

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**INFLUÊNCIA DOS DETALHES ARQUITETÔNICOS NO
ESTADO DE CONSERVAÇÃO DAS FACHADAS DE
EDIFICAÇÕES DO PATRIMÔNIO CULTURAL DO CENTRO
HISTÓRICO DE PORTO ALEGRE – ESTUDO DE CASO**

Adriana de Andrade Vieira

Porto Alegre
dezembro de 2005

ADRIANA DE ANDRADE VIEIRA

**INFLUÊNCIA DOS DETALHES ARQUITETÔNICOS NO
ESTADO DE CONSERVAÇÃO DAS FACHADAS DE
EDIFICAÇÕES DO PATRIMÔNIO CULTURAL DO CENTRO
HISTÓRICO DE PORTO ALEGRE – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Mestrado
Profissionalizante em Engenharia da Escola de Engenharia da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia na
modalidade Profissionalizante

Porto Alegre
dezembro de 2005

V658i

Vieira, Adriana de Andrade

Influência dos detalhes arquitetônicos no estado de conservação das fachadas de edificações do patrimônio cultural do centro histórico de Porto Alegre : estudo de caso / Adriana de Andrade Vieira. – 2005.

Trabalho de conclusão (mestrado profissional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Porto Alegre, BR-RS, 2006.

Orientação : Prof^a. Dra. Angela Borges Masuero

1. Fachadas – Conservação. 2. Construção civil. 3. Arquitetura. I. Masuero, Angela Borges, orient. II. Título.

CDU-692.232.4(043)

ADRIANA DE ANDRADE VIEIRA

**INFLUÊNCIA DOS DETALHES ARQUITETÔNICOS NO
ESTADO DE CONSERVAÇÃO DAS FACHADAS DE
EDIFICAÇÕES DO PATRIMÔNIO CULTURAL DO CENTRO
HISTÓRICO DE PORTO ALEGRE – ESTUDO DE CASO**

Este trabalho de conclusão foi julgado adequado para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovado em sua forma final pela professora orientadora e pelo Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, janeiro de 2006.

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

Prof.a Carin Maria Schmitt
Coordenadora do Curso

BANCA EXAMINADORA

Prof. Eng.^o Acir Mércio Loredou-Souza
Ph.D. pela University of Western Ontario, Canadá

Prof. Arq.^o Hélio Adão Greven
Dr. Ing. pela Univ. Tech. Hannover, Alemanha

Prof. Eng.^o Jairo José de Oliveira Andrade
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Arq.^a Inês Martina Lersch
Msc. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Aos meus pais, Luiz Carlos e Vera Lúcia
Ao meu esposo, Alexandre
À minha filha Isabela

AGRADECIMENTOS

O meu agradecimento é dado à Prof.a Angela Borges Masuero, pela orientação segura, pelo incentivo à pesquisa nesta área do conhecimento, apoio e estímulo constante no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do NORIE, pelo conhecimento transmitido e experiências compartilhadas, especialmente aos professores Denise Dal Molin, João Luiz Campagnolo, Luis Carlos Pinto da Silva Filho, Ronaldo Bastos Duarte, Miguel Aloysio Sattler, Carin Maria Schmitt.

Aos amigos e colegas do NORIE, pelo companheirismo, amizade. Em especial, a Cláudia Veppo Gaier pelo apoio, incentivo, principalmente por compartilhar as expectativas, no decorrer da caminhada.

Aos funcionários da Biblioteca da Escola de Engenharia da UFRGS, pelo apoio e contribuição na pesquisa bibliográfica.

Ao Prof. Dr. Rogério de Oliveira Castro, pelos conhecimentos transmitidos, pelo exemplo de seu trabalho, e pela oportunidade dada ainda no período de graduação na Faculdade de Arquitetura da UFRGS, orientador de minha iniciação em trabalhos de pesquisa.

Aos colegas de escritório, Taismar, Frederico, pela compreensão e solidariedade. Pai desculpe a sobrecarga de trabalho.

Aos meus pais Luiz Carlos Fernandes Vieira e Vera Lúcia de Andrade Vieira pelo incentivo ao estudo e pelo exemplo na constante busca do conhecimento, pelo apoio e o entusiasmo com que acompanham minhas realizações pessoais. Aos meus irmãos André e Ana Carolina, pela força e carinho.

E sem dúvida àquele que esteve ao meu lado, com seu apoio, dedicação, competência profissional, compreensão e amor, Alexandre obrigada por tudo. E a pessoa que tornou minha vida mais “bela”, à filha Isabela – Bela filha, filha bela te amo.

A todas as pessoas que de uma forma ou outra colaboraram para realização deste trabalho.

A mente é a grande modeladora de todas as formas, nas
diversas dimensões em que se manifesta a vida no
universo.

Joseph Gleber, Físico Alemão

RESUMO

VIEIRA, A. A. **Influência dos Detalhes Arquitetônicos no Estado de Conservação das Fachadas - Edificações do Patrimônio Cultural do Centro Histórico de Porto Alegre – Estudo de Caso.** 2005. 162 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

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 fachadas das edificações. Este trabalho se insere dentro dos estudos relativos à conservação das fachadas. Através da observação do patrimônio edificado estuda a influência dos detalhes arquitetônicos no estado de conservação das fachadas do centro histórico de Porto Alegre. Utiliza um estudo comparativo entre levantamento fotográfico pré-existente (1989) e atual. Através deste foi possível analisar o envelhecimento natural e o estado de conservação das fachadas levando-se em conta a contribuição dos detalhes arquitetônicos para a conservação das mesmas. As edificações escolhidas para o estudo de caso, estão localizadas no Centro Histórico da cidade de Porto Alegre, foram construídas entre o final do séc. XIX e início do séc. XX. Para análise do estado de conservação foi necessário estudo sistemático dos condicionantes externos de degradação que atuam sobre a edificação ao longo do tempo. Após sistematização do conhecimento geral sobre os fatores de degradação das fachadas observou-se que os exemplares encontram-se em condições satisfatórias de conservação, visto que não sofreram manutenção preventiva nos últimos 17 anos, e estão inseridos em meio ambiente agressivo, devido à transformação urbanística que sofreu o Centro Histórico da cidade de Porto Alegre. Verificou-se que o uso de detalhes de proteção é responsável por grande parte do desempenho satisfatório das edificações no que se refere ao envelhecimento natural. Observou-se que frisos e molduras que possuem dimensão acima de 40mm cumprem a função de proteção da superfície da fachada eficientemente e detalhes acima de 100mm proporcionam plataforma para deposição de sujidades, independente da forma.

Palavras-chave: detalhes arquitetônicos; fachadas; conservação.

ABSTRACT

VIEIRA, A. A. **Influência dos Detalhes Arquitetônicos no Estado de Conservação das Fachadas - Edificações do Patrimônio Cultural do Centro Histórico de Porto Alegre – Estudo de Caso.** 2005. 162 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

Influence of Architectural Features upon the Preservation State of Building Façades Cultural Inheritance of the Historic Center of Porto Alegre. Case Study

A building is more than a unit complex defined by its volumetric and typological aspects. In addition to trying to meet conceptual, esthetical, and structural requirements, the designer shall forecast the functional behavior of the materials and constructive elements used in building façades. This work is within studies regarding façade preservation. By means of observing built inheritance it studies the influence of architectural features upon the preservation state of façades in the Historic Center of Porto Alegre. It uses a comparative study between existing (1989) and current photographic survey. By means of this study it was possible to analyze the natural aging and the preservation state of the façades taking into account the contribution of architectural features for their preservation. The buildings chosen for the case study lie in the Historic Center of the city of Porto Alegre, and were built between the late nineteenth century and the early twentieth century. For the analysis of the preservation state a systematic study of the outside degradation conditions which act on the building along the time was carried out. After systematization of general knowledge on the façade degradation factors it was observed that the samples were found in satisfactory conditions of preservation, since they had not undergone preventive maintenance in the last 17 years, and were within aggressive environment due to the urbanistic change suffered by Historic Center of the city of Porto Alegre. It was observed that the use of protective features is responsible for a great part of the satisfactory performance in buildings regarding natural aging. It was observed that friezes and frames greater than 40 mm efficiently protect the façade surface and features greater than 100 mm provide buildup of dirt, regardless the shape.

Keywords: architectural details; façades; preservation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: paisagem urbana no início século XIX, lembrando as permanências do período colonial.....	27
Figura 2: paisagem urbana no início século XIX, lembrando as permanências do período colonial.....	29
Figura 3: mudanças no final do século XIX.....	31
Figura 4: paisagem urbana no início século XX.....	32
Figura 5: localização da cidade de Porto Alegre e do Centro Histórico.....	33
Figura 6: primeira planta da cidade de Porto Alegre, ano 1772, Centro Histórico.....	33
Figura 7: centro Histórico de Porto Alegre configuração atual.....	34
Figura 8: curva de influência da manutenção e recuperação no desempenho.....	37
Figura 9: fases do desempenho de uma edificação histórica.....	38
Figura 10: solicitações impostas às superfícies externas das edificações.....	39
Figura 11: insolação anual (h) no Brasil.....	47
Figura 12: insolação em Porto Alegre.....	47
Figura 13: somatório do calor diário recebido pelas superfícies verticais em Porto Alegre.....	48
Figura 14: calor diário recebido pelas superfícies horizontais em Porto Alegre.....	48
Figura 15: temperatura do ar (t_e) e de superfícies de fachada ($\alpha=1$) correspondente a um dia de verão, para as quatro direções em Porto Alegre.....	49
Figura 16: temperatura do ar (t_e) e de superfícies de fachada ($\alpha=1$) correspondente a um dia de inverno, para as quatro direções em Porto Alegre.....	49
Figura 17: 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).....	51
Figura 18: variação típica da temperatura do ar no decorrer do dia.....	51
Figura 19: temperatura média anual e insolação anual no Brasil.....	52
Figura 20: amplitude térmica mensal máxima registrada – período 1931/1990.....	53
Figura 21: temperatura máxima e umidade relativa anuais brasileiras, período 1931/1990.....	56
Figura 22: variação de temperatura e umidade período 1931- 1990.....	56
Figura 23: padrões dos sistemas de pressão dos ventos globais próximos à superfície da terra. Zonas de pressão e ventos num globo terrestre homogêneo.....	57
Figura 24: variação da velocidade do vento em diferentes tipos de terrenos.....	59
Figura 25: efeito da rugosidade superficial nas características do vento.....	60
Figura 26: mapa das isopletas da velocidade básica do vento (V_0 em m/s) para o Brasil.....	61

Figura 27: fator topográfico S1 (a) talude, (b) morro.....	62
Figura 28: definição básica do vento.....	67
Figura 29: efeito Venturi.....	68
Figura 30: efeito canalização.....	69
Figura 31: efeito barreira.....	69
Figura 32: efeito de abertura.....	70
Figura 33(1): 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.....	71
Figura 33(2): (c) 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.....	72
Figura 34: forma simplificada do típico escoamento de vento ao redor de uma edificação alta com edificação baixa a barlavento, com base nos estudos de Penwarden; Wise, 1975.....	72
Figura 35: precipitação anual e números de dias de chuva anual no Brasil.....	74
Figura 36: influência do vento na direção da chuva e na exposição das paredes.....	75
Figura 37: sistemas de forças atuantes sobre uma gota de chuva.....	76
Figura 38: mapa brasileiro de chuva dirigida para o ano de 2004.....	78
Figura 39: curva (a): frequência das chuvas (% de horas total); curva (b): precipitação(% total).....	80
Figura 40: 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).....	81
Figura 41: grau de exposição das fachadas à chuva dirigida, na região de Porto Alegre, em função de suas orientações.....	81
Figura 42: diagramas dos fluxos de água em pingadeiras com diferentes geometrias.....	83
Figura 43: prováveis padrões de escoamento do ar e trajetórias e trajetórias das gotas de chuva: (a) ao redor da edificação; (b) em projeção vertical.....	84
Figura 44: padrão de umedecimento das fachadas, em seqüência em time-lapse, de um edifício com painéis pré fabricados de concreto com agregados expostos em suas fachadas.....	85
Figura 45: trajetória do fluxo de água nas esquadrias.....	86
Figura 46: lavado sujo, lavado limpo, acúmulo de sujeira.....	87
Figura 47: fluxos concentrados em canais contínuos.....	89
Figura 48: planos contínuos.....	90
Figura 49: canais e planos combinados.....	91
Figura 50: foto aérea do Centro Histórico da cidade de Porto Alegre, com grande urbanização, alta densidade de edificações, vegetação escassa.....	96

Figura 51: mapa da concentração de poluentes em Porto Alegre.....	96
Figura 52: localização das edificações no centro histórico de Porto Alegre, primeiro perímetro de abrangência do estudo.....	100
Figura 53: localização das edificações no centro histórico de Porto Alegre, edificações que possuem levantamento fotográfico realizado por Vieira (1989).....	101
Figura 54: edificações em análise, Rua General Auto n ^{os} 211, 219, 229, 239.....	102
Figura 55: vista frontal das fachadas das 04 edificações em análise, Rua General Auto n ^{os} (a) 239, (b) 229, (c)219, (d) 211.....	102
Figura 56: (a)freqüência anual das principais direções do vento em Porto Alegre, (b) freqüência anual das principais direções do vento; (b) freqüência média anual de ocorrência de direções do vento, em Porto Alegre.....	103
Figura 57: velocidade horária média do vento incluindo as calmarias.....	104
Figura 58: velocidade horária média do vento com e sem a inclusão de calmarias.....	104
Figura 59: precipitação pluviométrica em Porto Alegre.....	105
Figura 60: chuva acumulada mensal, número de dias com chuva em Porto Alegre.....	105
Figura 61: relação entre precipitação, umidade relativa e insolação em Porto Alegre.....	106
Figura 62: densidade do entorno das edificações.....	107
Figura 63: vista “a”, densificação do entorno urbano (direção leste) nas imediações das edificações	107
Figura 64: vista “b”, densificação do entorno urbano (direção sudeste) nas imediações das edificações.....	108
Figura 65: acentuado declive em relação à Rua Duque de Caxias, (a) vista aérea, direção leste; (b) vista altura do observador, direção norte.....	109
Figura 66: direcionamento do escoamento de vento, (a) sentido leste-oeste escoamento Rua Fernando Machado; (b) sentido leste-oeste escoamento Rua Fernando Machado, obstrução parcial do escoamento edificações Rua Gen. Auto direcionamento dos fluxos de escoamento de vento, sentido leste-oeste.....	110
Figura 67: direção principal da incidência de escoamento de vento, sentido leste-oeste.	110
Figura 68: situação das fachadas frente as principais direções anuais do vento, condições do entorno no quadrante sul-leste.....	111
Figura 69: características do estilo arquitetônicos das edificações – estilo eclético.....	113
Figura 70: (a)vista geral do conjunto das 04 edificações em estudo, situadas Rua Gen. Auto esquina Rua Fernando Machado, levantamento fotográfico 1989, (b) vista geral do conjunto das 04 edificações em estudo, situadas Rua Gen. Auto esquina Rua Fernando Machado, levantamento fotográfico 2005.....	114
Figura 71: vista frontal das fachadas das 04 edificações em análise, Rua General Auto n ^{os} (a)211, (b) 219, (c)229, (d) 239, levantamento fotográfico 2005.....	115
Figura 72: edificação a: estudo comparativo – modificações ocorridas no período 1989-2005, características dos detalhes arquitetônicos das fachadas da edificação.....	117

Figura 73: edificação b: estudo comparativo – modificações ocorridas no período 1989-2005, características dos detalhes arquitetônicos das fachadas da edificação.	118
Figura 74: edificação “c”: estudo comparativo – modificações ocorridas no período 1989-2005, características dos detalhes arquitetônicos das fachadas da edificação.....	119
Figura 75: edificação d: estudo comparativo – modificações ocorridas no período 1989-2005, características dos detalhes arquitetônicos das fachadas da edificação.....	120
Figura 76: padrão manchamento platibandas verificado nos exemplares, (a) registro fotográfico do ano de 1989, (b) registro fotográfico atual (2005).....	121
Figura 77: manchas de escoamento devido à condução da água do frontão para a superfície da parede das edificações, registro fotográfico, ano 1989.....	122
Figura 78: manchas de escoamento devido à condução da água do frontão para a superfície da parede das edificações, registro fotográfico, ano 2005.....	123
Figura 79: telhado em duas águas, somente a edificação nº 239 mantém o telhado e telhamento original - registro fotográfico, ano 2005.....	123
Figura 80: moldura no entorno das janelas, controle do fluxo de água superficial, possibilita conservação da esquadria. Janela com moldura e sem pingadeira, escoamento e manchamento peitoril (lavado sujo). Acúmulo de sujeira na parte superior da moldura.....	125
Figura 81: moldura no entorno das janelas, controle do fluxo de água superficial, possibilita conservação da esquadria. Janela com moldura e sem pingadeira, escoamento e manchamento peitoril (lavado sujo). Acúmulo de sujeira na parte superior e inferior da moldura.....	126
Figura 82: frisos horizontais no entorno da esquadria, com pingadeira, dimensões e geometria da pingadeira propicia lavagem e limpeza superficial do parapeito.....	126
Figura 83: frisos verticais, favorece escoamento da lâmina de água, canais de condução, edificação nº 219, (a.1) detalhe da rugosidade superficial. (a.2) frisos formando um plano ao redor das esquadrias laterais.....	127
Figura 84: frisos verticais, favorece escoamento da lâmina de água, canais de condução; (a) edificação no 229, frisos formando um plano na fachada, (a.2) detalhe da rugosidade superficial; (b) edificação no 239, frisos formando um plano ao redor das esquadrias laterais, (b.2) detalhe da rugosidade superficial.....	128
Figura 85: percurso do fluxo de água. (a.1) geometria arredondada da cimalha propicia direcionamento do fluxo de água para a parede; (a.2) moldura reta proporciona descolamento da lâmina de água, moldura com acabamento côncavo indução do escoamento da água para a parede; (a.3) corte esquemático.	130
Figura 86: (a) fachada voltada para Rua General Auto, esquina Rua Fernando Machado – edificação A; (b) mapa localização da edificação.....	131

Figura 87: erosão eólica e lavagem da fachada, desgaste do revestimento de argamassa; despigmentação e descolamento da pintura.....	132
Figura 88: manchamento parapeito da cobertura, edificação A.....	134
Figura 89: manchamento superficial causado pela concentração e condução da lâmina de água para a superfície da fachada.....	134
Figura 90: a geometria dos elementos arquitetônicos de fachada determina a trajetória do fluxo da lâmina de água, locais onde a telha está danificada ocorre escorrimento de água para o beiral, lavando sua superfície.	135
Figura 91: moldura de contorno das janelas, geometria determina paramentos de sujidade da fachada, acúmulo de sujeira na parte inferior e superior da moldura.....	136
Figura 92: ampliação sobre o terceiro pavimento, manchamento superficial acentuado em relação ao restante da edificação, ausência de detalhes arquitetônicos para descolamento da lâmina de água.....	137
Figura 93: (a) fachada frontal (leste) – edificação “B”; (b) mapa localização da edificação.....	138
Figura 94: divisão da edificação frente à incidência de ventos e chuva dirigida, no que se refere aos desgastes da superfície da fachada.....	140
Figura 95: (a) platibanda com muita deposição de sujidade e microorganismos moldura inferior com deposição de sujidade e microorganismos, registro fotográfico de 1989; (b) platibanda com superfície mais limpa, provavelmente devido à proteção do topo fornecida pela alterosa, moldura inferior com menor deposição de sujidade e microorganismos, registro fotográfico de 2005.....	141
Figura 96: áreas protegidas da fachada, devido a elementos arquitetônicos e detalhes de proteção.	142
Figura 97: área protegida, pela projeção da <i>bow window</i> e da floreira, conservação da pigmentação da pintura e revestimento.....	143
Figura 98: área protegida, área superior à janela com abrasão superficial descolamento e despigmentação pintura, floreira com biodeterioração, área inferior à floreira conservação da pigmentação da pintura e revestimento.....	144
Figura 99: deposição de sujidade na moldura, diferença na geometria da moldura do segundo e terceiro pavimentos, determina maior ou menor deposição de sujidade e microorganismos.....	145
Figura 100: (a) fachada frontal (leste) – edificação “C”; (b) mapa localização da edificação.....	146
Figura 101: (a) Mancha de sujidade na lateral esquerda, mesmo padrão ocorre na lateral direita da fachada, registro fotográfico de 1989, (b) lateral esquerda sem mancha de sujidade, percebe-se abrasão e lavagem superficial, lateral direita mancha de escorrimento e formação de agentes microbiológicos de deterioração, registro fotográfico de 2005.....	147

Figura 102: (a) geometria arredondada do frontão central redireciona fluxo de água para superfície da parede, ocorre manchamento superficial, lateral esquerda sofre lavagem, e erosão eólica.....	148
Figura 103: (a) geometria das molduras, térreo, segundo e terceiro pavimentos, (b) pingadeira janela térreo.....	150
Figura 104: (a) fachada frontal (leste) – edificação “D”; (b) mapa localização da edificação.....	151
Figura 105: (a) erosão superficial, desgaste de pintura e revestimento.....	152
Figura 106: manchamento superficial da fachada da edificação, influência da geometria dos detalhes arquitetônicos componentes da fachada.....	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: dimensões do clima.....	43
Tabela 2: classificação das condições de exposição dos revestimentos externos de fachada BS52/62.....	44
Tabela 3: classificação das condições de exposição dos revestimentos externos de fachada DIN 18550.....	44
Tabela 4: classificação das categorias de rugosidade do terreno para determinação do coeficiente S2.....	64
Tabela 5: definição de classes de edificação determinação do coeficiente S2.....	64
Tabela 6: parâmetros meteorológicos.....	65
Tabela 7: fator S2 para as diversas categorias de rugosidade do terreno e classes de dimensões das edificações.....	65
Tabela 8: valores mínimos para o coeficiente S3.....	66
Tabela 9: classificação em faixas de agressividade para as condições de exposição das fachadas.....	77
Tabela 10: quarta faixa de agressividade para as condições de exposição severa.....	77
Tabela 11: mudanças climáticas produzidas pelas cidades.....	94
Tabela 12: edificações avaliadas através de levantamento fotográfico, entre as Ruas General Auto, Duque de Caxias, Espírito Santo e Fernando Machado.....	100

LISTA DE SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM: American Society for Testing and Materials

CEB: Comité Euro-Internacional du Béton

CPTEC: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CIB: Conseil International du Bâtiment pour la recherche l'étude et la documentation

CIENTEC: Fundação de Ciência e Tecnologia

CSTC: Centre Scientifique et Technique de la Construction

EPHAC: Equipe do Patrimônio Histórico e Cultural do Município de Porto Alegre

ICOM: Conselho Internacional de Museus

ICOMOS: Conselho Internacional de Monumentos e Sítios

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

IPHAN: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas

RILEM: Réunion Internationale des Laboratoires D'essais et de Recherches sur les Matériaux

UNESCO: Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	21
1.2 DELIMITAÇÕES.....	22
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	22
2 PATRIMÔNIO E MONUMENTO CONCEITOS BÁSICOS	24
2.1 CARACTERÍSTICAS ARQUITETÔNICAS E CONSTRUTIVAS DAS EDIFICAÇÕES DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO.....	26
2.1.1 Porto Alegre – Edificações do Patrimônio Histórico	33
3 VIDA ÚTIL, DESEMPENHO E DURABILIDADE DOS MATERIAIS	35
3.1 DESEMPENHO DAS PAREDES EXTERNAS.....	38
3.2 FATORES DA DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS.....	40
3.2.1 Fatores Intrínsecos	40
3.2.2 Fatores Extrínsecos	40
3.2.2.2 Agentes climáticos ou ambientais.....	41
3.2.2.2.1 <i>Radiação solar</i>	45
3.2.2.2.2 <i>Temperatura e umidade relativa</i>	50
3.2.2.2.3 <i>Vento</i>	58
3.2.2.2.4 <i>Precipitação ou Chuva</i>	73
3.2.2.2.5 <i>Chuva dirigida</i>	74
3.2.3 Penetração de água em fachadas	82
3.2.4 Clima urbano	91
3.2.4.1 Clima urbano no Centro Histórico de Porto Alegre.....	95
3.2.5 Ação de microorganismos	97
4 ESTUDO DE CASO	99
4.1 CLIMA E CLIMA URBANO EM PORTO ALEGRE.....	102
4.1.1 Clima em Porto Alegre	103
4.1.2 Análise dos agentes climáticos e ambientais	106
4.2 CARACTERÍSTICAS ARQUITETÔNICAS E CONSTRUTIVAS DAS EDIFICAÇÕES DO ESTUDO DE CASO.....	112
4.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS X CARACTERÍSTICAS DAS FACHADAS.....	131
4.3.1 Edificação A	131
4.3.2 Edificação B	138
4.3.3 Edificação C	146

4.3.4 Edificação D	151
5 CONCLUSÕES	154
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	156
6 REFERÊNCIAS	157

1 INTRODUÇÃO

Toda a história da humanidade passou por obras que proporcionam evolução social. Por intermédio de iniciativas individuais, a coletividade acabou sendo complementada com as descobertas obtidas pela curiosidade e inteligência do ser humano.

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 infra-estrutura (pontes, cais, barragens, metrô, aquedutos, entre outros). Fator este que permitiu a 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, p.13).

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 (PAGNUSSAT et al., 2003).

O produto 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 edifício 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, p.11). O projeto dos edifícios é o instrumento de aprimoramento da capacidade de prevenção de suas manifestações patológicas.

Da observação dos edifícios em sua complexidade construtiva e funcional, com vistas à identificação de como e com que intensidade distribuem-se os fenômenos patológicos em seus vários subsistemas, é possível perceber que as partes que compõem sua envoltória costumam apresentar grande incidência de manifestações patológicas. Este fenômeno decorre da

atribuição funcional destinada ao subsistema envelope, o de *elemento regulador* da interação dos espaços internos com os externos, o que o converte automaticamente em anteparo ao ataque dos agentes agressivos do meio ambiente (DORFMAN; PETRUCCI, 1989).

Cada edifício possui uma resistência característica à ação de cada um dos agentes agressivos. O edifício pode ser imune a determinadas intensidades de atuação de determinados agentes e não o ser para intensidades maiores (LICHTENSTEIN, 1986, p.11).

As fachadas de um edifício são os elementos que limitam, ao mesmo tempo, os espaços internos e o espaço externo possuindo, portanto, importante papel na configuração das paisagens ou espaços urbanos. Em especial, no caso das fachadas, tem-se a face das obras que recebe diretamente a ação dos agentes presentes no meio ambiente. Por definirem o espaço exterior e interior e por contribuírem mais do que qualquer outro elemento à imagem das paisagens urbanas, no imaginário coletivo da grande maioria das pessoas, as fachadas são o edifício (PETRUCCI, 2000, p. 2).

Vários autores relatam à importância do estudo da patologia das construções, para o fornecimento de subsídios para a sua prevenção, entre eles Dal Molin (1988); Terra (2001); Lima et al. (2005). Carrió (1992, p. 35), ao estudar as manifestações patológicas das fachadas das edificações da cidade de Madri, constata que em conjuntos de edificações de características similares, submetidos a ações externas comuns, irão se repetir os processos patológicos dentro de uma determinada tipologia, com causas coincidentes como origem do processo, que seguem evoluções semelhantes até chegar a lesões idênticas. O autor complementa, parece ter sentido buscar diagnósticos comuns que facilitem os trabalhos dos técnicos profissionais e dos estudiosos da patologia das edificações, tanto para seu conhecimento, quanto também para sua prevenção.

Portanto, 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 lesões, assim como, para a elaboração de novas técnicas construtivas e para execução de projetos eficientes. Petrucci (2000) e Lersch (2003) realizaram, no NORIE, estudos nesta linha de trabalho. A primeira autora estudou a alteração da aparência das fachadas em edificações contemporâneas. A segunda autora estudou os principais fatores e mecanismos de degradação em edificações do patrimônio cultural de Porto Alegre. Estes trabalhos contribuíram para a realização deste estudo.

Este estudo pretende através da observação do patrimônio edificado avaliar a influência dos detalhes arquitetônicos no estado de conservação das fachadas do centro histórico de Porto Alegre, através do conhecimento do comportamento dos elementos arquitetônicos de fachada, da análise das manifestações patológicas e das proporções construtivas de projeto.

Este trabalho não apresenta métodos de ensaio, limitando-se a apresentar os principais fatores e mecanismos de deterioração e os danos causados pelos mesmos nas fachadas das edificações, e correlacionar as possíveis manifestações patológicas verificadas com as formas e proporções dos detalhes arquitetônicos componentes das fachadas das edificações.

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a influência dos detalhes arquitetônicos no estado de conservação das fachadas, através de um estudo de caso, em edificações localizadas no centro histórico de Porto Alegre/RS.

Como objetivos específicos pretende:

- a) verificar, através do estudo de caso, a correlação entre as características das fachadas e a incidência de manifestações patológicas;
- b) realizar uma inter-relação entre os elementos componentes das fachadas, considerando as condições ambientais e climáticas características nas quais estão inseridas as edificações da cidade de Porto Alegre;
- c) identificar e apresentar as características das principais manifestações patológicas das fachadas e a co-relação entre os elementos arquitetônicos componentes das mesmas;
- d) identificar quais as principais manifestações patológicas, considerando as características construtivas dos elementos compositivos das fachadas, e qual a relação com os fatores de degradação.

1.2 DELIMITAÇÕES

O estudo foi restrito ao centro histórico da cidade de Porto Alegre/RS, na área de abrangência do Programa Monumenta (área do levantamento preliminar) - Programa de Revitalização de Sítios Urbanos, através da Recuperação do Patrimônio Cultural¹, sendo esta zona escolhida porque nesta região da cidade as edificações estão expostas com maior intensidade aos agentes climáticos e o entorno urbano do centro histórico sofreu grandes transformações do meio ambiente. Também as edificações localizadas no centro histórico possuem riqueza de detalhes arquitetônicos de fachadas.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para a compreensão global do estudo, será apresentada a seguir a estrutura do trabalho, com a descrição dos capítulos e seus conteúdos respectivos.

O capítulo 1, **Introdução**, apresenta a dissertação, expondo o tema escolhido, sua justificativa e indicação de conteúdo. Apresenta os objetivos, as limitações do desenvolvimento da pesquisa.

O Capítulo 2, **Patrimônio e Monumento - Conceitos Básicos**, aborda os conceitos básicos de Patrimônio e Monumento, e em uma visão ampla relata as transformações, linguagem e metodologia construtiva utilizadas do período colonial até a proclamação da República.

O Capítulo 3, **As Fachadas e sua Importância no Contexto Urbano**, apresenta os assuntos relacionados com o envelope da edificação, isto é, aborda os conceitos e condicionantes que influenciam na degradação/conservação de materiais e elementos componentes das fachadas das edificações.

O Capítulo 4, **Estudo de Caso**, apresenta as considerações referentes ao estudo de caso, realizado no centro histórico de Porto Alegre/RS. Através de método comparativo entre levantamento fotográfico existente realizado em 1989, com levantamento fotográfico atual (2004/2005), analisa as condições micro-climáticas (temperatura, umidade, vento, chuva incidente) do contexto urbano e a influência dessas variáveis no estado de conservação das

¹ Programa Monumenta: visa estabelecer um processo de revitalização dos sítios urbanos que dê sustentabilidade ao patrimônio e contribua para elevação da qualidade de vida das comunidades envolvidas.

fachadas de 04 edificações do centro histórico da cidade de Porto Alegre, levando-se em conta a influência dos detalhes arquitetônicos para a conservação das mesmas. O estudo de caso aborda ainda as principais manifestações patológicas observadas nos exemplares.

O Capítulo 5, **Conclusões e Sugestões para trabalhos futuros**, apresenta uma análise final referente ao estudo de caso, assim como, algumas sugestões para futuros trabalhos relacionados ao tema.

2 PATRIMÔNIO E MONUMENTO CONCEITOS BÁSICOS

A edificação é um dos produtos mais antigos e mais difundidos no mundo. Desde a pré-história a humanidade busca um abrigo para proteger-se dos perigos representado pelo meio ambiente. Ao longo do tempo, do nascimento à morte, da maternidade ao túmulo, o ser humano atravessa sua existência trabalhando, repousando, cultivando divindades e memória, brincando e sofrendo, no abrigo das edificações construídas para proteger e favorecer o exercício das atividades que a vida requer (SILVA, 1988).

Patrimônio, bem de herança que é transmitido, segundo as leis dos pais e das mães aos filhos. Esta antiga palavra estava ligada na origem às estruturas familiares, econômicas e jurídicas de uma sociedade estável, enraizada no espaço e no tempo. Requalificada por diversos adjetivos (genérico, natural, histórico) que a transformaram em um conceito nômade (CHOAY, 2001, p.11).

Segundo Choay (2001, p.11) Patrimônio histórico é a expressão que designa um bem destinado ao usufruto de uma sociedade. Lersch (2003, p. 29) utiliza a definição do Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (ICOMOS¹, 1989) para conceituar patrimônio histórico. Segundo a autora o conceito de patrimônio histórico refere-se ao conjunto de bens com valor para a história da construção e das artes, constituído por peças e objetos explicativos de uma civilização num determinado momento.

Monumento, no sentido original do termo vem do latim *monumentum*, que por sua vez deriva de *monere*, (advertir, lembrar), aquilo que traz lembrança a alguma coisa (CHOAY, 2001, p.17). O autor complementa que nesse sentido primeiro, chamar-se-á monumento tudo o que for edificado por um grupo de indivíduos para relembrar ou fazer com que outras gerações de pessoas relembrem acontecimentos, sacrifícios ritos ou crenças. Segundo o autor, para aqueles que edificam, assim para como os destinatários das lembranças que o veiculam o monumento é uma defesa contra o traumatismo da existência, um dispositivo de segurança. Ele constitui uma garantia das origens (CHOAY, 2001, p.18).

Portadoras de mensagem espiritual do passado, as obras monumentais de cada povo perduram no presente como o testemunho vivo de suas tradições seculares. A humanidade, cada vez mais consciente da unidade dos valores humanos, as considera um patrimônio comum e,

¹ CONSELHO INTERNACIONAL DE MONUMENTOS E SÍTIOS (Coord.). **Curso de Formação de agentes de Preservação**. São Paulo, 1989. Apostila.

perante as gerações futuras, se reconhece solidariamente responsável por preservá-las, impondo a si mesma o dever de transmiti-las na plenitude de sua autenticidade, diz a Carta de Veneza (INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTISTICO NACIONAL, 2004).

A Carta de Veneza é um documento - Carta Patrimonial. Nas Cartas Patrimoniais são encontrados os principais critérios adotados para o gerenciamento do patrimônio mundial. É, portanto, essencial que os princípios que devem presidir à conservação e à restauração dos monumentos sejam elaborados em comum e formulados num plano internacional, ainda que caiba a cada nação aplicá-los no contexto de sua própria cultura e de suas tradições (INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTISTICO NACIONAL, 2004).

A Carta de Atenas de 1931 deu a primeira forma a esses princípios fundamentais, contribuiu para a propagação de um amplo movimento internacional que se traduziu principalmente em documentos nacionais, na atividade de CONSELHO INTERNACIONAL DE MUSEUS (ICOM) e da UNESCO e na criação, por esta última, do Centro Internacional de Estudos para a Conservação e Restauração dos Bens Culturais. A Carta de Veneza, datada de 1964, afirma no 2º Artigo que “a conservação e a restauração dos monumentos constituem uma disciplina que reclama a elaboração de todas as ciências e técnicas que possam contribuir para o estudo e a salvaguarda do patrimônio monumental” (INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO NACIONAL, 2004).

Segundo a Carta de Veneza, a restauração é uma operação que deve ter caráter excepcional. Tem por objetivo conservar e revelar os valores estéticos e históricos do monumento e fundamenta-se no respeito ao material original e aos documentos autênticos. Termina onde começa a hipótese. E acrescenta que quando as técnicas tradicionais se revelam inadequadas, a consolidação do monumento pode ser assegurada com o emprego de todas as técnicas modernas de conservação e construção cuja eficácia tenha sido demonstrada por dados científicos e comprovada pela experiência. (INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO NACIONAL, 2004).

Uma edificação histórica é aquela que nos faz conhecer sobre as pessoas e a cultura que a construíram e carrega consigo valores de cunho arquitetônico, estético, histórico, documental, arqueológico, econômico, social e até mesmo político, espiritual ou simbólico. Feilden (1982)

complementa ainda dizendo que o objetivo primeiro da conservação e restauração de edifícios históricos, deveria ser procurar mantê-los como testemunho de uma determinada metodologia construtiva, como obra de engenharia e arquitetura, e então através disto, manter um símbolo da identidade cultural de uma sociedade (FEILDEN², 1982 apud LERSCH, 2003, p.29).

2.1 CARACTERÍSTICAS ARQUITETÔNICAS E CONSTRUTIVAS DAS EDIFICAÇÕES DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO

Em cada período da história, a arquitetura é produzida e utilizada de uma maneira diversa, relacionando-se de um forma característica com a estrutura urbana, com as condições de evolução social e cultural em que está inserida. O conjunto de detalhes arquitetônicos tradicionalmente usados nas fachadas das edificações construídas entre o final do século XVIII e início do século XX, ao longo dos períodos colonial, imperial e republicano do país servirá como base para este estudo.

O período colonial, com traços característicos das tradições urbanísticas de Portugal, com a chegada dos açorianos em 1752, ficou caracterizado pela construção de casas térreas e sobrados sobre o alinhamento das vias públicas, e paredes laterais sobre os limites dos lotes. Um aspecto característico da arquitetura urbana é a relação que a prende ao tipo de lote em que está implantada, a configuração espacial da rua neste período era definida quase sempre pela união do conjunto de prédios (REIS FILHO, 2004, p.15). Weimer et al. (1987, p. 66), ao descrever a tipologia das construções açorianas da época complementa, ao lado de casas isoladas, o grande número de casas era de casas-em-fita, isto é, conjunto de casas com telhado único e fachada comum.

No que se refere às técnicas construtivas estas eram geralmente primitivas. As primeiras casas urbanas eram de pau-a-pique, adobe ou taipa de barro (a dificuldade de obtenção e o alto custo do tijolo levaram as famílias de menor poder aquisitivo a adotar esse sistema). Nas residências mais importantes empregava-se a pedra e barro, raramente tijolos ou ainda pedra e cal (REIS FILHO, 2004, p.15). Weimer et al. (1987, p.91) relata que mesmo depois da facilidade das olarias as famílias de algum recurso construam suas residências sem usá-los.

² FEILDEN, B. M. **Conservation of historic buildings**: Technical studies in the arts, archeology and architecture. England: Butterworth, 1982. 472 p.

As paredes externas, com mais de 600mm de espessura, eram de pedra irregular e as internas, de 120 a 160 mm feitas de estuque.

O sistema de cobertura do telhado de duas águas e telhas de barro tipo capa-e-canal lançavam uma parte da chuva sobre a rua e a outra sobre o pátio, cuja extensão garantia de modo geral sua absorção pelo terreno. A simplicidade das técnicas denunciava, claramente, o primitivismo tecnológico da sociedade colonial. Os exemplares mais ricos apresentavam somente maiores dimensões, maior número de peças, no entanto, não caracterizavam um tipo diferenciado de habitação (REIS FILHO, 2004, p.26). Pesavento (1996) com base nas ilustrações de Ferraz e Müller³ (1978) mostra a paisagem urbana das cidades do período colonial, conforme figura 1.

