

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Marcelo Fröhlich Grüner

**METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS
MOLHADAS EM MODELOS SUBMETIDOS
À SIMULAÇÃO DE CHUVA DIRIGIDA**

Porto Alegre
julho 2014

MARCELO FRÖHLICH GRÜNER

**METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS
MOLHADAS EM MODELOS SUBMETIDOS
À SIMULAÇÃO DE CHUVA DIRIGIDA**

Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Angela Borges Masuero
Coorientadora: Lais Zucchetti

Porto Alegre
julho 2014

MARCELO FRÖHLICH GRÜNER

**METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS
MOLHADAS EM MODELOS SUBMETIDOS
À SIMULAÇÃO DE CHUVA DIRIGIDA**

Porto Alegre, julho de 2014

Profa. Angela Borges Masuero
Dra. pela UFRGS
Orientadora

Lais Zucchetti
Mestre pela UFRGS
Coorientadora

Profa. Carin Maria Schmitt
Dra. pelo PPGA/UFRGS
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Lais Zucchetti (UFRGS)
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Patricia Carone Poyastro
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Silvia Trein Heimfarth Dapper (UFRGS)
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Astor e Liana, e minha
namorada, Bruna, que sempre estiveram ao meu lado
em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Lais Zucchetti, coorientadora deste trabalho, que confiou em mim e sempre me motivou para fazer um trabalho de qualidade.

Agradeço à minha orientadora, prof. Angela Masuero, ao prof. Acir Mércio Loredo Souza e à Patricia Poyastro, pelo auxílio intelectual, emocional e pela disponibilidade que me prestaram.

Agradeço à minha namorada Bruna, por todo apoio, sendo um porto seguro em todas as horas.

Agradeço aos meus pais, por sempre estarem ao meu lado, zelando por mim.

Obstáculos e dificuldades fazem parte da vida.
E a vida é a arte de superá-los.

Mestre DeRose

RESUMO

A atual demanda do mercado imobiliário levou a um aumento na construção de edificações, entretanto, a qualidade destas não acompanhou este crescimento. Desta forma, tem aumentado o número de estudos que identificaram níveis consideráveis de manifestações patológicas nas construções. Neste sentido, a chuva dirigida exerce papel relevante na deflagração destas manifestações, uma vez que é uma importante fonte de umidade externa incidente nas fachadas das edificações, e não pode ser evitada, apenas controlada. Na engenharia civil, são escassos os trabalhos que abordam a chuva dirigida através da realização de ensaios experimentais. Até o momento, não se tem conhecimento de estudos que tenham quantificado as áreas molhadas e protegidas de modelos submetidos à chuva. Sendo assim, este trabalho apresenta uma proposta de metodologia para quantificar as áreas de fachada afetadas pela chuva dirigida, em modelos reduzidos, submetidos ao fenômeno em túnel de vento, utilizando para isto, técnicas com *software* de tratamento de imagem, mais especificamente a quantificação de *pixels*. Os modelos analisados foram testados na pesquisa sobre chuva dirigida desenvolvida por Poyastro (2011). Este trabalho objetiva poder contribuir com informações para o desenvolvimento de projetos mais adequados com relação à proteção das fachadas das edificações considerando o fenômeno da chuva dirigida. Foi proposta então a utilização do *software* Photoshop CC para o tratamento das imagens, demonstrando as etapas da metodologia que permite a quantificação das áreas. Analisaram-se nove imagens com diferentes configurações de volumetria e entorno/vizinhança, sendo que para cada uma destas utilizaram-se duas tolerâncias para seleção dos *pixels*, com resultados em porcentagens de áreas molhadas e secas. A definição da tolerância e a seleção dos *pixels* demonstraram ser etapas relevantes para a adequada avaliação dos modelos, bem como a qualidade das imagens. Ademais, a metodologia proposta demonstrou ser acessível e permitiu a realização de uma avaliação quantitativa de áreas secas e molhadas em modelos reduzidos submetidos à chuva dirigida de forma experimental.

