dirigida das diferentes direções (LACY, 1971 <i>apud</i> BLOCKEN; CARMELIET, 2004).....	59
Figura 2.22 - Mapa brasileiro de chuva dirigida com base nos dados do ano de 2004 (LIMA; MORELLI, 2005).....	61
CAPÍTULO 3	
Figura 3.1 - Fases de interação de água nas fachadas (ARGILÉS, 1999 <i>apud</i> SILVA, 2007)	65
Figura 3.2 - Fluxo de água interceptado no peitoril da janela escorre lateralmente ao mesmo, provocando a fissuração da argamassa de revestimento (THOMAZ, 1989).....	67
Figura 3.3 - Fatores que influenciam a penetração de umidade pelas chuvas (GARDEN, 1963)	72
Figura 3.4 - Tipos de infiltração em paredes – Infiltração de água por gravidade associada à capilaridade e pressão do vento. (a) Infiltração de água através de meio poroso associada à capilaridade e à ação da pressão do vento (b). Água da chuva sob ação do vento em junta defeituosa (c) (ARGILÉS, 1999 <i>apud</i> SILVA, 2007).....	73
Figura 3.5 - Movimento descendente em relação ao tamanho das partículas (CARRIÉ; MOREL, 1975).....	77
Figura 3.6 - Influência da rugosidade do revestimento na aderência da partícula de sujidade (CARRIÉ; MOREL, 1975).....	79

Figura 3.7 - Exemplos dos efeitos da trajetória da água nas fachadas. LL: Lavado limpo; LS: Lavado sujo; AS: Acúmulo de sujeira (ROBINSON; BAKER, 1975 <i>apud</i> VIEIRA, 2005)...	82
Figura 3.8 - <i>Cladosporium herbarum</i> (JOHANSSON <i>et al.</i> , 2005).....	84
Figura 3.9 - Cianobactérias (Disponível em: http://www.enq.ufsc.br)	86
Figura 3.10 - Revestimento de fachada com pelo menos cinco espécies diferentes de líquenes (JOHANSSON <i>et al.</i> , 2005)	87
Figura 3.11 - Manchas nos elementos de vedação	90
Figura 3.12 - Manchas de <i>fantôme</i> na região da alvenaria de vedação	91
Figura 3.13 - Diagrama dos fluxos de água em pingadeiras com diferentes geometrias (PEREZ, 1988; THOMAZ, 1990)	93
Figura 3.14 - Formas que proporcionam a proteção contra a água da chuva (<i>Recomendaciones y manuales técnicos</i> , 1993).....	93
Figura 3.15 - Duas classes de elementos protetores: ambas impedem a lavagem da poeira depositada nas partes inferiores (<i>Recomendaciones y manuales técnicos</i> (1993).....	94
Figura 3.16 - Fluxos concentrados pelos canais contínuos (ROBINSON; BAKER, 1975 <i>apud</i> PETRUCCI, 2000)	95
Figura 3.17 - Planos contínuos – exemplos generalizados mostrando fluxo e possíveis represamentos em superfícies horizontais (ROBINSON; BAKER, 1975 <i>apud</i> PETRUCCI, 2000).....	96
Figura 3.18 - Exemplos de fluxo de água sobre fachada de edifícios (escorrimento) (ROBINSON; BAKER, 1975 <i>apud</i> PETRUCCI, 2000)	96
Figura 3.19 - Fluxo plano e fluxo canalizado sendo disperso em forma de gotejo devido a efeitos de descontinuidade (ROBINSON; BAKER, 1975 <i>apud</i> PETRUCCI, 2000).....	96
Figura 3.20 - Fluxo canalizado disperso em superfície plana (ROBINSON; BAKER, 1975 <i>apud</i> PETRUCCI, 2000)	97
Figura 3.21 - Concentração e canalização de fluxo plano (ROBINSON; BAKER, 1975 <i>apud</i> PETRUCCI, 2000)	97
Figura 3.22 - Intersecção de elementos horizontais e verticais no mesmo plano (CARRIÉ; MOREL, 1975).....	98
Figura 3.23 - Plano vertical adiantado (CARRIÉ; MOREL, 1975)	98
Figura 3.24 - Plano vertical recuado (CARRIÉ; MOREL, 1975)	99
Figura 3.25 - Trajetória de fluxo de água pelo canto da janela (THOMAZ, 1990)	100
Figura 3.26: Trajetória de fluxo de água pelo peitoril (THOMAZ, 1990)	101

Figura 3.27 - Influência da geometria nas direções de escoamento de água sobre os peitoris. Sem escoamento lateral (a) e com escoamento lateral (b) de fluxo de água (SILVA; TORRES, 2003).....	101
Figura 3.28 - Efeito do formato e da pingadeira sobre o fluxo de água sob peitoris (SILVA; TORRES, 2003)	102
Figura 3.29 - Esquema de cimalha em platibanda (SABBATINI <i>et al.</i> , 1988 apud MACIEL, 1997).....	103
Figura 3.30 - Geometria e dimensões de peitoris (SILVA; TORRES, 2003)	103

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 - Localização da estação automática meteorológica do 10º DISME, setor Jaó, Goiânia-GO	106
Figura 4.2 - Estação automática do 10º DISME (Décimo Distrito Meteorológico) do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.....	106
Figura 4.3 - Udógrafo (a) e cata-vento e anemômetro (b) da estação automática do 10º DISME (Décimo Distrito Meteorológico) do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET	107
Figura 4.4 - Transformação das direções de vento medidas em graus para as direções: N, NE, E, SE, S, SO, O e NO	108
Figura 4.5 - Edificação onde foram realizadas as medições de umidade	110
Figura 4.6 - Medição realizada na fachada Norte do 9º andar, embaixo da janela (a) e ao lado da janela (b), próximo à fachada Oeste	111
Figura 4.7 - <i>Moisture Meter</i> M-T-170.....	111
Figura 4.8 - Regiões da fachada (embaixo e ao lado da abertura da janela) onde foram realizadas as medições de umidade	112
Figura 4.9 - Pavimento tipo e local do edifício onde foram realizadas as medições de umidade	112
Figura 4.10 - Local da coleta da amostra 1 (a) e local da coleta da amostra 5.....	115
Figura 4.11 - Local da coleta da amostra 2 (a) e local da coleta da amostra 3.....	115
Figura 4.12 - Fachadas de um mesmo edifício: Orientação N (a), L (b), S (c) e O (d).....	119
Figura 4.13 - Vista geral de fachada com orientação S (a) e vista em detalhe da fachada com orientação S (b).....	120
Figura 4.14 - Representação esquemática das regiões de análise tipo numa fachada, modificado de Gaspar e Brito (2005) (ANTUNES, 2010).....	121

Figura 4.15 - Mapa das regiões e percentuais de manifestações patológicas (Adaptado GASPAR; BRITO, 2005; ANTUNES, 2010)	122
---	-----

CAPÍTULO 5

Figura 5.1 - Gráfico climatológico de precipitação (mm) e umidade (%) de Goiânia (INMET, 2010).....	123
Figura 5.2 - Gráfico climatológico de insolação (horas) e temperatura média (graus Celsius) de Goiânia (INMET, 2010)	124
Figura 5.3 - Precipitação pluviométrica acumulada por meses do ano, para cada quadrante (Goiânia, 2002 a 2008).....	126
Figura 5.4 - Média de velocidade de vento por meses do ano, para cada quadrante (Goiânia, 2002 a 2008).....	127
Figura 5.5 - Índices de chuva dirigida direcional anual (m^2/s) para Goiânia nos anos de 2002 a 2005	129
Figura 5.6 - Índices de chuva dirigida direcional anual (m^2/s) para Goiânia nos anos de 2006 a 2008	130
Figura 5.7 - Média dos índices de chuva dirigida direcional anual (m^2/s) para Goiânia nos anos de 2002 a 2008	131
Figura 5.8 - Índices de chuva dirigida direcional mensal (m^2/s) para Goiânia nos meses de janeiro a abril no período de 2002 a 2008	132
Figura 5.9 - Índices de chuva dirigida direcional mensal (m^2/s) para Goiânia nos meses de setembro a dezembro no período de 2002 a 2008	133
Figura 5.10 - Média dos índices de chuva dirigida direcional anual (m^2/s) para Goiânia nos anos de 2002 a 2008	134
Figura 5.11 - Montantes de chuva dirigida em parede vertical para Goiânia nos anos de 2002 a 2004	135
Figura 5.12 - Montantes de chuva dirigida em parede vertical para Goiânia nos anos de 2005 a 2007	136
Figura 5.13 - Montantes de chuva dirigida em parede vertical para Goiânia no ano de 2008.....	137
Figura 5.14 - Média dos montantes de chuva dirigida em parede vertical para Goiânia nos anos de 2002 a 2008	137
Figura 5.15 - Umidade superficial em função da orientação da fachada medida nos diversos pavimentos.....	139
Figura 5.16 - Média das medições de umidade superficial por localização	140

Figura 5.17 - Média das medições de umidade superficial por pavimento	141
Figura 5.18 - Percentuais de orientações com infiltração em fachadas de edificações na cidade de Goiânia.....	141
Figura 5.19 - Edifício 1	145
Figura 5.20 - Edifício 1: detalhes da fachada	146
Figura 5.21 - Situação do Edifício 1	146
Figura 5.22 - Fachada Norte do edifício 1	147
Figura 5.23 - Fachada Sul do edifício 1.....	147
Figura 5.24 - Fachada Leste do edifício 1	148
Figura 5.25 - Fachada Oeste do edifício 1	148
Figura 5.26 - Mapas dos percentuais de manchamento do Edifício 1	149
Figura 5.27 - Percentual de manchamento do Edifício 1, fachadas N, S, E e O	150
Figura 5.28 - Edifício 1. Vista da fachada voltada à orientação N.....	151
Figura 5.29 - Edifício 2	151
Figura 5.30 - Situação do edifício 2	152
Figura 5.31 - Fachada Norte do edifício 2.....	153
Figura 5.32 - Fachada Sul do edifício 2.....	153
Figura 5.33 - Fachada Leste do edifício 2	154
Figura 5.34 - Fachada Oeste do edifício 2.....	154
Figura 5.35 - Mapas dos percentuais de manchamento do Edifício 2.....	155
Figura 5.36 - Percentual de manchamento do Edifício 2, fachadas N, S, E e O	156
Figura 5.37 - Região da fachada onde ocorreu formação de manchas nas pingadeiras. Fachada E (a) e fachada O (b).....	157
Figura 5.38 - Edifício 3	158
Figura 5.39 - Edifício 3. Detalhes das fachadas. Leste e Oeste (a); Norte e Sul (b)	159
Figura 5.40 - Situação do Edifício 3.....	160
Figura 5.41 - Fachada Norte do edifício 3.....	161
Figura 5.42 - Fachada Sul do edifício 3.....	161
Figura 5.43 - Fachada Leste do edifício 3	162
Figura 5.44 - Fachada Oeste do edifício 3.....	162
Figura 5.45 - Mapas dos percentuais de manchamento do Edifício 3.....	163
Figura 5.46 - Percentual de manchamento do Edifício 3, fachadas N, S, E e O	164
Figura 5.47 - Edifício 4	165
Figura 5.48 - Situação do Edifício 4.....	166