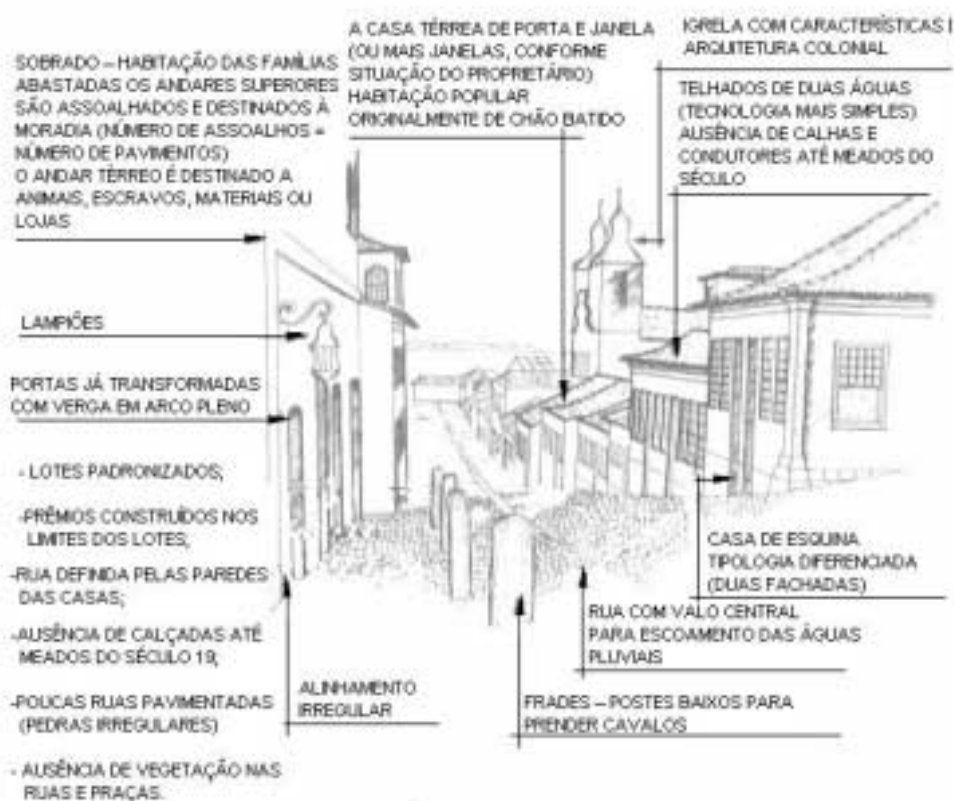


Figura 1: paisagem urbana no início século XIX, lembrando as permanências do período colonial

(fonte: FERRAZ; MÜLLER, 1978 apud PESAVENTO, 1996, p. 33).

³ FERRAZ, C. S; MÜLLER, D. **Porto Alegre: análise de sua evolução**. Relatório de Pesquisa. Porto Alegre, Fac. Arquitetura/UFRGS, 1978.

Os sobrados construídos com mais esmero apresentavam algumas soluções diferenciadas. Os umbrais das portas, vergas e peitoris das janelas, eram formados de grandes peças de pedra bem aparelhadas e alisadas que se destacavam criando ritmo às fachadas e rematando o restante da parede em pedra irregular, rebocada e caiada. Os cantos do prédio, chamados de cunhais, eram em alvenaria de pedra aparente (WEIMER et al., 1987, p. 92). Segundo o autor, ao longo do tempo, o surgimento de olarias e serrarias facilitou o processo de construção. No entanto, os melhoramentos nos processos construtivos demoraram muitos anos para acontecer (WEIMER, 2004, p. 153).

Até a primeira metade do século XIX, as edificações apresentam as mesmas características da arquitetura colonial, porém as transformações sócio-econômicas e tecnológicas pelas quais passaria a sociedade brasileira durante a segunda metade do século provocaram o desprestígio dos velhos hábitos de construir e habitar. A presença da Missão Cultural Francesa e da Academia Imperial de Belas-Artes do Rio de Janeiro influenciou na difusão da arquitetura neoclássica, favorecendo a implantação de tipos mais refinados de construção (REIS FILHO, 2004, p.36).

Segundo Reis Filho (2004, p.37), a integração do país no mercado mundial com a abertura dos portos, em 1808, possibilitou a importação de equipamentos e materiais que contribuíram para alteração da aparência das construções. O uso de platibandas, que substituíram o beiral, por condutores ou calhas, o uso de vidros simples ou coloridos, principalmente nas bandeiras das portas e janelas, foram alterações propiciadas pela presença dos materiais importados.

Um novo tipo de residência, a casa com porão alto (ainda de frente para a rua), representava uma transição entre os sobrados e as casas térreas, que permitia aproximar as residências da rua sem os defeitos das casas térreas. Para solucionar o problema do desnível entre o piso da habitação e o passeio, surgia uma pequena escada e logo a seguir a porta de entrada. Os processos construtivos de fundações e paredes permaneciam os mesmos do período colonial (REIS FILHO, 2004, p.40). Sobre as transformações do período, o autor relata, “aos poucos foram aparecendo algumas soluções de cobertura mais complicadas, já com quatro águas, as laterais lançando livremente sobre telhados vizinhos de menor altura, ou mesmo já com suas calhas e condutores importados” (figura 2).



Figura 2: paisagem urbana no início século XIX, lembrando as permanências do período colonial
(fonte: FERRAZ; MÜLLER, 1978 apud PESAVENTO, 1996, p. 33).

Durante a maior parte do século XIX, a arquitetura residencial urbana das províncias apresentava características de grande simplicidade muito relacionadas com os padrões barrocos. Embora que seus construtores e proprietários pretendessem realizar obras neoclássicas, a maioria dos exemplos dificilmente poderia ser reconhecida como integrando as obras daquele movimento, pela superficialidade das vinculações com a temática e a linguagem do neoclássico⁴. As características neoclássicas ficavam restritas apenas a elementos de acabamentos das fachadas, como as platibandas, com seus vasos e suas figuras de louça ou as portas e janelas arrematadas com vergas de arco pleno, substituindo os arcos de centro abatido de estilo barroco. Era também comum conservar com vergas retilíneas as portas e janelas da fachada, tratando em arco pleno apenas a porta principal, para destacá-la do conjunto (REIS FILHO, 1987, p. 124).

⁴ Neoclássico se torna a arquitetura oficial do Primeiro e Segundo Império, mantendo-se em uso até a Proclamação da República (REIS FILHO, 2004, p.11).

Outro fator que contribuiu para o aperfeiçoamento das técnicas construtivas foi à erradicação do trabalho escravo e o aumento da imigração europeia. A primeira leva de imigrantes alemães chegou ao sul do país em 1824, segundo Weimer (1987, p. 103), cerca de 1% de imigrantes alemães que chegaram ao Brasil foram para o Rio Grande do Sul. Os imigrantes italianos chegaram ao sul em 1875.

Com o apoio dos hábitos diferenciados das massas imigradas, apareceram as primeiras residências urbanas com nova implantação (segunda metade do séc. XIX), rompendo com as tradições e exigindo modificações nos tipos de lotes e construções. As primeiras transformações nas soluções de implantação consistiam em recuar uma das laterais da edificação de um dos limites do lote (REIS FILHO, 2004, p.44).

As mudanças sócio-econômicas e tecnológicas ocorridas durante a segunda metade do século XIX, implicaram em profundas transformações nos modos de habitar e construir. No que diz respeito às técnicas e materiais de construção, o que mais se desenvolveu foram os acabamentos, o aumento do poder aquisitivo dos proprietários correspondia a um refinamento técnico, uma integração crescente com os benefícios da civilização industrial. As paredes eram construídas de alvenaria de tijolo, com espessura uniforme, revestidas de argamassa de cal e areia (as paredes com cerca de 6m, nas paredes externas, se reduziam a menos da metade nas paredes internas e sob o peitoril das janelas, em altura alcançavam 5m e nos sobrados cerca de 10m). O desenvolvimento das serrarias mecânicas, a madeira serrada permitia um acabamento mais perfeito de carpintaria, que propiciava a produção mecanizada de portas e janelas. As portas geralmente de duas folhas, com três almofadas cada uma, nas externas as almofadas do centro foram substituídas por pequenas janelas de vidro, protegidas por grades de ferro forjado. O uso de madeiras serradas, com junções mais perfeitas, propiciou a produção de pisos com tábuas tipo macho e fêmea, um tipo mais fino de piso, o parquet, com desenhos em madeiras de várias cores, surgiu nessa época. As primeiras venezianas surgiram nos dormitórios, eram compotas com réguas largas e substituíam as vidraças (REIS FILHO, 2004, p.159).

Transformações ocorreram também com os sistemas de cobertura. As estruturas de cobertura utilizando madeira aparelhada, eram armadas em tesouras sobre ripas, tinham telhamento com telhas de barro tipo Marselha (francesa) ou em lâminas de ardósia importada. Eram comuns os condutores de ferro fundido e as braçadeiras de calhas com desenhos decorativos (REIS FILHO, 2004, p.160).

Os elementos de ferro forjado ou fundido destinavam-se a todos os segmentos da construção, nas peças estruturais (vigas e colunas), acabamentos como gradis, escadarias, ferragens de janelas e portas, alpendres, e ainda canos, peças de banheiros e fogões. Em vãos maiores quando utilizados as vigas metálicas estas eram cobertas por alvenaria (como na arquitetura europeia da mesma época o ferro era considerado como material de construção sem nobreza) (REIS FILHO, 2004, p.164). O autor relata ainda que o aperfeiçoamento dos hábitos de higiene coincidiu com a instalação dos primeiros banheiros com água corrente, nas cozinhas e banheiros eram utilizados ladrilhos hidráulicos apoiados sobre abobadilhas de tijolos e vigas de ferro. As edificações comerciais conservavam a implantação e as características das residências coloniais (figura 3).

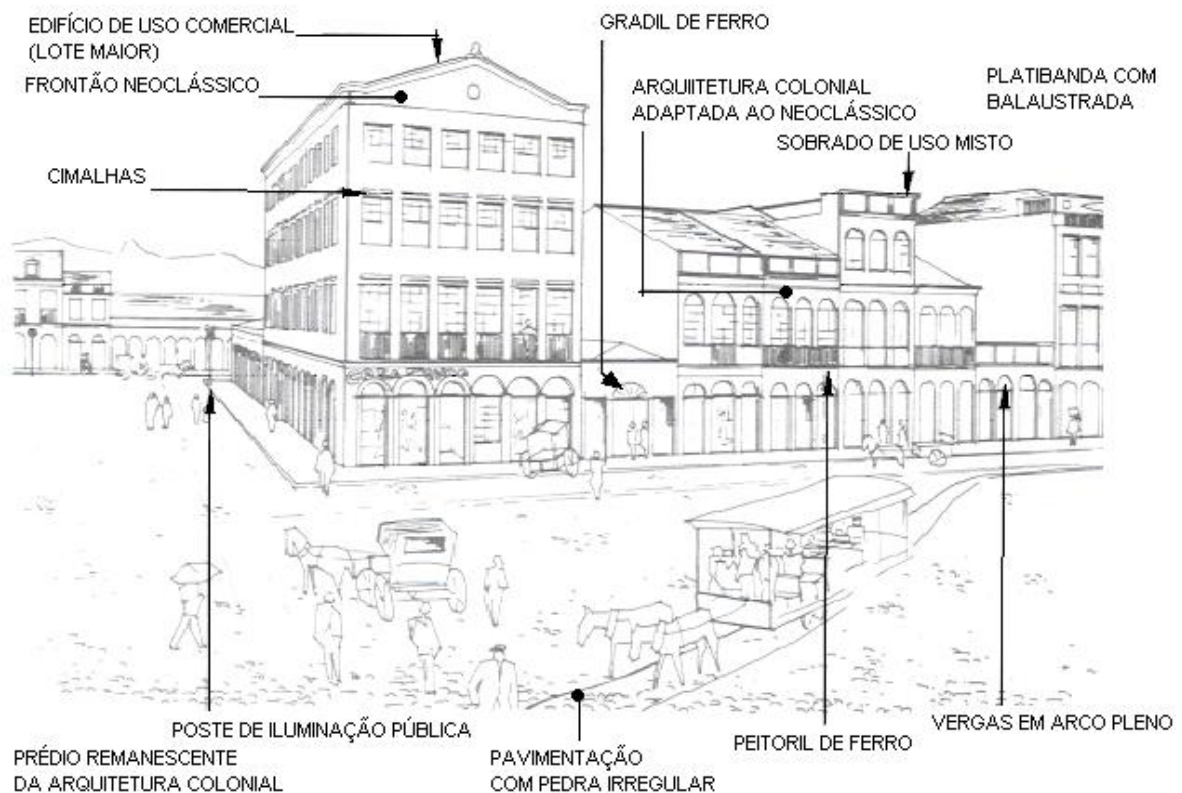


Figura 3: mudanças no final do século XIX
(fonte: FERRAZ; MÜLLER, 1978 apud PESAVENTO, 1996, p. 33).

De modo geral a arquitetura do final século XIX, já alcançava um nível elevado de realizações técnicas, dentro dos padrões acadêmicos. A tendência da arquitetura brasileira encontrava apoio em duas correntes da maior importância do pensamento brasileiro da época: de um lado o positivismo (procurando estimular o desenvolvimento e o amadurecimento

tecnológico do país), de outro o Eclétismo⁵, propondo uma conciliação de estilos que facilitava essa transformação. A predominância da linguagem eclética (do final do século XIX até cerca de 1930) conciliou estilos históricos, assimilando as inovações aos padrões anteriores (figura 4). Os arquitetos e engenheiros orgulhavam-se de imitar com perfeição até mesmo nos detalhes, os estilos de todas as épocas que fossem valorizadas na Europa (REIS FILHO, 2004, p.185).

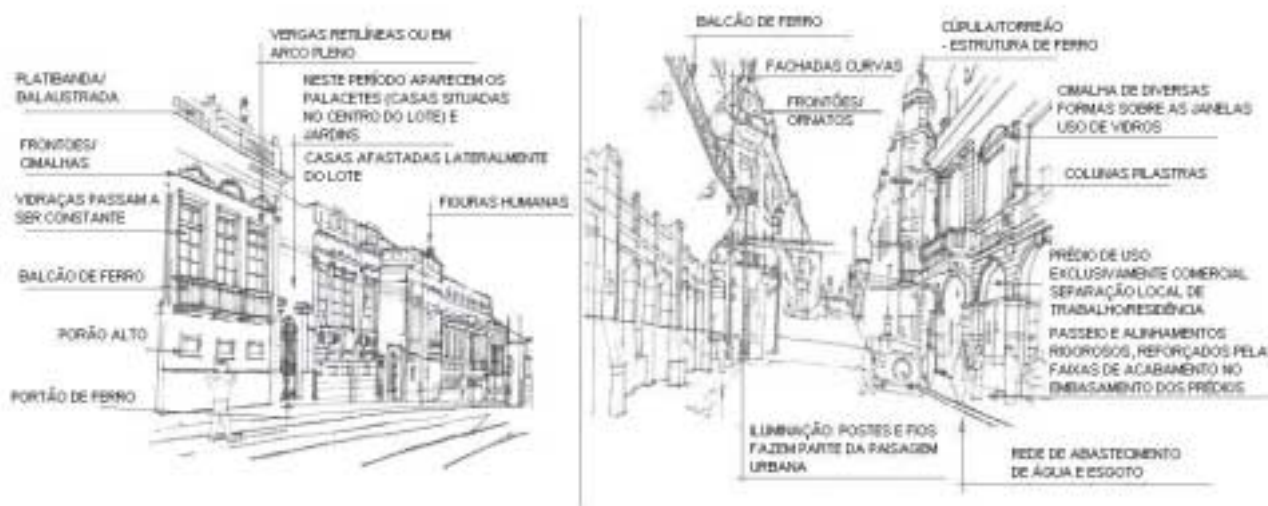


Figura 4: paisagem urbana no início século XX
(fonte: FERRAZ; MÜLLER, 1978 apud PESAVENTO, 1996, p. 36).

No início do século XX, principalmente a partir de 1930, segundo Weimer et al. (1987, p.185) a arquitetura da cidade começou a receber influências de uma nova arquitetura, despojada de todo o decorativismo e historicismo. Usando superfícies planas, fachadas lisas, e a estrutura como forma de expressão, surge a chamada arquitetura moderna, cujo conteúdo não faz parte deste trabalho.

2.2.1 Porto Alegre – Edificações do Patrimônio Histórico

Os sistemas de rios, lagos e lagoas, segundo Souza (2000, p.13), influíram decisivamente no rumo dos fatos históricos que desencadearam o processo de urbanização do Rio Grande do Sul. Porto Alegre não fugiu a regra, surgiu favorecida pelos seus recursos naturais e, principalmente, pelas vantagens oferecidas pela geografia das águas. Os colonizadores encontraram um porto natural na margem do Lago Guaíba, e na encosta norte dos altos da

⁵ Eclétismo: estilo que utiliza as formas arquitetônicas de todas as épocas e de todos os países predominou a partir da Proclamação da República (REIS FILHO, 2004, p. 11).

Praia e da Bronze uma proteção contra os ventos fortes (HICKEL et al., 1998, p.107). A figura 5 indica a localização da cidade de Porto Alegre e do Centro Histórico e a figura 6 mostra a primeira planta do centro da cidade (Centro Histórico), respectivamente.

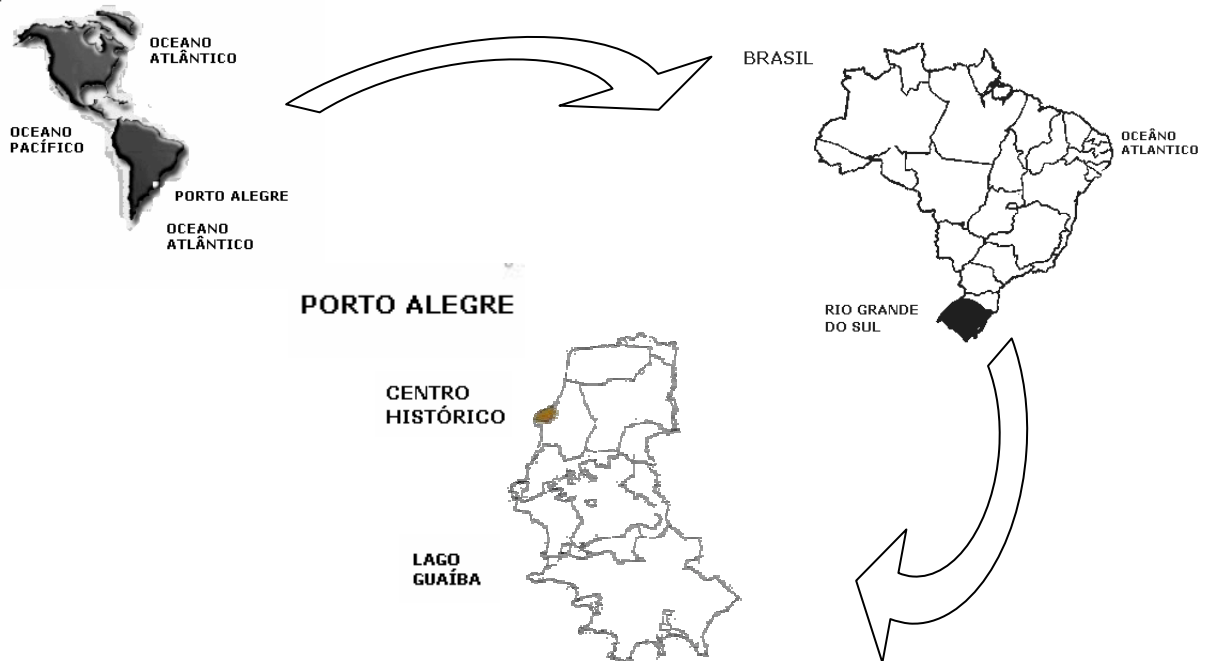


Figura 5: localização da cidade de Porto Alegre e do Centro Histórico



Figura 6: primeira planta da cidade de Porto Alegre, ano 1772, Centro Histórico.

A cidade radiocêntrica, compreende o centro histórico, onde a cidade nasceu, e a trama radial de caminhos ao longo dos quais ela posteriormente se expandiu. Possui alta densidade de edificações destinadas, em sua maior parte, ao setor comercial e de serviços. O centro histórico de Porto Alegre possui um patrimônio arquitetônico com várias áreas de interesse de preservação, localizadas principalmente nas imediações das praças Marechal Deodoro e da Alfândega, do Mercado Público e do Campus Central da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. No entorno da Praça da Matriz (Praça Marechal Deodoro), situa-se uma das edificações mais antigas ainda existentes (remanescente do núcleo administrativo inicial), a Antiga Provedoria Relá da Fazenda de 1773, localizado ao lado do Palácio Piratini, sede atual do Governo do Estado. Nesse espaço encontram-se também a Catedral Metropolitana, em estilo renascentista, e o Theatro São Pedro, de 1858. Nas imediações da Praça da Alfândega, situam-se, entre outros, o pórtico central de entrada do porto, o edifício dos Correios, que ocupa o prédio da antiga Alfândega, o Museu de Arte do Rio Grande do Sul (antigo prédio da delegacia fiscal) e o prédio do Clube do Comércio. A área do Mercado Público, com entorno e contexto circundante – Largo Glênio Perez e Praça XV de Novembro, e os conjuntos formados pelos espaços públicos e privados nas imediações das Praças da Matriz e da Alfândega constituem, junto com os eixos da Avenida Borges de Madeiros e da Rua do Andradas, os principais elementos estruturadores do Centro Histórico de Porto Alegre (HICKEL et al., 1998, p.109). A figura 7 indica a localização das edificações de interesse cultural no centro histórico da cidade de Porto Alegre.

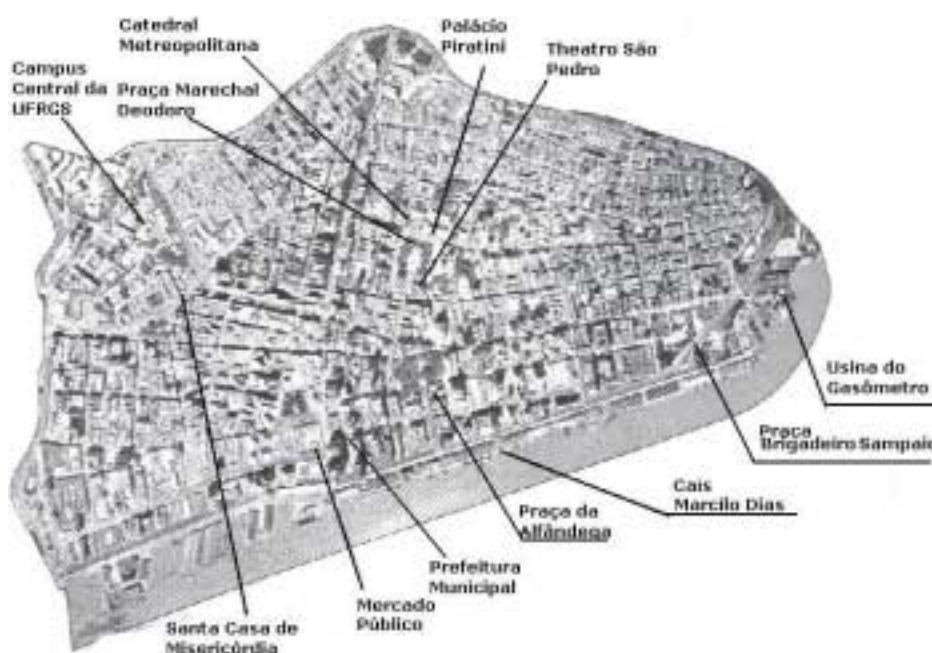


Figura 7: Centro Histórico de Porto Alegre configuração atual
(fonte: HICKEL et al., 1998, p.109).

3 VIDA ÚTIL, DESEMPENHO E DURABILIDADE DOS MATERIAIS

Projetar uma estrutura significa resolver seu trinômio fundamental: segurança, funcionalidade e durabilidade, onde todos os termos são igualmente prioritários (CUNHA; LIMA; SOUZA, 1996, p. 13).

Carrió (1985, p.7) define Arquitetura como a arte funcional, tendo o adjetivo funcional, na definição, um sentido de uso vital, o autor explica: “A Arquitetura – cada arquitetura – se cria, não só para ser vista, sim, sobretudo para ser vivida, para ser utilizada”. Os três aspectos básicos dessa funcionalidade, segundo o autor são Integridade, Habitabilidade e a Estética. Estes aspectos são embasados nos atributos da Arquitetura propostos pelo arquiteto romano Marco Vitrúvio Polião (no primeiro século a.C.), sobre a formulação teórica da arquitetura ocidental, que seriam a *Utilitas* (Habitabilidade), *Venustas* (Estética) e *Firmitas* (Integridade).

A Habitabilidade constitui o aspecto básico da funcionalidade, relaciona-se a uma adequada distribuição interior e ao conforto ambiental criado pelo desempenho físico-químico de seus 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*, afeta diretamente os usuários dos espaços internos que define, está intimamente ligada a habitabilidade. A *Integridade* diz respeito à permanência do edifício que, para ser vivido, exige um mínimo de durabilidade, precisa cumprir o tempo previsto para sua duração sem degradações funcionais ou estéticas; a *integridade mecânica* relaciona-se a exigência de estrutura de suporte no edifício e a *integridade física* à necessidade de durabilidade das edificações, isto é, suficiente resistência ante os agentes agressivos externos ao longo do tempo, conferindo à edificação permanência funcional e formal durante sua vida útil (CARRIÓ, 1985, p. 14).

Para que a Arquitetura cumpra os objetivos estéticos que sua funcionalidade requer, tanto nos aspectos interiores quanto nos exteriores, terá que lançar mão da tecnologia e da capacidade criativa, através da utilização de técnicas adequadas (de materiais e sistemas construtivos). A tecnologia deverá ser capaz de criar soluções que respondam adequadamente aos aspectos básicos da funcionalidade. Portanto, é importante ressaltar que funcionalidade, tecnologia construtiva e criatividade são o suporte básico para a arte de construir e a interdependência entre esses fatores é de fundamental importância, devendo ser transmitida na formação

universitária e posteriormente na atuação dos profissionais, cuja responsabilidade social exige uma permanente criatividade funcional, e portanto, tecnológica (CARRIÓ, 1985, p. 16).

Segundo o Comitê Euro-Internacional du Béton¹ (1993), citado por Lersch (2003, p.35) as estruturas devem ser projetadas, construídas e operadas de tal forma que, sob condições ambientais esperadas, elas mantenham sua segurança, funcionalidade e aparência aceitável durante um período de tempo, implícito ou explícito, sem requerer altos custos para manutenção ou reparo.

Por vida útil de um material entende-se o período de tempo após a instalação de um material, componente ou sistema, em que as propriedades do mesmo ficam acima dos limites mínimos especificados. Um material atinge o fim de sua vida útil quando suas propriedades submetidas a determinadas condições de uso, deterioram-se de tal forma que a continuação do uso deste material é considerada insegura ou até mesmo antieconômica (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1998).

Já por desempenho entende-se o comportamento em serviço de cada produto, ao longo da vida útil, e a sua medida relativa espelhará sempre o resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção (SOUZA; RIPPER, 1998 p. 17). Perez (1988c, p.611) complementa que o conceito de desempenho é definido para os materiais componentes e equipamentos em uso. A edificação antiga, como qualquer edificação, deve ter a capacidade de conservar ao longo do tempo o seu desempenho.

O ponto em que cada estrutura, em função da deterioração, atinge níveis de desempenho insatisfatórios varia de acordo com o tipo de estrutura. Algumas delas por falhas de projeto ou de execução, já iniciam suas vidas de forma insatisfatória, enquanto outras chegam ao final de suas vidas projetadas ainda mostrando um bom desempenho (SOUZA; RIPPER, 1998 p. 18).

As estruturas ao longo de suas vidas úteis sofrem diferentes desempenhos em função da ocorrência de fenômenos patológicos diversos, como mostra figura 8.

¹ COMITE EURO-INTERNACIONAL DU BETON. **CEB-FIP Model Code 1990 Design Code**. Bulletin D'Information no. 213/214. Suíça, 1993.



Figura 8: curva de influência da manutenção e recuperação no desempenho (fonte: PEREZ, 1988c).

A concepção de uma construção durável implica a adoção de um conjunto de decisões e procedimentos que garantam à estrutura e aos materiais que a compõem um desempenho satisfatório ao longo da vida útil da construção (SOUZA; RIPPER, 1998 p. 19). Uma enorme quantidade de edifícios em todo o mundo tem problemas relacionados a um desempenho insatisfatório seja em termos globais, seja em termos de suas partes (LICHTENSTEIN, 1986, p.2).

À necessidade de durabilidade das edificações se contrapõem a idéia de envelhecimento. As edificações e seus componentes sofrem desgastes que podem ser causados pelo homem e/ou pela natureza, visto que os materiais, até mesmo em estado natural, estão sujeitos com o decorrer do tempo 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 ambientais do entorno da edificação e ocorrerá, mais ou menos lentamente, dependendo da agressividade do meio ambiente, todas as construções mudam com o tempo (MOSTAFAVI; LEATHERBARROW², 1993 apud PETRUCCI, 2000).

A necessidade de reparos ou reforços ocorre quando a estrutura em decorrência de algum tipo de deterioração começa a perder a sua funcionalidade e segurança. A partir de reparos sucessivos, procura-se manter as condições de uso, segurança e estabilidade da edificação. Manutenção de uma estrutura é o conjunto de rotinas que tenham por finalidade o prolongamento da vida útil da edificação, isto é garantam o seu desempenho satisfatório ao longo do tempo (SOUZA; RIPPER, 1998 p. 21).

² MOSTAFAVI, M.; LEATHERBARROW, D. **On weathering; the life of buildings in time**. Massachusetts; MIT Press, 1993.

Segundo Lersch (2003, p.36) para um universo de edificações históricas, os períodos compreendidos entre esses sucessivos reparos podem se apresentar de uma forma diferente. Após o período de manutenção e execução de pequenos reparos, pode ocorrer um período de abandono com a perda de um desempenho mínimo, levando a edificação à ruína, conforme indicado na figura 9. O período de abandono ocorre em função de vários fatores, entre eles, pelo desinteresse do imóvel por parte de herdeiros, pela falta de recursos para manutenção ou até mesmo à perda do valor imobiliário do imóvel. A autora complementa que a partir de um estado de ruína, sendo esta considerada a pior situação, as ações de restauração e/ou reciclagem podem devolver à edificação condições de uso e desempenho.

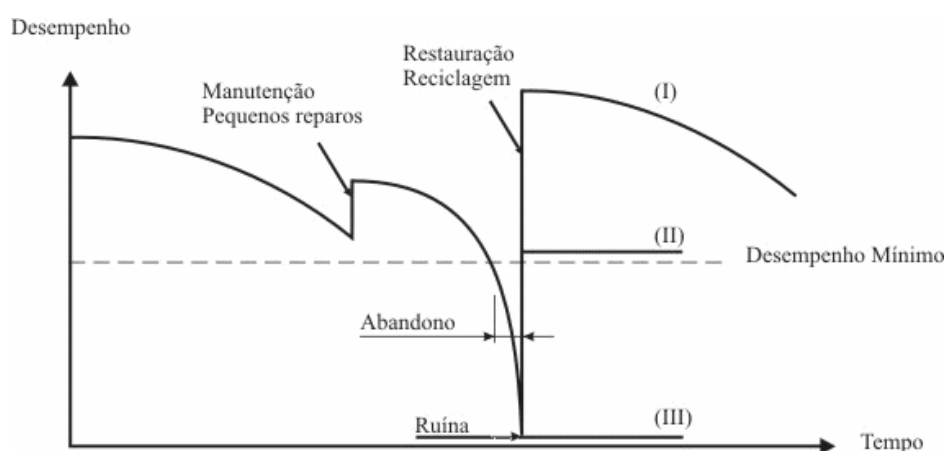


Figura 9: fases do desempenho de uma edificação histórica
(fonte: LERSCH, 2003, p.36).

Além da verificação de desempenho de uma dada solução de superfície quanto às condições técnicas necessárias de habitabilidade, integridade estrutural e durabilidade de uma edificação Atkinson (1977) ressalta a importância dos projetistas no que se refere à prevenção das mudanças na aparência das fachadas. Os projetistas devem prever as mudanças na aparência das fachadas das edificações, entender os efeitos que as decisões projetuais (geometrias, elementos arquitetônicos componentes das fachadas) terão na sua durabilidade e alteração de aparência. A inadequação de certas soluções, tanto estruturais como arquitetônicas, para o ambiente onde estão inseridas comprometem a longevidade e a resistência de inúmeras obras.

3.1 DESEMPENHO DAS PAREDES EXTERNAS

As paredes externas das edificações constituem o elemento que desempenha a função de separar o ambiente interno do ambiente externo, recebendo no seu conjunto a denominação

envelope. Devem resistir às solicitações tanto do meio interno, quanto do meio externo a que estão sujeitas (CINCOTTO, 1988).

A figura 10 ilustra as solicitações a que as paredes estão sujeitas, a partir das quais, podem ser caracterizados os seguintes requisitos de desempenho (CINCOTTO, 1988):

- a) apresentar estabilidade mecânica quando solicitada por carregamento normal ou sofrer deformação imposta por fenômenos térmicos ou climáticos;
- b) apresentar segurança em caso de incêndio, sismo ou outras solicitações excepcionais;
- c) apresentar estanqueidade à água;
- d) contribuir para as exigências higrotérmicas e acústicas do usuário;
- e) contribuir para a estética da edificação.

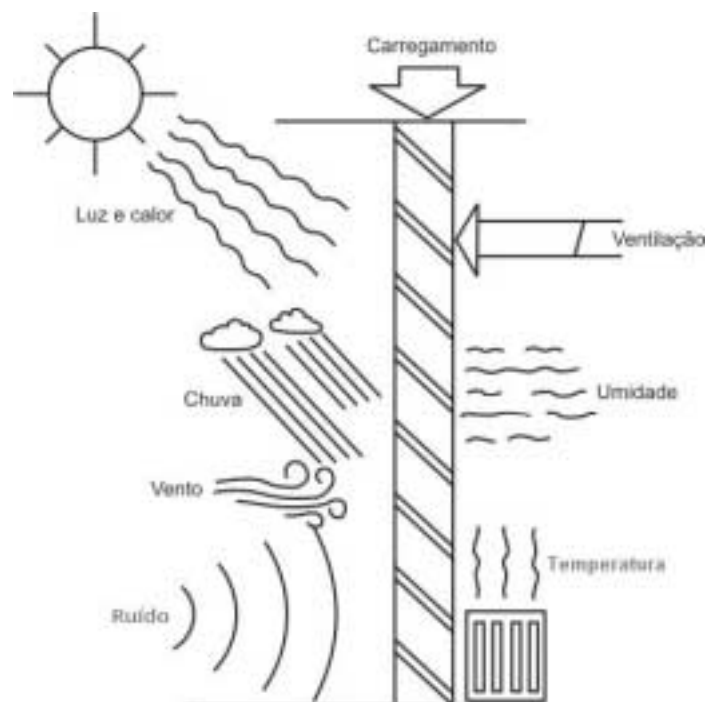


Figura 10: solicitações impostas às superfícies externas das edificações (fonte: CINCOTTO, 1988).

Ao longo do tempo as condições de desempenho das superfícies externas das edificações são afetadas por vários fatores ligados às condições de produção e de exposição do revestimento, e, à ação dos usuários.

3.2 FATORES DA DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS

Para as superfícies verticais externas os fatores de deterioração podem ser classificados em extrínsecos e intrínsecos e distribuem-se por várias fases do processo de produção, uso e manutenção (CINCOTTO, 1988). Degradação é o resultado da ação conjunta dos diferentes agentes presentes no meio ambiente e incidente sobre a edificação. Quando se estuda os agentes de degradação do meio edificado, deve-se levar em conta que a associação dos fatores de degradação provoca lesões que, em geral, são superiores a ação de cada um dos agentes em separado (LIMA; MORELLI, 2005).

3.2.1 Fatores Intrínsecos

As causas intrínsecas aos processos de deterioração são as que dizem respeito às propriedades e aos atributos de materiais, componentes e sistemas, relacionados à condição de superfícies externas (CINCOTTO, 1988). A essa definição Souza; Ripper (1998, p.28) complementam que os fatores intrínsecos têm origem nos materiais e peças durante as fases de execução e/ou utilização das obras, por falhas humanas, por questões próprias ao material e por ações externas, inclusive acidentes.

3.2.2 Fatores Extrínsecos

Os fatores extrínsecos de deterioração são os que atacam a estrutura *de fora para dentro* durante as fases de concepção ou ao longo de sua vida útil (SOUZA; RIPPER, 1998 p. 40).

De acordo com Cincotto (1988) entre os fatores extrínsecos podem ser citados os seguintes:

- a) agentes climáticos;

- b) outros, tais como, carga, fogo, matérias específicas (poeira, fuligem, microorganismos, gases etc.);
- c) movimento de água sobre superfícies;
- d) exigências de segurança, habitabilidade, durabilidade e economia.

3.2.2.2 Agentes climáticos ou ambientais

Os agentes climáticos ou ambientais são fatores externos de deterioração (extrínsecos) que atuam sobre a edificação ao longo do tempo. O meio ambiente de um determinado local é o resultado de vários processos físicos agindo em diferentes escalas. O edifício inserido em um determinado contexto está exposto à ação direta do meio ambiente. A degradação do ambiente construído está diretamente relacionada com as condições ambientais do entorno da edificação, fatores como a temperatura, umidade relativa, radiação, poluição, ventos, entre outros, são fatores que influenciam na degradação das construções (LIMA; MORELLI, 2003).

A seguir serão apresentadas algumas considerações sobre os condicionantes que influem no estado de conservação das fachadas edificações.

Ayoade (1998, p.2) caracteriza a distinção entre tempo e clima, e entre meteorologia e climatologia. Por tempo define como o estado médio da atmosfera numa dada porção de tempo e em um determinado lugar, ou seja, tempo ou estado de tempo é o estado transitório do ambiente atmosférico em um determinado lugar (a influência do estado físico da atmosfera sobre a vida e as atividades do ser humano). Por outro lado, define clima como a síntese do tempo num dado lugar durante um período de aproximadamente 30-35 anos. O clima refere-se às características da atmosfera inferidas de observações contínuas durante um longo período, inclui considerações sobre os desvios em relação às médias, variabilidade climática, condições extremas, frequência de eventos que ocorrem em determinada condição do tempo. Isto é, o clima pode ser definido como a integração ao longo do tempo dos estados físicos do ambiente atmosférico, característico de um determinado lugar ou região.

Ayoade (1998, p.2), afirma que meteorologia é geralmente definida como a ciência da atmosfera e está relacionada ao estado físico, dinâmico e químico da atmosfera e às interações

entre eles e a superfície terrestre subjacente. A meteorologia procede à observação dos fenômenos ocorrentes e trata de explicá-los. Conduz à previsão do tempo (SATTLE, 2003, p. 31).

A climatologia requer o conhecimento dos estados da atmosfera (temperatura, umidade, etc.) e de sua dinâmica (pressão e movimentos horizontais e verticais). Sattler (2003, p. 31) diz que climatologia é uma ciência de síntese aplicada a um local determinado, é o estudo científico do clima.

Segundo Ayoade (1998, p.4) a climatologia pode ser subdividida em: Macroclimatologia, Mesoclimatologia, Microclimatologia. A primeira está relacionada com os aspectos dos climas de amplas áreas da Terra e com os movimentos atmosféricos em grande escala que atingem o clima (AYOADE, 1998, p. 4). Segundo Mascaró, (2004, p.35), os dados do macroclima são obtidos nas estações meteorológicas e descrevem o clima geral de uma região, dando detalhes de insolação, nebulosidade, precipitações, temperatura, umidade e ventos.

A segunda está preocupada com o estudo do clima em áreas relativamente pequenas, entre 10 e 100 quilômetros de largura, como por exemplo, o estudo do clima urbano e dos sistemas climatológicos locais severos tais como os tornados e os temporais (AYOADE, 1998, p. 4). Isto é, os dados de *mesoclima* informam as modificações do macroclima provocadas pela topografia local, como vales, montanhas, grandes massas de água e vegetação, ou seja, revela um contexto geomorfológico preciso que delimita um comportamento climático segundo uma organização espacial.

A última estuda o clima próximo à superfície ou de áreas muito pequenas, com menos de 100 metros de extensão (AYOADE, 1998, p. 4). O *Microclima* equivale a um desvio de características singulares e reconhecíveis em um recinto atmosférico de limites físicos identificáveis. O termo pode ser usado como referência a fenômenos atmosféricos próprios de um vale profundo, protegido dos elementos climáticos como a radiação solar ou os ventos, mas também de uma rua ou praça (MACARÓ, 2004, p.37).