Palavras-chave: Chuva Dirigida. Quantificação de Áreas Molhadas. Manifestações Patológicas em Fachadas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama esquemático do delineamento da pesquisa.....	18
Figura 2 – Forças que causam a penetração de água em fachadas de edificações.....	24
Figura 3 – Demonstrativo da ação do vento em edificações.....	28
Figura 4 – Fluxo típico do vento em torno de uma edificação.....	28
Figura 5 – Isopletas da velocidade básica V_o (m/s).....	30
Figura 6 – Precipitação total média anual no Brasil.....	34
Figura 7 – Demonstração de lavagem suja e branca em fachada de edificação.....	36
Figura 8 - Padrão de umedecimento em forma de parábola em fachadas de edificações.....	37
Figura 9 – Exposição de fachadas à chuva dirigida em Porto Alegre de acordo a orientação.....	39
Figura 10 – Principais trabalhos realizados com chuva dirigida em fachadas de edificações em escala real.....	42
Figura 11 – Padrão de umedecimento no experimento de Surry et al.....	44
Figura 12 – Ginásio em escala real.....	46
Figura 13 – Ginásio em escala reduzida.....	46
Figura 14 – Ensaios realizados para determinação das tomadas de pressão do vento.....	48
Figura 15 – Ensaios realizados para chuva dirigida.....	48
Figura 16 – Representações das configurações de ensaio.....	49
Figura 17 – Quadro com as imagens utilizadas para quantificação das áreas umedecidas.....	53
Figura 18 – Corte da imagem.....	55
Figura 19 – Contagem de pixels.....	56
Figura 20 – Tolerância.....	56
Figura 21 – Seleção dos pixels.....	57
Figura 22 – Resultados para a imagem M1-E1 com tolerância	60
Figura 23 – Resultados para a imagem M1-E1 com tolerância	60
Figura 24 – Resultados para a imagem M1-E2 com tolerância	61
Figura 25 – Resultados para a imagem M1-E2 com tolerância	62
Figura 26 – Resultados para a imagem M1-E3 com tolerância	63
Figura 27 – Resultados para a imagem M1-E3 com tolerância	63
Figura 28 – Resultados para a imagem M2-E1 com tolerância	64
Figura 29 – Resultados para a imagem M2-E1 com tolerância	65
Figura 30 – Resultados para a imagem M2-E2 com tolerância	66

Figura 31 – Resultados para a imagem M2-E2 com tolerância	67
Figura 32 – Resultados para a imagem M2-E3 com tolerância	68
Figura 33 – Resultados para a imagem M2-E3 com tolerância	68
Figura 34 – Resultados para a imagem M3-E1 com tolerância	69
Figura 35 – Resultados para a imagem M3-E1 com tolerância	69
Figura 36 – Resultados para a imagem M3-E2 com tolerância	71
Figura 37 – Resultados para a imagem M3-E2 com tolerância	71
Figura 38 – Resultados para a imagem M3-E3 com tolerância	72
Figura 39 – Resultados para a imagem M3-E3 com tolerância	73
Figura 40 – Gráfico com resultados obtidos a partir da tolerância	74
Figura 41 – Gráfico com resultados obtidos a partir da tolerância	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fator de rugosidade S2.....	31
Tabela 2 – Valores mínimos do fator estatístico S3.....	32
Tabela 3 – Graus de exposição a chuva dirigida em um ano sobre uma superfície vertical perpendicular ao vento.....	39
Tabela 4 – Formas estudadas na fase 2 do experimento de Surry et al.....	44
Tabela 5 – Resultados de quantificação de áreas.....	74

LISTA DE SIGLAS

ICD – Índice de chuva dirigida

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

WDR – *Wind driven-rain*

LAC – Laboratório de Aerodinâmica das Construções

NBR – Norma Brasileira

LISTA DE SÍMBOLOS

V_k = velocidade característica do vento (m/s)

V_o = velocidade básica do vento (m/s)

S_1 = fator topográfico

S_2 = fator de rugosidade, dimensão da edificação e altura acima do terreno

S_3 = fator estatístico

q = pressão dinâmica (N/m²)

V_k = velocidade característica do vento (m/s)