Figura 5.49 - Fachada Norte do edifício 4.....	167
Figura 5.50 - Fachada Sul do edifício 4.....	167
Figura 5.51 - Fachada Leste do edifício 4.....	168
Figura 5.52 - Fachada Oeste do edifício 4.....	168
Figura 5.53 - Mapas dos percentuais de manchamento do Edifício 4.....	169
Figura 5.54 - Percentual de manchamento do Edifício 4, fachadas N, S, E e O.....	170
Figura 5.55 - Edifício 5.....	171
Figura 5.56 - Detalhe da platibanda.....	171
Figura 5.57 - Situação do Edifício 5.....	172
Figura 5.58 - Fachada Norte do edifício 5.....	173
Figura 5.59 - Fachada Sul do edifício 5.....	173
Figura 5.60 - Fachada Leste do edifício 5.....	174
Figura 5.61 - Fachada Oeste do edifício 5.....	174
Figura 5.62 - Mapas dos percentuais de manchamento do Edifício 5.....	175
Figura 5.63 - Percentual de manchamento do Edifício 5, fachadas N, S, E e O.....	176
Figura 5.64 - Mancha formada por escorrimento de água em platibanda de fachada do Edifício 5.....	177
Figura 5.65 - Manchas formadas sob as caixas de ar condicionado no Edifício 5, 14º pavimento (a) e 2º pavimento (b).....	178
Figura 5.66 - Detalhe da pingadeira e da junta de trabalho.....	179
Figura 5.67 - Junta de trabalho sem pingadeira (a) e pingadeira sem junta de trabalho (b)...	179
Figura 5.68 - Perfil de junta de trabalho no revestimento de argamassa (NUTEA, 2008)	180
Figura 5.69 - Proteção proporcionada por pingadeiras no escorrimento da água sobre a fachada.....	180
Figura 5.70 - Fachadas com orientação S com manchas formadas nas pingadeiras por acúmulo de sujeira.....	181
Figura 5.71 - Manchas nos elementos de ornamentação.....	181
Figura 5.72 - Vão da janela sem peitoril de pedra natural (granito ou mármore).....	182
Figura 5.73 - Manchas nas fachadas ocasionadas por peitoris.....	183
Figura 5.74 - Vista geral da fachada do edifício (a) e as manchas próximas à janela (b). Vista geral da fachada do edifício (c) e as manchas próximas à janela (d).....	184
Figura 5.75 - Manchas escuras, provavelmente oriundas da formação de microorganismos	185
Figura 5.76 - Manchas de microorganismos em guarda-corpos de coberturas.....	185
Figura 5.77 - Manchas em elemento da fachada.....	186

Figura 5.78 - Formação de manchas pelo escoamento preferencial da água	187
Figura 5.79 - Fachada Norte (a) e fachada Sul	188

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1.1 - Classificação das condições de exposição dos revestimentos externos de fachada (BSI 5262, 1976) 24

Tabela 1.2 - Classificação das condições de exposição dos revestimentos externos de fachada de acordo com a norma DIN 18550 *Part 1* (1985 *apud* VIEIRA, 2005) 25

CAPÍTULO 2

Tabela 2.1 - Faixas de exposição à chuva dirigida proposta por Lacy (1977) 60

Tabela 2.2 - Faixas de exposição à chuva dirigida proposta por Chand e Bhargava (2002).... 60

CAPÍTULO 3

Tabela 3.1 - Absortância em função de tonalidades das cores (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997) 66

Tabela 3.2 - Níveis de severidade da fissuração (função da abertura) (GASPAR; FLORES-COLEN; BRITO, 2006) 70

Tabela 3.3 - Poluentes e suas fontes (CAVALCANTI, 2003 *apud* PIRES, 2005) 74

Tabela 3.4 - Dimensões médias das partículas (CARRIÉ; MOREL, 1975)..... 77

Tabela 3.5 - Relação entre a velocidade do vento e a poluição máxima diária (CARRIÉ; MOREL, 1975)..... 80

Tabela 3.6 - Propriedades dos materiais e componentes de revestimento (SATO, 2000) 91

Tabela 3.7 - Características e eventuais defeitos dos peitoris (Adaptado SILVA; TORRES, 2003)..... 100

Tabela 3.8 - Dimensões mínimas para os peitoris (SILVA; TORRES, 2003) 104

CAPÍTULO 5

Tabela 5.1 - Direção e velocidade de vento durante 5 anos para a cidade de Goiânia (FERNANDES, 2006) 124

Tabela 5.2 - Índice de chuva dirigida anual..... 127

Tabela 5.3 - Medições da estação automática do INMET..... 138

Tabela 5.4 - Medições de umidade superficial realizadas nas fachadas do edifício 139

Tabela 5.5 - Média das medições de umidade superficial por localização..... 140

Tabela 5.6 - Média das medições de umidade superficial por pavimento..... 140

Tabela 5.7 - Escala de Beaufort para velocidade aproximada de vento 144

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas
BSI	<i>British Standards Institution</i>
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
CONSITRA	Consórcio Setorial
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
DISME	Distrito de Meteorologia
E	Leste
ICD	Índice de Chuva Dirigida
ICDa	Índice de Chuva Dirigida Anual
ICDd-a	Índice de Chuva Dirigida Direcional Anual
ICDd-m	Índice de Chuva Dirigida Direcional Mensal
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
I₀	Montante de Chuva Dirigida em Parede Vertical
N	Norte
NBR	Norma Brasileira Registrada
NE	Nordeste
NO	Noroeste
NUTEA	Núcleo de Tecnologia de Argamassa e Revestimento
O	Oeste
S	Sul
SE	Sudeste
SO	Sudoeste
UFG	Universidade Federal de Goiás
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL	20
1.2 JUSTIFICATIVA	23
1.3 OBJETIVOS	28
1.3.1 Objetivo geral	28
1.3.2 Objetivos específicos	29
1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	29
1.5 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	30
2 ASPECTOS DO CLIMA	31
2.1 ELEMENTOS CLIMÁTICOS	31
2.1.1 Precipitação	32
2.1.2 Movimento atmosférico do ar: vento	35
2.1.3 Temperatura	36
2.1.4 Umidade	36
2.1.5 Condensação	37
2.2 AÇÃO DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS SOBRE A EDIFICAÇÃO	38
2.2.1 A ação da água da chuva sobre a edificação	39
2.2.2 A ação do vento sobre a edificação	41
2.2.3 Comportamento da chuva associada ao vento sobre a edificação	48
2.3 CHUVA DIRIGIDA	50
2.3.1 Abordagem geral	52
2.3.1.1 Cálculo de índice de chuva dirigida	54
2.3.1.2 Cálculo de montante de chuva dirigida em parede vertical	55
2.3.2 Mapas de chuva dirigida	58
3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS POR UMIDADE	62
3.1 INFILTRAÇÃO DE UMIDADE EM FACHADAS	62
3.1.1 Funções e propriedades dos revestimentos de argamassa	63
3.1.2 Aspectos condicionantes para a infiltração de umidade em fachadas	64
3.2 FORMAÇÃO DE MANCHAS DE SUJIDADE EM FACHADAS	73
3.2.1 Poluentes atmosféricos	74
3.2.2 Deposição de partículas	75
3.2.3 Adesão das partículas contaminantes	78
3.2.4 Material empregado como revestimento	78
3.2.5 Vento	80
3.2.6 Temperatura, condensação e umidade	80
3.2.7 Chuva	81
3.3 CRESCIMENTO DE MICROORGANISMOS EM FACHADAS	83
3.3.1 Fungos	84
3.3.2 Bactérias	85
3.3.3 Algas	85
3.3.4 Líquenes	86
3.3.5 Fatores abióticos	87
3.4 FANTÔMES	89
3.5 A INFLUÊNCIA DOS DETALHES ARQUITETÔNICOS E CONSTRUTIVOS EM FACHADAS	92

4 METODOLOGIA	105
4.1 ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA	105
4.1.1 Fonte de dados	105
4.1.2 Preparação dos dados.....	107
4.1.3 Cálculo dos índices de chuva dirigida.....	108
4.1.4 Cálculo do I_0	109
4.2 MEDIÇÃO DE UMIDADE SUPERFICIAL EM FACHADAS	110
4.2.1 Características da obra	110
4.2.2 Método de medição	111
4.3 LEVANTAMENTO DE CASOS DE INFILTRAÇÃO	113
4.3.1 Coleta de dados	113
4.3.2 Casos de infiltração estudados	113
4.4 IDENTIFICAÇÃO DE MICROORGANISMOS	114
4.4.1 Locais de coleta das amostras.....	114
4.4.2 Método de amostragem	116
4.4.3 Análise microbiológica	116
4.5 ESTUDO DE CASOS DE MANCHAMENTO EM FACHADAS	116
4.5.1 Amostragem	117
4.5.2 Variáveis	117
4.5.3 Mapas de percentuais de manchamento.....	120
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	123
5.1 CLIMA DA CIDADE DE GOIÂNIA	123
5.3 ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA DIRECIONAL – ANUAL	128
5.4 ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA DIRECIONAL - MENSAL	131
5.5 MONTANTE DE CHUVA DIRIGIDA EM PAREDE VERTICAL	134
5.7 INFILTRAÇÕES EM FACHADAS	141
5.8 IDENTIFICAÇÃO DE MICROORGANISMOS	142
5.9 ESTUDO DE CASOS DE MANCHAMENTO EM FACHADAS	143
5.9.1 Classificação quanto às normas BSI 5262 (1976) e DIN 18550 Part 1 (1985) e condições de exposição dos revestimentos externos de fachada para a cidade de Goiânia	143
5.9.2 Edifício 1	145
5.9.3 Edifício 2.....	151
5.9.4 Edifício 3	157
5.9.5 Edifício 4.....	165
5.9.6 Edifício 5.....	171
5.9.7 Aspectos gerais dos elementos das fachadas	178
5.10 DISCUSSÃO GLOBAL DOS RESULTADOS	187
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	190
6.1 CONCLUSÕES	190
6.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A PESQUISA	193
6.3 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	194
REFERÊNCIAS	196

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL

Atualmente no Brasil, estudos vêm sendo freqüentemente realizados com a finalidade de delinear os fatores que desencadeiam e aceleram os fenômenos de deterioração das fachadas dos edifícios. Alguns pesquisadores, como Petrucci (2000), Resende, Barros e Medeiros (2001), e Vieira (2005), abordam a importância do estudo dos fenômenos para a obtenção de subsídios que possam direcionar à prevenção de manifestações patológicas em fachadas.