Lima; Morelli (2005), na tabela 1, classificam os climas, em clima regional, clima local e clima no entorno da edificação, sendo que estas classificações se referem sempre à proximidade da edificação.

Tabela 1: dimensões do clima

CLIMA	EXTENSÃO HORIZONTAL	EXTENSÃO VERTICAL
Macroclima ou clima regional	1-200km	1m-100km
Mesoclima ou clima local	100m-10km	0,1m-1km
Microclima ou clima entorno da edificação	0,01m-100m	0,01m-10m

(fonte: DUCRACRETE³, 1999 apud LIMA; MORELLI, 2005).

O clima de uma região é determinado pela configuração de distintos elementos climáticos, suas combinações e interações. As fachadas são um dos elementos das edificações que sofrem ação direta dos agentes agressivos do meio ambiente. Dorfman; Petrucci (1989) afirmam que a grande incidência de manifestações patológicas no subsistema envelope ocorre devido à solicitação funcional destinadas às fachadas das edificações, elas são os elementos reguladores das interações dos espaços internos com os externos, atuam como anteparo ao ataque dos agentes agressivos do meio ambiente.

O conhecimento dos fatores ambientais de degradação é importante para a execução de projetos e especificações eficientes para fachadas, que proporcionem maior durabilidade às edificações. As classificações das condições de exposição dos revestimentos exteriores, propostas pelas normas BS-5262(BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 1976) e DIN 18550 Part1 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 1985), são apresentadas a seguir, respectivamente, nas tabelas 2 e 3.

³ DUCRACRETE. **Models for environmental actions on concrete structures**. Projeto-União Européia Project BE 95-1347. Netherlands. 1999. ISBN: 90-376-0400-5.

Tabela 2: classificação das condições de exposição dos revestimentos externos de fachada

Parâmetros analisados (1)		Condições Amenas	Condições Moderadas	Condições Severas
Da região	Chuvas	Baixo índice pluviométrico	Chuvas moderadas	Região chuvosa
	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 (2) e de prédios vizinhos	Parede protegida (3)	Parede parcialmente protegida (4)	Parede desprotegida

(1) a posição relativa do revestimento na fachada é analisada apenas pela norma DIN e considerada à parte das condições de exposição;

(2) diz respeito aos detalhes arquitetônicos existentes no edifício;

(3) proteção por beiral e pela proximidade de edifícios vizinhos com a mesma altura;

(4) proteção por beiral e por edifícios vizinhos com a mesma altura, mas distantes.

(fonte: BS 5262 (BRITISH STANDARDS INSTITUTION, 1976)).

Tabela 3: classificação das condições de exposição dos revestimentos externos de fachada

Parâmetros analisados (1)		Condições Amenas	Condições Moderadas	Condições Severas
Da região	Chuvas	Precipitação anual < 600mm	Precipitação entre 600mm e 800mm	Precipitação > 800mm 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 (2) e de prédios vizinhos	Condições excepcionais de proteção	Boas condições de proteção	Nenhuma condição de proteção

(fonte: DIN 18550- Part 1 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 1985)).

A classificação das condições de exposição da edificação, conforme exposto nas tabelas 2 e 3, é um elemento de elevada relevância para a definição de um eficiente projeto de fachada. Lima; Morelli; Lencioni (2005) afirmam que o conhecimento dos agentes e fatores de degradação, sua distribuição e valores são de extrema importância para a realização de projetos e especificações de materiais para fachadas. A seguir, serão feitas algumas considerações a respeito da influência de cada um dos agentes determinados pelo ambiente e pelo clima.

Dados obtidos do INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET, 2005) mostram os índices de temperatura, umidade relativa, insolação, precipitação e número de dias de chuva, em todo o território nacional, e serão utilizados como base de informações para este estudo.

3.2.2.2.1 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 para o espaço exterior, dependendo das condições de poluição, umidade e cobrimento por nuvens (BLESSMANN, 1998, p. 9). O sol fornece 99,97% da energia que é utilizada para vários fins no sistema Terra-atmosfera.

Aproximadamente 42% da energia solar que atinge a terra é refletida pela atmosfera (ar, nuvens, pó) e pela crosta terrestre (principalmente pelas partes cobertas por gelo e neve). O restante 58% é absorvido pela atmosfera (vapor d'água, nuvens, ozônio, partículas de aerazol: 15%) e pela crosta terrestre (43%), provocando seu aquecimento. A crosta, uma vez aquecida, irradia este calor, em comprimentos de onda muito maiores que os da radiação incidente provinda do sol (BLESSMANN, 1998, p. 9). Este fenômeno térmico provocado pela radiação solar é responsável pelo aumento da temperatura superficial dos materiais, e é o principal causador de danos em edificações.

Ayoade (1998, p.17) observa que a maneira de 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 re-emitem 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. Por esse fator não pode ser desprezado, por exemplo, o efeito da irradiação gerada pelo armazenamento e pela condutividade térmica das paredes expostas às radiações e pela devolução deste calor ao ambiente.

O sol apresenta um brilho branco incandescente e a sua energia é denominada radiação de ondas curtas (ultravioleta). A terra e a atmosfera se aquecem absorvendo radiação de ondas curtas. Em contrapartida, irradiam energia e essa radiação é emitida em ondas longas (infravermelho) (AYOADE, 1998).

A luz do sol é um agente destrutivo, principalmente pelo componente ultravioleta (UV). Segundo John (1987), isto se deve a foto-oxidação provocada pelas radiações UV, que consiste na quebra de moléculas orgânicas longas de materiais como plásticos, pinturas, materiais betuminosos e as madeiras, causando desbotamento de pigmentos, deterioração de madeiras e têxteis.

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. Ao analisar os efeitos da radiação solar, deve ser considerado não somente aqueles resultantes das radiações diretas, mas também das refletidas. 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 (SATTLER, 2003). O autor complementa que, 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 $\alpha=1$; $\rho=0$.

Porto Alegre é a capital brasileira que possui a maior incidência de radiação solar no verão, nos dias de céu claro (MASCARÓ, 1985). Em análise à figura 11 observa-se que os índices elevados de insolação da região Nordeste somente são comparados com os valores encontrados no Centro Oeste e com os da região Sul (Rio Grande do Sul).

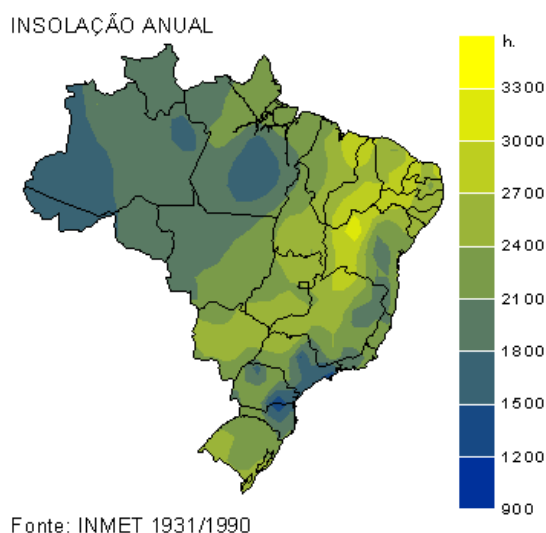


Figura 11: insolação anual (h) no Brasil (fonte: INMET, 2005).

Livi (1998, p. 74) 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, conforme pode ser observado na figura 12.

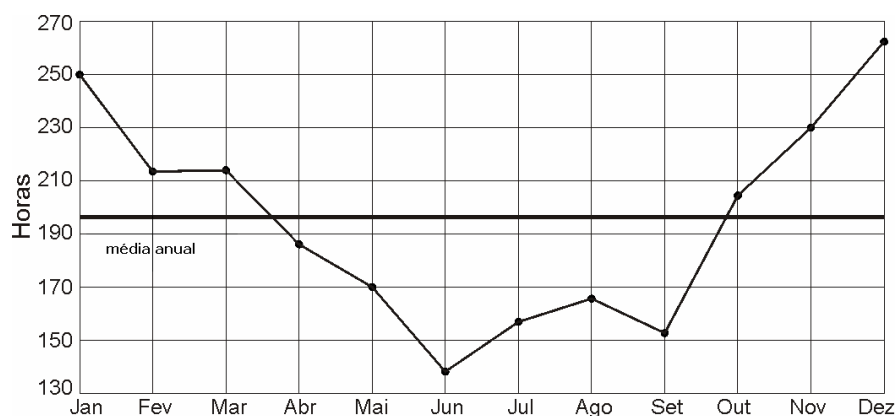


Figura 12: insolação em Porto Alegre (fonte: LIVI, 1998, p.74).

Os ciclos de exposição ao sol apresentam variações sazonais e diárias. Ocorrem diferentes efeitos em função da incidência de radiação e plano em que o material foi empregado

(MASCARÓ, 1986). As figuras 13 e 14 exemplificam a quantidade de calor total absorvida por um material exposto à radiação solar em Porto Alegre.

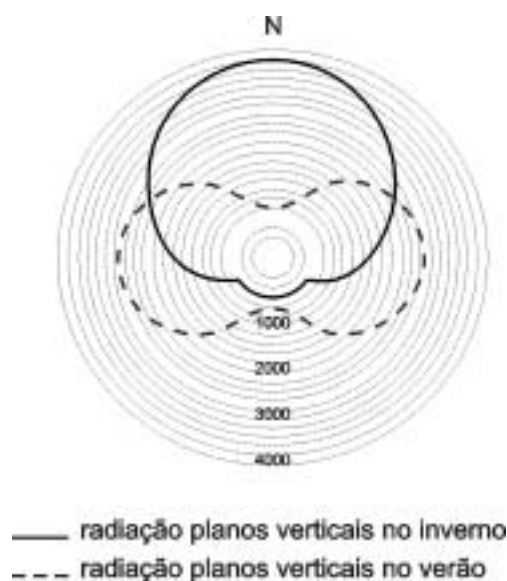


Figura 13: somatório do calor diário recebido pelas superfícies verticais em Porto Alegre (fonte: MASCARÓ, 1986).

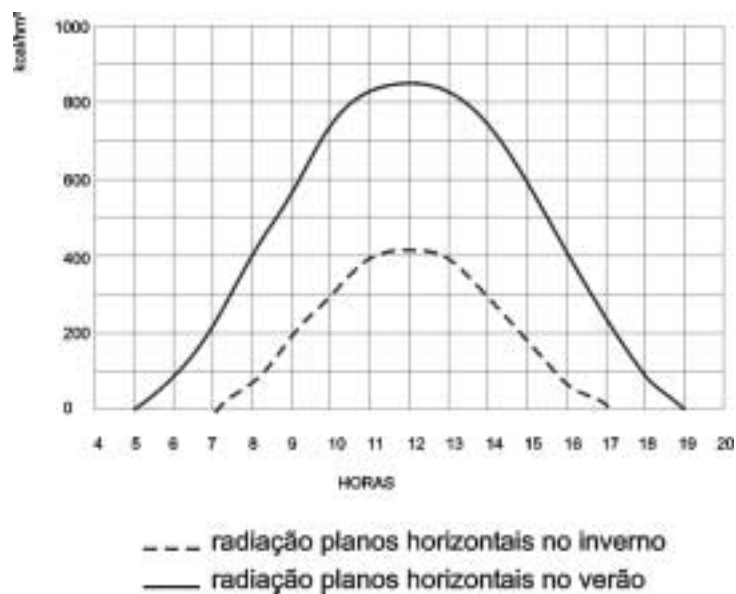


Figura 14: calor diário recebido pelas superfícies horizontais em Porto Alegre (fone: MASCARÓ, 1986).

Os materiais que compõem os planos de superfície de fachadas atingem temperaturas muito mais altas do que o ar, em função do coeficiente de absorção e reflexão das radiações solares. Para um corpo negro teórico, portanto com um coeficiente de absorção (α) igual a 1, esse fenômeno pode ser ilustrado, para o caso de Porto Alegre, onde são mostradas as condições de

radiação solar, em um dia de verão e dia ensolarado de inverno, respectivamente, para as quatro direções (figura 15 e 16) (ARZTEGUI, 1984, p. 85).

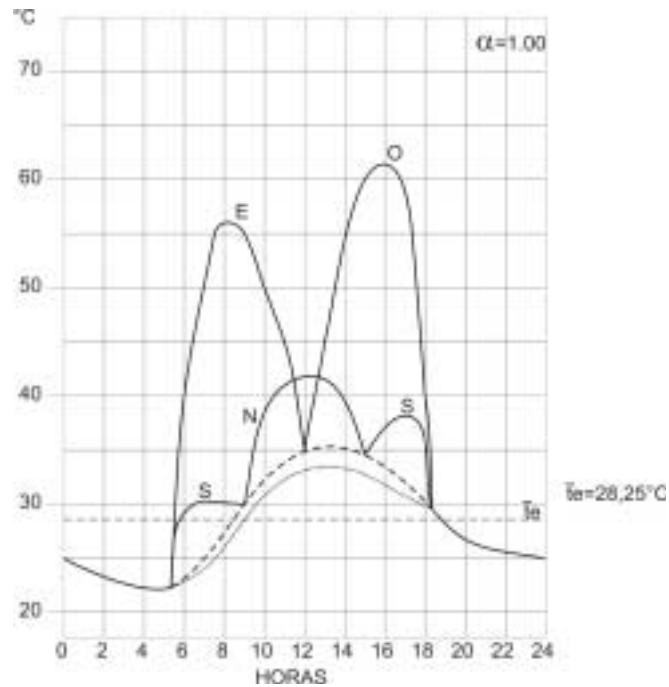


Figura 15: temperatura do ar (t_e) e de superfícies de fachada ($\alpha=1$) correspondente a um dia de verão, para as quatro direções em Porto Alegre (fonte: ARZTEGUI, 1984, p.85).

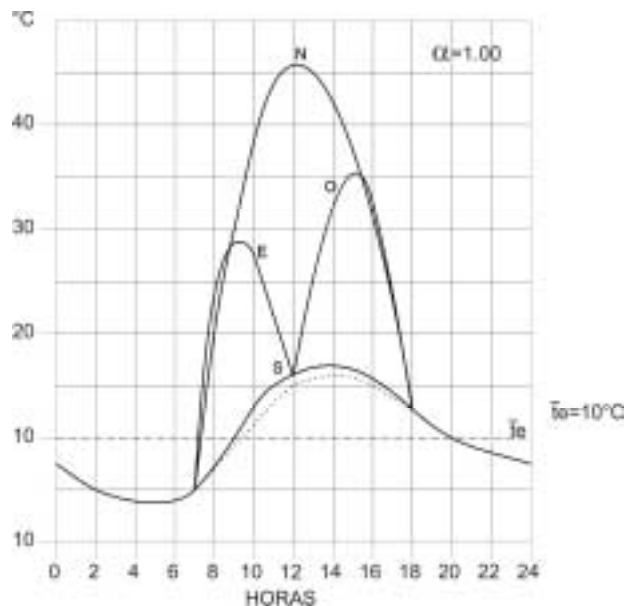


Figura 16: temperatura do ar (t_e) e de superfícies de fachada ($\alpha=1$) correspondente a um dia ensolarado de inverno, para as quatro direções em Porto Alegre (fonte: ARZTEGUI, 1984, p.86).

Segundo Livi (1998, p. 74), 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 às 12:00h, do meio-dia (12:00h) até o poente são as fachadas orientadas para oeste que recebem a incidência do sol. 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.

3.2.2.2.2 Temperatura e umidade relativa

A temperatura pode ser determinada em termos do movimento de moléculas, de modo que quanto mais rápido o deslocamento mais elevado 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. A temperatura de um corpo é determinada pelo balanço entre a radiação e a que sai e pela sua transformação em calor latente e sensível, entre outros (AYOADE, 1998, p. 50).

O ar é diatérmano, ou seja, 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, p. 75).

O balanço energético é demonstrado na figura 17, conforme Rivero (1985, p. 77), 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 18.

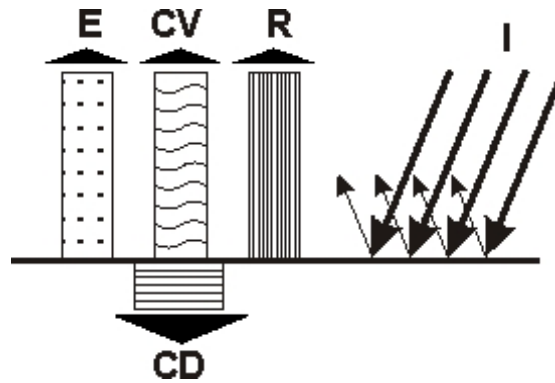


Figura 17: fenômenos que intervêm no balanço térmico da camada superficial da terra: radiação solar (I), evaporação (E), Convecção (CV), radiação de onda longa (R) e condução (CD) (fonte: RIVERO, 1985, p. 75).

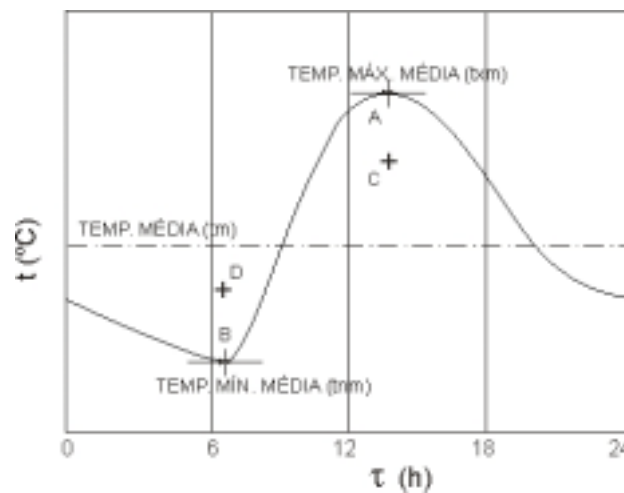


Figura 18: variação típica da temperatura do ar no decorrer do dia (fonte: RIVERO, 1985, p. 77).

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 quantia de insolação recebida, a natureza da superfície, à distância a partir dos corpos hídricos, o relevo, a natureza dos ventos predominantes e as correntes oceânicas (AYOADE, 1998, p. 52).

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 (AYOADE, 1998, p. 57). A temperatura média anual e insolação anual no Brasil correspondem ao padrão relatado, conforme pode ser observado na figura 19.

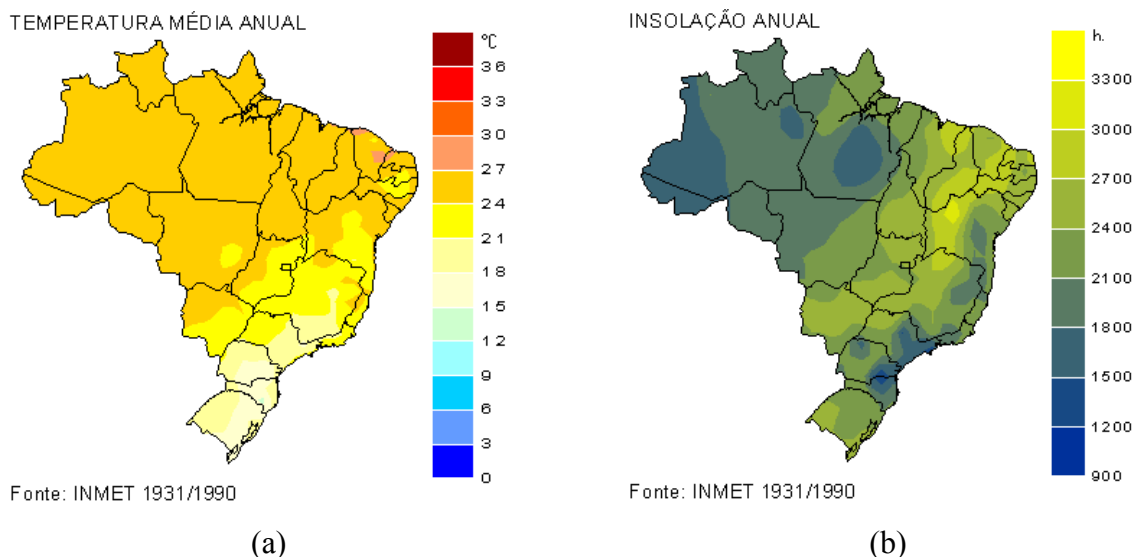


Figura 19: (a) temperatura média anual; (b) insolação anual no Brasil (fonte: INMET, 2005).

A variação de temperatura causa mudanças físicas nos materiais de construção. A mudança dimensional, dilatação e retração, que ocorre com o aquecimento e resfriamento dos materiais, respectivamente, é a principal causa de manifestações patológicas causadas por temperatura nas edificações. Os componentes de uma construção, em geral, estão parcial ou totalmente restringidos as dilatações induzidas pela variação da temperatura, o que provoca um estado de tensão que pode causar sérios danos à estrutura (DUARTE, 2002).

A variação da temperatura causa tensão nos materiais de construção e a extensão dessas lesões depende do coeficiente de elasticidade do material, do grau de restrição dos movimentos do material, pelas suas conexões com outros elementos estruturais, da magnitude da mudança dimensional absoluta no material e pela mudança no teor de umidade (DUARTE, 2002).

Segundo Duarte (2002) os danos à alvenaria podem ocorrer devido ao aumento da temperatura se grandes áreas da parede estiverem expostas à insolação. Para paredes de tijolos maciços, pode-se considerar nos cálculos a temperatura média atuando no centro da parede. Para paredes de tijolos furados ou paredes duplas, deve-se levar em conta a temperatura média da parede externa. Devido às juntas de argamassa o coeficiente de dilatação da alvenaria é

50% maior na direção vertical do que na direção horizontal. Porém os movimentos verticais tendem a ser reversíveis, já os movimentos horizontais tendem a causar fissuração.

Lima; Morelli; Lencioni (2005) observam que 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, a figura 20 mostra a amplitude térmica máxima brasileira registrada no período (1931/1990).

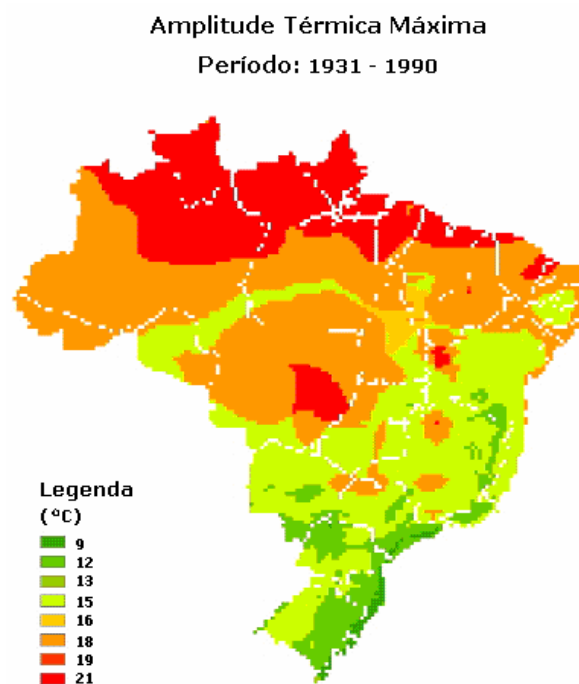


Figura 20: amplitude térmica mensal máxima registrada, período 1931/1990 (fonte: LIMA; MORELLI, LENCIONI, 2005).

Porto Alegre está localizada em zona de transição climática entre os climas tropical e temperado, é classificado como sendo clima subtropical úmido, por registrar valores de temperatura média do mês mais quente superiores a 22° C e apresentar chuvas anuais bem distribuídas. Possui ainda como característica marcante grande variabilidade dos elementos do tempo meteorológico ao longo do ano. Variações bruscas de temperatura são freqüentes devido à movimentação das massas de ar (massas de ar tropical marítimo, mais freqüentes durante o verão, alteram-se com massas de ar polar marítimo, mais freqüentes durante o inverno, responsáveis pelas frentes frias) (LIVI, 1998, p.73). Segundo Mascaró (2004, p.21) a

temperatura média anual é de 19,5° C e as temperaturas extremas oscilam entre 40,7° C e -2,4° C. O padrão da curva diária de temperatura na cidade de Porto Alegre, é o mesmo no decorrer de todo o ano, os valores mínimos e máximos ocorrem por volta das 6:00h e 15:00h, respectivamente (UBER, 1992, p. 69).

Devido às movimentações das massas de ar polar, as variações bruscas de temperatura são comuns. Estudos realizados por Dal Molin (1988) mostram, 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.

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. É geralmente expressa na forma de percentagem. A umidade relativa 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. (AYOADE, 1998, p. 143). 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.

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. No verão o ar pode conter mais vapor d'água; portanto seu ponto de orvalho é mais alto (AYOADE, 1998, p.144). O autor relata que 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%.

Segundo Vallejo⁴ (1990, p.83), citado por Petrucci (2000, p.32), o vapor de água é um dos motivos primários de agregação de partículas, contribui para a modificação do aerossol, com a produção de partículas mais grossas tornando-as mais facilmente sedimentáveis (aumento de deposição e adesão das partículas). Este fator causa o aparecimento de manifestações patológicas por sujidade nas fachadas, devido ao manchamento dos materiais porosos.

Nos trópicos, onde as variações diurnas na temperatura são grandes, há variações na umidade ao longo do dia. Em muitas partes dos trópicos úmidos, particularmente nas áreas costeiras, a umidade relativa pode muitas vezes estar próxima de 100% à noite, durante a estação chuvosa. A umidade relativa atinge seu valor mínimo à tarde durante a estação seca, nos interiores continentais dos trópicos. Há também variações sazonais da umidade relativa nas baixas latitudes. As variações sazonais são mínimas no Equador e crescem com o aumento da latitude (AYOADE, 1998, p. 144).

O Brasil está localizado entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, predomina na maior parte do país os climas tropical e equatorial (LIMA; MORELLI, 2005). A figura 21 mostra a relação entre temperatura e umidade relativa. Nota-se nas regiões norte e centro-oeste do país altos índices de temperatura, com elevada taxa de umidade relativa anual (índices próximos a 100%) no decorrer de todo o ano.

Em Porto Alegre, no que se refere à umidade relativa do ar, Livi (1998, p.74) relata que a mesma se mantém elevada ao longo de todo o ano, sendo que no período de inverno registra seus maiores índices. Ainda segundo o autor, as máximas médias são da ordem de 81% e ocorrem nos meses de maio, junho e julho. Já as mínimas médias ocorrem nos meses de dezembro e janeiro e são da ordem de 70%, e a umidade relativa média anual é de 76%.

⁴ VALLEJO, F. J. L. **Ensuciamiento de fachadas por contaminación atmosférica**; análisis y prevención. Valladolid: Universidad, Secretariado de Publicaciones, 1990.

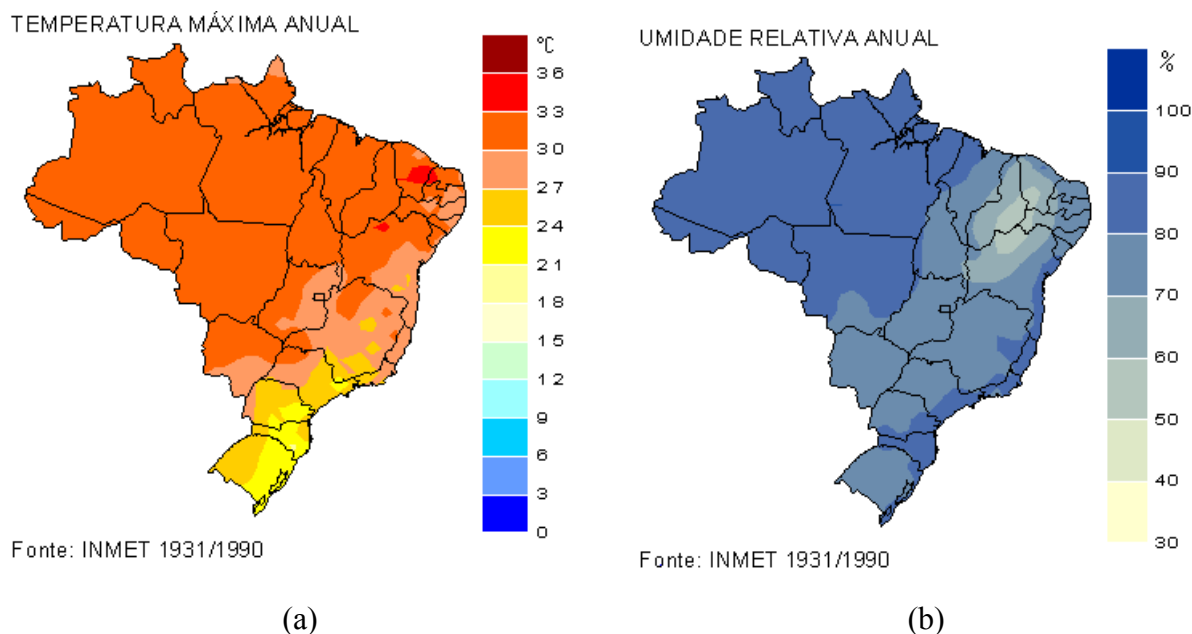


Figura 21: (a) temperatura máxima; (b) umidade relativa anual brasileira, período 1931/1990 (fonte: INMET, 2005).

A figura 22, obtida no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2005), apresenta a relação entre temperatura e umidade no período 1931-1960 e 1961-1990. Percebe-se que a variação da umidade relativa do ar é inversamente proporcional à variação de temperatura e praticamente não sofreram alteração no período (1931 – 1990).

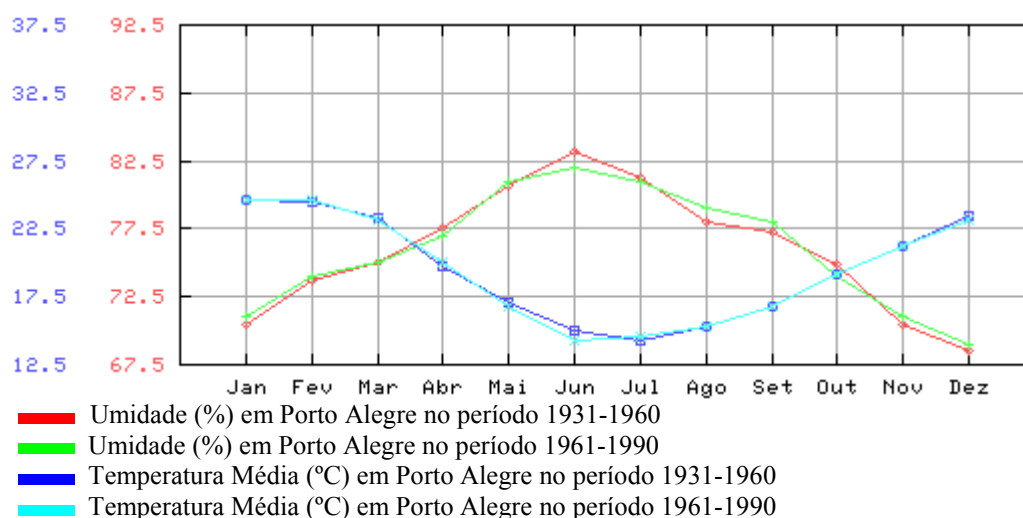


Figura 22: variação de temperatura e umidade período 1931- 1990 (fone: INMET, 2005).

Almusallam⁵ (2001), citado por Lima; Morelli; Lencioni (2005), no que se refere à degradação dos materiais afirma que a temperatura do ar, a umidade relativa, assim como, a

⁵ ALMUSALLAM, A. A. Effect of environmental conditions on the properties of fresh and hardened concrete. **Cement and Concrete Composites**. v. 23, p. 353-361, 2001. Disponível em < <http://www.elsevier.com/locate>>. Acesso em 14/10/2003.

velocidade do vento afetam as propriedades dos materiais de base cimento, por exemplo. Surgem tensões que geram fissuras (devido ao fenômeno de retração), permitindo assim a penetração de agentes agressivos, propiciando a degradação dos materiais de base cimento.

A excessiva umidade relativa do ar facilita ainda a formação de agentes microbiológicos (musgos, putrefações), assim como a formação de água por condensação (ULSAMER, 1975, p.127). A elevada umidade relativa do ar em Porto Alegre, mantendo índices quase sempre superiores a 65% (índice considerado como favorável aos processos de deterioração das fachadas), agrava o fator de deterioração das fachadas.

3.2.2.2.3 Vento

A atmosfera está em constante movimento. O movimento atmosférico é a soma de dois principais componentes, movimento em relação à superfície da terra, isto é o vento, e movimento em conjunto com a terra, ao girar em torno de seu eixo. Vento é o resultado da diferença de pressão atmosférica (AYOADE, 1998, p. 72). O vento traduz uma contínua movimentação da atmosfera, resultante da circulação de massas de ar provocada pela energia radiante do Sol e pela rotação da Terra (figura 23) (CAMARGO et al., 2002, p.12).

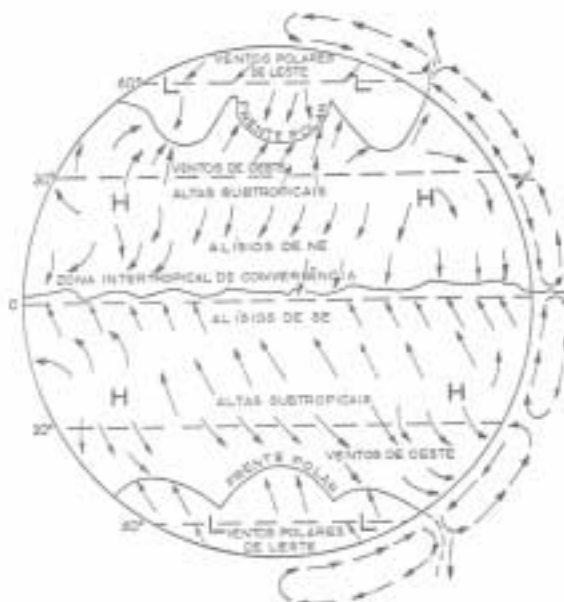


Figura 23: padrões dos sistemas de pressão dos ventos globais próximos à superfície da terra. Zonas de pressão e ventos num globo terrestre homogêneo (fonte: AYOADE, 1998, p. 82).

Segundo Camargo et al. (2002, p.12) sobre o Rio Grande do Sul no que se refere ao escoamento atmosférico prevalecem os efeitos definidos pela dinâmica do anticiclone subtropical Atlântico, os constantes deslocamentos de massas polares e a depressão barométrica do nordeste da Argentina. O anticiclone subtropical Atlântico é um centro de altas pressões, com circulação atmosférica no sentido anti-horário, cuja posição média anual é próxima a 30° S, 25° W, tem como resultante o predomínio de ventos de leste-nordeste sobre toda a área do Brasil abaixo da latitude 10°S. A depressão barométrica do nordeste da Argentina é uma área de baixas pressões, causada pelo bloqueio da circulação geral imposto pela parede montanhosa dos Andes e potencializado pelo aquecimento das planícies de baixa altitude da região. Do escoamento de leste-nordeste ao longo de toda a região Sul do Brasil resultam velocidades médias anuais de 5,5m/s a 6,5m/s sobre grandes áreas da região.

No entanto, variações significativas na mesoescala e microescala ocorrem neste perfil geral de circulação atmosférica. Condições topográficas locais, características da rugosidade superficial, como geometria e altitude do terreno, assim como vegetação e distribuição de superfícies de terra e água influem no perfil da velocidade de escoamento do vento (BLESSMANN, 2001, p.20). É importante ressaltar o caráter dinâmico das circulações sobre o Rio Grande do Sul, em especial as intermitentes passagens das frentes frias (intensificadas no inverno e primavera), com ventos fortes de SW, o chamado vento Minuano, com duração aproximada de três dias a cada passagem de massa polar (CAMARGO et al., 2002, p.12).

A velocidade do vento varia continuamente e seu valor médio pode ser calculado sobre qualquer intervalo de tempo. Verificou-se que o intervalo mais curto das medidas usuais (três segundos) corresponde a rajadas cujas dimensões envolvem convenientemente obstáculos até vinte metros na direção do vento médio (BLESSMANN, 1998, p. 86).

A morfologia urbana é determinante do comportamento dos escoamentos de ar. A ação que o vento desenvolve, isolado ou associado com a água está muito relacionada com o perfil do terreno, isto é, das condições locais de topografia e rugosidade do solo.

Estudos de cargas do vento em estruturas procuram expressar o modo pelo qual a rugosidade no solo afeta o perfil da velocidade do vento. Penwarden; Wise (1975, p.1), mostram na figura 24 a variação da velocidade do vento em três tipos típicos de configuração de solos o campo aberto, a área suburbana, isto é, com menor densidade construtiva e por último o centro da cidade.

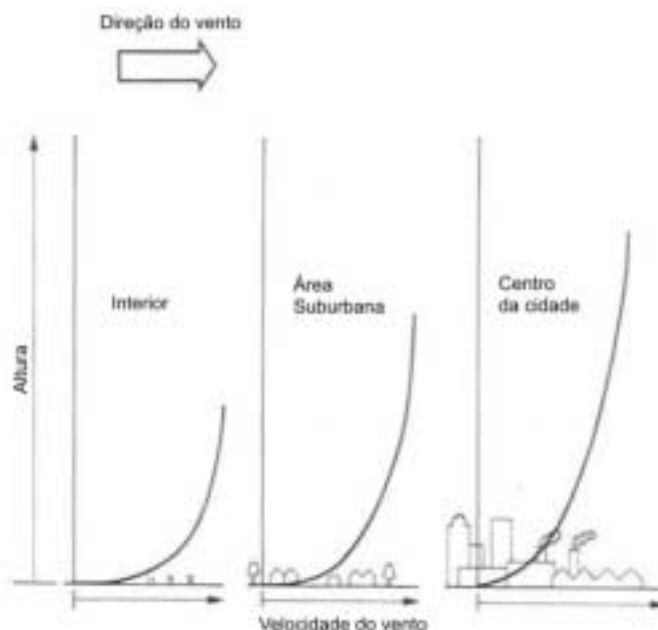


Figura 24: variação da velocidade do vento em diferentes tipos de terrenos
(fonte: PENWARDEN; WISE 1975, p.1).

O efeito da rugosidade superficial nas características do vento é estudado por Mac Donald (1975, p.38). A figura 25 ilustra a influência da rugosidade do solo na direção e intensidade do vento. 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, 1998, p. 14).

O gradiente de pressão causa uma força de pressão que é equilibrada por duas forças: uma ocasionada pela rotação da terra (força de Coriolis) e outra pela curvatura das trajetórias das partículas de ar (força centrífuga), o vento correspondente é designado *vento gradiente*. Altura gradiente é a altura, medida a partir da superfície da terra, na qual a velocidade do vento atinge a velocidade gradiente, esta altura situa-se em geral entre 250 e 600 metros (BLESSMANN, 1998, p.14).

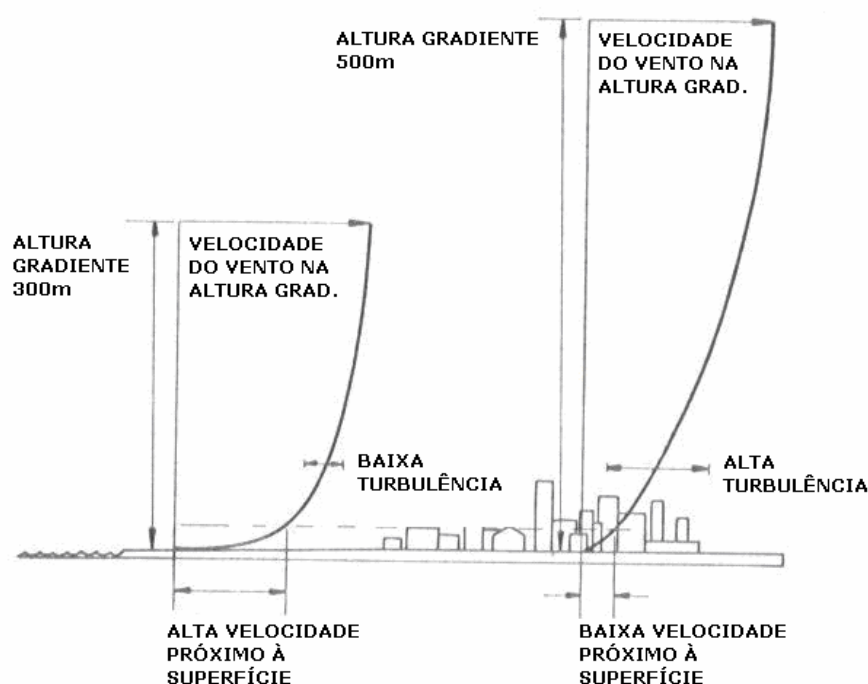


Figura 25: efeito da rugosidade superficial nas características do vento
(fonte: MAC DONALD, 1975, p.38).