F_a = força global do vento (N)

q = pressão dinâmica (N/m²)

A_e = área frontal efetiva (m²)

C_a = coeficiente de arrasto

DRI = índice de chuva dirigida (m²/s)

V = velocidade média anual do vento (m/s)

P = total de precipitação anual (mm)

A_i = porcentagem da área selecionada (%)

P_i = quantidade de *pixels* da cor selecionada (uni)

P_t = quantidade de *pixels* total da imagem (uni)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	16
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	16
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	16
2.2.1 Objetivo Principal.....	16
2.2.2 Objetivo Secundário.....	16
2.3 PRESSUPOSTO.....	17
2.4 PREMISA.....	17
2.5 DELIMITAÇÕES.....	17
2.6 LIMITAÇÕES.....	17
2.7 DELINEAMENTO.....	17
3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS.....	20
3.1 PENETRAÇÃO DA ÁGUA.....	23
3.2 ESCORRIMENTO DA ÁGUA.....	24
4 AGENTES EXTRÍNSECOS.....	27
4.1 AÇÃO DO VENTO.....	27
4.1.1 Velocidade básica do vento.....	29
4.1.2 Velocidade característica do vento.....	30
4.1.3 Pressão dinâmica.....	32
4.1.4 Força global.....	33
4.2 PRECIPITAÇÃO.....	33
5 CHUVA DIRIGIDA.....	35
5.1 MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS.....	37
5.2 MÉTODOS NUMÉRICOS.....	40
5.3 MÉTODOS EXPERIMENTAIS.....	40
5.3.1 Estudo experimental desenvolvido por SURRY (1994).....	43
5.3.2 Experimento realizado por RUPP (2010).....	45
5.3.3 Simulação experimental desenvolvida por POYASTRO (2011).....	47
6 METODOLOGIA DE QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS MOLHADAS.....	52
7 DESENVOLVIMENTO DAS ANÁLISES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	59
7.1 MODELO 1 – ENTORNO 1.....	59
7.2 MODELO 1 – ENTORNO 2.....	61

7.3 MODELO 1 – ENTORNO 3.....	62
7.4 MODELO 2 – ENTORNO 1.....	64
7.5 MODELO 2 – ENTORNO 2.....	66
7.6 MODELO 2 – ENTORNO 3.....	67
7.7 MODELO 3 – ENTORNO 1.....	69
7.8 MODELO 3 – ENTORNO 2.....	70
7.9 MODELO 3 – ENTORNO 3.....	72
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
REFERÊNCIAS.....	78

1 INTRODUÇÃO

Com o recente *boom* no mercado imobiliário, as construtoras necessitam tanto superar a grande competição no ramo, quanto convencer os clientes de que seus produtos primam pela excelência, apresentando diferenciais em questões financeiras, estéticas, de qualidade e de segurança. Neste contexto, estão as fachadas, que, por terem contato direto com o ambiente externo, e, serem o primeiro referencial notado pelo possível comprador devido ao contato visual inicial, exigem soluções que atendam às condições de desempenho quanto à durabilidade e estética (RESENDE; MEDEIROS, 2004, p. 2).

O estudo da influência da chuva sob ação do vento sobre as edificações, interação entre dois agentes externos de degradação, vem recebendo cada vez mais atenção, pois problemas associados à umidade estão se tornando corriqueiros, acarretando em prejuízos estéticos e financeiros. Estes problemas estão relacionados a novos sistemas construtivos, novas formas arquitetônicas e aos materiais empregados, que conjuntamente com a poluição e a chuva, acabam alterando os revestimentos de fachadas, seja pelo escoamento ou então pela penetração da água e sujidades presentes nos paramentos (POYASTRO, 2011, p. 26).

A umidade em fachadas tem como importante fonte a chuva dirigida, que pode ser definida como a ação conjunta da chuva e do vento incidente nas fachadas quando da precipitação (SILVA; GIRALT, 1995). Entretanto, a utilização de métodos experimentais para a determinação do comportamento deste fenômeno ainda não é muito utilizada na engenharia civil e apresenta grande complexidade, mesmo que, em outros campos, existam diversos trabalhos relacionados a este assunto. Os métodos experimentais, neste caso, baseiam-se basicamente na realização de ensaios de modelos reduzidos, em laboratórios de túnel de vento, buscando simular este fenômeno para descrever sua ação nas mais diversas situações (POYASTRO, 2011).