Segundo Lichtenstein (1986), da interação entre as ações externas e a capacidade do edifício em reagir a estes fatores para o cumprimento de suas funções resulta o desempenho. Ainda pelo autor, o entendimento integral deste processo de interação é fundamental na medida em que se deseja resolver um problema patológico de uma edificação.

O tema de desempenho de edificações, segundo Blachere (1974 *apud* BORGES; SABBATINI, 2008), vem sendo estudado a mais de 40 anos e pode ser entendido como o comportamento do edifício em uso, incluindo a interferência dos fatores climáticos sobre suas partes. De acordo com Gibson (1982 *apud* BORGES; SABBATINI, 2008), a abordagem de desempenho é a prática de se pensar em termos de fins e não dos meios, ou melhor, são os requisitos que a construção deve atender independente da forma como será construído.

Borges e Sabbatini (2008) explicam que até a década de 80 as pesquisas sobre desempenho na construção civil no Brasil tinham foco voltado ao aspecto conceitual do tema e somente a partir da década de 90, impulsionado principalmente pelas questões de sustentabilidade, volta-se à aplicação do conceito de desempenho na concepção e construção das construções. A evolução do conceito ganha força pelos trabalhos realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) para o Banco Nacional da Habitação (BNH) até o ano de 2000, quando a Caixa Econômica Federal financia, através do FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), o projeto para a criação de um modelo de avaliação de sistemas

construtivos, que resultou na norma brasileira de desempenho de edifícios até 5 pavimentos, NBR 15575¹ (ABNT, 2008).

A partir da medida de avaliação final da edificação quanto aos requisitos mínimos de conforto, habitabilidade e uso estabelecidos pela norma, o Brasil dá um passo importante para o estabelecimento de parâmetros de desempenho. A norma prevê o cumprimento de requisitos para os sistemas: estruturais, de pisos internos, vedações verticais externas e internas, de coberturas e hidrossanitários.

Conforto térmico, acústico e lumínico, estanqueidade, segurança estrutural, saúde, funcionalidade e durabilidade são exemplos de requisitos de desempenho para os sistemas, ou melhor, são condições qualitativas que uma edificação e suas partes devem cumprir, assegurando que as exigências dos usuários sejam alcançadas.

Segundo a ASTM E 632-82 (1996), a durabilidade é a capacidade de um produto, componente, montagem ou construção de se manter em serviço ou utilização, ou ainda, a capacidade deste em desempenhar as funções para o qual foi projetado durante determinado período. A durabilidade pode ser expressa em função do tempo em vida ou em função da capacidade de resistência a agentes que levam o edifício à deterioração.

Consoli (2006) relata que os primeiros estudos sobre durabilidade iniciaram-se há muitos anos nos países desenvolvidos tendo como motivação o desempenho econômico das edificações e o planejamento das manutenções, e que hoje a redução de impactos ambientais – por edificações duráveis – também se soma ao contexto.

A durabilidade dos sistemas que compõem o edifício está ligada à agressividade do meio ambiente, às propriedades dos elementos e dos seus componentes e à interação entre estes ao longo do tempo. Como requisitos de durabilidade, o edifício deve manter a capacidade funcional durante a vida útil prevista em projeto sem os sinais de desgaste, desde que realizadas as intervenções periódicas de manutenção e conservação (ABNT NBR 15575-1, 2008).

¹ A NBR 15575 - Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos - Desempenho foi publicada no dia 12 de maio de 2008 e passará a vigor em 2010. A norma é dividida em 6 partes abordando requisitos gerais, vedação, sistema de pisos, coberturas e sistemas prediais.

A vida útil de projeto orienta a fabricação de elementos e sistemas construtivos e também a previsão do desempenho contemplando as atividades interventivas de manutenção da edificação. A vida útil residual é o período posterior à vida útil de projeto, onde os elementos e sistemas passam a apresentar decréscimo continuado do desempenho em função do uso ou do envelhecimento natural, mas sem colocar em risco a segurança dos usuários. A vida total compreende a vida útil do projeto, a vida residual e a sobrevida, porém esta última passa a comprometer os níveis de segurança. Na Figura 1.1 está apresentada a relação entre desempenho e o tempo em vida de edifícios.

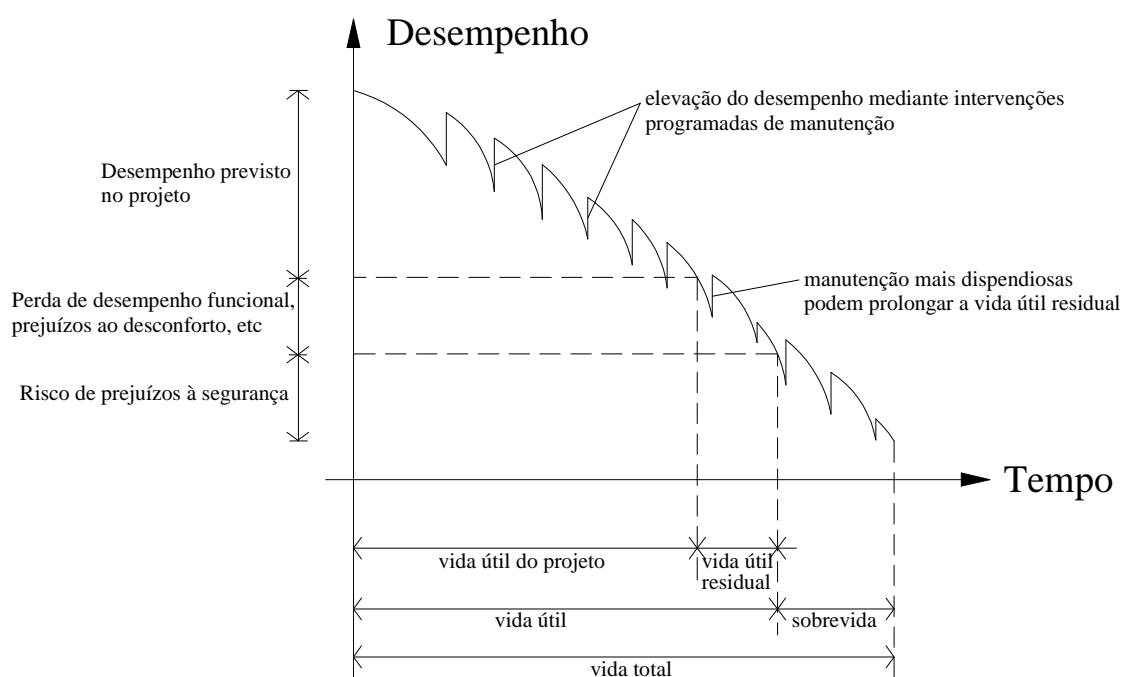


Figura 1.1 - Desempenho ao longo do tempo (ABNT NBR 15575-1, 2008)

Por fim, a presença dos requisitos mínimos de desempenho para os empreendimentos - somados a indicadores na avaliação da conformidade de produtos e processos com a qualidade especificada na fase de produção e utilização - contribui com a prevenção de manifestações patológicas e, por consequência, com a consolidação de técnicas construtivas adequadas e produtivas visando a uma maior durabilidade das edificações (ANTUNES, 2004).

1.2 JUSTIFICATIVA

Funcionalidade, habitabilidade e integridade são atributos que um edifício deve possuir. A integridade remete-se à permanência do edifício de se manter durante o período previsto de uso sem sinais de degradação de sua função ou estética. Entende-se por integridade física a necessidade de durabilidade frente aos agentes agressivos ao longo da vida útil² (CARRIÓ, 1985 *apud* PETRUCCI, 2000). Assim, tem-se que a durabilidade do edifício contrapõe-se a idéia de tempo e o mesmo está exposto à ação de desgaste oriunda do meio onde se encontra.

A imagem do edifício como elemento conformador das paisagens e espaços urbanos está intimamente relacionada à fachada, por esta razão, muitas pessoas vêem na fachada a própria síntese do edifício (PETRUCCI, 2000). Este sistema delimita simultaneamente o espaço interno do externo e as suas faces protegem o interior das ações dos agentes de deterioração. Petrucci (1989) afirma que as inúmeras ocorrências de manifestações patológicas nas fachadas são devidas às solicitações de sua função, pois estas atuam como anteparo aos ataques de agentes agressivos do meio ambiente.

As fachadas das edificações estão sujeitas a condições de exposição que irão variar de acordo com as características climatológicas da região onde estão localizadas. Os elementos climáticos - como precipitação, vento, radiação solar, umidade relativa e temperatura - contribuem com o processo de deterioração e afetam diretamente as características do edifício e de sua imagem do ponto de vista da durabilidade.

A precipitação é uma das principais fontes de umidade e passa a ser vertente de preocupação uma vez que age sob as leis da natureza que não são possíveis de eliminação, podendo, tão somente, serem controladas. De acordo com Choi (1999), a deterioração causada pela água da chuva nas edificações tem sido há muito tempo reconhecida como o principal problema na manutenção.

Perez (1988) aponta as manifestações pela presença de umidade como uma das mais difíceis de serem combatidas devido à complexidade e carência de estudos do fenômeno. De acordo com Souza (2008), os efeitos pelo aparecimento deste grave, de difícil solução e também dispendioso problema são: a perda da funcionalidade da edificação, danos a equipamentos e bens no interior do edifício, desconforto aos usuários com riscos à saúde e prejuízos

² De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2008), a vida útil dos edifícios e de seus sistemas é entendida como o período de tempo durante o qual podem ser utilizados sob condições satisfatórias de segurança, saúde e higiene.

financeiros, seja em decorrência dos percalços citados, como pelos custos com reparação das falhas apresentadas pelo edifício.

A complexidade do fenômeno e as manifestações patológicas - proporcionadas principalmente pela umidade em excesso - aumentam a dificuldade com a reparação e alguns países já demonstram sua preocupação procurando estabelecer mecanismos de mensurar os efeitos da ação da água da chuva por meio de equações empíricas, medições, ensaios e simulações do fenômeno (GIONGO, 2007).