O perfil da velocidade do vento mostrado na figura 25 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. Abaixo disto, 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 (BLESMANN, 1998, p.33).

As considerações para determinação das forças devidas ao vento são regidas e calculadas de acordo com a NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988) “Forças devidas ao vento em edificações”. Com base na norma NBR 6123/1988 serão descritos alguns aspectos que regem as forças devidas ao vento.

Como citado anteriormente, o vento é produzido por diferenças de temperatura de massas de ar na atmosfera, isto é, quando uma frente fria aproxima-se e choca-se com o ar quente produzindo vento. Esse fenômeno pode ser observado antes do início de uma chuva.

De acordo com a NBR 6123/1988, a velocidade básica do vento é a velocidade de uma rajada de três segundos de duração, que ultrapassa em média esse valor, uma vez em cinquenta anos,

a 10m de altura, em campo aberto e plano e defini-se por V_0 . A figura 26 representa os valores da velocidade básica através de curvas de isopleias.

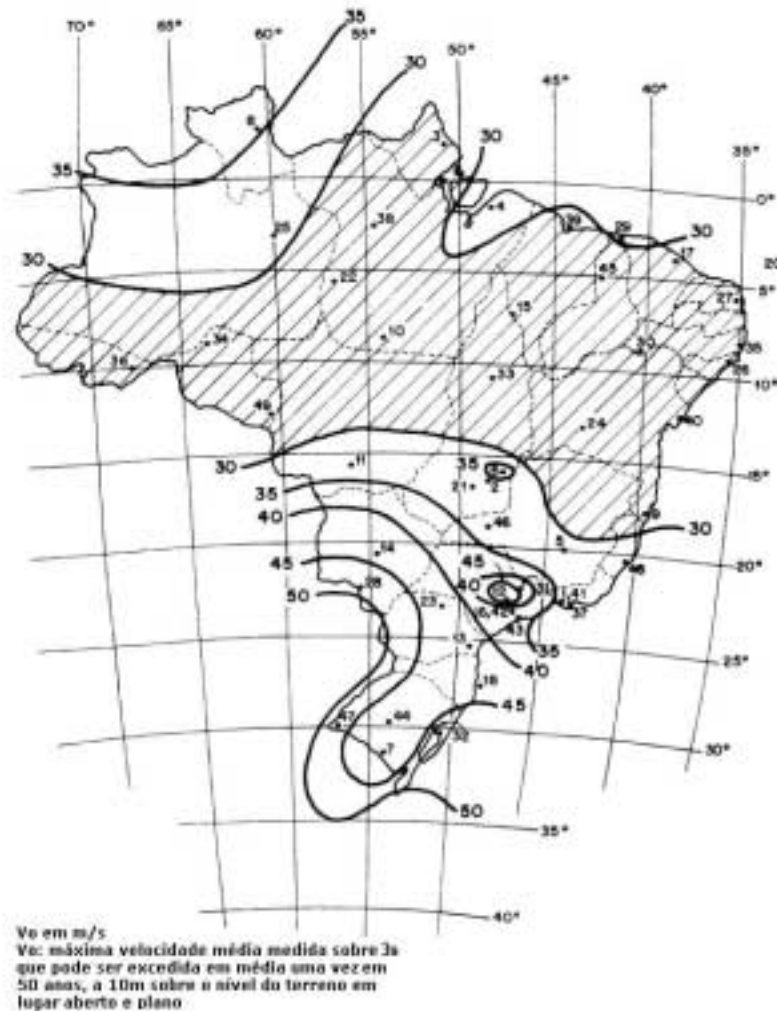


Figura 26: mapa das isopleias da velocidade básica do vento (V_0 em m/s) para o Brasil (fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

A velocidade característica (V_k), é a velocidade usada em projeto onde são considerados os fatores topográficos (S_1), a influência da rugosidade e dimensões da edificação (S_2) e o fator de uso da edificação, fator estatístico (S_3), que considera a vida útil e tipo de uso da edificação. A velocidade característica é expressa pela equação 1:

$$V_k = V_0 S_1 S_2 S_3 \text{ [m/s]} \quad (\text{equação 1})$$

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.

O fator S_1 , que representa a topografia de superfície (variações do relevo do terreno), pode ter os seguintes valores, de acordo com a NBR 6123/1988 (figura 27):

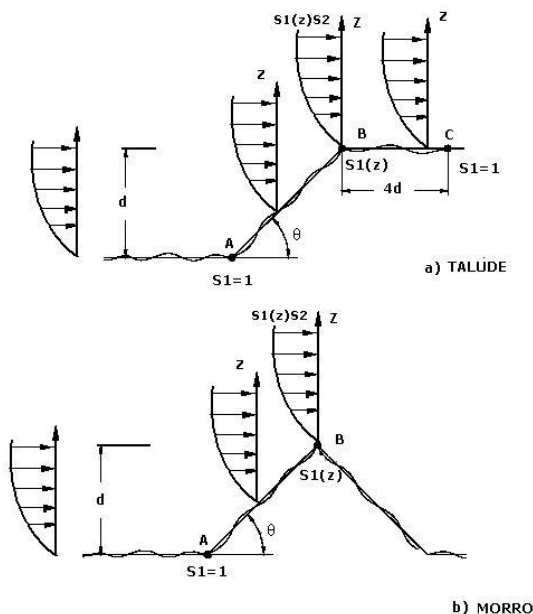


Figura 27: fator topográfico S_1 , (a) talude, (b) morro
(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

- a) terrenos plano ou quase plano, $S_1 = 1,0$;
- b) taludes e morros alongados nos quais pode ser admitido um escoamento de ar bidimensional soprando no sentido indicado na figura 27;
- nos pontos A(morros) e nos A e C (taludes), $S_1 = 1,0$;
 - no ponto B [S_1 é uma função $S_1(Z)$]:
- $$\theta \leq 3^\circ : S_1(Z) = 1,0$$
- $$6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ : S_1(Z) = 1,0 + (2,5 - z/d) \operatorname{tg}(\theta - 3^\circ) \geq 1$$
- $$\theta \geq 45^\circ : S_1(Z) = 1,0 + (2,5 - z/d) 0,31 \geq 1$$
- (interpolar linearmente para $3^\circ < \theta < 6^\circ < 17^\circ < \theta < 45^\circ$)

Onde: z = altura medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado; d = diferença de nível entre a base do talude ou morro; θ inclinação média do talude ou encosta do morro. Entre A e B e entre B e C o fator S_1 é obtido por interpolação linear.

c) vales protegidos de ventos de qualquer direção: $S_1 = 0,9$

Segundo a NBR6123/1988 é recomendado ensaios de modelos topográficos em túnel de vento ou medidas anemométricas no próprio terreno, quando for necessário um conhecimento mais preciso da influência do relevo ou se a aplicação das indicações acima citadas se tornar difícil pela complexidade do relevo.

A NBR6123/1988, diz que o fator S_2 considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte dela. Acrescenta que em ventos fortes em estabilidade neutra a velocidade do vento aumenta com a altura acima do terreno. O intervalo de tempo está relacionado com as dimensões da edificação, pois edificações pequenas e elementos de edificação são mais afetados por rajadas de curta duração do que grandes edificações. Para estas é mais adequado considerar vento médio calculado com o intervalo de tempo maior.

Segundo a NBR6123/1988 a rugosidade do terreno é classificada em cinco categorias, na tabela 4 estão definidas as cinco categorias.

Para a definição das partes da edificação a considerar na determinação das ações do vento, é necessário considerar as características construtivas ou estruturais que originem pouca ou nenhuma continuidade estrutural ao longo da edificação, tais como: edificações com juntas que separem a estrutura em duas ou mais partes estruturalmente independentes, edificações com pouca rigidez na direção perpendicular à direção do vento, e por isso com pouca capacidade de redistribuição de cargas (BLESSMANN, 1998, p. 86).

Tabela 4: classificação das categorias de rugosidade do terreno para determinação do coeficiente S2

CATEGORIA	DESCRIÇÃO	AMBIENTE
I	Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente.	mar calmo*, lagos, rios, pântanos sem vegetação * Para mar agitado o valor do expoente p para um hora pode chegar a 0,15, em ventos violentos. Em geral $p \approx 0,12$
II	Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1,0.	Zonas costeiras planas, pântanos com vegetação rala, campos de aviação, pradarias, fazendas sem sebes ou muros.
III	Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como, sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. A cota média dos obstáculos é considerada igual a 3,0m.	Casas de campo (com exceção das partes com mato), fazendas com muros, subúrbios.
IV	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial, ou urbanizados. A cota média dos obstáculos considerada igual a 10,0m. Esta categoria também inclui zonas com obstáculos maiores e que ainda não possam ser considerados na categoria V.	Cidades pequenas e seu arredores, subúrbios densamente construídos, áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas, zonas de parques e bosques com muitas árvores.
V	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e poucos espaçados. A cota média dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25m.	Florestas com árvores altas, centros de grandes cidades, complexos industriais bem desenvolvidos.

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

As classes definem-se através das dimensões da edificação, partes de edificações e seus elementos de acordo com a tabela 5, com intervalos de tempo para cálculo da velocidade média de 3,5 e 10 segundos, respectivamente.

Tabela 5: definição de classes de edificação determinação do coeficiente S2

CLASSE	DESCRIÇÃO
A	Maior dimensão da superfície frontal (dimensão horizontal ou vertical) menor ou igual a 20 metros.
B	Maior dimensão da superfície frontal (dimensão horizontal ou vertical) entre 20 e 50 metros.
C	Maior dimensão da superfície frontal (dimensão horizontal ou vertical) que 50 metros.

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

O cálculo de S2 é expresso por $S2 = b.Fr(z/10)^p$ onde z é a altura total da edificação (no caso, a cumeeira) e os parâmetros b, Fr e p são obtidos da tabela 6, sendo que o fator de rajada Fr é sempre correspondente a categoria II. Para o estudo dos elementos de vedação é recomendado

usar o fator S2 correspondente ao topo da edificação. Segundo a norma NBR 6123/1988 os valores de S2 para as diversas categorias de rugosidade do terreno e classes de dimensões das edificações são as descritas na tabela 7.

Tabela 6: parâmetros meteorológicos

CATEGORIA	Zg (m)	PARÂMETROS	CLASSES		
			A	B	C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		Fr	1,00	0,98	0,95
		p	0,085	0,09	0,10
III	350	b	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	1,105	0,115
IV	420	b	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

Tabela 7: fator S2 para as diversas categorias de rugosidade do terreno e classes de dimensões das edificações

Z (m)	CATEGORIA														
	I			II			III			IV			V		
	CLASSE			CLASSE			CLASSE			CLASSE			CLASSE		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
<5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
19	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,34	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300	-	-	-	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,35	1,33	1,30	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,32
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,34

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988).

O fator estatístico S3 é definido dependendo do uso da edificação, e normalmente especificando a vida útil da mesma para 50 anos. A probabilidade de que a velocidade V_0 seja igualada ou excedida neste período é de 63%. O nível de probabilidade (0,63) e a vida útil (50 anos) adotados são considerados adequados para edificações normais destinadas a moradias, hotéis, escritórios, etc. (grupo 2) (BLESSMANN, 1998, p. 88). Os valores mínimos que podem ser adotados estão definidos na tabela 8.

Tabela 8: valores mínimos para o coeficiente S3

GRUPO	DESCRIÇÃO	S3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção.	0,83

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 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 = 101320MPa) e temperatura a 15°, é dada na equação 2:

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

Onde, q = pressão dinâmica [N/m^2], V_k = velocidade característica [m/s].

Segundo a NBR6123 (1988), a força global do vento sobre uma edificação ou parte dela (F_g) é obtida pela soma vetorial das forças atuantes sobre a superfície da edificação. A força global na direção do vento (F_a) é expressa por:

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

Onde, F_a = força global do vento [N], C_a = coeficiente de arrasto⁶ (coeficiente de força), A_e = área frontal efetiva (perpendicular à ação do vento “área de sombra”) [m²], q = pressão dinâmica [N/m²].

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 (figura 28). Ao incidir sobre uma edificação, o vento, devido a sua natureza, provoca pressões ou sucções. 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, p. 45).

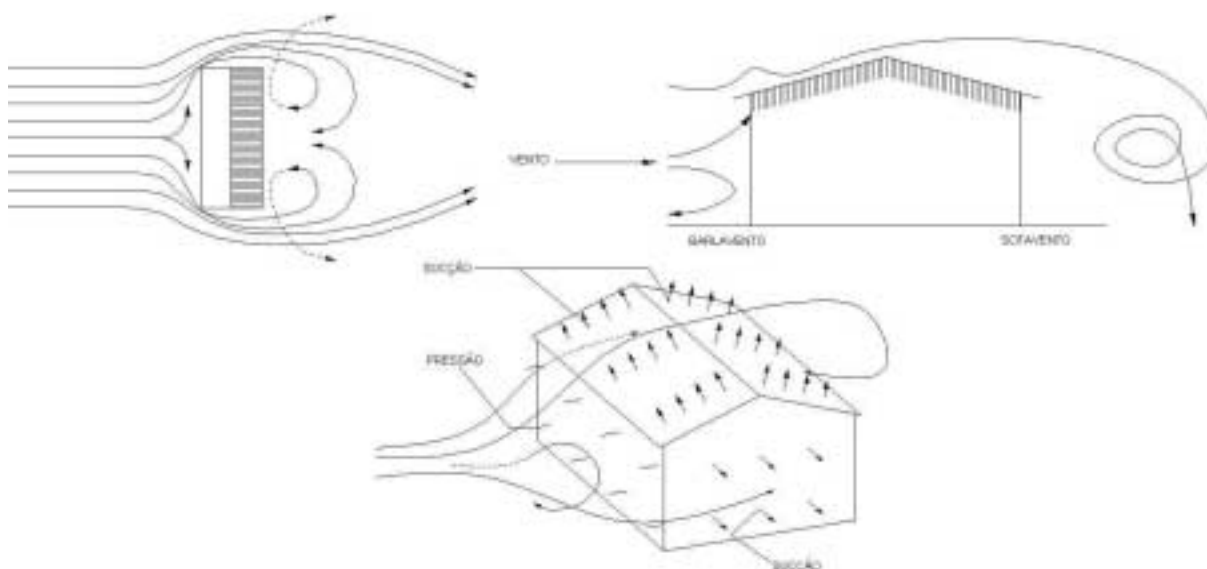


Figura 28: incidência vento sobre edificação (fonte: BAUER, 1987).

Os diferentes tipos de escoamento do vento podem se combinar, ao mesmo tempo, dependentes das características do vento incidente e das características como posições, formas, tamanhos dos edifícios e sua vizinhança, de modo que a resultante pode ser muito complexa. Massas edificadas modificam o comportamento do vento ocasionando efeitos diversos. Os principais efeitos aerodinâmicos do vento sobre os edifícios, foram descritos em experimentos realizados pelo Centre Scientifique et Technique du Bâtiment CSTB/França Gandemer (1975), entre eles, os efeitos *Venturi*, *de canalização*, *de barreira*, *de aberturas*.

⁶ Forças de arrasto são forças na direção do vento (Blessmann, 1995, p.34).

O *efeito Venturi* é caracterizado pelo fenômeno de aceleração por afunilamento do escoamento de ar produzido por edificações separadas, nas quais eixos coincidem em um ângulo reto ou agudo. 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. O escoamento de ar atinge sua velocidade máxima, quando a abertura no final do canal possui dimensão de cerca de 2 a 3 vezes a altura média dos edifícios (figura 29).

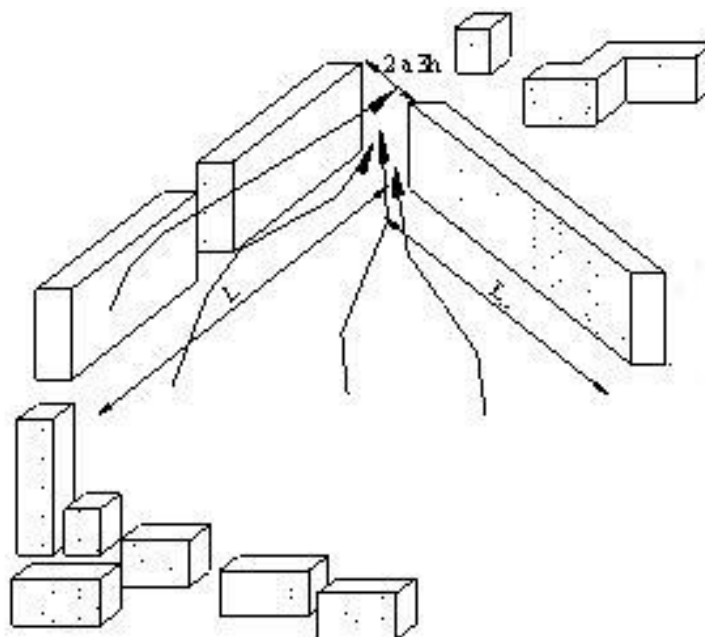


Figura 29: efeito Venturi (fonte: GANDEMER, 1975).

Edifícios localizados paralelamente, possuindo largura menor que três vezes a altura dos prédios, conforme mostra a figura 30, provocam à formação de canalização com aceleração do escoamento de ar, este fenômeno é denominado *efeito de canalização*.

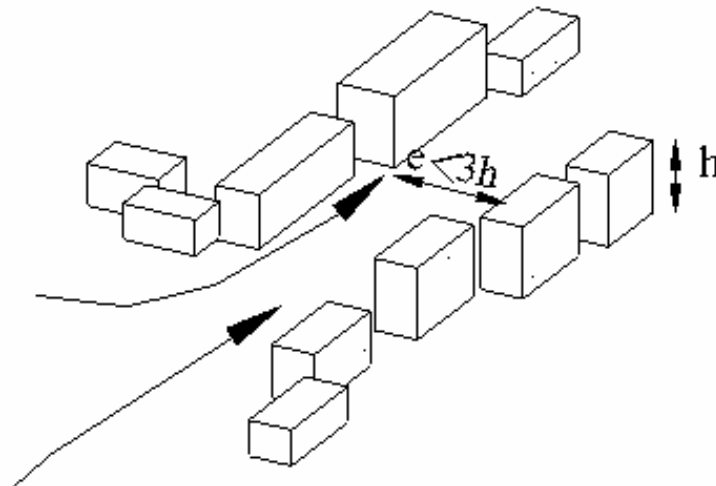


Figura 30: efeito canalização (fonte: GANDEMER, 1975).

O vento quando encontra um obstáculo, busca a trajetória de menor resistência para passar pelo objeto, simplesmente fluindo em volta, 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, este efeito aerodinâmico é chamado *efeito barreira*, os edifícios localizados atrás da barreira, com altura inferior a mesma ficam protegidos do escoamento de ar. De acordo com estudos realizados, pelo CSTB / França Gandemer (1975), exemplificado na figura 31, para que o efeito ocorra, os edifícios barreira devem ter espessura menor do que 10m, altura homogênea, e não maior que 30m, e o comprimento mínimo de oito vezes a altura.

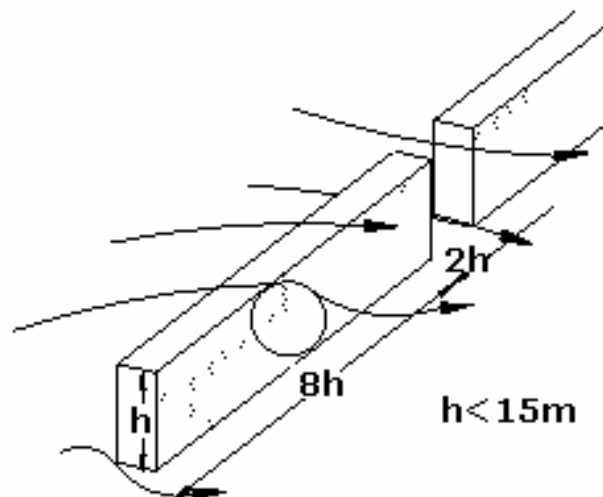


Figura 31: efeito barreira (fonte: GANDEMER, 1975).

A figura 32 mostra a incidência do escoamento de ar por aberturas individuais na base de uma edificação. A variação do escoamento de ar por essas aberturas individuais é muito intensa, e a saída do vento na face oposta da edificação ocorre na forma de jatos de ar, este fenômeno chama-se efeito de abertura.

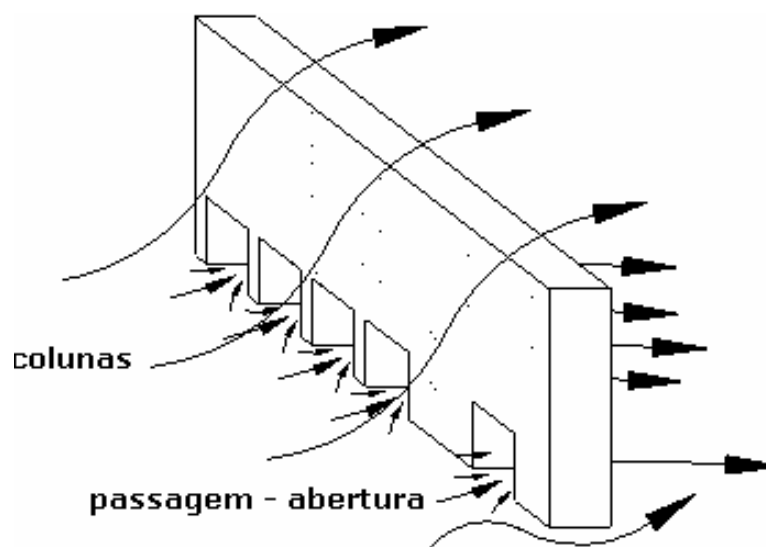
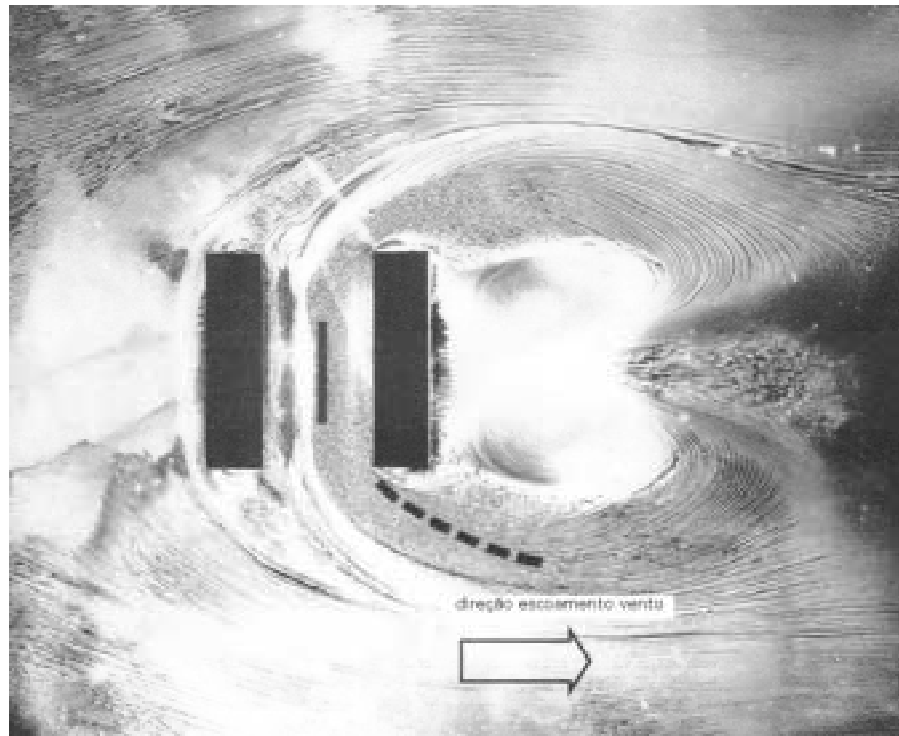


Figura 32: efeito de abertura (fonte: GANDEMER, 1975).

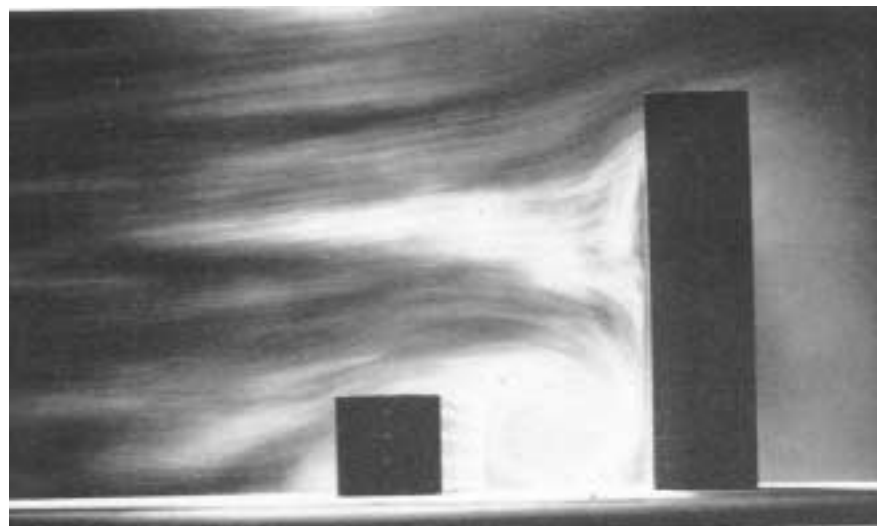
A incidência do vento nas edificações é dependente de uma série de fatores, como visto anteriormente, que vai desde o formato, altura e principalmente das condições do entorno.

Penwarden; Wise (1975, p.1) descrevem típico escoamento de vento sobre as edificações, com base em estudos em túnel de vento. Segundo os autores o padrão do escoamento de vento sobre as edificações depende das características de aproximação (entorno imediato e direção), 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. 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 33(1) e 33(2). Ao incidir sobre a fachada a barlavento da edificação, aproximadamente $\frac{3}{4}$ da altura da fachada, há o ponto máximo de pressão. Resultante deste ocorre um forte escoamento descendente forma 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 34, 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, de acordo com os estudos de Penwarden; Wise (1975).

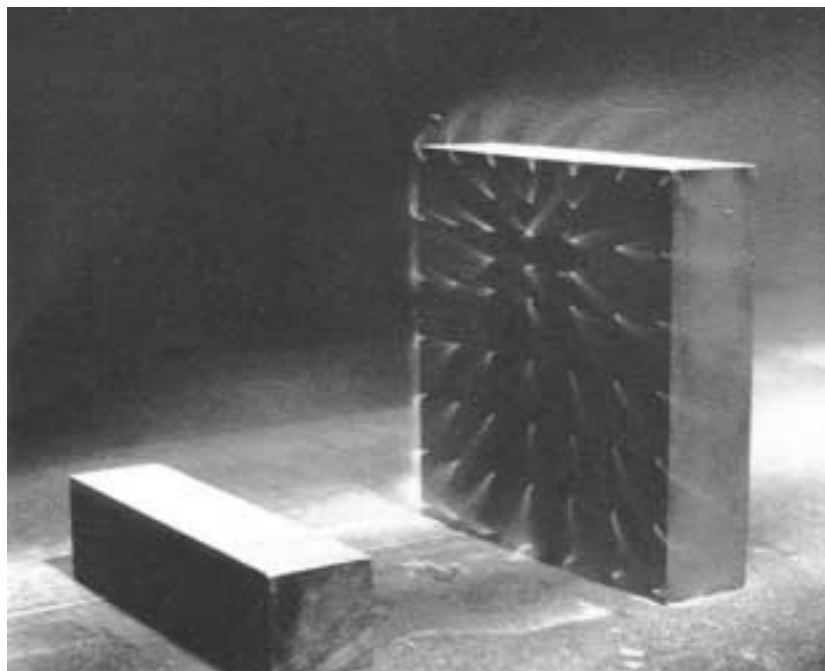


(a)



(b)

Figura 33(1): 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 (fonte: PENWARDEN; WISE, 1975, p. 2).



(c)

Figura 33(2): (c) 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 (fonte: PENWARDEN; WISE, 1975, p. 2).

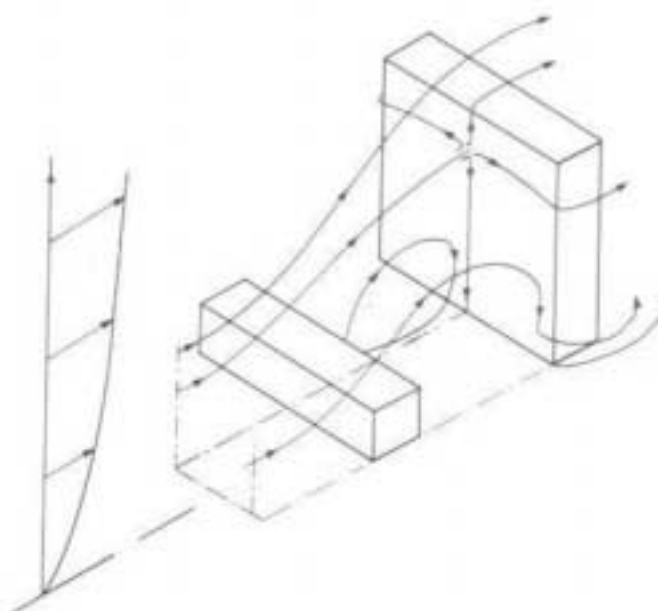


Figura 34: forma simplificada do típico escoamento de vento ao redor de uma edificação alta com edificação baixa a barlavento, com base nos estudos de Penwarden; Wise, 1975 (fonte: SCRUTON, 1981, p.7).

Em um tecido urbano densamente edificado, o escoamento do vento é modificado, podendo ser modificado 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 influência da orientação da fachada em sua exposição ao impulso do vento e da chuva.

3.2.2.2.4 *Precipitação 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, p.159). Neste trabalho, portanto, o termo precipitação e precipitação pluvial serão usados para deposição de chuva.

O padrão da distribuição da precipitação sobre o globo é bastante complexo devido à influência de vários fatores entre eles topográficos, da distância a partir dos grandes corpos hídricos, da direção e caráter das massas de ar predominantes, entre outros (AYOADE, 1998, p.159). A chuva é um fenômeno muito variável tanto em sua intensidade, duração, frequência, diâmetro das gotas que a constituem, pode variar desde um nevoeiro, no qual as gotas de água não são visíveis, até uma tempestade cujas gotas atingem até 5 a 6mm de diâmetro (CARRIÉ⁷ et al., 1975 apud PETRUCCI, 2000, p.21).

O Brasil possui altos índices pluviométricos, bem distribuídos durante todo o ano (INMET, 2005), a figura 35 mostra a distribuição pluviométrica e número de dias com chuva anual nacional, pode-se visualizar que na região nordeste ocorre o menor índice de precipitação do país de chuvas, algumas localidades apresentam baixíssimos índices de precipitação anual (menores que 600 mm anuais), enquanto que na região norte do país o índice de precipitação anual é elevado.

⁷ CARRIÉ, C. MOREL, D.; FOURQUIN, J **Salissures de façades**. Paris: Eyolles, 1975.

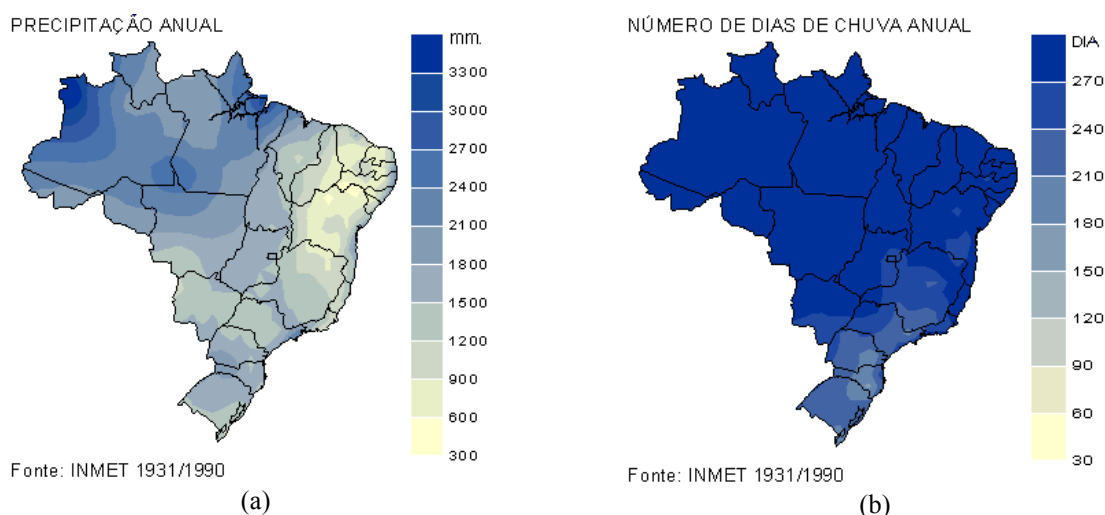


Figura 35: (a) precipitação anual; (b) números de dias de chuva anual, no território nacional (fonte: INMET, 2005).

A variação pluviométrica da figura 35 pode ser analisada com base nos estudos realizados por Mascaró (2004, p.15), na qual o autor 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. Segundo Lima; Morelli; Lencioni (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.

3.2.2.2.5 Chuva 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).

A penetração de água nas fachadas das edificações está associada entre outros fatores à chuva incidente. *Chuva incidente ou dirigida* refere-se à ação conjunta da chuva e do vento incidente nas fachadas quando da precipitação (SILVA; GIRALT 1995). No caso das paredes da fachada, a penetração da água não depende apenas da intensidade da chuva, mas também do vento atuante. Depende, portanto, da velocidade e direção do vento, do tempo e quantidade de chuva incidente (THOMAZ, 1990, p.110).

Com base na figura 36, Thomaz (1990, p.110), 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 serão atingidas em diferentes graus, dependendo da intensidade e direção do vento atuante.

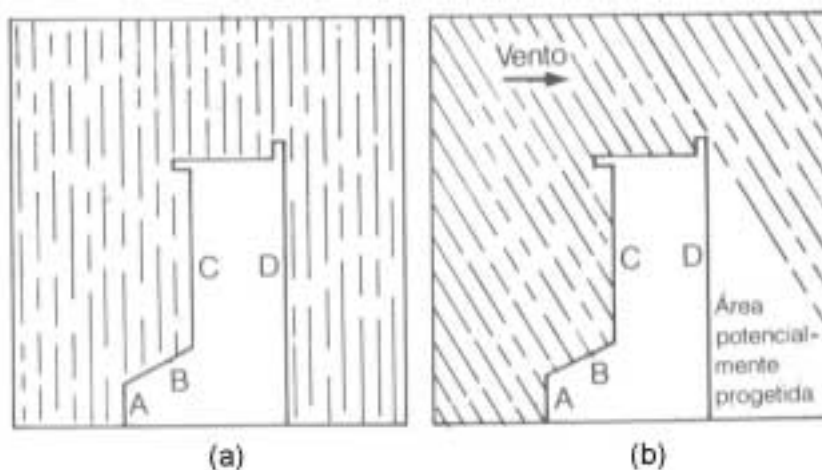


Figura 36: influência do vento na direção da chuva e na exposição das paredes: (a) situação sem vento; (b) situação com vento (fonte: THOMAZ, 1990, p.110).

Observa-se ainda na figura 36 que com o vento a chuva incidente apresentará uma inclinação, atingindo a edificação de maneira diferenciada. Com o vento as superfícies A, B e C serão atingidas pela água da chuva, enquanto que a superfície D estará protegida. Ainda o volume de água sobre a superfície B aumentará em decorrência da contribuição da água incidente sobre a superfície C (THOMAZ, 1990, p.110).

Bauer (1987, p.33), com base nos estudos de Lacy (1977) e Marsh (1977) define chuva incidente como a chuva conduzida pelo vento de maneira a incidir sobre uma superfície vertical a um determinado ângulo. O autor complementa que o ângulo no qual a chuva atua sobre a parede depende da combinação da velocidade do vento e do tamanho da gota de chuva (figura 37).

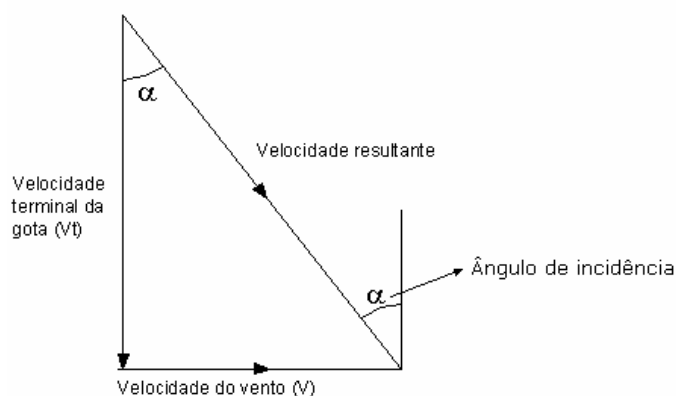


Figura 37: sistemas de forças atuantes sobre uma gota de chuva
(fonte: BAUER, 1987, p.33).

Segundo Newman (1987, p.587) 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});
 θ = ângulo entre a velocidade do vento e a normal ao plano vertical que está sendo considerado.

O Conseil International du Bâtiment pour la Recherche L'Étude et la Documentation (CIB) na década de 60 estabeleceu o conceito de chuva dirigida, como sendo o produto da precipitação pela velocidade do vento (SILVA; GIRALT, 1995). Lacy (1977) 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 m^2/s); P = total precipitação anual(em mm); V = Velocidade média anual do vento (em m/s).

O índice de chuva dirigida, de acordo com a metodologia proposta por LACY (1977), é classificado de acordo com faixas de agressividade, como pode ser visto na tabela 9. Aspectos do entorno da edificação ou da própria edificação não são considerados nessa classificação.

Tabela 9: classificação em faixas de agressividade para as condições de exposição das fachadas

FAIXA DE AGRESSIVIDADE	CONDIÇÃO DE EXPOSIÇÃO
De 0 a $3m^2/s$	Exposição protegida ou branda
De 3 a $7 m^2/s$	Exposição moderada
Acima de $7m^2/s$	Exposição alta

(fonte: LACY,1977)

Marsh (1977), estudando as condições de exposição da edificação propostas por Lacy, aponta correções aos valores expostos na tabela 9. De acordo com Marsh (1977), excluem-se para condição exposição protegida as áreas próximas do mar ou grandes estuários a uma distância de 8km, 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 $5 m^2/s$, a uma distância de 8km do mar ou grandes estuários.

Chand; Bhargava⁸ (2002) propõe uma quarta classificação de condição de exposição das edificações, à metodologia proposta por Lacy (1977). Trata-se da exposição severa que considera dados maiores que $11m^2/s$ (LIMA; MORELLI, 2005), conforme tabela 10.

Tabela 10: quarta faixa de agressividade para as condições de exposição severa

FAIXA DE AGRESSIVIDADE	CONDIÇÃO DE EXPOSIÇÃO
Maior que $11m^2/s$	Exposição severa

(fonte: CHAND; BHARGAVA, 2002 apud LIMA; MORELLI, 2005).

⁸ CHAND, I.; BHARGAVA, P.K. Estimation of driving rain index for Índia. **Building and Environment**. n. 37, 2002. p.549-554.