Normas internacionais, como a BSI 5262 (1976) e DIN 18550 (1985 *apud* VIEIRA, 2005), baseiam-se em tabelas de classificação das condições de exposição dos revestimentos externos de fachadas, representadas a seguir:

Tabela 1.1 - Classificação das condições de exposição dos revestimentos externos de fachada (BSI 5262, 1976)

Parâmetros analisados		Condições amenas	Condições moderadas	Condições severas
Da região	Chuvas	Baixo índice pluviométrico	Chuvas moderadas	Regiões chuvosas
	Ventos	Fracos	Moderados	Fortes
	Localização geográfica	Qualquer	Qualquer	Qualquer
Do edifício	Altura	Elevada com proteção	Elevada sem proteção	Qualquer sem proteção
	Exposição à chuva e vento forte	Baixa	Moderada	Total
	Proteção de projeto e de prédios vizinhos	Parede protegida	Parede parcialmente protegida	Parede desprotegida

Tabela 1.2 - Classificação das condições de exposição dos revestimentos externos de fachada de acordo com a norma DIN 18550 Part 1 (1985 *apud* VIEIRA, 2005)

Parâmetros analisados		Condições amenas	Condições moderadas	Condições severas
Da região	Chuvas	Precipitação anual < 600 mm	Precipitação entre 600 e 800 mm	Precipitação maior que 800 mm ou região de vento forte
	Ventos	Pouco	Moderado	Intenso
	Localização geográfica	-	-	Qualquer
Do edifício	Altura	Elevada com proteção	Elevada sem proteção	Qualquer sem proteção
	Exposição à chuva e vento forte	Baixa	Média	Total
	Proteção de projeto e de prédios vizinhos	Condições excepcionais de proteção	Boas condições de proteção	Nenhuma condição de proteção

Reygaerts (1978 *apud* MEDEIROS, 1998) conclui em pesquisa, realizada em vários países, que 60% dos problemas em edifícios são devidos à penetração de umidade e cerca da metade destes ocorrem nas paredes.

Gaspar e Brito (2005), em estudos realizados nas cidades de Lisboa, Alcochete e Tavira, em Portugal, identificaram que 25% dos problemas de degradação em fachadas de edifícios revestidas com argamassa de base cimentícia e com acabamento decorativo em pintura eram decorrentes da chuva dirigida e do escoamento superficial de água na fachada.

A chuva dirigida é um fenômeno climático que tem sua origem da associação da chuva e do vento. É considerada por Straube e Burnett (2002) como a maior fonte de umidade que as fachadas de um edifício podem receber do meio externo e afeta diretamente o desempenho da edificação, pois causa incômodo aos usuários, destrói bens materiais, e coloca em risco a saúde pela formação de microorganismos.

No Brasil, ainda não existem muitos estudos detalhados sobre a condicionante de chuva associada ao vento e sua influência sobre as edificações, apesar de já se ter compreensão de que o fenômeno é de elevada relevância para definições de projeto, tanto pela especificação de soluções construtivas, quanto de materiais, na busca de um maior desempenho (GIONGO, 2007).

Rydock (2006) aponta como ferramenta de mensuração de riscos de penetração de umidade - através de paredes de alvenaria - o cálculo de índices de chuva dirigida por meio de equações. Segundo Chand e Bhargava (2001), a média mensal de índice de chuva dirigida é o valor

numérico do produto entre a média mensal de velocidade de vento e o total de precipitação pluviométrica, e este índice é um indicador do total mensal de chuva em superfícies verticais direcionada pelo vento.

Assim, a compreensão de elementos climáticos formadores do clima da região onde o edifício está localizado é uma importante ferramenta para a prevenção de problemas e mudanças na aparência das fachadas. Além da compreensão destes fatores, o entendimento dos efeitos que a geometria e os arranjos das partes envolvidas numa fachada podem proporcionar diante dos aspectos climáticos (chuva, vento, umidade do ar e temperatura) e urbanos (poeira e poluição), contribui positivamente com a durabilidade da edificação.

Chew e Tan (2002) estudaram o surgimento de manchas de sujeidade em edifícios novos localizados na cidade de Cingapura num pólo industrial, influenciado, segundo os autores, pelos elementos presentes na fachada. Os autores ressaltam a importância do assunto, uma vez que os recursos necessários para a solução do problema representam uma parcela bastante significativa de gastos com manutenção.

Em seu trabalho, Petrucci (2000) atribui, genericamente, a deterioração por sujeidade à geometria dos elementos presentes nas fachadas, procurando apresentar as principais características arquitetônicas e construtivas indutoras do surgimento desta manifestação patológica. Segundo a autora, para que o fenômeno de degradação, ou envelhecimento, ocorra, faz-se necessária a presença de: fonte emissora de poluente, umidade, vento e chuva, que interagirão com os paramentos alterando a intenção estética do edifício.



Figura 1.2 - Manchas de sujeidade próximas ao peitoril de janelas de edifícios na cidade de Goiânia

Desta maneira, a presença de poluentes presentes na atmosfera - aliados as condicionantes climáticas - atua sobre as formas geométricas e detalhes de edifícios, afetando as características estéticas e funcionais das fachadas.

Além desta manifestação patológica, Selmo (1989) afirma que os paramentos, quando apresentam soluções de projetos inadequadas, criam regiões “permanentemente” úmidas na fachada, que podem gerar riscos de degradação superficial da pintura e das argamassas de revestimento por meio da deposição de poeira vegetal ou animal (algas, fungos, líquens e musgos) que se nutrem das matérias orgânicas e sais minerais presentes na construção e na atmosfera contribuindo com a proliferação destes microorganismos.



Figura 1.3 - Proliferação de microorganismos na platibanda de edifício na cidade de Goiânia

Segundo Shirakawa *et al.* (1995), o surgimento de microorganismos em revestimentos internos ou em fachadas causa alteração estética nas paredes (ou tetos) formando manchas escuras de tonalidades preta, marrom ou verde, além da grande relevância do assunto quanto aos problemas respiratórios propiciados pela formação de bolor.

A publicação *Recomendaciones y manuales técnicos* (1993) afirma que o conjunto formado pelo desenho arquitetônico e as estruturas definidas pela engenharia determinam a geometria do edifício e que uma importante percentagem de problemas pode ser atribuída ao não cumprimento de regras de projeto e de construção, assim como à quantidade de informações insuficientes e falta de conhecimento técnico. Diversos autores atribuem a grande parte dos decréscimos de durabilidade dos componentes e das partes do edifício às concepções

inadequadas, insuficiência de detalhes ou ausência de projetos, erros de especificação de materiais e técnicas construtivas (RESENDE; BARROS; MEDEIROS, 2001).

No entanto, as discontinuidades e paramentos proporcionados por soluções arquitetônicas e construtivas que formam saliências e projeções em virtude de aspectos estéticos, funcionais e construtivos podem, quando planejados, contribuir também com o desempenho. Tem-se como exemplo, a criação de pingadeiras nas fachadas e molduras em torno de janelas para proteção do interior do edifício contra a ação da penetração e infiltração da água da chuva. Assim, as decisões tomadas por projetistas, além de conformar o caráter estético da edificação, irão direcionar o comportamento frente aos fatores de deterioração refletindo na durabilidade da fachada.

Finalizando, é importante frisar que há de aceitar-se a degradação natural dos materiais de construção e da edificação, porém o envelhecimento precoce dos edifícios por quaisquer alterações de suas partes de maneira localizada e excessiva não é admissível (CARRIÉ; MOREL, 1975).

1.3 OBJETIVOS

Neste item serão apresentados os objetivos gerais e os objetivos específicos determinados para o alcance da proposta de trabalho.

1.3.1 Objetivo geral

Por todo o contexto apresentado, o objetivo geral dessa dissertação é contribuir para análise e entendimento de aspectos que visem a durabilidade das fachadas de edifícios residenciais multipavimentos - com revestimento de argamassa e acabamento decorativo em pintura - a partir da compreensão da influência da chuva dirigida na cidade de Goiânia e dos detalhes arquitetônicos e construtivos utilizados nas edificações locais.

1.3.2 Objetivos específicos

Têm-se como objetivos específicos do presente trabalho:

- a) obter o índice de chuva dirigida livre e em parede vertical para a cidade de Goiânia nos anos 2002 a 2008, a partir de dados de índice de precipitação pluviométrica, velocidade média e direção de vento;
- b) observar se existem fachadas mais suscetíveis à deterioração pela infiltração de umidade oriunda da chuva;
- c) contextualizar a influência dos detalhes arquitetônicos e construtivos sob as manifestações patológicas de manchas de sujidade e ação de microorganismos;
- e) avaliar a inter-relação existente entre a chuva dirigida e os detalhes arquitetônicos e construtivos, sob os aspectos da deterioração das fachadas;
- f) identificar microorganismos por meio de análises microbiológicas por dispersão de suspensões em ultra-som e inoculação em meio de cultura específico para fototróficos.

1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este primeiro capítulo apresenta a introdução do tema, abordando o contexto geral e a justificativa da importância, o objetivo geral e os específicos, a estruturação do trabalho e as delimitações da pesquisa.

No Capítulo 2 é apresentada a primeira parte da revisão bibliográfica que abrange: os elementos climáticos; a ação do vento e da chuva sobre as edificações; o estudo da chuva dirigida, abordando conceitos, estudos realizados no Brasil e no mundo e métodos de mensuração.

A segunda parte da revisão bibliográfica, o terceiro capítulo, aborda o campo das manifestações patológicas por: infiltração, manchas de sujidades e formação de microorganismos em fachadas de edifícios.

O quarto capítulo apresenta a metodologia aplicada para a obtenção: do cálculo de índice de chuva dirigida livre e em parede vertical, da coleta de casos de infiltrações em fachadas de

edifícios em relação às direções N, S, E e O, das medições de umidade em fachadas, da identificação de microorganismos e dos dados de manifestações patológicas por inspeção visual e registro fotográfico de fachadas.

No capítulo seguinte, o quinto, os resultados obtidos, as avaliações e as discussões são apresentados.

Finalizando, o sexto capítulo traz as considerações finais da presente pesquisa, apresentando as conclusões da presente pesquisa, assim como as sugestões para trabalhos futuros.

1.5 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho limita-se à compreensão do comportamento das fachadas de edifícios diante dos elementos do clima (vento, chuva, condensação, umidade e temperatura) e das fachadas (detalhes arquitetônicos e construtivos). De forma geral, pelas especificidades do clima de cada região e das características físicas das edificações, acredita-se que as fachadas de um mesmo edifício tendem a reagir de maneira diferenciada, isto é, apresentam níveis distintos de deterioração. Assim, pretende-se estudar, para as edificações com revestimento em argamassa e pintura na cidade de Goiânia, as seguintes manifestações patológicas: infiltração e manchas decorrentes de poluentes e microorganismos.

Deste modo, as pesquisas deste trabalho propuseram-se a:

- relacionar os casos de infiltração em fachadas com os índices de chuva dirigida obtidos por meio de dados da estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET do estado de Goiás; e
- relacionar os níveis de manifestações patológicas pela formação de manchas nas fachadas em função dos pontos cardeais (N, S, E e O) e dos detalhes arquitetônicos e construtivos.

Não foi foco do trabalho estudar as manifestações patológicas de descolamento de revestimentos, eflorescência, saponificação e outras.

CAPÍTULO 2

ASPECTOS DO CLIMA

O presente capítulo terá como finalidade apresentar uma breve revisão bibliográfica sobre os elementos do clima, que são fatores externos à edificação que influenciam na sua durabilidade, assim como realizar uma abordagem sobre a definição, as metodologias e as pesquisas desenvolvidas no Brasil e no mundo sobre a chuva dirigida, que é resultante da associação de dois elementos climáticos: a chuva e o vento.

2.1 ELEMENTOS CLIMÁTICOS

Climatologia é o estudo científico do clima voltado às aplicações práticas, tendo como objetivos descobrir, explicar e explorar o comportamento normal dos fenômenos atmosféricos, utilizando-se dos mesmos dados básicos da meteorologia na previsão do tempo, para aplicação na indústria, na agricultura, nos transportes, na biologia, na arquitetura e na engenharia (VIANELLO; ALVES, 2000).

Os elementos climáticos são as grandezas meteorológicas que comunicam ao meio atmosférico suas propriedades e características particulares, sendo os principais elementos: a chuva, o vento, a temperatura, a umidade, a nebulosidade e a pressão do ar. Estes elementos variam de acordo com o tempo e o espaço e são influenciados por fatores climáticos, tais como: flutuações na quantidade de energia solar emitida, variação na órbita terrestre, aumento ou diminuição do dióxido de carbono atmosférico, a quase periodicidade e anomalias na configuração das temperaturas da superfície oceânica e outros (VIANELLO; ALVES, 2000).

No entanto, para compreensão do tema proposto, serão tratados no item a seguir apenas os seguintes elementos do clima: precipitação, vento, temperatura, umidade e condensação.

De acordo com Pinto *et al.* (1976), a ascensão de ar provoca o resfriamento, fazendo com que atinja seu ponto de saturação, seguido da condensação de vapor de água em forma de minúsculas gotas que são mantidas em suspensão em forma de nuvens ou nevoeiros.

As nuvens são formadas de aerossóis constituídos de gotículas de água no estado líquido ou sólido com diâmetros de 0,01 mm a 0,03 mm, espaçadas de aproximadamente 1 mm entre si, mantidas em suspensão por efeito de turbulência ou de correntes de ar ascendentes (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Para que ocorra a precipitação, faz-se necessário que o peso formado pelas gotículas de água seja maior que a força que as mantém em suspensão, isto é, que possua uma velocidade de queda superior às componentes verticais de movimento de ar. Segundo Garcez e Alvarez (1988), as gotas de chuva – que possuem diâmetros entre 0,5 mm a 2 mm - são 10^5 e 10^6 maiores que as gotículas constituintes das nuvens. Os autores mencionam também que o diâmetro máximo que uma gota de chuva pode alcançar é de 5,5 mm, e que acima deste valor rompem-se devido à resistência do ar.

A distribuição de precipitação é mais complexa que outros fenômenos naturais, como a temperatura. Isto se deve ao fato de que praticamente toda precipitação é resultante do resfriamento adiabático devida à ascensão das massas de ar que pode ser provocada pela convecção térmica, pelo relevo ou pela ação frontal de massas (AYOADE, 2003).

Grande parte do território do Brasil está localizada na zona de clima quente intertropical. O país possui um regime equatorial no Amazonas e Norte com chuvas de outono. Já a zona subequatorial, que envolve parte do Norte e do Nordeste, ocorrem as chuvas de inverno; O Sul do país encontra-se na zona de clima temperado (subtropical), com regime de chuvas regular, com tendências de índices máximos nos meses de inverno e no Centro-Sul, zona de regime tropical, ocorrem as chuvas de verão.

A Figura 2.2 apresenta mapas brasileiros representando a precipitação anual e o número de dias de chuva anual. Nota-se que o país tem alta incidência de chuvas durante o ano e também que chove muito durante muitos dias por ano.

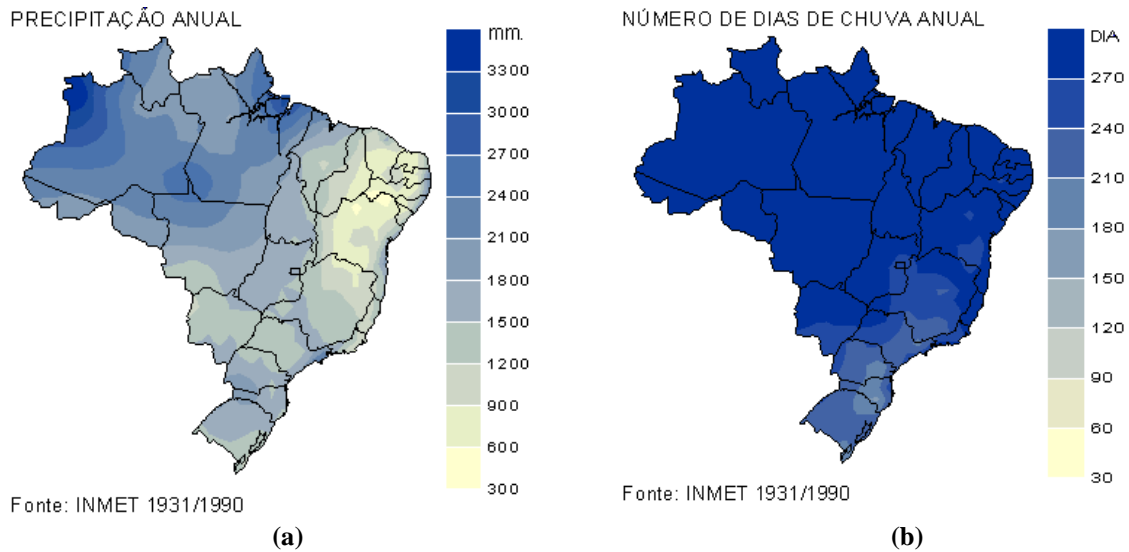


Figura 2.2 - Precipitação anual (a) e número de dias de chuva anual (b) (INMET, 2004)

De acordo com Ayoade (2003), em muitas partes dos trópicos a precipitação ocorre principalmente no período do verão em parte do ano, sendo a outra estação relativamente seca, principalmente no inverno, como é o caso da cidade de Goiânia.

A quantificação total de precipitação de um determinado local é denominada pluviometria, onde o termo *pluvia* tem sua origem no latim e significa chuva. Para o material sólido - a neve - a medição é feita provocando-se antes a fusão do gelo. De acordo com Silva (2006), a quantificação de precipitação é dada em termos de espessura de formação de uma camada de água sobre uma superfície horizontal, plana e impermeável, medindo 1 m² e adotando-se a unidade em milímetros (mm), correspondente à queda de 1 litro de água por metro quadrado de projeção.

A precipitação ainda é caracterizada em função da duração e da intensidade, sendo utilizados instrumentos de leitura denominados pluviômetros. Os dois tipos de aparelhos mais utilizados para a medição das precipitações são: os simples receptores, que recolhem a água e armazenam para posterior medição volumétrica, e os aparelhos registradores, que registram continuamente a quantidade de chuva que recolhem (pluviógrafos) (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Segundo Ayoade (2003), o volume de água captado por um pluviômetro situado em um determinado local depende de vários fatores, tais como: a altura do medidor em relação ao solo, a velocidade do vento e a taxa de evaporação. Quanto maior a altura do pluviômetro em relação ao solo, menor será o volume de água captado, assim como o volume tende a diminuir em função da crescente velocidade ou turbulência do vento. Deste modo, os pluviômetros

devem estar bem situados, longe de obstáculo para que não haja influência no volume de água captada.

2.1.2 Movimento atmosférico do ar: vento

De acordo com Vianello e Alves (2000), qualquer movimento atmosférico de ar na superfície ou em grandes alturas pode ser designado de vento. Segundo Ayoade (2003), o movimento atmosférico é a soma de dois componentes: movimento em relação à superfície da Terra, que gera o vento, e movimento em conjunto com a Terra, ao girar em torno do seu eixo, influenciando na direção dos ventos sobre a Terra.

Existem dois tipos de movimento atmosférico que são o horizontal e o vertical, e a causa básica e fundamental é o desequilíbrio na radiação líquida, na umidade e no *momentum* entre as baixas e altas latitudes, e entre a superfície da Terra e a atmosfera. Ainda há outros fatores que influenciam a circulação atmosférica, que são: a topografia, a distribuição das superfícies continentais e oceânicas e as correntes oceânicas (AYOADE, 2003).

São quatro os controladores do movimento horizontal do ar próximo à superfície da Terra: a força de gradiente, a força Coriolis ou defletora, a aceleração centrípeta e a força de fricção (BARRY; CHORLEY, 2004). A principal indutora desta movimentação é o desenvolvimento e a manutenção do gradiente de pressão horizontal que induz a movimentação do ar de áreas de alta pressão para áreas de menor pressão, onde a diferença de pressão é criada por fatores térmicos ou mecânicos (AYOADE, 2003).

O movimento vertical atmosférico é muito importante na formação de nuvens e precipitação, servindo como principal parâmetro a ser tratado pelas atividades que lidam com a previsão do tempo (VIANELLO; ALVES, 2000). De acordo com Ayoade (2003), o movimento vertical na atmosfera ocorre em larga e baixa escalas. O movimento vertical em larga escala ocorre em grandes áreas de vários milhares de quilômetros quadrados numa escala de tempo de poucos metros por segundo. O movimento vertical em baixa escala acontece sobre pequenas áreas de poucas centenas de quilômetros quadrados com uma escala temporal de 1 m a 30 m por segundo. Todos os dois tipos de movimento vertical também contribuem com a origem da condensação atmosférica.

2.1.3 Temperatura

Segundo Ayoade (2003), a temperatura, junto à precipitação, é o elemento do clima mais discutido do tempo atmosférico e pode ser definida em termos do movimento de moléculas e define que quanto mais rápido o deslocamento destas, mais elevada será a temperatura. A temperatura também é definida em termos relativos com base no grau de calor que um corpo possui.

Vários fatores podem influenciar a distribuição de temperatura sobre a superfície terrestre, podendo-se citar: a quantidade de insolação recebida, a natureza das superfícies, a distância de corpos hídricos, o relevo, os ventos predominantes e as correntes oceânicas. A latitude é o principal fator controlador do volume de insolação recebido por determinado lugar e a angulação dos raios solares, junto à duração do dia, são determinados pela localização latitudinal deste lugar. O volume de energia solar também será afetado por outros condicionantes, como: a quantidade de nuvens e outros constituintes atmosféricos (aerossóis e CO₂, por exemplo).