Os vários coeficientes de correção para o valor calculado de índice de chuva dirigida, tais como condições do entorno, relevo, vegetação, altura da edificação, forma da fachada, os diversos materiais, condições de direção do vento, entre outros são apresentados pela norma BS 8104/92 (BRITISH STANDARD⁹, 1992). Esta é a única norma que relaciona a variável chuva dirigida (LIMA; MORELLI, 2005).

Lima; Morelli (2005) apresentam um estudo onde foi determinado um mapa para o índice de chuva dirigida para o Brasil (figura 38), apresentando considerações de macroclima bastante específicas para o ano de 2004. Os dados de referência do mapa foram coletados no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC, 2004). Os autores ressaltam, ainda, 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.

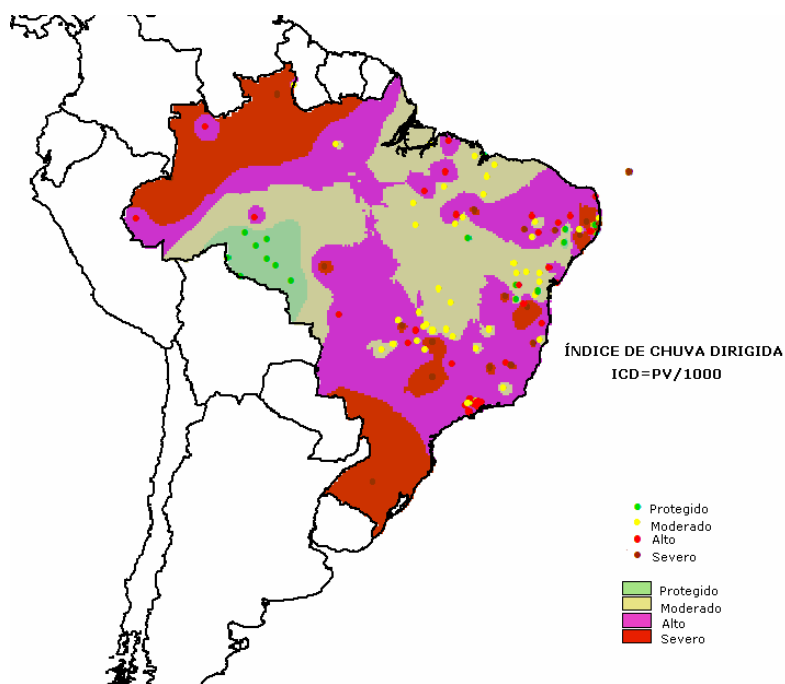


Figura 38: mapa brasileiro de chuva dirigida para o ano de 2004
(fonte: LIMA; MORELLI, 2005).

Observa-se ainda na figura 38 que o Brasil apresenta na maioria do território nacional um alto grau de exposição à chuva dirigida. 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.

Silva e Giralt (1995) estabeleceram um índice de chuva dirigida e intensidade de precipitação para Porto Alegre. Com base na metodologia proposta por Lacy (1977). A análise do banco de

⁹ BRITISH STANDARD. Code of practice for assessing exposure of walls to wind-driven rain. **BS 8104**. BSI. 1992, 74p.

dados meteorológico abrangeu um período de cinco anos (01/01/1977 a 31/12/1981), as informações foram coletadas pela estação meteorológica de Porto Alegre, e informatizadas na Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC).

Para o cálculo foram utilizados os seguintes dados de referência. 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). Velocidade média calculada no momento das precipitações 3,44m/s. O índice de chuva dirigida calculado para o caso de Porto Alegre, com base nos dados foi $3,92\text{m}^2/\text{s}$, que corresponde a uma exposição tipo moderada.

Segundo os valores de Lima; Morelli (2005), Porto Alegre possui exposição severa, enquanto pelos valores de Silva; Giralt (1995) a exposição é moderada. Outros autores Monquart¹⁰ (1969), Aroztegui (1977), citados por Silva; Giralt (1995), ao calcularam o índice de chuva dirigida para Porto Alegre, obtiveram um grau de exposição moderada e protegida, respectivamente. Esta variação de valores de exposição ocorre devido ao índice calculado fornecer apenas uma indicação sobre as condições gerais de exposição do local. Visto que a penetração de chuva na edificação depende da intensidade instantânea da chuva e da velocidade do vento neste instante (SILVA; GIRALT, 1995).

O grau de exposição das fachadas à chuva incidente é diferente para cada uma delas levando-se em conta a orientação. As fachadas expostas a este fenômeno estarão mais sujeitas ao manchamento de suas superfícies, assim como sofrerão maior desgaste dos revestimentos (SILVA; GIRALT, 1995). Com relação à frequência das chuvas em função das direções do vento, em Porto Alegre, é possível constatar, com base na figura 39, que há um importante desequilíbrio em favor dos setores Leste (L) a Leste-Sudeste (ESE) e Sul (S), onde a maioria dos ventos portadores de chuva vem destes setores.

¹⁰ MONQUART, H. E. **Determinantes climatológicas para a arquitetura em Porto Alegre e R. G. do Sul.** Porto Alegre, UFRGS, 1969.

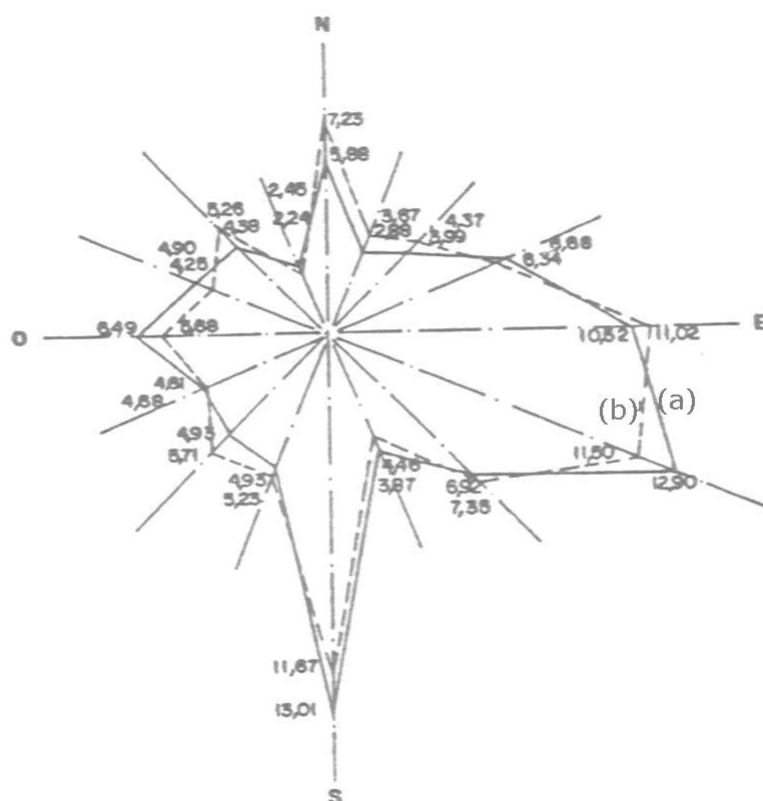


Figura 39: (a) frequência das chuvas (% de horas total);
(b) precipitação(% total) (fonte: SILVA E GIRALT, 1995).

A figura 40 mostra, em função das direções do vento, a velocidade dos ventos, a intensidade na média horizontal e a intensidade na média vertical das chuvas. Observa-se que há uma homogeneidade na distribuição da intensidade média horizontal das chuvas e um desequilíbrio na distribuição da intensidade média vertical em favor da direção Su-Sudoeste (SSO), o que ocasiona alta velocidade do vento nesta direção, e na direção Nor-Nordeste (NNE), observa-se maior intensidade horizontal.

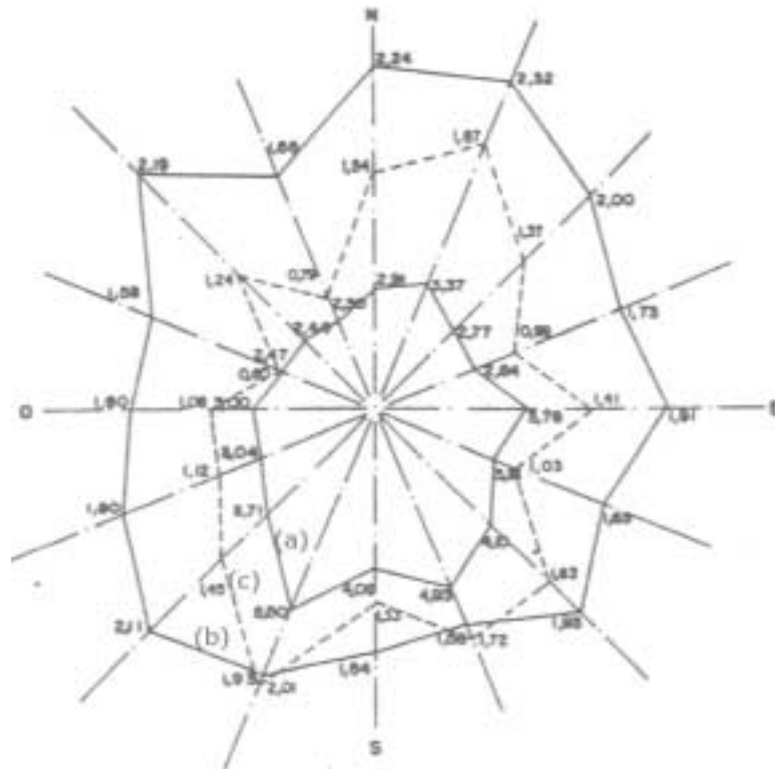


Figura 40: curva (a): velocidade média do vento durante a chuva(m/s);
 curva (b): intensidade média horizontal das chuvas (mm/h); curva (c):
 intensidade média vertical das chuvas (mm/h)
 (fonte: SILVA E GIRALT, 1995).

A figura 41 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 Su-Sudeste (SSE).

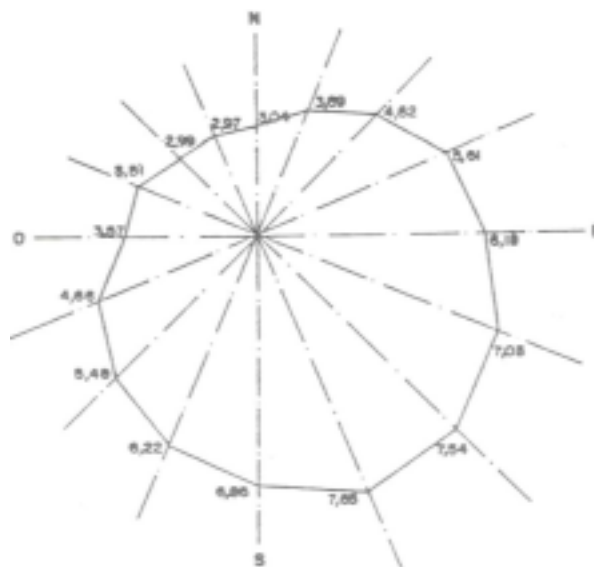


Figura 41: grau de exposição das fachadas à chuva dirigida, na região
 de Porto Alegre, em função de suas orientações
 (fonte: SILVA E GIRALT, 1995).

Segundo os autores, os resultados reproduzidos na figura 41, devem ser considerados apenas como um indicativo 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. Dessa forma não se pode aplicar a classificação de Lacy para o grau de exposição das fachadas. Pode-se, no entanto verificar por comparação a diferença de exposição frente aos agentes agressivos (vento e chuva dirigida) das fachadas das edificações. Em Porto Alegre, fachadas orientadas Leste-Sudeste (ESE) a Su-Sudeste (SSE) estão mais solicitadas do que as que possuem orientação Norte (N) a Oeste (O).

3.2.3 Penetração de água em fachadas

A água da chuva incidente nas fachadas das edificações pressionada pela ação do vento provoca graus de exposição à água que causam manifestações patológicas, diminuindo muitas vezes a vida útil dos componentes externos da edificação. Detalhes arquitetônicos de fachada como pequenas saliências ou projeções são capazes de reduzir até a metade do fluxo (50%) de água que normalmente incidiria sobre as superfícies das fachadas (THOMAZ, 1990, p. 111).

Perez (1988a, p.574) e Thomaz (1990, p.111) ao analisarem diagramas de fluxos de água em pingadeiras com diferentes tamanhos e geometrias, conforme figura 42, mostram o descolamento da lâmina de água da superfície das fachadas. Esses elementos construtivos são capazes de redirecionar o fluxo de água que normalmente escorreria diretamente na parede.

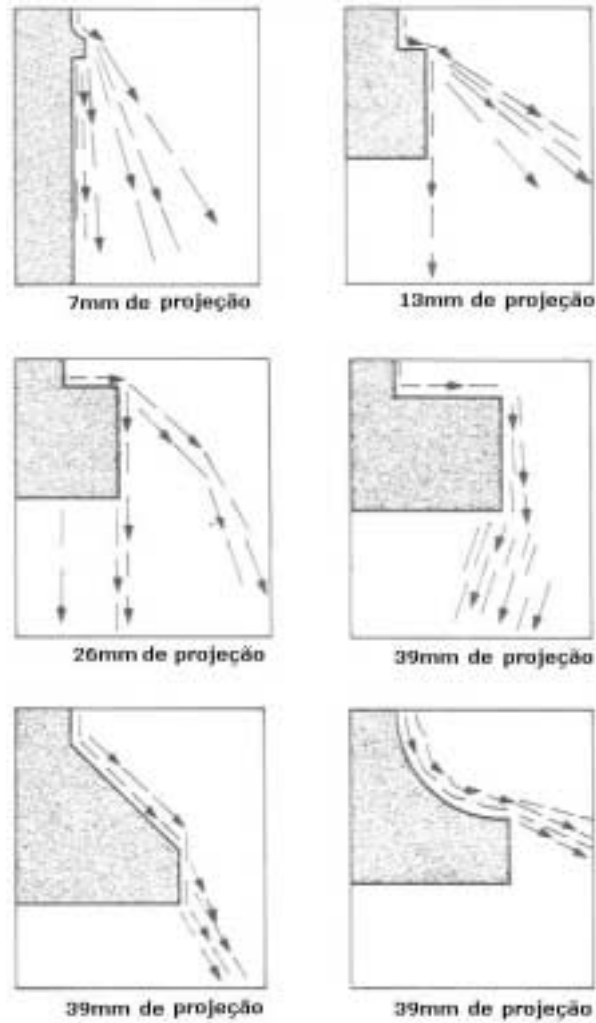


Figura 42: diagramas dos fluxos de água em pingadeiras com diferentes geometrias (fonte: PEREZ, 1988a, p. 574 e THOMAZ, 1990, p.111).

Os autores complementam ainda, que a espessura e rugosidade da parede, qualidade do tratamento superficial, o tratamento arquitetônico da fachada (presença ou não de frisos, pingadeiras, entre outros), orientação da fachada levando em consideração a predominância dos ventos, intensidade e duração das chuvas, propriedades do material constituinte dos componentes de alvenaria (higroscopicidade, porosidade, absorção de água, etc.), são fatores que determinarão à quantidade de umidade que penetrará nas paredes.

Petrucci (2000, p.25) ao citar os prováveis padrões de escoamento do ar em projeção vertical e ao redor dos edifícios, e prováveis trajetórias das gotas de chuva, de acordo com estudos

realizados por Verhoef¹¹ (1988), demonstra o provável comportamento dos agentes de deposição de umidade nas fachadas através da figura 43.

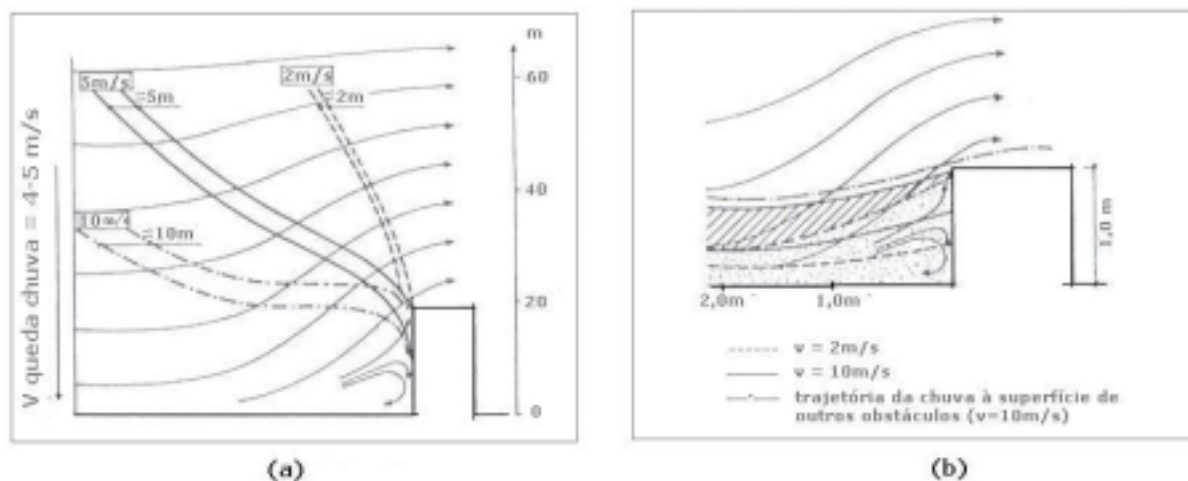


Figura 43: prováveis padrões de escoamento do ar e trajetórias e trajetórias das gotas de chuva: (a) ao redor da edificação; (b) em projeção vertical (fonte: VERHOEF, 1988, apud PETRUCCI, 2000, p.25).

As gotas de chuva, em sua trajetória descendente, são defletadas por um fluxo de ar de maneira que sua trajetória seja inclinada em vez de vertical. Próximo da face do edifício as gotas são defletadas novamente, agora pelas correntes de ar próximas as superfícies da edificação. O fator de deflexão (mais ou menos defletadas) das gotas de chuva próximas às faces da edificação depende do tamanho da gota. Gotas pequenas são mais facilmente defletadas, gotas maiores (com maior inércia), são mais difíceis de serem defletadas. Nos cantos e topos das edificações o fluxo de ar muda bruscamente. Desse modo pode-se verificar que a chuva não incide sobre as fachadas das edificações de modo uniforme (BAUER, 1987, p.65).

Surry et al. (1994), demonstram através de ensaios de modelos reduzidos de edificações colocados em túnel de vento de camada limite, em escala, no qual foram simuladas as características de vento e chuva dirigida, que o padrão típico de umedecimento das fachadas voltadas para a chuva dirigida pelo vento ocorre em forma de parábola, com maior deposição no topo e cantos da face exposta, e no restante da parede poderá ser observado o escoamento para baixo numa face relativamente seca.

¹¹ VERHOEF, F. 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.

No início de uma chuva forte, o topo e os cantos laterais da face exposta irão umedecer, a natureza dos materiais de revestimento da superfície irá determinar o que acontecerá na continuação da chuva. Segundo Robinson; Baker (1975, p.8), a taxa de depósito após exceda a taxa de absorção, a água começará a migrar pela parede em direção ao solo. No caso de materiais não porosos a migração da água se dará quase que imediatamente. Os autores em análises feitas em modelos reais (edifícios em Ottawa, Canadá) identificam o padrão de umedecimento. A figura 44 traz uma das observações em seqüência em time-lapse de um edifício com painéis pré-fabricados de concreto com agregados expostos em suas fachadas.

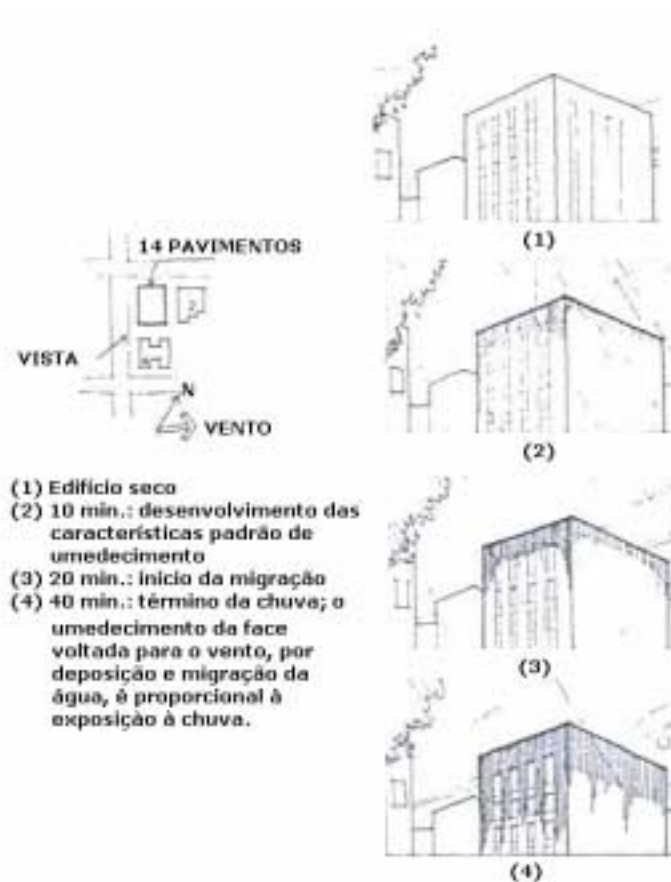


Figura 44: padrão de umedecimento das fachadas, em seqüência em *time-lapse*, de um edifício com painéis pré fabricados de concreto com agregados expostos em suas fachadas (fonte: ROBINSON; BAKER, 1975).

O comportamento da migração do fluxo de água sobre a superfície da edificação será determinado pelos seguintes fatores: localização e concentração da incidência da chuva, das forças de vento e gravidade, porosidade, textura e geometria da superfície do edifício (BAUER, 1987, p.68). O fluxo de água superficial em direção ao solo, irá se concentrar em

projeções verticais na superfície. Segundo Thomaz (1990, p. 113) a presença de janelas ou portas forma saliências e/ou reentrâncias nas fachadas, essas discontinuidades alterarão o fluxo descendente da água na superfície da edificação. Essa 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 (figura 45). Além disso, observa-se também que a frequência desses eventos provoca manchas permanentes localizados nas paredes.

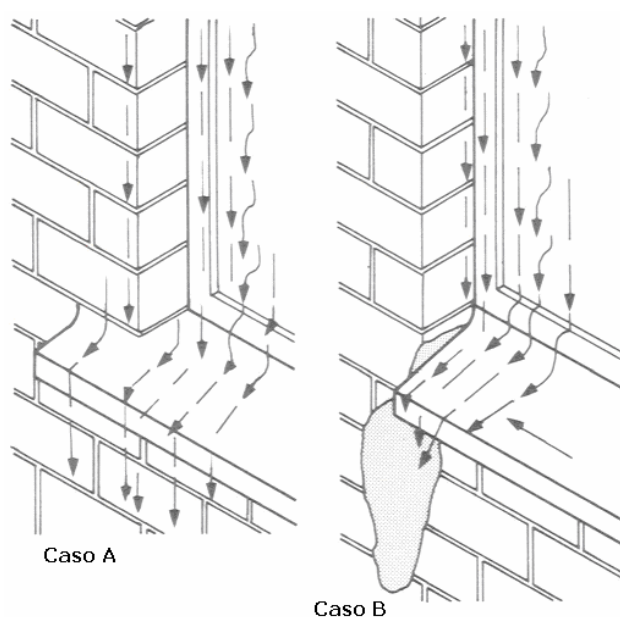


Figura 45: trajetória do fluxo de água nas esquadrias
(fonte: THOMAZ, 1990, p.113).

A partir da trajetória do fluxo de água nas fachadas é possível identificar como resultantes três tipos de manchamentos. São eles: *lavado sujo*, *lavado limpo* e *acúmulo de sujeira*. Robinson; Baker (1975) demonstram através da figura 46 que as faixas de manchamento se produzem nos peitoris de janela, conforme citado anteriormente, e abaixo de plataformas horizontais por onde a água desliza.

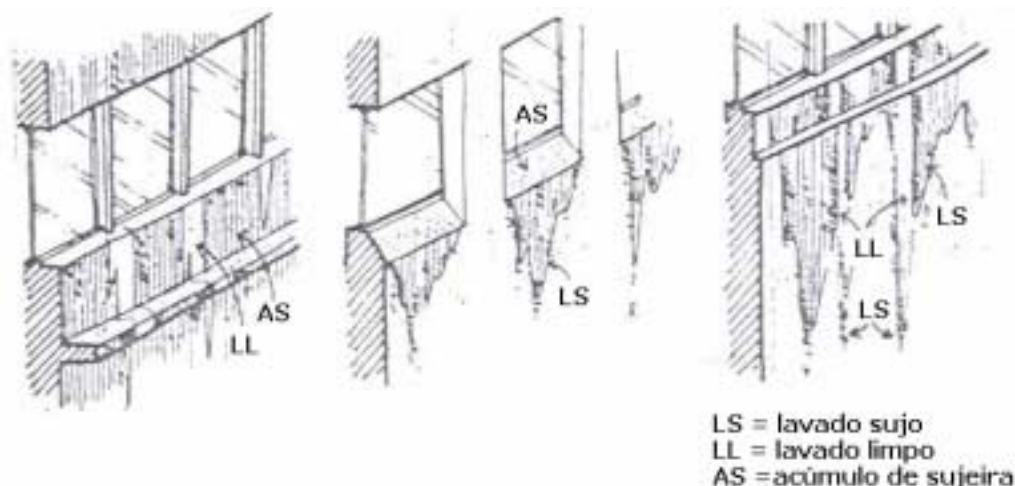


Figura 46: lavado sujo, lavado limpo, acúmulo de sujeira
(fonte: ROBINSON; BAKER, 1975).

Robinson; Baker (1975) definem lavado como a ação ou a redução da aderência das partículas de sujeira situadas sobre um plano. Nas superfícies das fachadas ocorre com frequência escoamentos diferenciados. Quando o escoamento tem intensidade suficiente para permitir o desenvolvimento de um fluxo de água que possibilite arrastar as partículas de sujeira, tem-se do lavado limpo, que ocorre com maior frequência nas superfícies mais baixas das fachadas. Quando ocorre o acúmulo de água quer por umidade ou por condensação na superfície da fachada, proporcionando o depósito de partículas nos poros, tem-se o lavado sujo. Escoamentos de sujeiras de planos com acúmulo de sujeira proporcionam que a água carregue para baixo grande quantidade de partículas, depositando-as sobre superfícies verticais ou inclinadas mantendo-as com sujeira reforçada, causando contraste diferenciados sobre as superfícies.

Petrucci (2000, p.28), com base nos estudos de Beijer¹² (1977) 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 escoada, de acordo com a lei da gravidade, em direção ao solo, com baixa velocidade (aproximadamente 1m/min.) e muito sensível às irregularidades do paramento. Durante sua trajetória descendente a água é absorvida continuamente pelo material de revestimento e

¹² BEIJER, O. Concrete walls and weathering. In: SYMPOSIUM ON EVALUATION OF EXTERNAL VERTICAL SURFACES OF BUILDINGS, 1977, Otaniemi, Espoo, Finland. **Proceedings...** Otaniemi, Espoo, Finland: RILEM/ASTM/CIB, 1977. 3v. v.1, p. 67-76.

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 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.

Segundo Carrié et al. (1975), o deslocamento da água sobre a superfície somada aos depósitos de poeira aumenta o poder abrasivo exercido pelo atrito proporcionando o aumento da degradação das superfícies em que o evento está ocorrendo.

Os detalhes construtivos dos componentes das fachadas são os principais meios de controle do fluxo de água sobre a parede. Robinson; Baker (1975) classificam combinações de elementos do edifício de acordo com sua influência no fluxo de água da superfície. Essa classificação é dividida em três itens: canais contínuos, planos contínuos, canais e planos combinados.

Os canais contínuos são projeções ou reentrâncias que bloqueiam o fluxo de água que se desloca diagonalmente sobre uma superfície plana adjacente. Como exemplos tem-se colunas, elementos decorativos de fachadas (negativos e positivos), juntas de construção e expansão, entre outros, conforme a figura 47.

Escorrimento concentrado em canais contínuos (C).
incidência ventos: esquerda

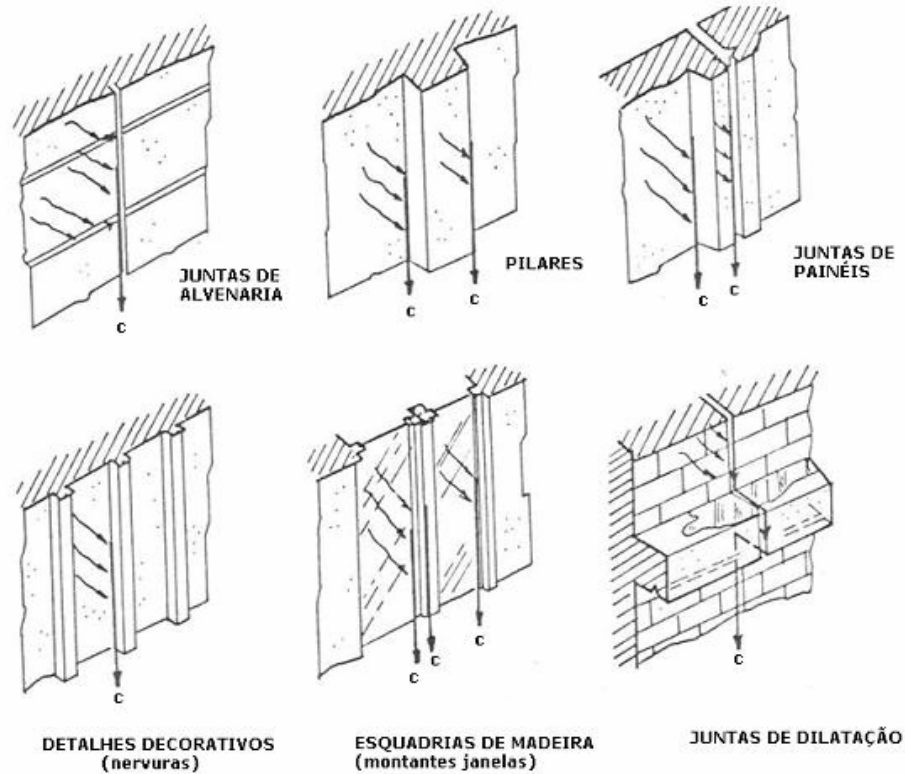
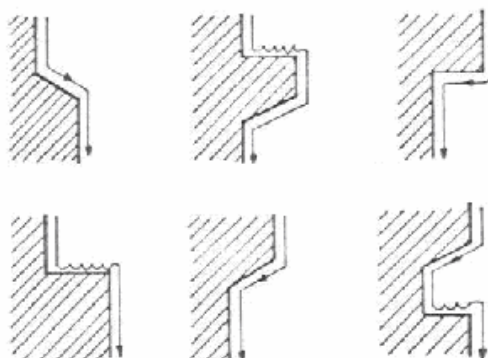


Figura 47: fluxos concentrados em canais contínuos
(fonte: ROBINSON; BAKER, 1975).

Os planos contínuos são a combinação de superfícies horizontais, verticais e inclinadas, permitindo o fluxo de água sobre os elementos sem que ocorra o gotejamento nos cantos horizontais externos. Como exemplos de planos contínuos têm-se molduras verticais, horizontais e inclinadas, peitoris, conforme figura 48.

CORTE VERTICAL
Planos contínuos - exemplos generalizados
mostrando fluxo e possíveis represamentos em
superfícies horizontais



Exemplos de fluxos de água sobre
fachada de edificação (escorrimento)

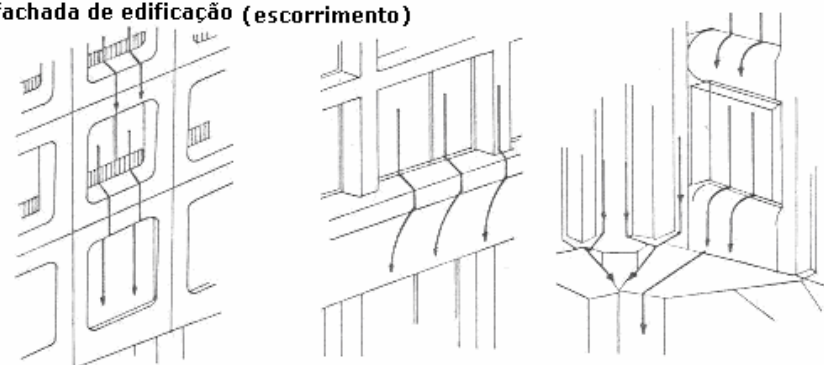
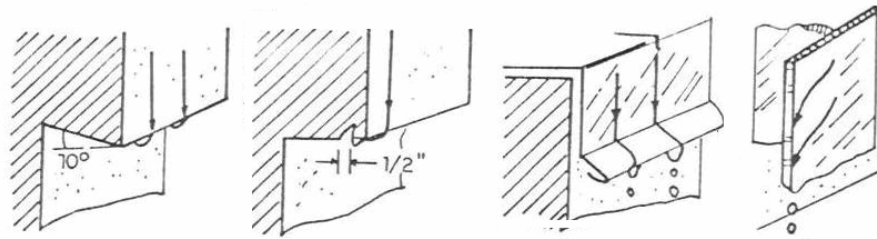
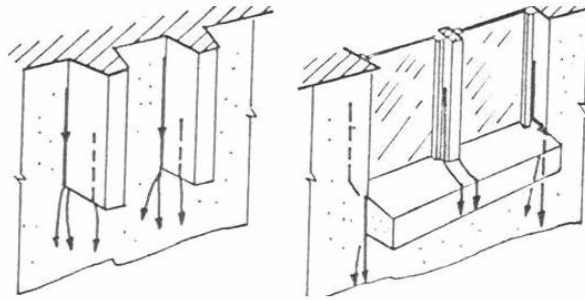


Figura 48: planos contínuos (fonte: ROBINSON; BAKER, 1975).

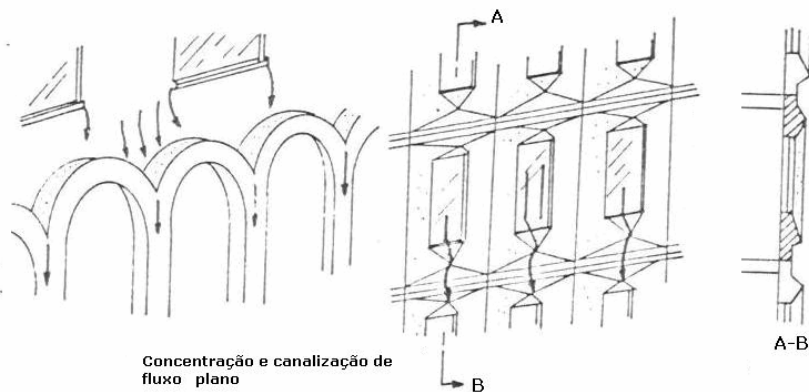
Os canais e planos combinados são identificados pela descontinuidade de planos e canais que determinam alterações na natureza do fluxo de água. Essa descontinuidade pode acarretar num aumento ou diminuição do fluxo de água. Os fluxos podem se desprender por gotejamento assim que o elemento termine ou fluxos dispersos em um plano podem concentrar-se em um canal. Portanto este fenômeno é o somatório das duas situações acima mencionadas, conforme figura 49.



Fluxo plano e fluxo canalizado sendo dispersos em forma de gotejo devido a efeito de descontinuidade



Fluxo canalizado disperso em superfície plana



Concentração e canalização de fluxo plano

Figura 49: canais e planos combinados (fonte: ROBINSON; BAKER, 1975).

3.2.4 Clima urbano

A atmosfera pode ser descrita como uma camada fina de gases, sem cheiro, sem cor e sem gosto, presa à Terra pela força da gravidade. Compreende uma mistura mecânica e estável de gases, sendo que os mais importantes são o nitrogênio (78,08%), o oxigênio (20,94%), o argônio (0,93%), o bióxido de carbono (0,03% variável), o ozônio e o vapor d'água e outros gases em concentrações variáveis e quantidades menores (AYOADE, 1998, p. 15). Segundo Lima et al. (1998), 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.

A atmosfera contém quantidades variáveis, porém significativas de aerossóis. Eles são partículas de poeira em suspensão, fumaça, matéria orgânica, sal marinho, etc., que vêm tanto de fontes naturais quanto das produzidas pelo homem (AYOADE, 1998, p. 17). O aerossol formado por partículas finas em suspensão no ar é denominado névoa ou neblina, e pó atmosfera ao formado por partículas sólidas. O aerossol misto também denominado de fumaça, dispersão de partículas em fase sólida e líquida, resulta principalmente, da combustão de óleo diesel e consta, basicamente, de carvão e outros materiais combustíveis (VALLEJO, 1990, p.18 apud PETRUCCI, 2000, p. 10).

O vapor d'água, o ozônio, o bióxido de carbono e os aerossóis desempenham papéis importantes na distribuição e nas trocas de energia dentro da atmosfera e entre a superfície da Terra e a atmosfera (AYOADE, 1998, p. 17).

As alterações ocorridas no ambiente natural em função da ação do homem, como urbanização, industrialização, desmatamentos, entre outros, podem gerar alterações climáticas. Ayoade (1998, p. 300) relata que, o maior impacto do homem sobre o clima acontece nas áreas urbanas. O homem exerce um impacto tão grande nessas áreas que o clima urbano é bastante distinto, por suas características, do clima das áreas rurais circundantes. O autor observa que a composição química da atmosfera é alterada nas áreas urbanas. As propriedades térmicas e hidrológicas da superfície terrestre, assim como, seus parâmetros aerodinâmicos são modificados pelos processos de urbanização e industrialização.

Hasenack; Ferraro (1998, p.149), relatam que as alterações do clima urbano estão relacionadas com a modificação das características térmicas da superfície, dos ventos, das taxas de evaporação e do acréscimo de calor por combustão, aquecimento do espaço e metabolismo do corpo humano.

As superfícies naturais são substituídas por superfícies pavimentadas, ruas e telhados de prédios. Como resultado, a radiação em ondas longas e a de ondas curtas são reduzidas sobre as áreas urbanas. A umidade é reduzida, há certo aumento na precipitação e na quantidade de nebulosidade. Os nevoeiros e neblinas são mais espessos, ocorrendo com maior frequência, já os ventos fortes são desacelerados e os ventos fracos acelerados à medida que se movimentam

em áreas urbanas (AYOADE, 1998, p. 300). As mudanças climáticas produzidas nas cidades em comparação com a zona rural podem ser observadas na tabela 11.

Tabela 11: mudanças climáticas produzidas pelas cidades

ELEMENTOS	COMPARAÇÃO COM A ZONA RURAL
POLUENTE	
- Partículas sólidas	10 vezes mais
- Bióxido de enxofre	05 vezes mais
- Bióxido de carbono	10 vezes mais
- Monóxido de carbono	25 vezes mais
RADIAÇÃO	
- Total sobre a superfície horizontal	15 a 20% menos
- ultravioleta, no inverno	30% menos
- ultravioleta, no verão	05% menos
- duração da radiação	05 a 15% menos
NEBULOSIDADE	
- cobertura de nuvens	05 a 10% a mais
- nevoeiro, no inverno	100% mais
- nevoeiro, no verão	30% a mais
PRECIPITAÇÃO	
- quantidade total	05 a 10% a mais
- dias de chuva com 5mm	10% a mais
- queda de neve	05% a menos
- dias com neve	14% menos
TEMPERATURA	
- média anual	0,5 a 1,0 C a mais
- mínimas de inverno	1,0 a 2,0 C a mais
- aquecimento de graus-dias	10% menos
UMIDADE RELATIVA	
- média anual	6% menos
- inverno	2% menos
- verão	8% menos
VELOCIDADE DO VENTO	
- média anual	20 a 30% menos
- movimentos extremos	10 a 20% menos
- calmarias	05 a 20% a mais

(fonte: LANDSBERG¹³, 1970 apud AYOADE, 1998, p. 301).

¹³ LANDSBERG, H. E. Man-made climatic changes. Science, 170: 1265-1274, 1970.

Dois aspectos do clima urbano possuem grande influência no fator de degradação das fachadas:

- a) o aumento da temperatura em áreas urbanas – o fenômeno chamado ilha de calor¹⁴;
- b) a poluição do ar.