De acordo com Lima, Morelli e Lecioni (2005), os estudos de durabilidade devem levar em consideração principalmente as variações de amplitudes térmicas diárias, mensais e anuais, devida à influência que exercem nos processos físicos e químicos de degradação dos materiais de construção. Como exemplo, a variação da temperatura pode provocar o aquecimento e o resfriamento de elementos das fachadas causando mudanças dimensionais pela dilatação e retração, respectivamente, levando ao descolamento e destacamento de revestimentos cerâmicos.

2.1.4 Umidade

A umidade é o termo utilizado para definir a quantidade de vapor de água na atmosfera, não sendo usado para a forma líquida e sólida da água presente na atmosfera. Segundo Ayoade (2003), a presença de umidade diminui com o acréscimo da altitude, estando fortemente concentrada nas baixas camadas da atmosfera.

O vapor de água atmosférico é originado da superfície terrestre a partir da evaporação e da transpiração. De acordo com Varejão-Silva (2003), a evaporação na meteorologia é o termo para designar a transferência de umidade para a atmosfera sob a forma de vapor decorrente de: solos úmidos sem vegetação, oceanos, rios e lagos, enquanto que a evapotranspiração é o

termo empregado para a transferência de vapor proveniente de superfícies vegetadas, englobando, assim, duas contribuições: a evaporação da umidade de substratos (solo ou água) e a transpiração resultante da atividade biológica dos seres.

Existem diferentes formas de se medir o conteúdo de vapor de água na atmosfera: umidade absoluta, específica, índice de massa ou de umidade, temperatura do tempo de orvalho, pressão vaporífica e relativa (VIANELLO; ALVES, 2000; AYOADE, 2003).

A umidade relativa é a razão entre o conteúdo real de umidade em determinada amostra de ar e a quantidade de umidade que o mesmo volume de ar pode conservar na mesma temperatura e pressão, quando saturado, ou melhor, a relação entre a razão de mistura observada e aquela que prevaleceria em condições saturadas. Esta é a medida de umidade de ar mais utilizada por ser facilmente obtida e computada, sendo assim expressa em percentagem e necessária a utilização de termômetros de mercúrio, bulbo seco e bulbo úmido.

Segundo Ayoade (2003), a região dos trópicos por apresentar variações de temperatura significativas também exhibe variações consideráveis de umidade ao longo do dia. Durante a estação chuvosa, nas regiões próximas ao litoral dos trópicos úmidos, a umidade relativa pode alcançar os 100% no período da noite. Por outro lado, no interior continental dos trópicos a umidade relativa atinge valores mínimos à tarde nas estações secas. É importante esclarecer que a umidade relativa não informa a quantidade de umidade na atmosfera, e sim quão próximo o ar está do ponto de saturação.

Vianello e Alves (2000) são categóricos em afirmar a importância da umidade relativa do ar nas diversas atividades do homem e também das conseqüências que o excesso de umidade pode acarretar à engenharia. No aspecto da saúde, relatam que o clima excessivamente úmido coloca o organismo humano a condições de desconforto e doenças pulmonares, pela criação de meios que favorecem a presença de fungos causadores de processos alérgicos. Porém, a baixa umidade do ar pode provocar outros tipos de problemas, como os respiratórios.

2.1.5 Condensação

De acordo com Barry e Chorley (2004), a condensação é a causa direta das diferentes formas de precipitação, em decorrência da mudança de volume, temperatura, pressão ou umidade do ar. Para tanto, quatro mecanismos devem ocorrer para a formação da condensação:

- o ar deve ser resfriado até o ponto de orvalho³, mas o volume deve permanecer constante;
- o volume do ar deve aumentar sem a adição de calor, esfriando-se o ar por expansão adiabática;
- ocorrer variação conjunta na temperatura e no volume, reduzindo a capacidade de retenção de umidade do ar; e
- a evaporação acrescentar umidade ao ar.

Segundo Ayoade (2003), a condensação na atmosfera ocorre pelo resfriamento do ar além do ponto de orvalho, que alcança, assim, o ponto de saturação. O resfriamento pode ser ocasionado por: perda de calor por condução para superfícies frias (conhecido como resfriamento por contato), mistura com um ar mais frio e resfriamento adiabático por causa da elevação do ar.

O resfriamento por contato é geralmente produzido pelo ar quente e úmido ao encontrar superfícies frias (AYOADE, 2003). O autor ainda afirma que o resfriamento por contato acontece também no ar, nas noites claras e calmas, pelas condições favoráveis de forte radiação terrestre. De acordo com Varejão-Silva (2003), a condensação do excesso de vapor, decorrente do resfriamento do ar, favorece a formação de gotas de água nas superfícies em contato com o ar.

2.2 AÇÃO DOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS SOBRE A EDIFICAÇÃO

Neste item serão abordados os aspectos da ação da água da chuva e do vento sobre as edificações, assim como o comportamento destes dois elementos do clima quando associados, ou melhor, quando agem em conjunto.

³ O ponto de orvalho é a temperatura, para uma dada pressão barométrica, até a qual certa quantidade de ar deve ser resfriada para que o vapor d'água que ela contém se condense.

2.2.1 A ação da água da chuva sobre a edificação

Segundo Garden (1963), a água em excesso é o agente principal de degradação de paredes e materiais empregados na edificação, sendo a chuva uma das suas principais fontes. De acordo com Straube (2002), os aspectos nocivos da umidade - de qualquer que seja sua origem - têm sido determinantes na estimulação de estudos e pesquisas com o objetivo de desenvolvimento de alternativas que viabilizem a durabilidade de edifícios, atuantes tanto na área da ciência e da tecnologia dos materiais quanto das soluções de projeto. A presença de umidade em abundância pode contribuir dentre outros, com:

- corrosão eletroquímica de metais;
- proliferação de microorganismos (bolor e mofo), conforme ilustração da Figura 2.3;
- descoloração dos revestimentos de fachadas;
- variação dimensional de componentes, materiais e elementos construtivos, como: o concreto, o revestimento de argamassa, blocos, gesso etc.;
- manchamento;
- eflorescência;
- criptoflorescências;
- lixiviação; e
- aumento na transmissão de calor.



Figura 2.3 - Mancha interna devido à penetração de água através da esquadria presente na fachada

Dos aspectos citados anteriormente, talvez o menos discutido por trabalhos e pesquisas - diferentemente dos demais - seja a transmissão de calor. A este respeito, Chand e Bhargava (2002) afirmam que o acúmulo de água nas paredes externas faz com que os materiais percam resistência térmica, tornando a edificação mais suscetível ao fluxo de calor.

Árgiles (1999 *apud* SILVA, 2007) afirma que uma das explicações para a ocorrência dos problemas é que a água, em qualquer dos estados físicos da matéria que se possa vir a aparecer no ambiente – sólido, líquido ou gasoso –, tem a capacidade de penetrar, mover-se e reagir com diversos materiais levando-os à deterioração. Ainda pelo autor, a água possui capacidade de penetrar em cavidades e poros extremamente finos, tendo como outro agravante a permanência por longos períodos dentro dos materiais, já que possui elevada temperatura de evaporação em relação a outros líquidos.

Apesar das vedações assumirem a função de tornar a edificação estanque à umidade, assim como a outros elementos do clima, este requisito – estanqueidade – pode, em algumas ocasiões, estar comprometido pelos próprios materiais empregados na indústria da construção, que em sua maioria são tidos como porosos, como: os elementos de concreto, as alvenarias, as cerâmicas e os revestimentos de argamassa (MEDEIROS, 1998).

Para tanto, Straube (2002) relata que para os problemas citados ocorram, outras três condições precisam estar presentes, além da própria água:

- rotas ou caminhos para a umidade ser conduzida;

- presença de força direcional para causar o movimento da umidade; e
- o material do revestimento ser suscetível à deterioração.

Entretanto, Garden (1963) explica que apenas a eliminação de uma destas condições é o suficiente para a prevenção de problemas decorrentes da água, pois estes somente ocorrerão na associação dos três fatores. Contudo, segundo Medeiros (1998), os problemas de deterioração sempre estarão presentes alternando-se a frequência, a intensidade e a tipologia.

O estudo realizado por Grimm (1982 *apud* MEDEIROS, 1998) – baseados em revisão literária que contabilizou 233 artigos e publicações – traz a penetração de umidade em fachadas como o maior problema relacionado à água. Estudos atuais apontam outros fatores que predisõem ou intensificam os problemas penetração de água nos edifícios pelo fenômeno atmosférico da chuva que são: a direção e a velocidade do vento.

A umidade proveniente da chuva e da condensação também é apontada como um dos aspectos relevantes em dois outros tipos de deterioração de edifícios, que são as manifestações patológicas pela formação de microorganismos (fungos, bactérias, algas e líquens) e sujidades, responsáveis pelo envelhecimento de fachadas, que são discutidas no Capítulo 3.

2.2.2 A ação do vento sobre a edificação

Como discutido anteriormente, o vento é produzido pelas diferenças de massas de ar, no entanto, o comportamento do escoamento do vento nas cidades é determinado também pela morfologia urbana, ou seja, pelas condições topográficas e pela rugosidade do solo representadas pelos obstáculos, como edifícios e vegetações (GANDEMER, 1975).

Para a elaboração de projetos de estruturas de edificações, a norma brasileira NBR 6123 (ABNT, 1988) estabelece que procedimentos de cálculo de ventos devem ser realizados, baseados em aspectos que regem suas forças, como a ação estática e dinâmica. A velocidade característica é obtida pela equação a seguir:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (2.1)$$

Onde:

V_k = Velocidade característica (m/s);

V_0 = Velocidade básica (m/s);

S_1 = Fator topográfico;

S_2 = Fator de rugosidade do terreno, das dimensões da edificação ou parte da edificação em estudo, e de sua altura sobre o terreno; e

S_3 = Fator baseado em conceitos probabilísticos.

Os fatores S_1 , S_2 e S_3 são apresentados por meio de tabelas presentes na norma, onde parâmetros devem ser analisados de acordo com as peculiaridades de cada projeto e região. As curvas de isopletas representam os valores da velocidade básica contida na equação, ilustradas na Figura 2.4.