No que diz respeito à poluição do ar, Ayoade (1998, p. 302), ressalta ainda que o efeito estufa da camada da poluição sobre as cidades ajuda no desenvolvimento da ilha de calor urbano. Devido à redução na radiação terrestre infravermelha para o espaço à noite, de modo que a energia fica conservada dentro da atmosfera urbana, abaixo da camada de poluição.

A poluição do ar é a introdução na atmosfera de quaisquer substâncias diferentes dos seus constituintes naturais. Portanto os poluentes podem derivar de fontes naturais ou artificiais. Os poluentes que ocorrem naturalmente são: polens, bactérias, esporos, partículas de poeira sólidas carregadas do solo pelo vento, etc. Os poluentes produzidos pelo homem incluem as partículas de fumaça, o SO₂, CO, CO₂, 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 (AYOADE, 1998, p. 305).

O pó atmosférico e as fumaças pretas são os principais responsáveis pelo manchamento por sujidade das fachadas dos edifícios. Petrucci (2000, p.10) com base em estudos realizados por Vallejo (1990), diz que a fumaça preta ou pó atmosférico são partículas finas com diâmetro inferior a 10µm.

Diversos fatores influenciam na taxa de dispersão e diluição dos poluentes na atmosfera, porém os mais importantes segundo Ayoade (1998, p. 307) são a direção e a velocidade do vento e o perfil térmico vertical que determina a estabilidade ou instabilidade do ar. Os poluentes tendem também a se concentrar mais nas partes a sotavento das cidades do que nas a barlavento. Além disto, a flutuabilidade de elementos gasosos aumenta conforme o aumento da temperatura na qual são emitidos.

¹⁴ Ilha de calor: a energia armazenada no decorrer do dia é liberada à noite, acarretando temperaturas mais elevadas em áreas mais densamente construídas (HANSENAK; FERRARO, 1998, p.147).

Rosvall (1988, p.217) complementa, a poluição do ar é composta por partículas de aerossóis e gases, a grande parte das partículas sofre deposição próxima à fonte emissora, mas podem ser transportadas a longas distâncias. Portanto os componentes aerossóis podem atingir qualquer superfície, até mesmo as abrigadas, permanecendo agarrados pelas forças de adesão as superfícies, causando o fenômeno de manchamento de fachadas. A ação da gravidade sobre essas partículas em suspensão no ar é feita naturalmente, por isso as partículas sedimentam-se e se depositam por gravidade sobre os planos horizontais ou inclinados em saliência das paredes das edificações.

Segundo Theissing (1984, p. 167), o fenômeno de degradação das fachadas pode ser causado pelo ataque químico da camada superficial e pela deposição de partículas sólidas na superfície.

3.2.4.1 Clima urbano no Centro Histórico de Porto Alegre

O clima urbano, segundo Hansenack; Ferraro (1998, p.147) é resultado de grandes alterações que ocorrem no ar das cidades. A área de localização do centro histórico de Porto Alegre, em função da intensa urbanização, possui alta densidade de edificações, escassa vegetação, possuindo características de uma ilha de calor (figura 50). Segundo Livi et al. (1998, p.169), esta área possui alto potencial de acumulação de poluentes, devido ao fato de estar situado ao longo da trajetória dos ventos predominantes e condutores da poluição emitida em ruas e avenidas que convergem em direção ao centro, conforme pode ser observado na (figura 51). Bicca et al. (2002) relatam que a área central da cidade é contornada por uma avenida perimetral, que coleta os fluxos de chegada das outras regiões e evita o tráfego de passagem dentro da área central.



Figura 50: foto aérea do Centro Histórico da cidade de Porto Alegre, com grande urbanização, alta densidade de edificações, vegetação escassa (fonte: HANSENACK; FERRARO, 1998, p.147).

A superfície muito edificada dificulta a passagem dos ventos regionais, fracos e moderados, e não proporciona as melhores condições de dispersão de poluentes. Os poluentes conduzidos ao centro da cidade acumulam-se em função da fraca velocidade ou ventilação normal sobre as edificações, em especial sobre os elementos arquitetônicos componentes das fachadas. Situação essa que só poderá ser modificada pela ação de ventos suficientemente fortes para varrer a atmosfera da região ou pela ação de chuvas prolongadas (LIVI et al., 1998, p.169).

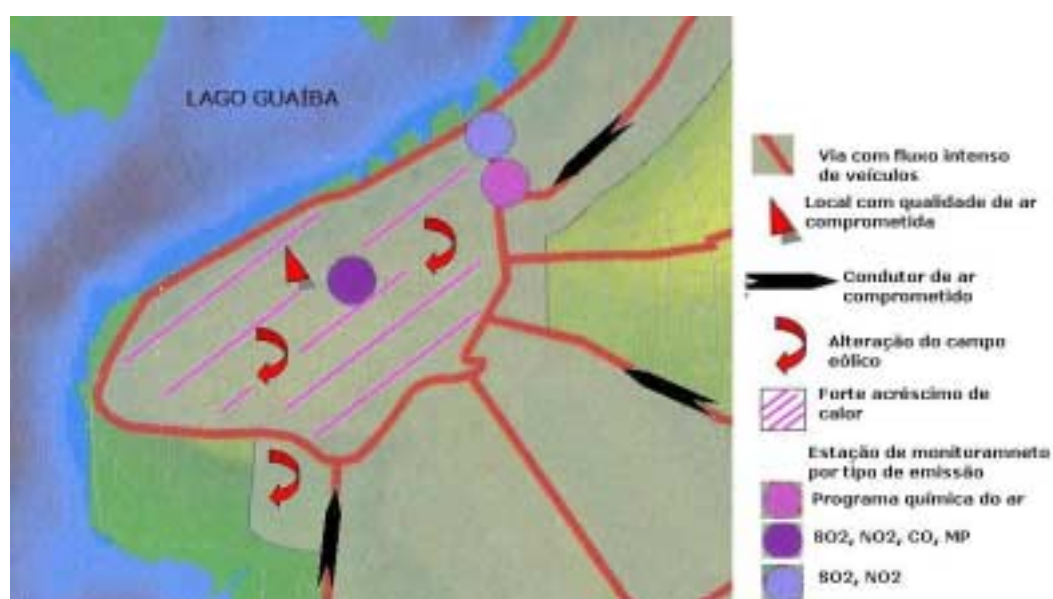


Figura 51: mapa da concentração de poluentes em Porto Alegre (fonte: Livi et al., 1998).

3.2.5 Ação de microorganismos

As condições ambientais do local de exposição de um edifício podem promover o crescimento de uma grande variedade de microorganismos, principalmente fungos, sendo que o projeto da edificação, as características do material de construção e as condições de exposição influenciam também no seu desenvolvimento (SATO et al. 2002).

Biodeterioração como qualquer mudança indesejável produzida por atividades normais de organismos vivos sobre as propriedades dos materiais. Os principais microorganismos envolvidos na biodeterioração dos materiais são os fungos, as bactérias, as algas e líquens. Os grupos de organismos que se desenvolvem sobre pinturas geralmente são bactérias e fungos, e sobre concretos e alvenarias são algas e líquens (SATO et al., 1995).

Os fungos são organismos heterotróficos, ou seja, necessitam compostos pré-elaborados como fonte de alimento. Estes compostos podem ser encontrados em diversos materiais utilizados como revestimento. Alguns sistemas de revestimento podem servir como fonte de nutrientes ou apenas servir como substrato permitindo seu desenvolvimento (SATO et al., 2002).

Fatores com luz, umidade, temperatura e o vento influem no crescimento dos agentes biológicos. Porém o teor de umidade superficial da alvenaria é o fator mais importante que determina o padrão de crescimento destes organismos. O umedecimento das superfícies depende das condições climáticas gerais e de localidade (SATO et al., 1995). Os autores complementam que em revestimentos internos e externos das edificações o crescimento de fungos causa o aparecimento de manchas escuras e sua permanência em longo prazo pode levar a biodeterioração das argamassas. Para o crescimento dos fungos emboladores e de organismos fototróficos como as algas e cianobactérias nas paredes das edificações, a umidade relativa na região superficial deve estar acima de um valor crítico e a temperatura superficial também deve ser favorável ao crescimento destes microorganismos. A maioria dos microorganismos se desenvolve em temperaturas acima de 4° C, abaixo deste valor, mesmo com umidades elevadas não há proliferação (SATO et al., 2002).

Segundo Sato et al. (1995) a localização da edificação também é um fator importante, em regiões mais protegidas dos ventos, onde a umidade é maior, ocorre crescimento mais acentuado. Os detalhes construtivos das edificações, neste aspecto, é um importante fator no

estabelecimento e severidade do crescimento desses microorganismos. A poluição atmosférica, pelo aumento do teor de material particulado composto de nutrientes como carbono e compostos de enxofre e nitrogênio pode favorecer o desenvolvimento desses agentes biológicos. As características físicas do substrato, como textura e rugosidade, interferem na retenção de partículas da atmosfera. Materiais porosos possuem maior permeabilidade e absorvem mais água da chuva, por exemplo, propiciando o desenvolvimento destes organismos. Perrichet (1984, p.173), relata que a ação de microorganismos também causa desgaste, deterioração e conseqüente comprometimento estético dos materiais constituintes das fachadas.

4 ESTUDO DE CASO

A partir deste capítulo serão analisados os detalhes arquitetônicos, as condições microclimáticas (temperatura, umidade, vento, chuva incidente) do contexto urbano e a influência dessas variáveis no estado de conservação das fachadas do centro histórico da cidade de Porto Alegre/RS. Esta análise será realizada através de um estudo de caso.

Os critérios para seleção dos exemplares para o estudo de caso foram os seguintes:

- a) as edificações deveriam estar localizadas no centro histórico da cidade de Porto Alegre, na área do Programa Monumenta;
- b) as edificações deveriam possuir época construtiva entre o fim do século XVIII e início do século XX.

Utilizou-se esse critério de seleção dos exemplares porque nesta região da cidade as edificações estão expostas com maior intensidade aos agentes climáticos e o entorno urbano do centro histórico sofreu grandes transformações do meio ambiente. Além disso, as edificações construídas no período estipulado possuem riqueza de detalhes arquitetônicos de fachadas.

Primeiramente, foi realizado um levantamento fotográfico das fachadas de prédios residenciais unifamiliares, prédios residenciais multifamiliares e prédios mistos com até quatro pavimentos, na área delimitada entre as ruas Duque de Caxias, Fernando Machado, General Auto, Espírito Santo (figura 52), totalizando 19 unidades, conforme tabela 12.

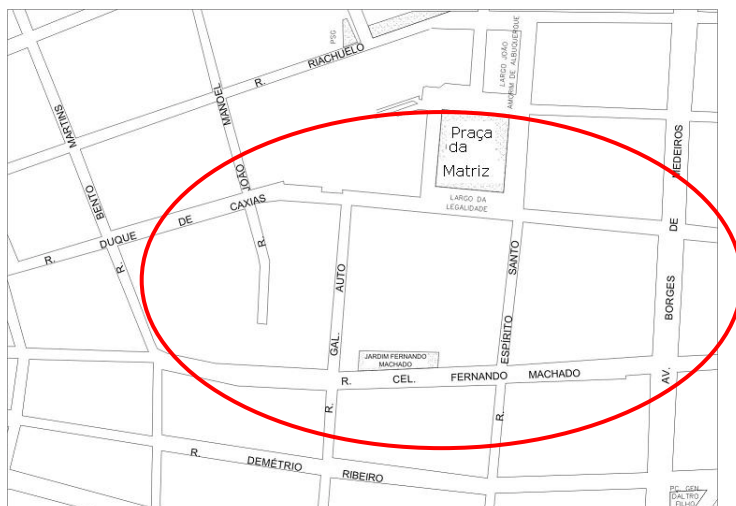


Figura 52: localização das edificações no centro histórico de Porto Alegre, primeiro perímetro de abrangência do estudo.

Tabela 12: edificações avaliadas através de levantamento fotográfico, entre as Ruas General Auto, Duque de Caxias, Espírito Santo e Fernando Machado

ENDEREÇO	NÚMERO
Rua Duque de Caxias	863
Rua Duque de Caxias	968
Rua Duque de Caxias	973
Rua Duque de Caxias	1005
Rua Duque de Caxias	1025
Rua Duque de Caxias	1147
Rua Espírito Santo	95
Rua General Auto	68
Rua General Auto	85
Rua General Auto	101
Rua General Auto	111
Rua General Auto	117
Rua General Auto	211
Rua General Auto	219
Rua General Auto	229
Rua General Auto	239
Rua Fernando Machado	733
Rua Fernando Machado	707
Rua Fernando Machado	583

Após a análise preliminar dos exemplares optou-se por estudar 04 edificações localizadas na Rua General Auto, números 211, 219, 229, 239 (figuras 53, 54, 55), por haver um estudo com registro fotográfico destes exemplares realizado por Vieira (1989), o que possibilita, em especial, fazer um comparativo referente ao estado de conservação das fachadas levando-se em conta a contribuição dos detalhes arquitetônicos para a conservação das mesmas, uma vez

que estas edificações não sofreram nenhum tipo de manutenção preventiva durante esse período de 17 anos. Vários autores, entre eles, Petrucci (2000), Lima; Moreli; Lencioni (2005) citam a importância do estudo do estado de conservação das fachadas levando-se em conta o envelhecimento natural das edificações. Segundo Lima; Moreli; Lencioni (2005) estudos sobre degradação ou durabilidade das edificações levam em consideração apenas aspectos relacionados com as propriedades, em especial as mecânicas, dos materiais e sistemas. Poucos são os estudos que envolvem envelhecimento natural ou mesmo ensaios de longa duração.



Figura 53: localização das edificações no centro histórico de Porto Alegre, que possuem levantamento fotográfico realizado por Vieira (1989).



Figura 54: edificações em análise, Rua General Auto
n^{os} 211, 219, 229, 239



Figura 55: vista frontal das fachadas das 04 edificações em análise,
Rua General Auto nos (a) 239, (b) 229, (c) 219, (d) 211.

4.1 CLIMA E CLIMA URBANO EM PORTO ALEGRE

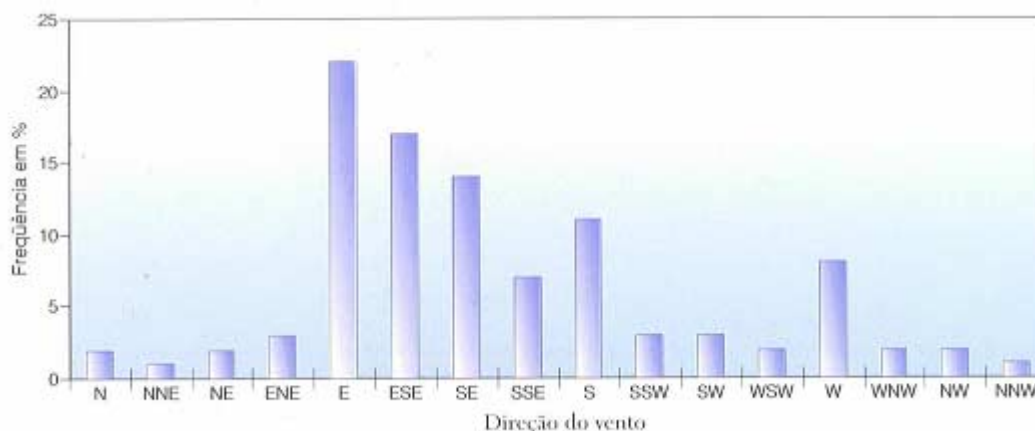
A seguir serão expostos alguns dados referentes às condições do clima e do clima urbano de Porto Alegre, relacionados ao estudo de caso. O clima urbano é um sistema que abrange o clima de um determinado espaço terrestre e sua urbanização. O estudo de um clima urbano requer a observação da topografia do sítio, análise do processo de metropolização ou a relação da cidade com o entorno rural imediato, inserido numa evolução histórica (MASCARÓ, 2004, p. 31).

4.1.1 Clima em Porto Alegre

Em Porto Alegre ao longo do ano, segundo Livi (1998, p.74), a frequência anual das principais direções do vento mais frequentes são Leste (E), Leste-sudeste(ESE) e Sudeste (SE). A figura 56 mostra a frequência anual das principais direções do vento, e a frequência média anual de ocorrência de direções do vento, em Porto Alegre.



(a)



(b)

Figura 56: (a) frequência anual das principais direções do vento em Porto Alegre; (b) frequência média anual de ocorrência de direções do vento, em Porto Alegre (fonte: LIVI,1998, p.74).

Uber (1992, p.73), com base nos dados de observações coletadas ao longo de duas décadas compreendidas entre 1951 a 1970, na Estação Meteorológica do Aeroporto Salgado Filho observou que nos arredores do aeroporto ocorre predominância de direção do vento Sudeste, e nos meses de setembro a novembro essa predominância chega a 100%. A direção Leste ocorre

de dezembro a abril durante a noite e madrugada, e a direção oeste de maio a julho, da manhã ao meio da tarde. O vento sul ocorre no início das tardes de abril e entre as 6 e 16h de agosto. Mascaró (2004, p.25) complementa ventos calmos, de oeste, ocorrem preferencialmente nas madrugadas de maio a julho e manhãs de abril. Em Porto Alegre a primavera se caracteriza pela ascensão e o outono pelo declínio da velocidade média do vento. A figura 57 mostra a velocidade do vento ao longo do dia evidenciando a sua relação com a temperatura do ar e a figura 58 a forma com que a velocidade média do vento se comporta ao longo do ano na cidade de Porto Alegre.

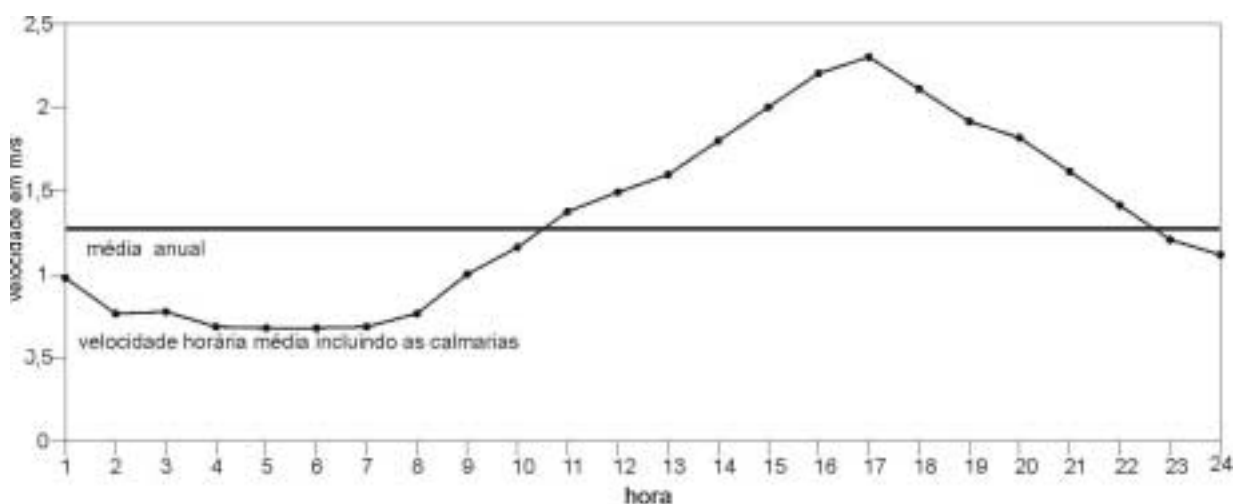


Figura 57: velocidade horária média do vento incluindo as calmarias (fonte: LIVI,1998, p.74).

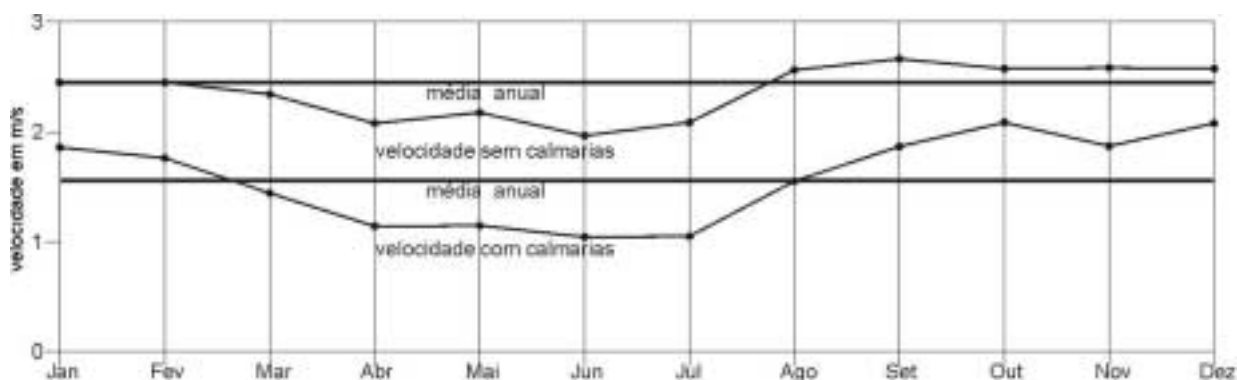


Figura 58: velocidade horária média do vento com e sem a inclusão de calmarias (fonte: LIVI,1998, p.74).

Desta forma, com base na figura 58, percebe-se que há redução da velocidade do vento durante o período mais frio do ano (inverno), aumentando os registros de ventos calmos.

Em Porto Alegre, a precipitação ao longo do ano é maior no período de inverno (junho a setembro), 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 (figura 59)

(LIVI, 1 998, p.74). Segundo dados observados por Machado citados por Aroztegui (1977, p.49), 70% das chuvas com forte carga d'água ocorrem nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

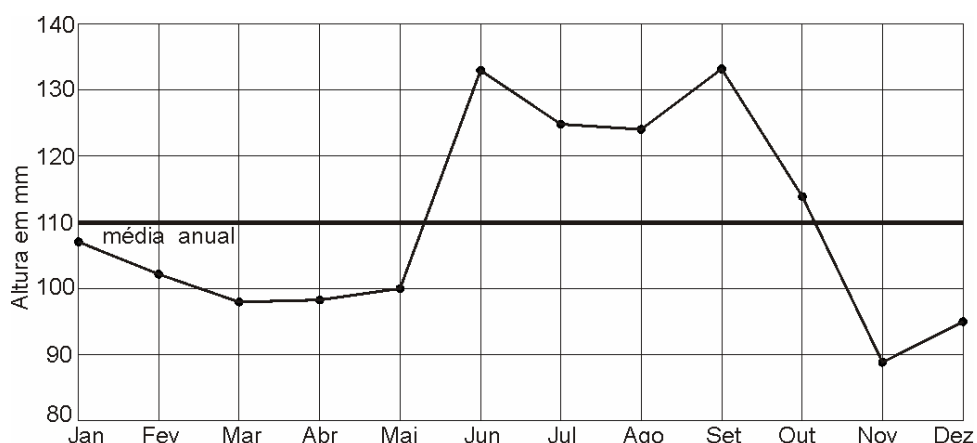


Figura 59: precipitação anual em Porto Alegre (fonte: LIVI, 1998, p.74).

A figura 60 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.

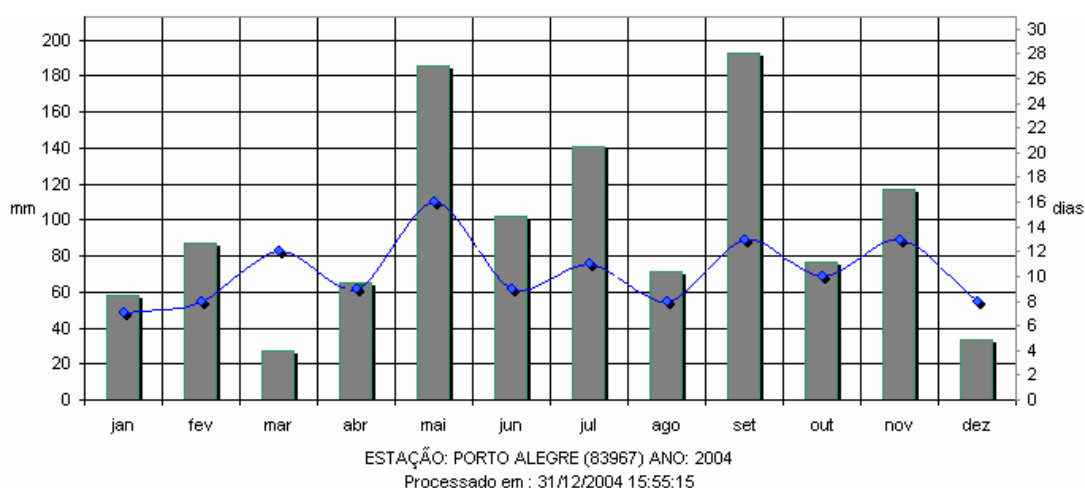


Figura 60: chuva acumulada mensal x número de dias com chuva em Porto Alegre no ano de 2004 (fonte: INMET, 2005).

Conforme dados obtidos no capítulo 3, a umidade relativa do ar em Porto Alegre mantém-se elevada com uma média de 76% durante todo o ano e conforme verificado é inversamente proporcional à variação da temperatura. A temperatura média anual é de 19,5° C e as temperaturas extremas oscilam entre 40,7° C e -2,4° C. No que se refere á insolação dezembro

é o mês mais ensolarado (período médio de 282 horas) e junho é o mês que recebe menor insolação (144 horas) (AROSZTEGUI, 1984; UBER, 1992; LIVI, 1998; MASCARÓ, 2004).

A figura 61 mostra a relação entre os índices de precipitação, taxa de umidade e horas de insolação em Porto Alegre no período 1961-1990. Durante os meses mais frios do ano (abril-setembro), ocorre baixa taxa de insolação e alta taxa de umidade, com aumento do índice pluviométrico. Percebe-se que a relação entre taxa de umidade e nível de insolação é inversamente proporcional. Estes índices fornecem um indicativo da agressividade do meio ambiente, para que as reações de degradação possam ocorrer.

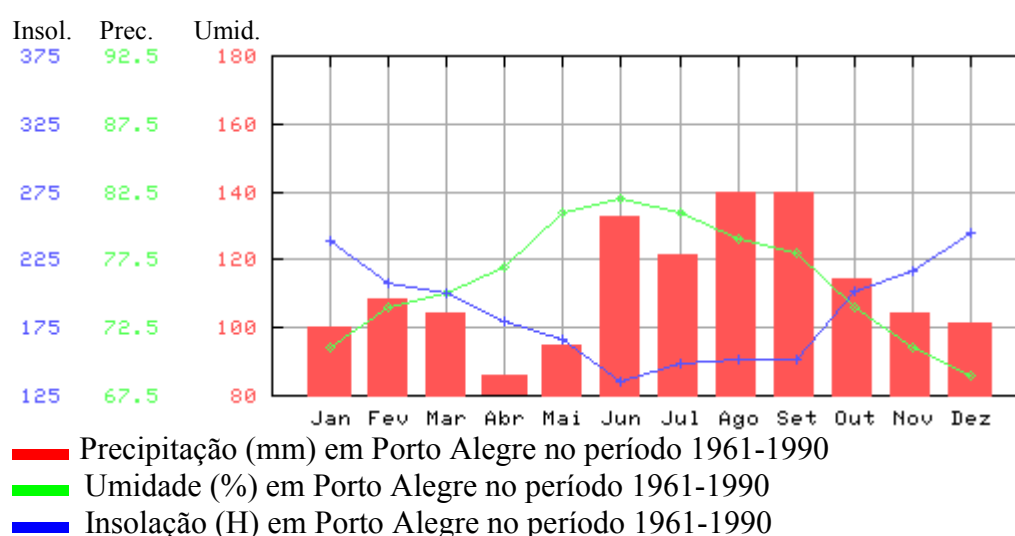


Figura 61: relação entre precipitação, umidade relativa e insolação em Porto Alegre (fonte: INMET, 2005).

Com base nos dados do clima da cidade de Porto Alegre, a seguir serão apresentadas análises que permitem a compreensão das condições do microclima e do ambiente (clima urbano) relacionado ao estudo de caso.

4.1.2 Análise dos agentes climáticos e ambientais

As características de microclima do entorno das edificações do estudo serão a seguir observadas para identificação dos principais fatores de degradação.

No local onde se encontram os exemplares em estudo é possível observar alta densidade de edificações no entorno próximo (figura 62). O centro da cidade sofreu várias alterações em função da ação do homem. Houve um processo de intenso adensamento e verticalização. O

aumento da densidade ao redor das edificações modifica as condições de ventilação, assim como da qualidade do ar (figuras 63 e 64).



Figura 62: densidade do entorno das edificações



Figura 63: vista “a”, densificação do entorno urbano (direção leste) nas imediações das edificações



Figura 64: vista “b”, densificação do entorno urbano (direção sudeste) nas imediações das edificações

O intenso fluxo de veículos nas Ruas Duque de Caxias, Cel. Fernando Machado e Demétrio Ribeiro (importantes vias longitudinais do centro histórico), segundo o Mapa potencial de poluição atmosférica por emissões veiculares (Livi et al., 1998, p. 168) (capítulo 3) identifica a área em estudo como uma das áreas da cidade com maior potencial de acumulação de poluentes ao longo do ano. Fator este potencializado pela existência de grande obstáculo natural (depressão geográfica), em relação à Rua Duque de Caxias (figura 65), o que dificulta ainda mais a dispersão de poluentes.



(a) (b)
 Figura 65: acentuado declive em relação à Rua Duque de Caxias, (a) vista aérea, direção leste; (b) vista altura do observador, direção norte.

Com base nos estudos dos efeitos aerodinâmicos do vento apresentados na revisão bibliográfica e nas informações sobre as direções preferenciais dos ventos na cidade de Porto Alegre (capítulo 3), observa-se na área em estudo a ocorrência de importante situação de escoamento do vento e conseqüente incidência combinada de chuva e vento (chuva dirigida). Há canalização do vento na Rua Fernando Machado, escoando no sentido Leste – Oeste (figura 66). A edificação de esquina da Rua Gen. Auto com a Rua Fernando Machado, se interpõe parcialmente no percurso do escoamento de vento (sentido leste-oeste), ocorrendo sobrepressão na fachada da Rua Gen. Auto e sucção na fachada da esquina voltada para a Rua Fernando Machado (figura 67). As fachadas das edificações formam praticamente um único plano, portanto os efeitos de turbulências provocadas pelos encontros de escoamentos de diferentes direções sobre irregularidades superficiais foram desconsiderados para fins deste estudo.



(a) (b)
 Figura 66: direcionamento do escoamento de vento, (a) sentido leste-oeste escoamento Rua Fernando Machado; (b) sentido leste-oeste escoamento Rua Fernando Machado, obstrução parcial do escoamento edificações Rua Gen. Auto

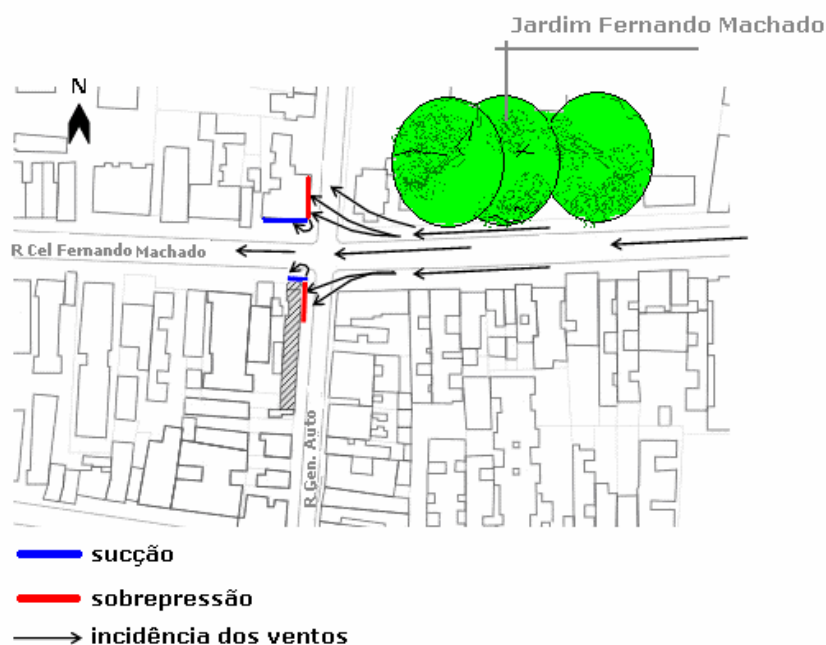


Figura 67: direção principal da incidência de escoamento de vento, sentido leste-oeste

As condições do entorno no quadrante sul-leste, com alta rugosidade superficial (área densamente construída) afetam o perfil da velocidade do vento. Os ventos incidentes neste quadrante possuem velocidade interceptada pelos edifícios que se projetam deste campo, o

tecido urbano denso e consolidado, dentro do qual se encontram os exemplares, gera diminuição da velocidade média do vento que incide sobre as fachadas em estudo (figura 68).

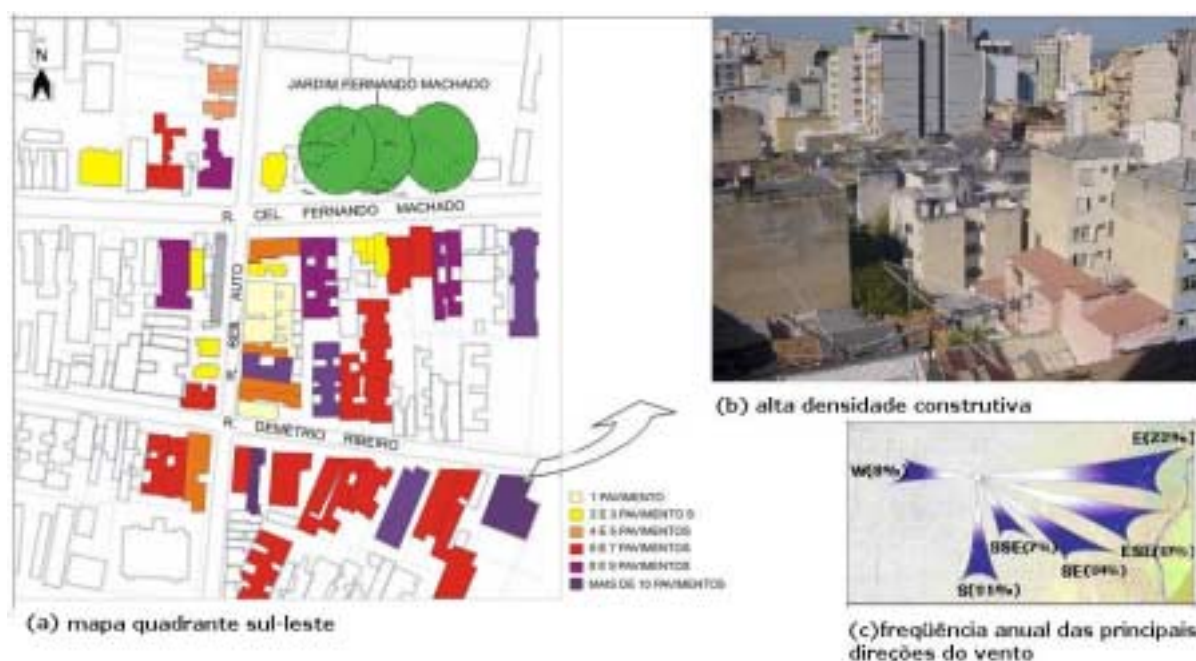


Figura 68: situação das fachadas frente as principais direções anuais do vento, condições do entorno no quadrante sul-leste.

Portanto, com relação à chuva dirigida as fachadas das edificações em estudo (com orientação leste), principalmente nas proximidades da esquina com a Rua Fernando Machado estão mais expostas à incidência direta.

Devido à área estar situada ao longo da trajetória dos ventos condutores da poluição (capítulo 3), e em função da fraca circulação de ventos (exceto na direção lesto-oeste) as fachadas em estudo estão sujeitas à ação de deposição e adesão de partículas de contaminação atmosférica sobre suas superfícies. Fator este que juntamente com a elevada umidade relativa do ar característica de Porto Alegre auxilia na adesão das partículas de sujidade sobre os paramentos das fachadas. Podendo gerar manchas de escurimento (Perez,1988; Surry et. Al. 1994; Thomaz, 1990; Petrucci,2000), na ocorrência de precipitação os pontos onde houver acúmulo de poluentes (pó, poeira, fuligem) poderão causar manchamento superficial das fachadas. As regiões da fachada que apresentam maior acúmulo de umidade e poluentes criam ainda condições mais favoráveis ao desenvolvimento de agentes biológicos, entre eles fungos (Sato et al., 1995) fenômenos favoráveis aos processos de deterioração das fachadas.

No que se refere à insolação as fachadas das edificações em estudo com orientação Leste recebem insolação no período da manhã durante todo o ano (capítulo 3) (Aroztegui, 1984; Livi et al., 1998, Mascaró, 2004), fator este que favorece a secagem superficial dos paramentos das fachadas.

4.2 CARACTERÍSTICAS ARQUITETÔNICAS E CONSTRUTIVAS DAS EDIFICAÇÕES DO ESTUDO DE CASO

A seguir será realizada uma análise geral referente às características arquitetônicas das edificações, aos aspectos relativos aos detalhes arquitetônicos, e às técnicas construtivas, relacionando-as com o estado de conservação dos elementos componentes das mesmas.

Primeiramente foi realizada uma pesquisa para identificação do projeto arquitetônico das edificações, seu autor, técnicas construtivas, assim como data de execução da obra. A pesquisa foi realizada junto ao acervo dos arquivos público e histórico municipal de Porto Alegre, Equipe do Patrimônio Histórico e Cultural do Município de Porto Alegre (EPHAC), porém não foi encontrada documentação sobre as edificações. Foi realizado, então, “in Loco” o levantamento referente aos detalhes arquitetônicos compositivos das fachadas, assim como dos materiais e possíveis métodos construtivos empregados na execução das mesmas. Dados referentes aos possíveis usos que as edificações tiveram ao longo de sua história, foram obtidos em entrevistas com os atuais moradores e usuários do local. As edificações, com exceção da que se localiza na esquina da Rua Fernando Machado, foram concebidas para uso residencial. Porém atualmente possuem uso misto (comercial no térreo e residencial no segundo e terceiro pavimentos).

As fachadas das edificações possuem características da linguagem eclética (figuras 69 e 71), ou seja, estilo que utiliza as formas arquitetônicas de todas as épocas (capítulo 2). Na pesquisa realizada no arquivo histórico Municipal de Porto Alegre, no levantamento cadastral de 1893, observou-se que não constava à implantação das edificações, portanto a possível data de execução da obra é posterior a este (final do séc. XIX – início séc. XX).

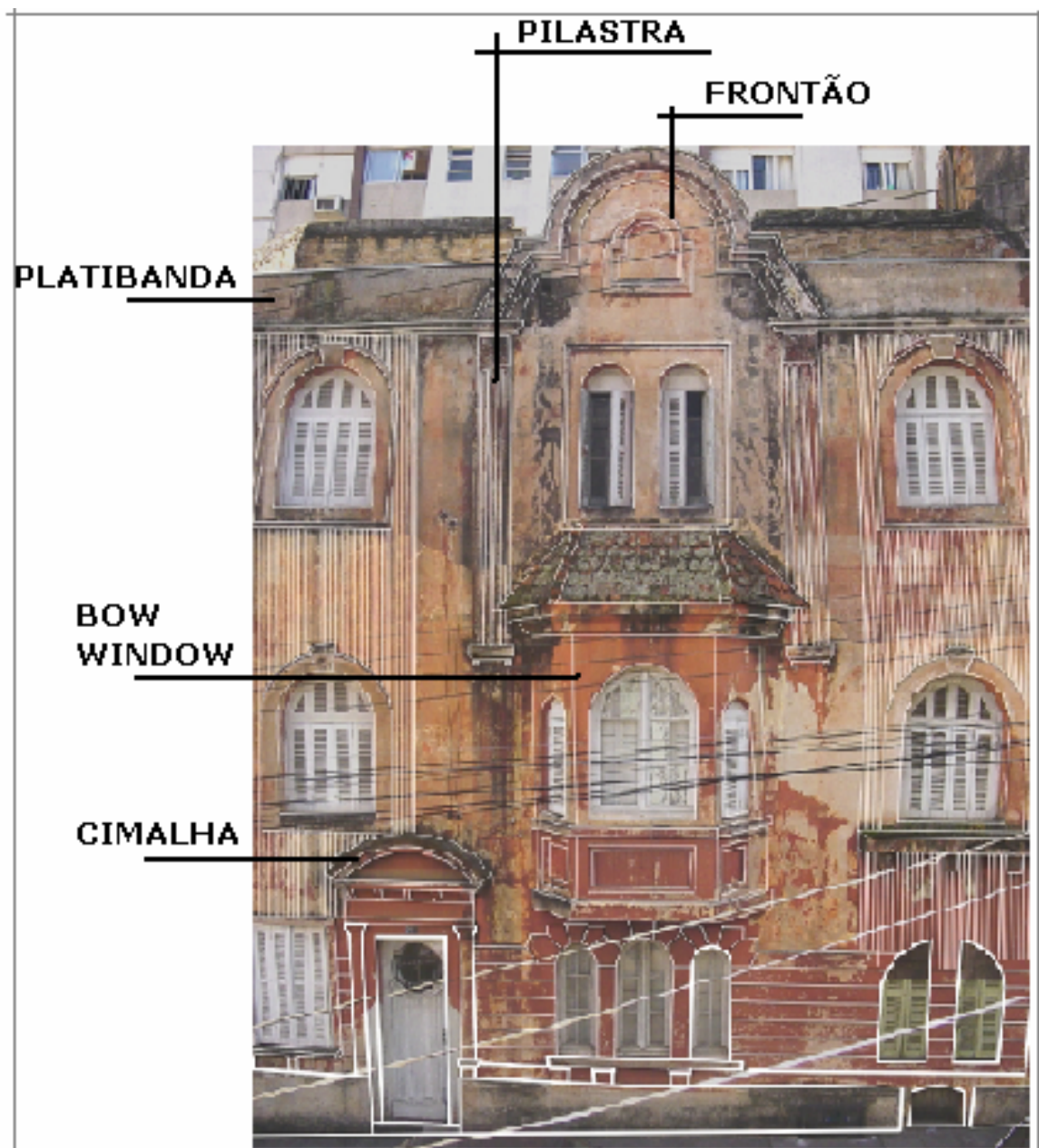


Figura 69: características do estilo arquitetônicos das edificações – estilo eclético.

As fachadas possuem revestimento externo em argamassa (cimento, cal e areia), e não tiveram manutenção significativa nos últimos 17 anos (figura 70), conforme levantamento fotográfico realizado por Vieira (1989), o que propiciou a análise comparativa no que se refere ao estado de conservação das mesmas, frente ao envelhecimento natural. A figura 71 mostra a vista frontal das fachadas das 04 edificações em análise.



(a)



(b)

Figura 70: (a) vista geral do conjunto das 04 edificações em estudo, situadas Rua Gen. Auto esquina Rua Fernando Machado, levantamento fotográfico 1989, (b) vista geral do conjunto das 04 edificações em estudo, situadas Rua Gen. Auto esquina Rua Fernando Machado, levantamento fotográfico 2005.

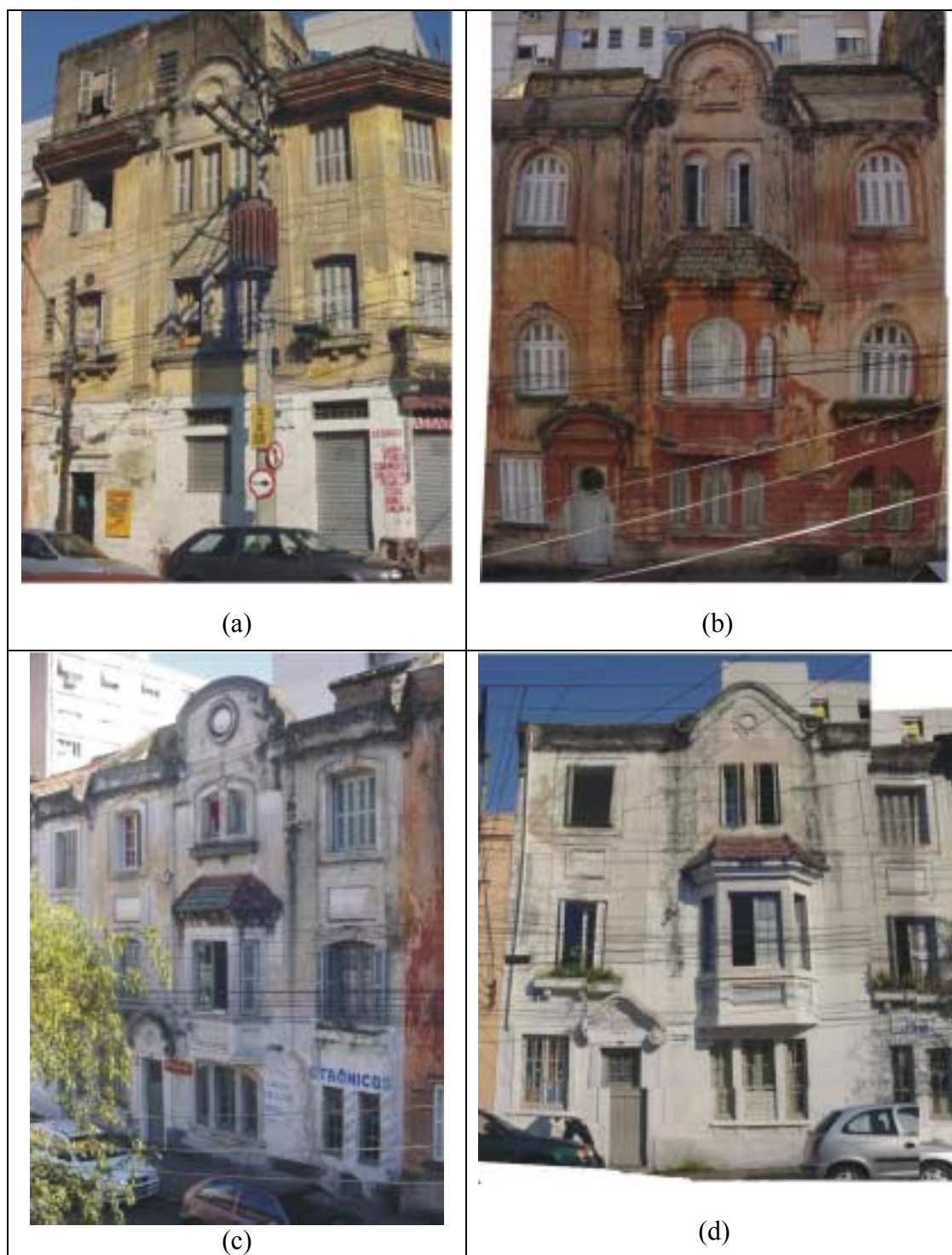


Figura 71: vista frontal das fachadas das 04 edificações em análise, Rua General Auto n^{os} (a)211, (b) 219, (c)229, (d) 239, levantamento fotográfico 2005.

As figuras 72, 73, 74 e 75 mostram a situação (estado de conservação) das edificações em 1989 e atualmente. Verificaram-se então, através de análise comparativa entre o levantamento

fotográfico de 1989 e o levantamento fotográfico realizado em 2004/2005 das edificações, as modificações que ocorreram em cada edificação no período (1989-2005) em análise, assim como as principais características dos detalhes arquitetônicos compositivos das fachadas.

LEVANTAMENTO (ANO)		MODIFICAÇÃO
1989	2004/2005	
Edificação "a"		
	<ul style="list-style-type: none"> - modificação no projeto original aumento sobre 3º pavimento-ampliação fora dos padrões da construção já realizado no primeiro levantamento fotográfico; - pintura pavimento térreo; 	
	<p style="text-align: center;">CARACTERÍSTICA DETALHES ARQUITETÔNICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> - esquadrias com molduras verticais acompanhando vergas em arco abatido e vergas retilíneas; - pilastras fachada; - platibanda com sobreposição de beiral com telha tipo francesa; - balcão em alvenaria; - frontão central sobre platibanda fachada voltada para Rua Fernando Machado; - peitoris sem pingadeiras no 3º pavimento; - janelas 2º pavimento com floreira sob peitoril; 	
		

Figura 72: edificação "a": estudo comparativo – modificações ocorridas no período 1989-2005, características dos detalhes arquitetônicos das fachadas da edificação.



		LEVANTAMENTO (ANO)		
		1989	2004/2005	MODIFICAÇÃO
Edificação "b"				- instalação de capeamento da platibanda em chapa galvanizada.
				<p>CARACTERÍSTICA DETALHES ARQUITETÔNICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> - vergas em arco pleno; - esquadrias com molduras verticais acompanhando vergas; - coroamento fachada em platibanda; - pilastras fachada; - rugosidade superficial unindo quadro de moldura esquadrias laterais 2º e 3º pavimentos; - <i>bow window</i>: verga em arco pleno, cobertura com telha plana; - frontão central sobre platibanda; - peitoris sem pingadeiras no 3º pavimento; - 01 janela no 2º pavimento com floreira sob peitoril; - cimalha sobre porta principal; - peitoris com pingadeiras no térreo; - pavimento térreo com sulcos horizontais
				

Figura 73: edificação "b": estudo comparativo – modificações ocorridas no período 1989-2005, características dos detalhes arquitetônicos das fachadas da edificação.

LEVANTAMENTO (ANO)		MODIFICAÇÃO
1989	2004/2005	
Edificação "c"		
	<p>- pintura das esquadrias do 2º pavimento, remoção da grade janela esquerda; - pintura letreiros comerciais no térreo;</p>	
	<p>CARACTERÍSTICA DETALHES ARQUITETÔNICOS</p> <p>- vergas em arco abatido; - esquadrias com molduras verticais acompanhando vergas; - coroamento fachada em platibanda; - pilastras fachada; - rugosidade superficial unindo quadro de moldura esquadria central 3º pavimento e <i>Bow window</i>; - <i>bow window</i>: verga retilínea, cobertura com telha plana; - frontão central sobre platibanda; - peitoris sem pingadeiras no 3º pavimento; - 01 janela no 2º pavimento com floreira sob peitoril; - cimalha sobre porta principal; - peitoris com pingadeiras no térreo;</p>	
		

Figura 74: edificação "c": estudo comparativo – modificações ocorridas no período 1989-2005, características dos detalhes arquitetônicos das fachadas da edificação.

LEVANTAMENTO (ANO)		MODIFICAÇÃO	
1989	2004/2005		
Edificação "d"			<ul style="list-style-type: none"> - pintura térreo e <i>bow window</i>; - pintura letreiros comerciais no térreo; - instalação de tubo de queda do coletor pluvial do telhado externo;
	CARACTERÍSTICA DETALHES ARQUITETÔNICOS		<ul style="list-style-type: none"> - vergas retilíneas; - esquadrias com molduras verticais acompanhando vergas; - coroamento fachada em platibanda; - rugosidade superficial unindo quadro de moldura esquadrias laterais 2º e 3º pavimentos; - <i>bow window</i>: verga retilínea, cobertura com telha plana; - frontão central sobre platibanda; - peitoris sem pingadeiras no 3º pavimento; - 01 janela no 2º pavimento com floreira sob peitoril; - cimalha sobre porta principal; - peitoris com pingadeiras no térreo;
			

Figura 75: edificação "d": estudo comparativo – modificações ocorridas no período 1989-2005, características dos detalhes arquitetônicos das fachadas da edificação.

No que se refere aos aspectos relativos às características arquitetônicas e técnicas construtivas empregadas nas edificações pode-se observar que:

O coroamento das fachadas em platibandas está visivelmente danificado (figura 76). Percebe-se um incremento do manchamento, provavelmente devido ao acréscimo na deposição/adesão das partículas de contaminação. Ocorre deposição seca continuada de partículas de contaminação atmosférica, pó e fumaça preta transportada pelo vento, auxiliada pelo alto índice de umidade relativa do ar, característico da cidade. Provavelmente os mecanismos de adesão são: a tensão superficial ligada ao fenômeno de absorção e gravitacional sobre os elementos que formam o plano de coroamento. A ausência de elementos horizontais salientes favorece o molhado direto. A ausência de planos de descolamento de água (frisos/molduras horizontais) contribui para que haja um incremento nos paramento de sujidade, neste elemento.



(a)



(b)

Figura 76: padrão manchamento platibandas verificado nos exemplares, (a) registro fotográfico do ano de 1989, (b) registro fotográfico atual (2005).

O uso de frontão central é característico do conjunto de edificações em estudo. Percebe-se que esse elemento, por suas características construtivas e arquitetônicas (forma, geometria), cria condições favoráveis para condução de água para a superfície das fachadas, gerando manchamento superficial de escoamento no centro das fachadas (figuras 77 e 78). O telhado com duas águas, possui cobertura em telha de barro tipo Francesa. Somente a edificação nº 239 mantém o telhado e telhamento original (figura 79). O sistema de drenagem pluvial do telhado é realizado por calhas e condutores internos nas laterais das paredes.



Figura 77: manchas de escoamento devido à condução da água do frontão para a superfície da parede das edificações, registro fotográfico, ano 1989.



(a)

(b)

Figura 78: manchas de escoamento devido à condução da água do frontão para a superfície da parede das edificações, registro fotográfico, ano 2005.

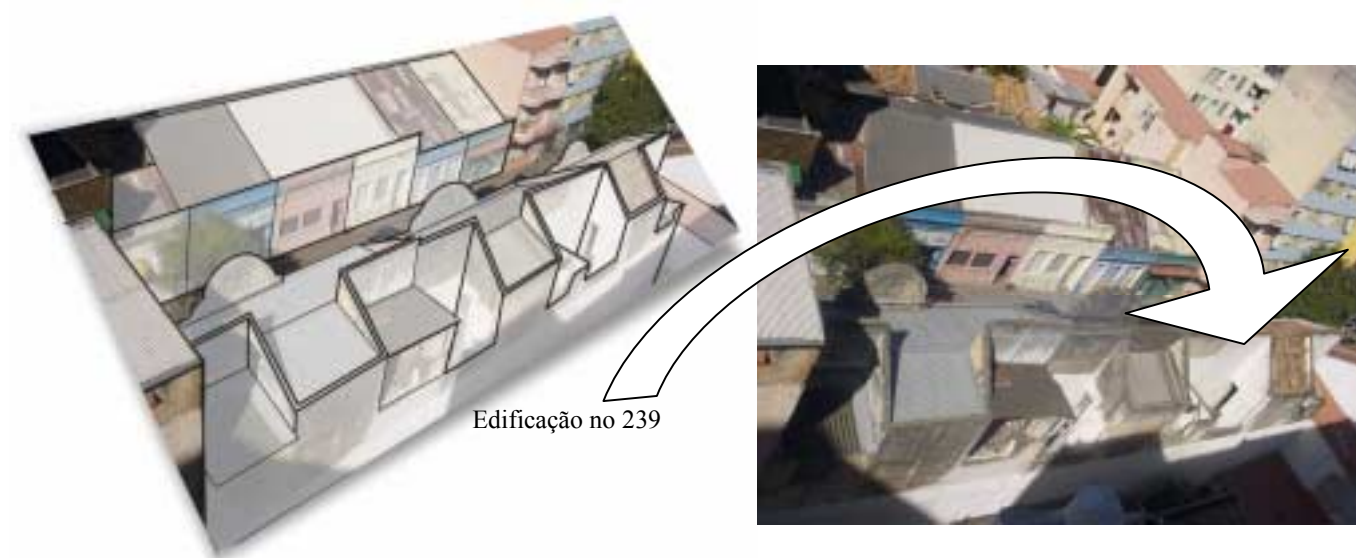


Figura 79: telhado em duas águas, somente a edificação n° 239 mantém o telhado e telhamento original - registro fotográfico, ano 2005.

O conjunto de detalhes tradicionalmente usados nas fachadas das edificações, como frisos e molduras, além da função estética possuem função de descolar a lâmina d'água da chuva dos planos das fachadas, principalmente nas zonas de maior solicitação à chuva dirigida diminuindo em até 50% o volume de água que escorre sobre suas superfícies, contribuindo assim para a conservação das edificações (Perez, 1988; Thomaz, 1990). Os detalhes arquitetônicos utilizados nas fachadas em estudo formam várias espécies de plataformas, molduras horizontais e planos verticais sobre o peitoris das janelas, frisos horizontais e verticais, cimalthas, assim como as *bow window*, cumprem função utilitária e estética de proteger as superfícies das fachadas. O projeto destes elementos arquitetônicos compositivos proporcionam capacidade de controle da ação da água da chuva de escoamento (exceto dos frontões e cimalthas).

A porosidade do material de revestimento das fachadas influi na quantidade de água de escoamento devido à absorção da água pelos materiais. As edificações em estudo possuem revestimento externo em argamassa (cimento, cal e areia), material poroso. As superfícies rugosas provocam o espalhamento dos fluxos de água proporcionando uma distribuição homogênea e diminuindo os desgastes diferenciais, este fenômeno também foi observado por Perez, 1988. As fachadas apresentam em bom estado de conservação (levando-se em conta que não sofreram manutenção nos últimos 17 anos). Este fato deve-se provavelmente pelo conjunto de detalhes arquitetônicos componentes de suas fachadas (frisos, molduras, entre outros). Percebe-se então no que diz respeito ao fenômeno de escoamento de água sobre as superfícies das fachadas, que seu projeto proporciona capacidade de controle sobre a ação da água. O desenho adequado dessas plataformas (exceto dos frontões e cimalthas), provavelmente, possibilita o descolamento e condução da lâmina de água dos paramentos das fachadas.

O projeto das peças influencia diretamente na aparência e conservação das superfícies (Perez, 1988; Thomaz, 1990; Sato et al., 1995). Observa-se no conjunto de edificações em estudo que as janelas que não possuem pingadeiras estão com acúmulo de partículas de sujeira e manchamento nos paramentos, enquanto que as janelas com pingadeiras e com geometria que proporciona sua lavagem estão em melhor estado de conservação. Os parapeitos das janelas e as platibandas dos exemplares em estudo são as regiões da fachada que apresentam maior acúmulo

de umidade e sujidades, por conseqüência apresentam condições mais favoráveis ao aparecimento de fungos, fator este atribuído à geometria e dimensões destes elementos.

Os relevos superficiais verticais contínuos potencializam a condução da lâmina de água, também observado por Robinson e Baker, 1975; Perez, 1988. Observa-se uma pequena moldura (2cm), no entorno das janelas, estas permitem um controle dos fluxos de água vertical que se formam nas superfícies das paredes, isto faz com que os fluxos de água superficiais não atinjam a junta da esquadria, sendo esta somente molhada pelos gotas de chuva que caem sobre ela. Auxiliados ainda, pela reentrância do plano das janelas possibilitam uma conservação das peças, conforme pode ser observado na figuras 80, 81 e 82. Percebe-se que mesmo sem renovação da pintura as janelas se encontram em estados de boa conservação e funcionamento.

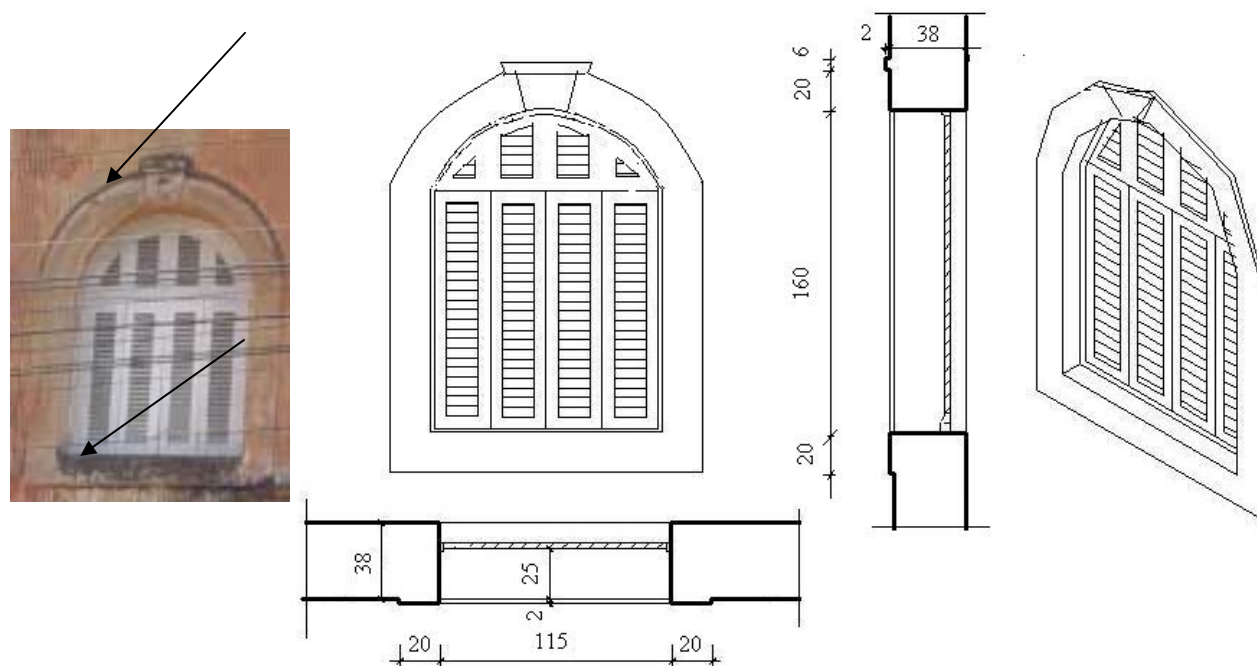


Figura 80: moldura no entorno das janelas, controle do fluxo de água superficial, possibilita conservação da esquadria. Janela com moldura e sem pingadeira, escorrimento e manchamento peitoril (lavado sujo). Acúmulo de sujeira na parte superior da moldura.

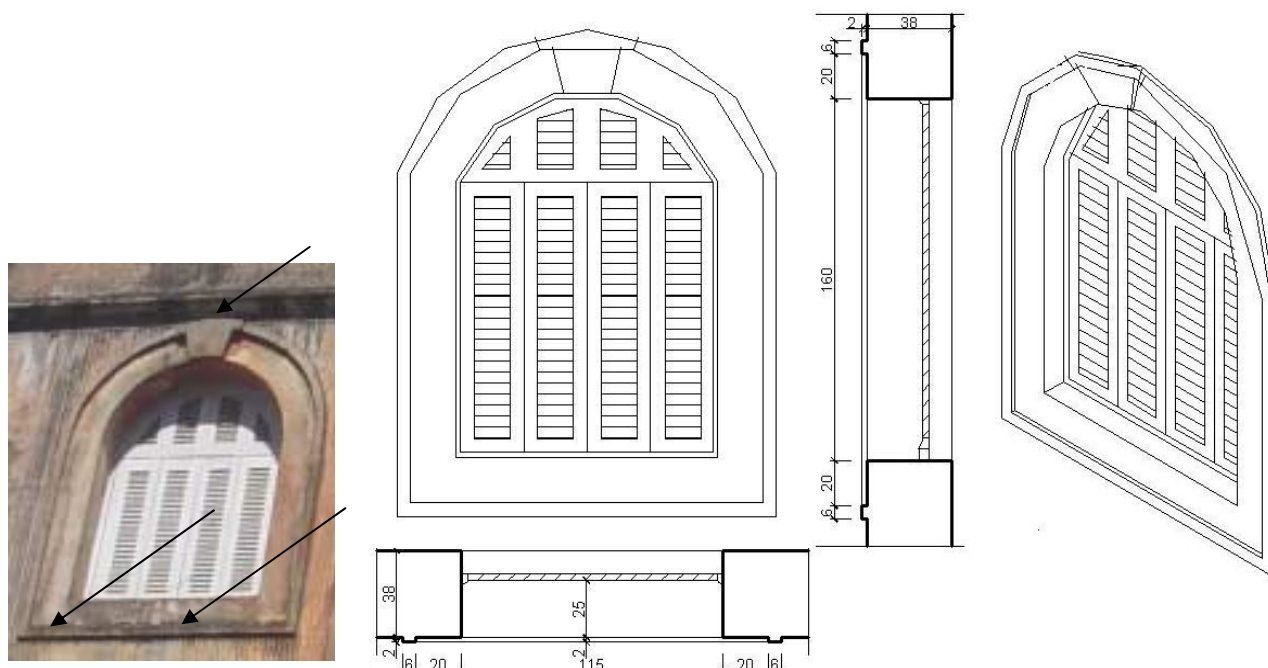


Figura 81: moldura no entorno das janelas, controle do fluxo de água superficial, possibilita conservação da esquadria. Janela com moldura e sem pingadeira, escorrimento e manchamento peitoril (lavado sujo). Acúmulo de sujeira na parte superior e inferior da moldura.



Figura 82: frisos horizontais no entorno da esquadria, com pingadeira, dimensões e geometria da pingadeira propicia lavagem e limpeza superficial do parapeito.

Percebeu-se a utilização de pequenos frisos nas paredes, formando planos contínuos emoldurando as janelas laterais no exemplares B e D, a parte central da edificação no exemplar C (figuras 83 e 84), este recurso favoreceu o escoamento da lâmina de água formando canais de escoamento, transportando mais rapidamente a água da superfície, percebeu-se que estes planos apresentavam-se mais conservados em comparação com os planos lisos.



(a.1)

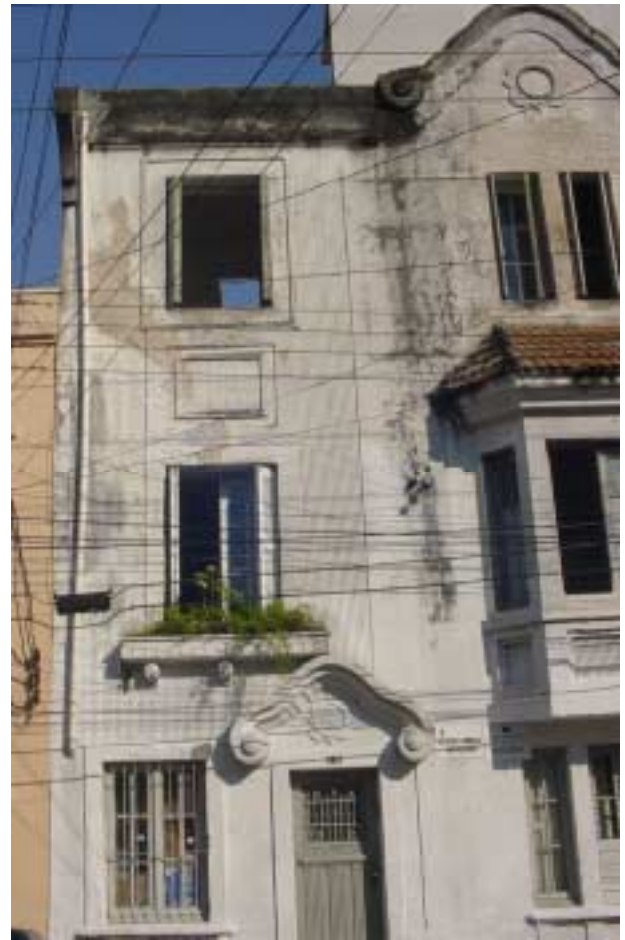


(a.2)

Figura 83: frisos verticais, favorece escoamento da lâmina de água, canais de condução, edificação nº 219, (a.1) detalhe da rugosidade superficial. (a.2) frisos formando um plano ao redor das esquadrias laterais.



(a)



(b)



(a.1)



(b.1)

Figura 84: frisos verticais, favorece escoamento da lâmina de água, canais de condução; (a) edificação no 229, frisos formando um central na fachada, (a.2) detalhe da rugosidade superficial; (b) edificação no 239, frisos formando um plano ao redor das esquadrias laterais, (b.2) detalhe da rugosidade superficial.

As fachadas com orientação leste recebem incidência direta de radiação solar (capítulo 3) no período da manhã, o que favorece a evaporação da água e conseqüente perda de umidade dos paramentos. Observa-se desbotamento dos pigmentos da pintura, assim como perda de aderência ao substrato. Fenômeno erosão eólica pela abrasão causada pelo vento e chuva incidentes sobre os paramentos da fachada. A espessura as paredes externas garantem a inexistência de fissuras devido às variações bruscas de temperatura.

A geometria e dimensões das saliências introduzidas sobre as superfícies das fachadas irão determinar o maior ou menor grau de dissipação de fluxos de água de chuva, de adesão de partículas de sujeira, proporcionando condições favoráveis ou não para o estado de conservação das fachadas das edificações, conforme também observado por Ulsamer, 1975; Perez, 1988 e Thomaz, 1990. A cimalha sobre a porta principal das edificações forma uma plataforma para deposição de partículas de contaminação atmosférica, devido à suas características dimensionais e geométricas (figura 85), apoiado pelo alto conteúdo de umidade relativa do ar característico da cidade, proporciona a adesão da sujeira. O acabamento arredondado, quando submetido à solicitação de chuva, redireciona a água para a parede, causando escorrimento e manchamento diferenciado da superfície. Nas molduras com acabamento reto percebe-se o descolamento total da lâmina de água, proporcionando um controle eficiente da água que escorre, dissipando sua concentração e protegendo as superfícies da edificação. Observa-se que em função da geometria arredondada da peça, ocorre condução de da lâmina de água para a parede, gerando manchamento superficial de escorrimento na fachada. Este padrão de manchamento por escorrimento é o mesmo percebido nos frontões centrais das edificações.

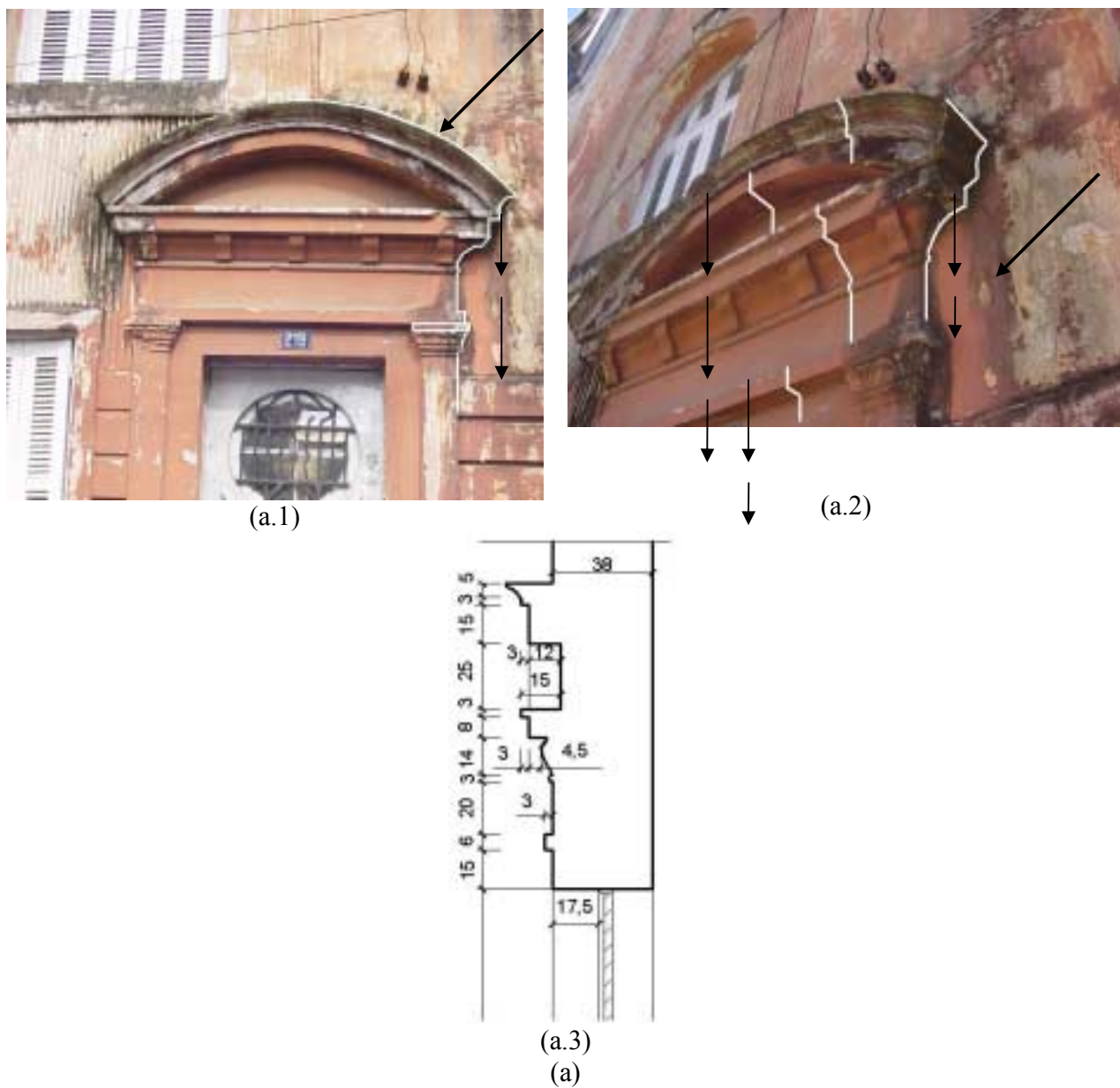


Figura 85: percurso do fluxo de água. (a.1) geometria arredondada da cimalha propicia direcionamento do fluxo de água para a parede; (a.2) moldura reta proporciona descolamento da lâmina de água, moldura com acabamento côncavo indução do escoamento da água para a parede; (a.3) corte esquemático.

4.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS X CARACTERÍSTICAS DAS FACHADAS

Com base no estudo do microclima local (cap. 4.1), que determinou as condições de exposição à que estão submetidos os 04 exemplares do estudo de caso, será realizado a seguir uma análise referente às manifestações patológicas observadas nas edificações e sua correlação com os elementos arquitetônicos compositivos das fachadas (cap.4.2). As edificações serão analisadas individualmente.

4.3.1 Edificação A

A edificação A, localiza-se na Rua General Auto, nº 211, esquina com a Rua Fernando Machado (figura 86).



Figura 86: (a) fachada voltada para Rua General Auto, esquina Rua Fernando Machado – edificação A; (b) mapa localização da edificação.

A edificação “A”, de esquina, sofre ação direta do fenômeno de chuva dirigida. A canalização do escoamento do vento no sentido Leste-Oeste na Rua Fernando Machado, é interceptado pela fachada da edificação. Percebe-se lavagem dos planos das fachadas, fator este que proporciona limpeza superficial dos elementos arquitetônicos compositivos, com exceção do coroamento da platibanda e do frontão central. A excessiva exposição frente ao fenômeno de chuva dirigida causa desgaste superficial das paredes da edificação principalmente de pinturas e revestimentos (figura 87). A durabilidade de uma pintura corretamente aplicada varia em função de dois condicionantes, primeiro em função do tipo da tinta, segundo em função da natureza do meio ambiente, isto é, a exposição a que está submetida, conforme também observado por Uemoto, 1988.



Figura 87: erosão eólica e lavagem da fachada, desgaste do revestimento de argamassa; despigmentação e descolamento da pintura.

O escoamento do vento devido à sua orientação e velocidade contribui para definir a intensidade da incidência da chuva nas paredes do edifício, ao mesmo tempo em que influencia a secagem dos elementos de construção (Perez, 1988; Sato et al. 1995). Percebe-se a ação de secagem superficial provocada pela ação do vento e da insolação nas paredes da edificação A, o que auxilia na conservação (Aroztegui, 1977, Sato et. Al., 1995; Mascaró 1996, 2004). Pois além de realizar uma secagem superficial mais rápida da película de água proveniente da chuva, o vento e a insolação retiram a umidade do vapor de condensação das superfícies da fachada a edificação em estudo. Os poros secos do revestimento superficial de fachada dificultam a adesão de partículas de contaminação atmosférica, apesar do edifício estar situado em zona de elevada contaminação. As fachadas com orientação Leste recebem insolação durante o ano todo, no período do nascer do sol ao meio dia.

O coroamento da fachada em platibanda, comum a todos os exemplares em análise, neste caso possui sobreposição de beiral com projeção de aproximadamente 50cm do plano da fachada. Acima do beiral há uma mureta de acabamento que funciona como parapeito da cobertura. Provavelmente, a exclusão dos detalhes de proteção das partes superiores dos muros e muretas são responsáveis pela degradação desses elementos. Pelo topo a água que acumula, penetra para o interior da parede, a superfície funciona como plataforma para deposição de partículas de contaminação atmosférica (Ulsamer, 1975; Perez, 1988; Thomaz, 1990). Percebe-se no exemplar A em análise que há um incremento de sujidade na superfície de coroamento da platibanda acima do beiral, devido ao acréscimo na deposição/adesão das partículas de contaminação favorecidas pela plataforma da superfície de coroamento, auxiliado pela geometria convexa do coroamento da platibanda, conduzindo a água de escoamento para a superfície da fachada provocando manchamento acentuado (figura 88), neste elemento. O frontão central forma também plataforma para deposição de partículas de contaminação atmosférica/ sujidades. Com forma arredondada redireciona a água para a parede da edificação, causando escoamento e manchamento diferenciado da superfície central, a umidade superficial cria um ambiente favorável para o desenvolvimento de microorganismos nestes pontos (figura 89).



Figura 88: manchamento parapeito da cobertura, edificação A

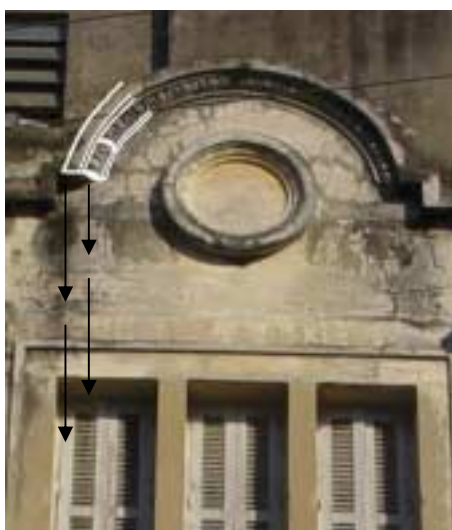


Figura 89: manchamento superficial causado pela concentração e condução da lâmina de água para a superfície da fachada

O uso de beiral é uma forma efetiva de conduzir a chuva para fora dos perímetros das paredes, as partes inferiores somente serão atingidas pelas gotas de chuva impelidas pelo vento (PEREZ, 1988). Observa-se neste exemplar que o beiral cumpre a função de proteção da fachada, auxiliando na conservação dos planos inferiores, contribuindo para a conservação da edificação. Pode-se observar que nos pontos onde o telhamento está danificado ocorre condução da lâmina de água para a superfície da fachada adjacente. O percurso da lâmina de água para a parede é

auxiliado pela geometria côncava da moldura de fechamento da caixa do beiral (figura 90), ocorre lavagem diferenciada do beiral nos pontos de condução de água – Lavado limpo (capítulo 3) (Carrié et al., 1975; Robinson; Baker, 1977; Petrucci, 2000).



Figura 90: a geometria dos elementos arquitetônicos de fachada determina a trajetória do fluxo da lâmina de água, locais onde a telha está danificada ocorre escoamento de água para o beiral, lavando sua superfície.

Pôde-se observar que a reentrância do plano das janelas proporciona proteção das esquadrias, auxiliado pelas molduras de contorno, que impedem a penetração da água nas golas das janelas (capítulo 3), fator confirmado também por estudos realizados por Perez, 1988b. Percebe-se que mesmo sem renovação da pintura as esquadrias se encontram em bom estado de conservação e funcionamento. As vergas retilíneas e em algumas esquadrias em arco abatido, são emolduradas por elementos decorativos diferenciados. Percebe-se no segundo pavimento a utilização de moldura (20x02cm), no entorno das janelas, estas permitem um controle dos fluxos de água

vertical que se formam nas superfícies das paredes, isto faz com que os fluxos de água superficiais não atinjam a junta da esquadria, sendo esta somente molhada pelas gotas de chuva que caem sobre ela. No terceiro pavimento observa-se a inserção de um friso (06x02cm), configurando a moldura no entorno da esquadria (figura 91), percebe-se, no entanto este elemento proporciona deposição de partículas de sujeira na sua superfície, tanto superior quanto inferior. No térreo houve descaracterização da fachada original, portanto, não será analisada.