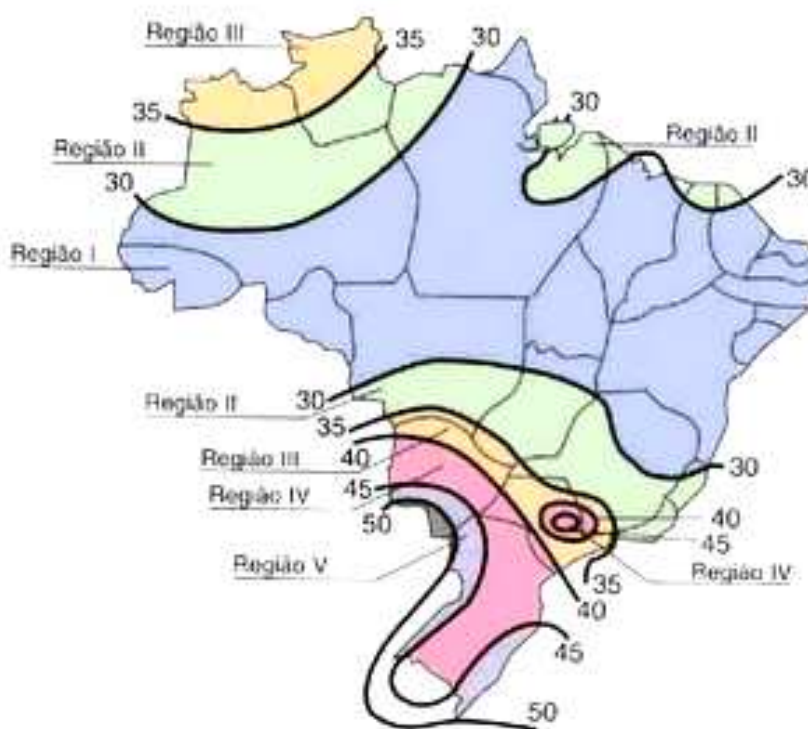


Figura 2.4 - Mapa de isopletas da velocidade básica (V_0 em m/s) para o Brasil (ABNT NBR 6123, 1988)

Penwarden e Wise (1975, *apud* VIEIRA, 2005) demonstram em desenho esquemático que a variação da velocidade de vento dependerá dos tipos de configuração das regiões, citando como exemplo: o campo aberto, a área suburbana e o centro urbano. Nas áreas de maior densidade a velocidade do vento diminui próxima a superfície, enquanto que nas regiões de baixa densidade no nível do solo a velocidade do vento é maior, como ilustrado na Figura 2.5.

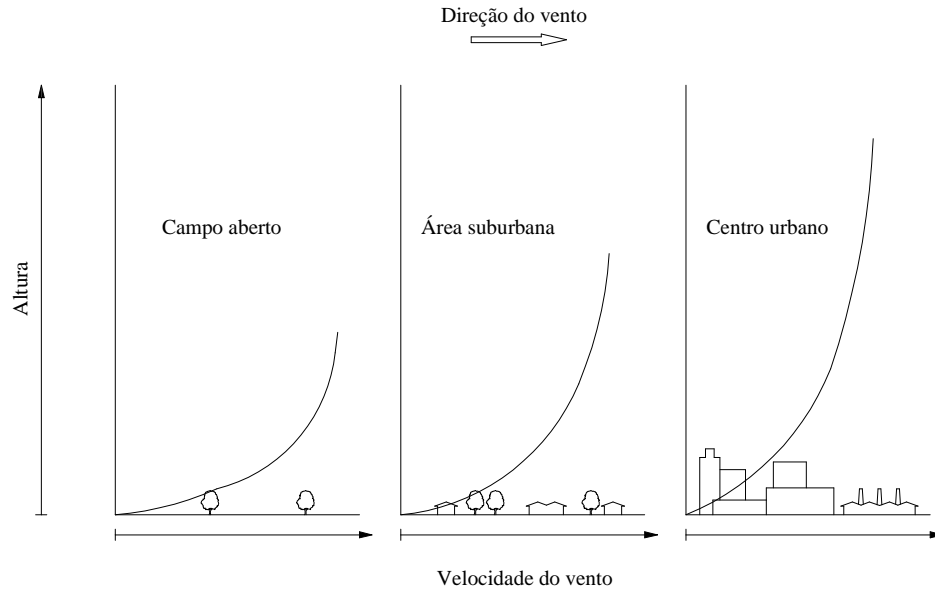


Figura 2.5 - Variação da velocidade do vento em diferentes tipos de terrenos (PENWARDEN; WISE, 1975 apud VIEIRA, 2005)

Mac Donald (1975, apud VIEIRA, 2005) explica que os obstáculos presentes na superfície terrestre influenciam diretamente na intensidade e direção do vento. O autor afirma que na proximidade do solo das zonas urbanas há a diminuição da velocidade do vento e também o aumento da turbulência, como ilustrado na Figura 2.6.

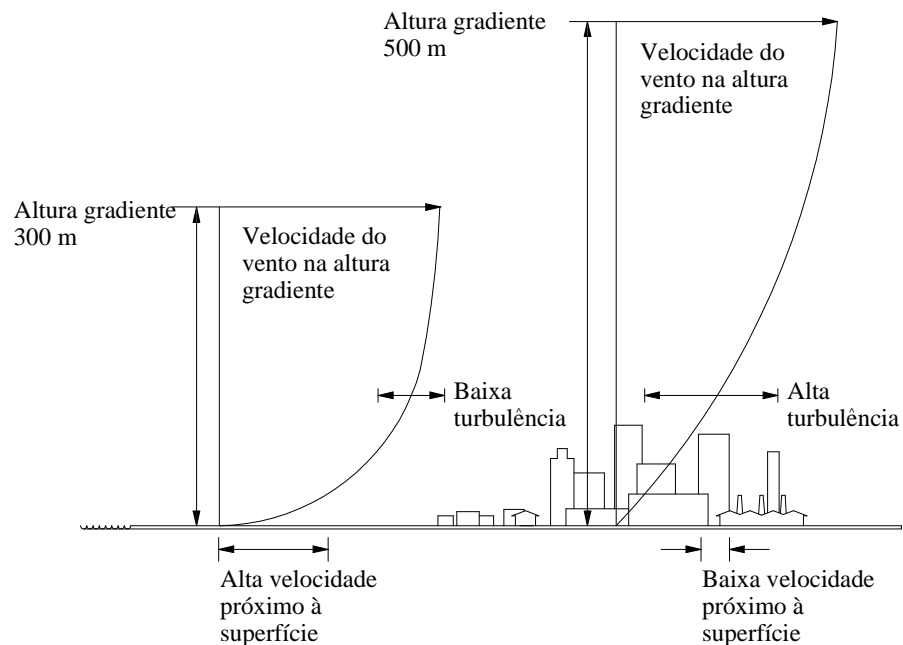


Figura 2.6 - Efeito da rugosidade superficial nas características do vento (MAC DONALD, 1975 apud VIEIRA, 2005)

Gandemer (1975) relata que em estudo realizado em diferentes partes de planos espaciais conseguiu-se identificar vários efeitos da aerodinâmica na relação das edificações sobre o

comportamento do vento. Os experimentos foram realizados pensando-se em situações que representaram as configurações urbanísticas, ou seja, as realidades construtivas.

Dos principais efeitos estudados por Gandemer (1975), têm-se: efeito abrigo, barreira, *Venturi*, corredor ou canal e abertura.

O efeito abrigo é considerado como uma anomalia devida à dificuldade de quantificá-lo. Pelo arranjo proporcionado pelo conjunto de edificações, nascem locais de abrigo contra o vento pelos próprios edifícios, conforme ilustrado na Figura 2.7.

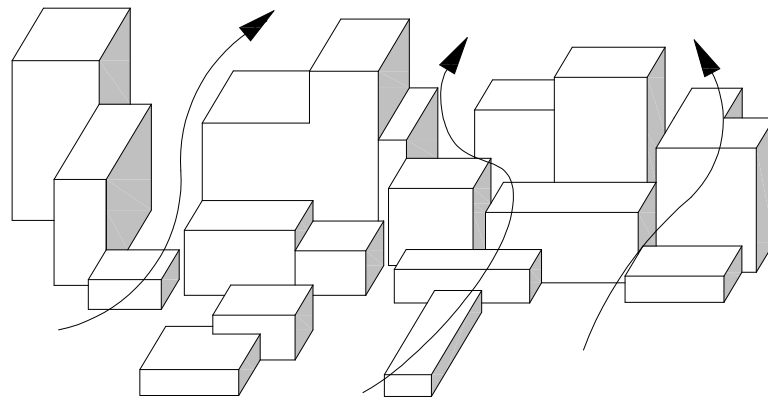


Figura 2.7 - Efeito abrigo (GANDEMER, 1975)

Gandemer (1975) explica que o efeito barreira é caracterizado para construções em forma de paralelepípedos, com largura que não ultrapassa 10 m, de alturas homogêneas e inferiores a 30 m e de comprimento mínimo de oito vezes a sua própria altura. Segundo o autor, este efeito é explicado para os casos em que o ar encontra obstáculos à sua frente e tende a fluir pela trajetória de menor resistência, e nos casos de barreiras muito largas parte ou todo desse ar será empurrado para cima, formando faixas de ar ascendentes, resultando no efeito aerodinâmico de barreira. Assim, os edifícios de menores alturas que estiverem atrás destas barreiras estarão protegidos do escoamento de ar (Figura 2.8).

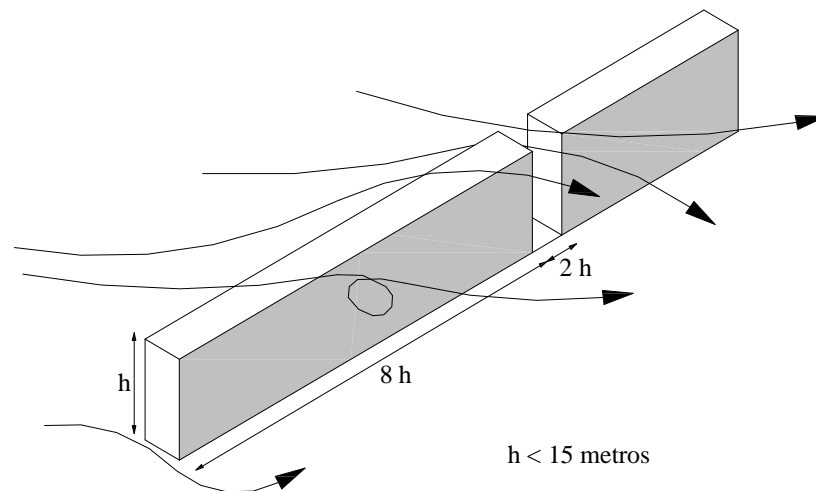


Figura 2.8 - Efeito barreira (GANDEMER, 1975)

O efeito *Venturi* é descrito por Gandemer (1975) como o fenômeno de funil criado por duas estruturas que não se encontram. Por este aspecto, há uma aceleração do escoamento de ar pelo afunilamento proporcionado pelas edificações separadas, cujo eixo apresenta-se em ângulo agudo ou reto. A altura das edificações para que o fenômeno ocorra deve ser superior a 15 m e o comprimento não menor que 100 m. Segundo o autor, quando a abertura no final do “canal” possui dimensões iguais a 2 a 3 vezes a altura média dos edifícios, o escoamento de ar atinge velocidade máxima (Figura 2.9).