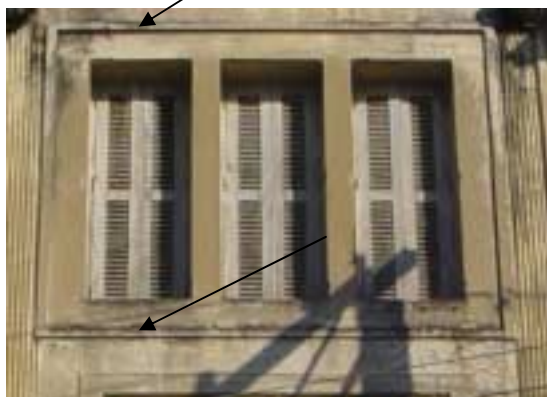


Figura 91: moldura de contorno das janelas, geometria determina parâmetros de sujeira da fachada, acúmulo de sujeira na parte inferior e superior da moldura.

Há uma “ampliação” no terceiro pavimento, acima da platibanda. Superfície lisa, sem detalhes de proteção (molduras, frisos, reentrâncias, entre outros), já existente no levantamento fotográfico de 1989. Observou-se que o aspecto geral do estado de conservação desta ampliação é muito diverso do restante da edificação. A superfície apresenta-se deteriorada, com manchamento superficial muito acentuado, provavelmente causado por deposição/adesão de partículas de sujeira e posterior escorrimento e manchamento superficial quando da incidência da chuva, visto que este não possui nenhum detalhe superficial de proteção, para descolamento da lâmina de água. Observa-se também a presença de agentes biológicos, que contribuem para aumento da degradação estética deste elemento (figura 92).



Figura 92: ampliação sobre o terceiro pavimento, manchamento superficial acentuado em relação ao restante da edificação, ausência de detalhes arquitetônicos para descolamento da lâmina de água.

4.3.2 Edificação B

A edificação B, localiza-se na Rua General Auto, nº 219 (figura 93).



Figura 93: (a) fachada frontal (leste) – edificação “B”; (b) mapa localização da edificação.

A canalização do escoamento do vento no sentido Leste-Oeste na Rua Fernando Machado, é interceptado pela fachada da edificação A, deslocando parcialmente seu escoamento para Rua General Auto, incidindo sobre a fachada da edificação B. Percebe-se lavagem diferenciada dos planos da fachada, devido à interceptação do escoamento do vento pela bow window, fator este

que proporciona limpeza superficial dos elementos arquitetônicos compositivos da parte direita da fachada, até a projeção do plano da janela (*bow window*) com exceção da platibanda e frontão. Será realizado a seguir uma análise com base na figura 93, onde a edificação foi dividida em três regiões para avaliação da solicitações de desgaste. A região direita da fachada sofre frente ao fenômeno de chuva dirigida desgaste superficial das paredes principalmente de pintura e revestimento. O frontão central (a) forma uma plataforma para deposição de partículas de contaminação atmosférica, apoiado pelo alto conteúdo de umidade relativa do ar característico da cidade, proporciona a adesão da sujidade. Com forma arredondada redireciona a água para a parede da edificação (b), causando escorrimento e manchamento diferenciado da superfície central, a umidade superficial cria um ambiente favorável para o desenvolvimento de microorganismos nestes pontos. Percebe-se que na região direita da fachada, devido à lavagem e desgaste do revestimento causado pela abrasão do vento e da chuva dirigida, há limpeza superficial (c), não proporcionando proliferação de microorganismos, fenômeno este observado no lado esquerdo da *bow window* (d). Observa-se a ação de secagem superficial provocada pela ação do vento no lado direito da fachada da edificação B, o que auxilia na conservação. Pois além de realizar uma secagem superficial mais rápida da película de água proveniente da chuva, o vento retira a umidade do vapor de condensação das superfícies da fachada a edificação em estudo. Os poros secos do revestimento superficial de fachada dificultam a adesão de partículas de contaminação atmosférica, apesar do edifício estar situado em zona de elevada contaminação. Percebe-se que a deposição/adesão de partículas de contaminação no peitoril do lado direito da fachada (e) é menor do que do lado esquerdo (f), e ainda que há maior deposição de sujidades no peitoril do segundo pavimento. Observa-se a tendência de maior acúmulo de poluentes no primeiro e segundo pavimentos, provavelmente devido à maior concentração de poluentes nos pavimentos mais baixos e à restituição em suspensão, durante o dia, das partículas depositadas à noite sobre a calçada e a caixa de rolamento da rua (g).



Figura 94: divisão da edificação frente à incidência de ventos e chuva dirigida, no que se refere aos desgastes da superfície da fachada.

Em relação ao levantamento fotográfico de 1989, observou-se que foi instalado capeamento em chapa galvanizada na platibanda da edificação B. Pôde-se notar que o capeamento ao proteger o topo da platibanda e impedir penetração de água para o interior da parede, funcionou como

elemento protetor no que se refere à deposição de partículas de contaminação atmosférica, proporcionando, ainda, limpeza da superfície da platibanda. Na moldura inferior da platibanda ocorreu deposição de partículas de contaminação, conseqüentemente manchamento superficial desta região da fachada, percebe-se que há manchamento por escorrimento na região onde a moldura está danificada, porque há condução da lâmina de água para a superfície da parede, auxiliada pela geometria côncava da moldura inferior da plataforma horizontal (figura 95).



(a)



(b)

Figura 95: (a) platibanda com muita deposição de sujeidade e microorganismos moldura inferior com deposição de sujeidade e microorganismos, registro fotográfico de 1989; (b) platibanda com superfície mais limpa, provavelmente devido à proteção do topo fornecida pela alterosa, moldura inferior com menor deposição de sujeidade e microorganismos, registro fotográfico de 2005.

Pôde-se observar que a reentrância do plano das janelas proporciona proteção das esquadrias, auxiliado pelas molduras de contorno, que impedem a penetração da água nas juntas (capítulo 3), fator também observado por Perez, 1988. Percebe-se que mesmo sem renovação da pintura as esquadrias se encontram em estado de boa conservação e funcionamento. As vergas em arco pleno, com exceção de 02 janelas do térreo e da porta de entrada, são emolduradas por elementos decorativos diferenciados. No térreo na parte direita da fachada a janela sem contorno de moldura apresenta-se danificada, provavelmente pela deposição de água no topo, o que acarretou em deterioração da esquadria. Verifica-se que as outras janelas do térreo da edificação possuem molduras e estão em bom estado de conservação e funcionamento. Sob o peitoril das janelas uma região protegida (conservada) e com limpeza superficial, observa-se que a região limpa possui a mesma projeção do peitoril e o desenho do manchamento segue a projeção do peitoril. A cimalha sobre a porta de entrada fornece proteção da superfície do soco¹ da fachada (figura 96).



Figura 96: áreas protegidas da fachada, devido a elementos arquitetônicos e detalhes de proteção.

¹ Soco: parte do embasamento de um edifício, acima do rés-do-chão e saliente do corpo da fachada (TERRA, R.C. p.109).

Na janela central percebe-se que a projeção da *bow window* (52cm), proporciona conservação da esquadria, da pintura inclusive da pigmentação (capítulo 3) esta área não está desbotada, nem desgastada, o mesmo ocorre com a superfície inferior à floreira (figuras 97 e 98).



Figura 97: área protegida, pela projeção da *bow window* e da floreira, conservação da pigmentação da pintura e revestimento.



Figura 98: área protegida, área superior à janela com abrasão superficial descolamento e despigmentação pintura, floreira com biodeterioração, área inferior à floreira conservação da pigmentação da pintura e revestimento.

Percebe-se no segundo pavimento a utilização de moldura com 20x02cm no entorno das janelas, estas permitem um controle dos fluxos de água vertical que se formam nas superfícies das paredes, fazendo com que os fluxos de água superficiais não atinjam a junta da esquadria, sendo esta somente molhada pelas gotas de chuva que caem sobre ela, à moldura forma uma pequena plataforma que proporciona deposição de partículas de sujeira superfície superior. No terceiro pavimento observa-se a inserção de um friso (06x02cm), configurando a moldura no entorno da esquadria (figura 99), percebe-se, no entanto que este elemento proporciona deposição de partículas de sujeira na sua superfície, tanto superior quanto inferior.



Figura 99: deposição de sujidade na moldura, diferença na geometria da moldura do segundo e terceiro pavimentos, determina maior ou menor deposição de sujidade e microorganismos.

4.3.3 Edificação C

A edificação C, localiza-se na Rua General Auto, nº 229 (figura 100).



Figura 100: (a) fachada frontal (leste) – edificação “C”; (b) mapa localização da edificação.

A edificação C, situada no meio da quadra, aproximadamente à 20m da esquina da Rua Fernando Machado, não recebe influência direta do escoamento do vento no sentido Leste-Oeste, o vento perde sua intensidade de escoamento até atingir este ponto da rua. Embora as edificações frontais a este exemplar possuam apenas um pavimento, o vento que escoa do quadrante Sul-Leste, devido à rugosidade superficial (grande densidade de edificações) e altura das edificações da neste setor da cidade (capítulo) (figura 101), possui diminuição na velocidade de escoamento. Observa-se que a lateral direita da fachada da edificação está mais exposta à ação de

deposição/adesão de contaminação atmosférica, porém na lateral esquerda há erosão e lavagem superficial da fachada, levando a conclusão de que há incidência um escoamento pontual de vento no sentido leste-oeste neste setor. No registro fotográfico de 1989, percebe-se que a lateral esquerda da fachada possuía a mesma concentração de sujidades que a direita, porém atualmente a lateral esquerda está com sua superfície livre de acúmulo de sujidade (figura 101).

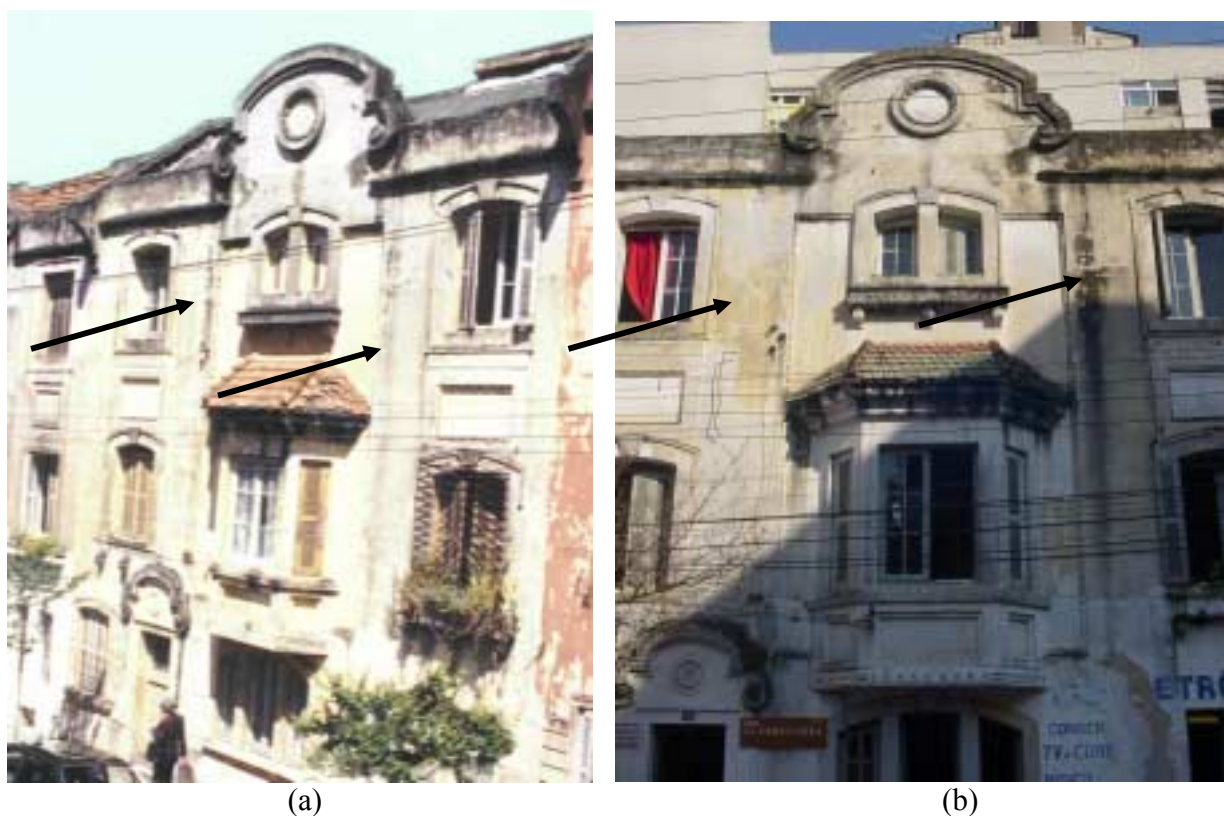


Figura 101: (a) mancha de sujidade na lateral esquerda, mesmo padrão ocorre na lateral direita da fachada, registro fotográfico de 1989, (b) lateral esquerda sem mancha de sujidade, percebe-se abrasão e lavagem superficial, lateral direita mancha de escorrimento e formação de agentes microbiológicos de deterioração, registro fotográfico de 2005.

Percebe-se no exemplar C que há um incremento de sujidade na superfície de coroamento da platibanda acima do beiral, provavelmente devido ao acréscimo na deposição/adesão das partículas de contaminação favorecidas pela plataforma da superfície de coroamento, que sem a presença de planos de descolamento de água ou proteção favorece o molhado direto e a

penetração de água para o interior da parede pelo topo. Percebe-se também o desenvolvimento de microorganismos. Os agentes biológicos de deterioração estão presentes provavelmente pelo elevado teor de umidade no substrato e no ambiente, conforme também observado em estudos realizados por SATO et al., 1995 e 2002. O frontão central forma uma plataforma para deposição de partículas de contaminação atmosférica, apoiado pelo alto conteúdo de umidade relativa do ar característico da cidade, proporciona a adesão da sujidade. Com forma arredondada redireciona a água para a parede da edificação, causando escorrimento e manchamento diferenciado da superfície central, a umidade superficial cria um ambiente favorável para o desenvolvimento de microorganismos nestes pontos. Na moldura inferior da platibanda ocorreu deposição de partículas de contaminação, conseqüentemente manchamento superficial da moldura, porém o acabamento reto inferior da moldura proporciona descolamento da lâmina de água, não ocorrendo então manchamento nas superfícies adjacentes da fachada (figura 102).



Figura 102: (a) geometria arredondada do frontão central redireciona fluxo de água para superfície da parede, ocorre manchamento superficial, lateral esquerda sofre lavagem, e erosão eólica

Pôde-se observar que a reentrância do plano das janelas proporciona proteção das esquadrias, auxiliado pelas molduras de contorno, que impedem a penetração da água nas juntas das janelas (capítulo 3). Percebe-se que mesmo sem renovação da pintura as esquadrias se encontram em bom estado de conservação e funcionamento. As vergas em arco abatido, com exceção de 02 janelas do térreo e da porta de entrada e da *bow window*, são emolduradas por elementos decorativos diferenciados. No térreo na parte direita da fachada a janela sem contorno de moldura apresenta-se em razoável estado de conservação. Verifica-se que as outras janelas do térreo da edificação possuem molduras e estão em bom estado de conservação e funcionamento. Na janela central percebe-se que a projeção da *bow window* (52cm), proporciona conservação da esquadria e pintura, o mesmo ocorre com a superfície inferior à floreira. Na janela lateral direita e na cimalha sobre a porta de entrada, percebe-se que há um incremento na deposição de sujeidade, fator este atribuído à presença de vegetação frontal a este elemento. Os peitoris das janelas do segundo e terceiro pavimentos sem pingadeira, formam uma plataforma para deposição de sujeidade percebe-se um incremento no manchamento de suas superfícies. Na janela do segundo pavimento com floreira há biodeterioração, provavelmente devido à concentração de umidade em função da vegetação. Nas janelas do segundo e terceiro pavimentos observa-se a utilização do friso com 06x02cm, configurando a moldura no entorno da esquadria, percebe-se, que este elemento proporciona deposição de partículas de sujeidade na superfície superior e inferior (figura 103).



(a)



(b)

Figura 103: (a) geometria molduras, térreo, segundo e terceiro pavimentos, (b) pingadeira janela térreo.

4.3.4 Edificação D

A edificação D, localiza-se na Rua General Auto, nº 239 (figura 104).

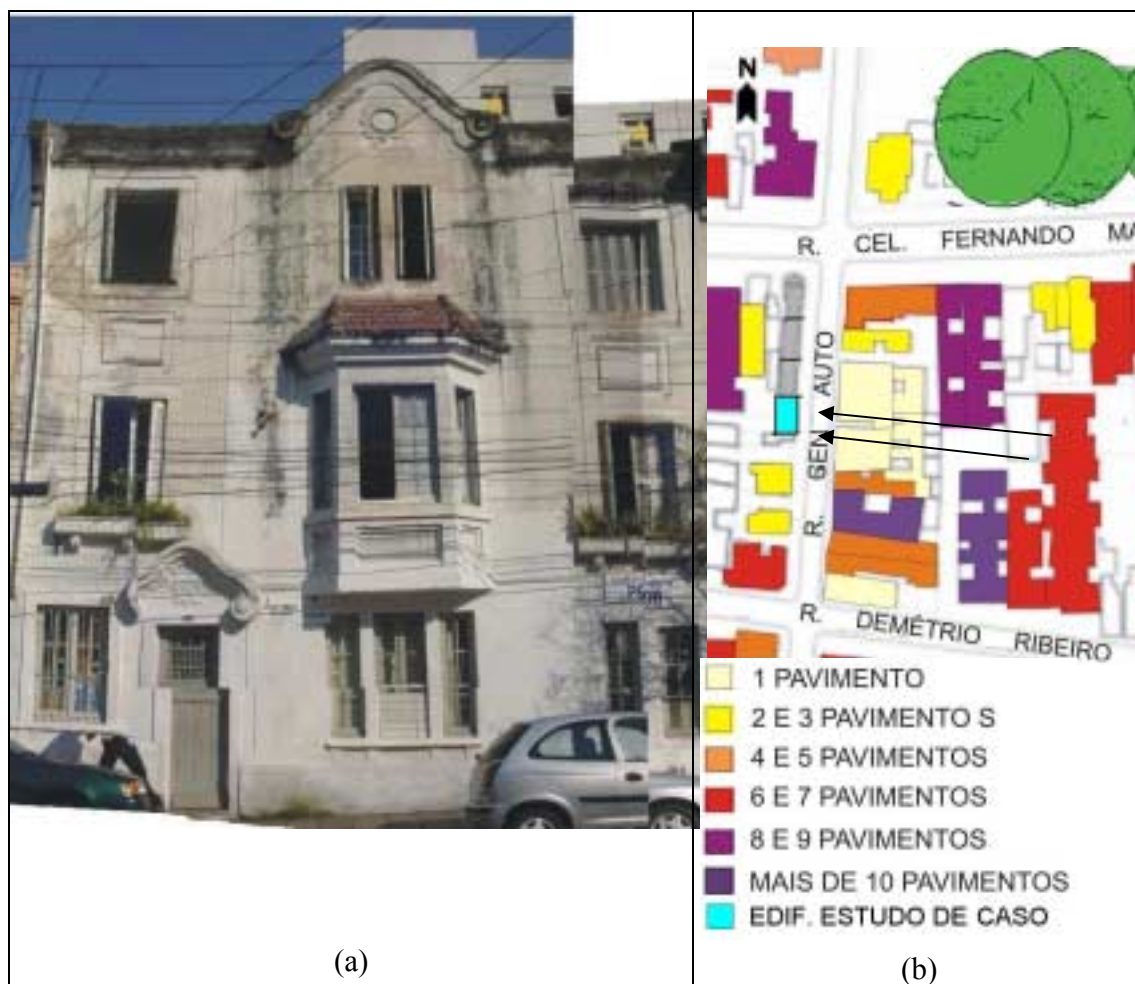


Figura 104: (a) fachada frontal (leste) – edificação “D”; (b) mapa localização da edificação.

A edificação D, situada no meio da quadra, aproximadamente à 30m da esquina da Rua Fernando Machado, não recebe influência direta do escoamento do vento no sentido Leste-Oeste, o vento perde sua intensidade de escoamento até atingir este ponto da rua. As edificações frontais a este exemplar possuem apenas um pavimento, o vento que escoar do quadrante Sul-Leste, devido à rugosidade superficial (grande densidade de edificações) e altura das edificações da neste setor da cidade (capítulo) (figura 105), possui diminuição na velocidade de escoamento, de forma geral,

porém percebe-se que a configuração do entorno que há incidência um escoamento pontual de vento no sentido leste-oeste neste setor. Observa-se erosão superficial do revestimento do frontão provavelmente devido à abrasão imprimida pelo vento neste local (Figura 105).

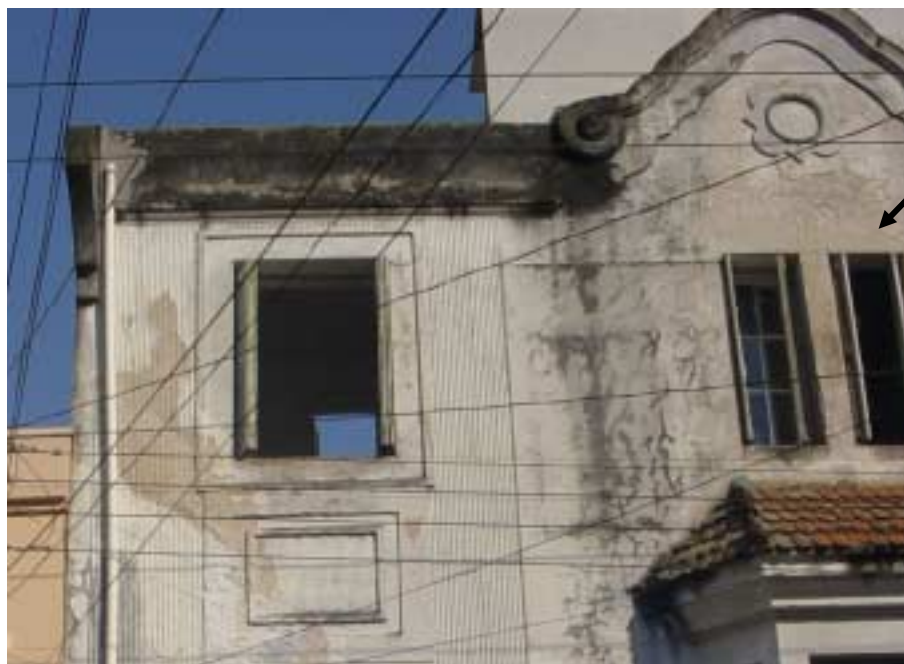


Figura 105: (a) erosão superficial, desgaste de pintura e revestimento.

Percebe-se que no exemplar D há um incremento de sujidade na superfície de coroamento da platibanda. O frontão central forma uma plataforma para deposição de partículas de contaminação atmosférica, apoiado pelo alto conteúdo de umidade relativa do ar característico da cidade, que proporciona a adesão da sujidade. Com forma arredondada redireciona a água para a parede da edificação, causando escorrimento e manchamento diferenciado da superfície central, a umidade superficial causada pelo escorrimento de água juntamente com o depósito superficial de partículas de contaminação, cria um ambiente favorável para o desenvolvimento de microorganismos nestes pontos. Na moldura inferior da platibanda ocorreu deposição de partículas de contaminação, consequentemente manchamento superficial da moldura, porém o acabamento reto inferior da moldura proporciona descolamento da lâmina de água, não ocorrendo então manchamento nas superfícies adjacentes da fachada. Nesta edificação observa-se a inserção de condutor pluvial externo na lateral esquerda da fachada. Observa-se ainda que este é o único exemplar que conservou o telhamento em telha francesa original.

Pôde-se observar que a reentrância do plano das janelas proporciona proteção das esquadrias, auxiliado pelas molduras de contorno, que impedem a penetração da água nas juntas das janelas. Percebe-se que mesmo sem renovação da pintura as esquadrias se encontram em bom estado de conservação e funcionamento. As vergas retilíneas são emolduradas por elementos decorativos diferenciados. A parte térrea da edificação foi pintada recentemente, por este motivo não será analisada. Os peitoris das janelas do segundo e terceiro pavimentos sem pingadeira, formam uma plataforma para deposição de sujeidade percebe-se um incremento no manchamento de suas superfícies. Na janela do segundo pavimento as floreiras foram pintadas recentemente, por este motivo não serão analisadas. Percebe-se no segundo pavimento a utilização de moldura com (20x02cm) no entorno das janelas, estas permitem um controle dos fluxos de água vertical que se formam nas superfícies das paredes, fazendo com que os fluxos de água superficiais não atinjam a junta da esquadria, sendo esta somente molhada pelas gotas de chuva que caem sobre ela, porém a moldura forma uma pequena plataforma que proporciona deposição de partículas de sujeidade superfície superior. No terceiro pavimento observa-se a inserção de um friso (06x02cm), configurando a moldura no entorno da esquadria, percebe-se, no entanto que este elemento proporciona deposição de partículas de sujeidade na sua superfície, tanto superior quanto inferior (figura 106).



Figura 106: manchamento superficial da fachada da edificação, influência da geometria dos detalhes arquitetônicos componentes da fachada.

5 CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho foi analisar a influência dos detalhes arquitetônicos no estado de conservação das fachadas, do Centro Histórico de Porto Alegre. Através de método comparativo entre levantamento fotográfico existente realizado em 1989, com levantamento fotográfico atual (2004/2005). Frente ao trabalho realizado, podem ser feitas as seguintes considerações:

- para analisar a conservação das edificações foi necessário a identificação dos fatores de degradação. No que se refere aos fatores de degradação das fachadas das edificações, pôde-se identificar que as condições ambientais que envolvem as construções, principalmente neste caso o seu envelope, são os principais responsáveis pela degradação. Fatores como variação de temperatura, umidade relativa, incidência de chuvas e ventos, radiação solar são os principais mecanismos que contribuem para deterioração das fachadas. Juntamente com a ação de microorganismos que comprometem também o aspecto estético e causam deterioração das superfícies e estruturas, podem ser apontados como os principais agentes de degradação do meio edificado. Verificou-se que o processo de deterioração de revestimentos de fachadas além da ação dos agentes climáticos, e microorganismos sofrem ação dos agentes agressivos oriundos da atmosfera urbana, através de deposição de partículas de sujidade sobre os paramentos das fachadas.

- observou-se que a atuação dos fatores de degradação depende das propriedades e características dos materiais e principalmente da função que estes desempenham. O projeto atuando como processo que decide como e onde um material irá ser usado, determina a durabilidade e o desempenho dos materiais e componentes, conseqüentemente contribui no estado de conservação das edificações. Comprovou-se que o conhecimento dos fatores e agentes de degradação é de extrema importância para determinar a agressividade do meio ambiente e para o fornecimento de dados para especificação de projetos e materiais de fachadas.

- referente ao estado de conservação das fachadas, em análise comparativa observou-se que apesar de degradadas para o contexto urbano em que estão inseridas, as mesmas se encontram em

bom estado de conservação. Fator este atribuído ao conjunto de detalhes arquitetônicos componentes das superfícies de suas fachadas. Comprovou-se que o conjunto de detalhes tradicionalmente usados nas fachadas dos edifícios com características neoclássicas e ecléticas, com detalhes arquitetônicos de fachada como frisos, molduras, cimalkas além de função estética, têm principalmente função técnica. O conjunto de detalhes tradicionalmente usados nas fachadas destes edifícios têm a função de acabar com a concentração de água das chuvas e de descolar a lâmina de água que se forma sobre as superfícies das paredes, melhorando assim a estanqueidade e durabilidade da edificação.

- outro aspecto importante a considerar diz respeito às dimensões e formas dos detalhes arquitetônicos das fachadas. Observou-se que para proteção dos panos o uso de detalhes com acabamento reto não redireciona a água para a superfície da fachada, o que acontece em detalhes com acabamentos côncavos/convexos ou arredondados. Verificou-se então que detalhes de proteção que utilizem molduras côncavas/convexas ou arredondadas devem sempre ser precedidas de frisos com acabamento reto para que haja descolamento da lâmina de água. Outro aspecto importante a salientar refere-se à dimensão dos detalhes de proteção. Observou-se que frisos e molduras horizontais que possuem dimensão acima de 40mm até 90mm cumprem a função de proteção da superfície da fachada eficientemente. Conforme pode ser observado nas diversas molduras que envolvem as janelas. Observou-se ainda que os detalhes acima de 100mm proporcionam plataforma para deposição de sujidades, independente da forma, comprometendo assim a conservação da fachada. Frisos e molduras verticais que possuem dimensões entre 10mm e 20mm são suficientes para proteção das superfícies.

- as principais manifestações patológicas observadas nos exemplares em estudo foram manchamento, desgaste superficial das paredes das edificações principalmente de pinturas e revestimentos. Verificou-se que a ação do vento (isolado ou em associação com a água) sobre as fachadas, ao atuar como condutor de contaminação e agente de limpeza é um dos principais geradores deste tipo de manifestação patológica. E os detalhes arquitetônicos são os principais elementos que influenciam positiva ou negativamente nesta interação ao agir como protetores (se bem dimensionados e posicionados) ou como agravantes das manifestações patológicas

(funcionando como plataformas para deposição de partículas de contaminação, manchamento e escorrimento). Verifica-se, portanto que os detalhes arquitetônicos exercem função de extrema importância no que se refere à durabilidade e conservação das fachadas das edificações, comprovando a importância funcional que elemento possui.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No que se refere a futuros trabalhos, pode-se sugerir:

- a elaboração de estudos referentes à supressão de detalhes arquitetônicos que ocorreu com a implantação do modernismo, com relação à sua existência na arquitetura clássica, e sua relação com o estado de conservação das edificações.
- a elaboração de trabalhos aprofundados que estude as técnicas e processos construtivos utilizados em edificações históricas em Porto Alegre, que possibilite disponibilizar dados que possam ser úteis em intervenções ou revitalização de edificações históricas da cidade.
- o desenvolvimento de trabalhos sobre prevenção de danos em edificações com características da arquitetura moderna. A compreensão das causas de deterioração proporcionam realização de um eficiente projeto. O projeto é um das principais ferramentas de prevenção de danos nas edificações.
- a elaboração de trabalhos que estude uma releitura das técnicas e processos construtivos dos detalhes arquitetônicos de fachadas, para adaptação com a linguagem atual de projeto e velocidade de execução das obras.
- estudos referentes aos tratamentos necessários de manutenção e limpeza das fachadas das edificações, abordando os diferentes tipos de materiais e revestimentos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Practice for Developing Accelerated Test to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials**. Annual Book of Standards, section 14, v.1402, Philadelphia, 1998.

ATKINSON, G. A. External vertical surfaces of buildings: aspects of design and appearance. In: SIMPOSIUM ON EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF EXTERNAL VERTICAL SURFACES OF BUILDINGS, 1977, Otaniemi, Espoo, Finland. **Proceedings...** Otaniemi, Espoo, Finland: RILEM/ASTM/CIB, 1977. 3v. v.1, p. 57-66.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

ARZTEGUI, J. M. **Parâmetros do conforto térmico**. Porto Alegre: Curso de pós-graduação em engenharia civil, UFRGS, 1977.

_____. **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, UFRGS, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**. Forças devidas ao vento. Rio de Janeiro, 1988.

BAUER, E. **Resistência à penetração da chuva em fachadas de alvenaria de materiais cerâmicos**: uma análise de desempenho, 1987. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 1987.

BICCA, B. P.; KRAUSE, C.; XAVIER, L.M., BRAGA, M. I. L., MALINSKY, R.; LEMES, R. B.; POSSAMAI, Z. **Programa monumental Porto Alegre**. Perfil do projeto. Caderno 1. Porto Alegre: 2002.

BLESCHMANN, J. **O vento na engenharia estrutural**. Porto Alegre: Ed.Universidade / UFRGS,1998.

_____. **Acidentes causados pelo vento**. Porto Alegre: Ed. Universidade / UFRGS, 2001.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 5262**: external rendered finishes. London, BSI, 1976, p.21.

CAMARGO, O.A; SILVA, F. L., GRAVINO, N; CUSTÓDIO, R.S (coord.)Rio Grande do Sul: **Atlas Eólico**. Porto Alegre: SEMC, 2002. 69p.: il., mapas.

CARRIÓ, J. M. Arquitetura arte funcional. **Informes de la Construcion**. Madri: Instituto Eduardo Torroja, v. 37, n.374, p.5-16, 1985.

CINCOTTO, M. A. **Argamassas de revestimento**: características, propriedades e método de ensaio. São Paulo: Pini, IPT, Boletim 68, 1988.

CHOAY, F. **A alegoria do patrimônio**. São Paulo: Ed. Estação da Liberdade. UNESP, 2001. Tradução de Luciano Vieira Machado. Título Original: L'allégorie du patrimoine.

CUNHA, A. J. P., LIMA, N. A., SOUZA, V. C. M. **Acidentes estruturais na engenharia civil**. Ed. Pini: São Paulo, 1996. v.1

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.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 18550**: Plaster; terminology and requirements. Berlin: 1985, p.7. Part 1

DORFMAN, G.; PETRUCCI, H. M. C. Recomendações para o projeto de fachadas com vistas à sua maior durabilidade e facilidade de manutenção. In: SIMPÓSIO SOBRE PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES: prevenção e recuperação, 1989, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 1989. p. 251-262

DUARTE, R. B. **Patologia das edificações**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. Apostila de aula

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. E., 1975.

HANSENACK, H.; FERRARO, L. W. **Clima urbano**. In: ATLAS AMBIENTAL DE PORTO ALEGRE. Porto Alegre, Ed. Universidade/UFRGS, 1998. p.147-150.

HICKEL, H. T.; ALBANO, M. T. F.; PALVLICK, I. M. B.; BETTIOL, D. **A organização urbana**. In: ATLAS AMBIENTAL DE PORTO ALEGRE. Porto Alegre, Ed. Universidade/UFRGS, 1998. p. 107-109.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Climatologia**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 10.ago.2005.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL. **Projeto Monumenta**. Disponível em: < <http://www.ipan.gov.br>>. Acesso em: 17.set.2004.

JOHN, V. M. **Avaliação da durabilidade de materiais componentes e edificações**: emprego do índice de degradação, 1987. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 1987.

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

LERSCH, I. M., **Contribuição para identificação dos principais fatores e mecanismos de degradação em edificações do patrimônio cultural de Porto Alegre.** 2003. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2003.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das Construções.** São Paulo: Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 1986. Boletim técnico n.06, 1986.

LIMA, C. B. S.; LIVI, F. P.; MURILLO, R. M. R.; SILVA, N. L. A.; MELCHORS, D. J. **Emissões Atmosféricas.** In: ATLAS AMBIENTAL DE PORTO ALEGRE. Porto Alegre, Ed. Universidade/UFRGS, 1998. p. 163-168.

LIMA, M. G. L.; MORELLI, F. Degradação das estruturas de concreto devido à amplitude térmica brasileira. In: SIMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO. 5. **Anais...** São Paulo, 2003. 1 CD Room.

_____. Mapa Brasileiro de chuva dirigida. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS. 6. **Anais...** Florianópolis, 2005. [s.n.], 2005. 1 CD Room.

LIMA, M. G. L.; MORELLI, F. ;LENCIONI, J. W. Discussão sobre parâmetros ambientais de degradação do ambiente construído. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS. 6., 2005, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis: [s.n.], 2005. 1 CD Room.

LIVI, F. P. **Elementos do clima.** In: ATLAS AMBIENTAL DE PORTO ALEGRE. Porto Alegre, Ed. Universidade/UFRGS, 1998. p.73-78.

MACDONALD, A. J. **Wind loading on buildings.** London: Applied Science, 1975.

MARSH, P. **Air and rain penetratin of buildings.** London: The Construction Press, 1977.

MASCARÓ, L. R. **Energia na edificação: estratégia para minimizar seu consumo.** São Paulo: Ed. Projeto, 1985.

_____. **Energia na edificação: estratégia para minimizar seu consumo.** São Paulo: Ed. Projeto, 1986. Anexos

_____. **Ambiência Urbana = Urban environment.** 2. ed. Porto Alegre: + 4 Editora, 2004, p.199.

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

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:

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DAS ARGAMASSAS, 5. **Anais...** São Paulo, 2003.

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

PEREZ, A. R. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas (1ª parte). **Tecnologia de edificações**. São Paulo: Pini, 1988a. p. 571-574.

_____. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas (2ª parte). **Tecnologia de edificações**. São Paulo: Pini, 1988b. p. 575-578.

_____. Manutenção dos edifícios. **Tecnologia de edificações**. São Paulo: Pini, 1988c. p. 611-614.

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

PESAVENTO, S.J. **O espetáculo da rua**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS, 1996.

PETRUCCI, H.M.C. **Alteração da aparência das fachadas dos edifícios: Interação entre as condições ambientais e a forma construída, 2000**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre: UFRGS, 2000.

REIS FILHO, N.G. **Quadro da arquitetura no Brasil**. 10 ed. São Paulo: Ed. Perspectiva, 2004.

RIVERO, ROBERTO O. **Arquitetura e clima: acondicionamento técnico natural**. Porto Alegre: Ed. D. C. Luzzato, UFRGS, 1985.

ROBINSON, G.; BAKER, M. C. **Wind-driven rain and buildings**. Ottawa: National Research Council Canada, Division of Building Research, 1975. Technical Paper, 445.

ROSVALL, J. **Air pollution and consevation**. IN: DURABILITY OF MATERIALS. Amsterdam, Elsevier Science Publisher B. V., 1988. 5v. p. 209-237.

SATO, N. M. N. et al.. Penetração de umidade e crescimento de fungos em fachadas. In: ENTAC 95 QUALIDADE E TECNOLOGIA NA HABITAÇÃO. **Anais...** Rio de Janeiro, ANTAC/UFRJ, 1995. 2v. v.2, p. 717-727.

_____. 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, 2003. Apostila de aula.

SCRUTON, C. **An introduction to wind effects on structures**. Oxford, Inglaterra: Oxford University Press, 1981.

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, W.W.S., Desenvolvimento de pesquisa em tecnologia do projeto das edificações. In: I ENCONTRO NACIONAL DA COMISSÃO TÉCNICA I. 1. **Anais...** Porto Alegre, ANTAC, 1988. 214 p.

SOUZA, C. F. **Contrastes regionais e formações urbanas**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000.

SOUZA, V.C.M.; RIPPER, T. **Patologia recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

SOUZA, V.C.M.; LIMA, N.A.; CUNHA, A.J.P.C. **Acidentes estruturais na construção civil**. São Paulo: Pini, 1996.

SURRY, D.; INCULET, D. R.; SKERLJ, P. F.; LIN J-X.; DAVENPORT, A. G. Wind, rain and building envelope: a status report of ongoing research at 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 (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.

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

UBER, L. L. **A climatologia aplicada ao ambiente construído: uma contribuição à caracterização climática de Porto Alegre/RS**. 1992. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre: UFRGS, 1992.

UEMOTO, K. L. **A pintura na manutenção de edifícios**. Tecnologia de edificações. São Paulo: Pini, 1988. p. 615-618.

ULSAMER, F. **A humidade na construção civil**. Barcelona: Ediciones CEAC AS, 1975.

VIEIRA, A.A. **Análise físico-social de uma fração urbana**. Porto Alegre: UFRGS, 1989. Trabalho de conclusão da disciplina de Forma I.

WEIMER, G.; BERTUSSI, P. I.; MACEDO, F. R.; ROHDE, G. M.; SOUZA, N. **A arquitetura no Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Mercado Aberto, 1987.

_____. **Origem e evolução das cidades Rio-Grandenses**. Porto Alegre: Livraria do Arquiteto, 2004.