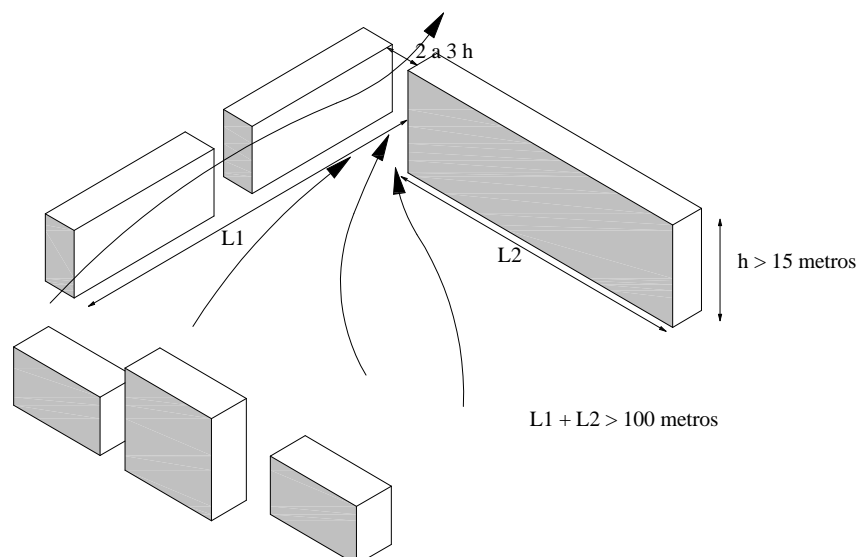


Figura 2.9 - Efeito Venturi (GANDEMER, 1975)

O efeito de corredor ou canal acontece para edificações que estão posicionadas paralelamente entre si formando um corredor, que resultará numa aceleração do escoamento do ar quando a

largura deste corredor for menor que 3 vezes a altura das edificações, como ilustrado na Figura 2.10 (GANDEMER, 1978).

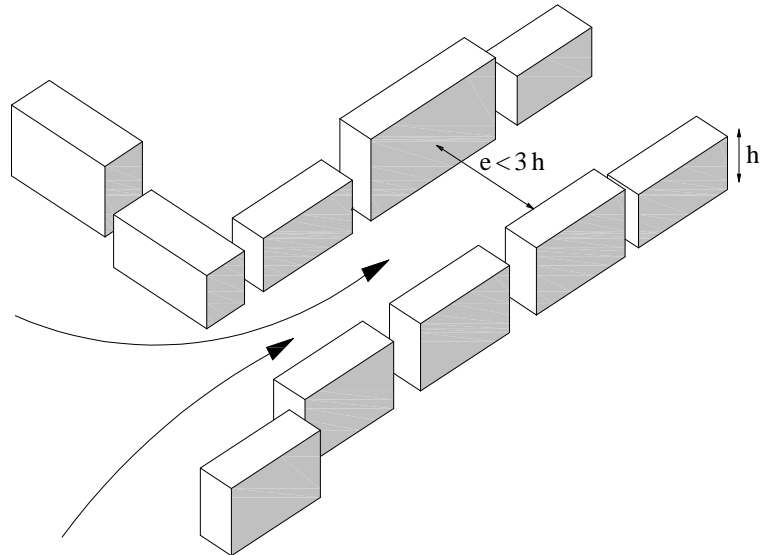


Figura 2.10 - Efeito corredor ou canal (GANDEMER, 1978)

Outro efeito descrito por Gandemer (1978) é o de abertura, que ocorre estritamente nas bases de edifícios sobre pilotis ou aberturas onde a variação do escoamento de ar pelas aberturas individuais é bastante intensa, resultando em esguichos ou jatos de ar e forte efeito a sotavento (Figura 2.11).

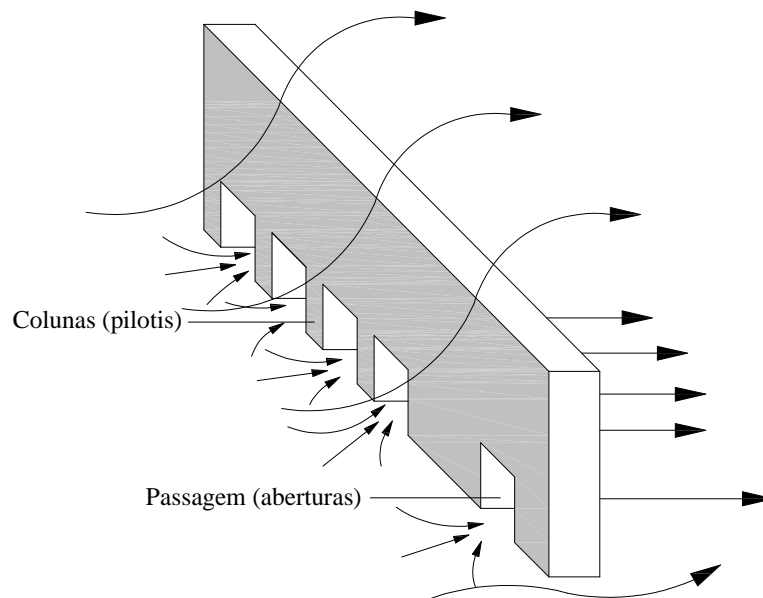


Figura 2.11 - Efeito abertura (GANDEMER, 1978)

A partir de estudos realizados em túneis de vento, Penwarden e Wise (1975 *apud* VIEIRA, 2005) chegaram à conclusão de que o padrão de escoamento do ar dependerá das características de aproximação, isto é, pela direção do vento a barlavento e pela tipologia da edificação, como altura e largura. Segundo os autores, ao incidir sobre uma edificação o vento muda de direção e gera aumento de velocidade no nível do solo e nas laterais do edifício. Ocorre o ponto máximo de pressão na fachada do edifício a aproximadamente $\frac{3}{4}$ de altura à barlavento. Como resultante, ocorre um forte escoamento descendente de vento formando um vórtice intenso junto ao solo, que ao encontrá-lo é direcionado a sotavento pelo vento médio. Há aceleração do escoamento de ar nas arestas da edificação e aumento da pressão da base, como ilustrado na Figura 2.12.

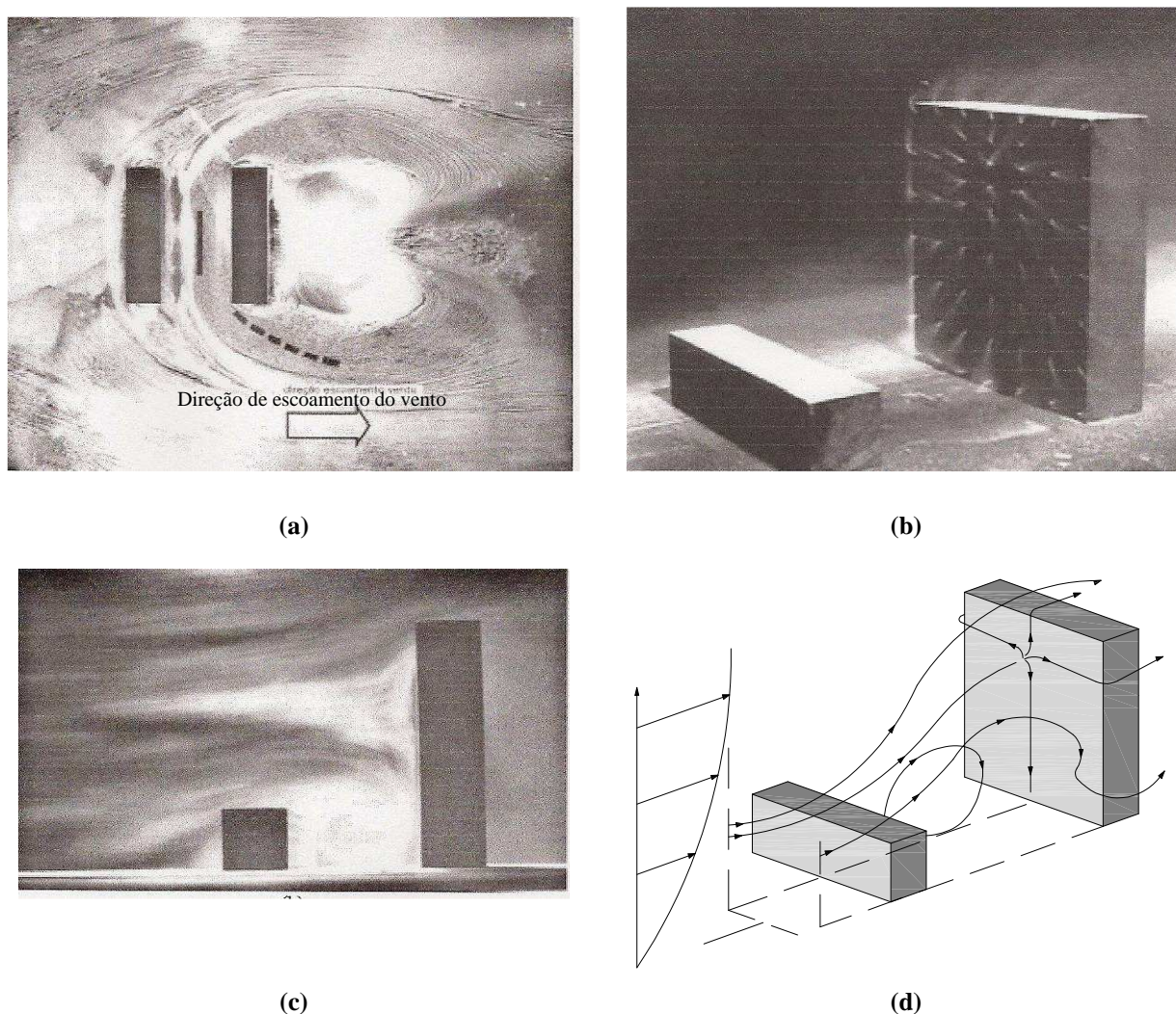


Figura 2.12 - Simulação em túnel de vento do escoamento do vento ao redor de um edifício alto com edificação baixa a barlavento. Vista superior (a), perspectiva (b), vista lateral (c) e forma simplificada do típico escoamento do vento (PENWARDEN; WISE, 1975 *apud* VIEIRA, 2005)

As edificações de altura inferior na posição barlavento alteram o comportamento e fluência do ar, podendo agravar os efeitos do vento sobre edifícios adjacentes. Em áreas urbanas o escoamento é constantemente modificado em virtude de aspectos urbanísticos chegando a operar independentemente das correntes dominantes e podendo influenciar também no fenômeno da chuva e nas manifestações patológicas associadas ao vento e à chuva.

2.2.3 Comportamento da chuva associada ao vento sobre a edificação

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 perde-se 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 2.13.