De acordo com Robinson e Baker (1975), a chuva não incidirá uniformemente sobre a fachada; haverá uma deposição mais concentrada no topo e nos cantos deste, formando, inicialmente, uma parábola. Porém a quantificação desta área ainda figura como uma informação desconhecida, e, a partir deste conceito, o trabalho foi desenvolvido, apresentando uma proposta de metodologia para a solução desta questão.

Para isso são utilizados os resultados de ensaios de chuva dirigida realizados em laboratório de túnel de vento, elaborados por Poyastro (2011). Os ensaios foram realizados com modelos reduzidos em diferentes configurações de volumetria e condições de entorno/vizinhança. Tanto a chuva como o vento, foram simulados em escala reduzida e medidos respectivamente através de tomadas de pressão e papel especial que altera sua cor sob a presença de água.

Com os resultados deste trabalho pretende-se orientar de forma mais precisa projetos de engenharia, relacionados a fachadas de edificações, para minimizar o aparecimento de futuras manifestações patológicas e manutenções nos paramentos externos das construções, que acarretam em prejuízos financeiros para os proprietários, além disso, a otimização dos projetos resultará em maior durabilidade dos materiais e da estética.

No capítulo 2 são apresentadas as diretrizes de pesquisa deste trabalho, contendo a questão de pesquisa, os objetivos, o pressuposto, a premissa, as delimitações, as limitações e o delineamento.

No capítulo 3 as manifestações patológicas nas fachadas causadas pela chuva dirigida são o tema principal, dando ênfase para penetração e escoamento de água. Já o capítulo 4 mostra os dois principais agentes extrínsecos relacionados a chuva dirigida, mais especificamente, a ação do vento e a precipitação. O capítulo 5 decorre sobre o fenômeno de chuva dirigida, mostrando trabalhos que foram realizados para analisar este fenômeno, que é o tema principal deste trabalho.

A proposta de metodologia é apresentada no capítulo 6, mostrando as etapas do método utilizado para contabilizar as áreas molhadas em fachadas de edificações. Os resultados obtidos a partir desta proposta são apresentados no capítulo 7. No capítulo 8 as considerações finais são realizadas com base nos resultados obtidos.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

Como diretrizes de pesquisa para a elaboração do trabalho foi definida a questão de pesquisa, os objetivos, o pressuposto, a premissa, as delimitações, as limitações e o delineamento, como é mostrado a seguir.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: partindo de resultados estabelecidos em modelos reduzidos submetidos à chuva dirigida em túnel de vento para determinar o padrão de umedecimento em fachadas de edificações, como podem ser quantificadas as áreas afetadas pelo molhamento?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é desenvolver uma proposta de uma metodologia para quantificação de áreas afetadas pelo molhamento em modelos reduzidos submetidos à chuva dirigida em túnel de vento.

2.2.2 Objetivo secundário

O objetivo secundário do trabalho é quantificar as áreas afetadas pela chuva dirigida em fachadas de edificações.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que o Túnel de Vento da UFRGS reproduz com fidelidade as condições ambientais de chuva e vento.

2.4 PREMISSE

O trabalho tem por premissa a relevância de se obter informações quantitativas para orientar futuros projetos para a otimização da durabilidade de fachadas de edificações, evitando a ocorrência de manifestações patológicas.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à verificação do fenômeno de chuva dirigida em fachadas de modelos reduzidos que reproduzam edificações com o uso de resultados de ensaios realizados no Túnel de Vento da UFRGS.

2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) a reprodução em laboratório de condições de chuva e vento;
- b) a utilização de resultados de ensaios realizados anteriormente sem a presença deste autor;
- c) um número limitado de configurações no ensaio para a edificação escolhida;
- d) o uso de programas computacionais para quantificar as áreas.

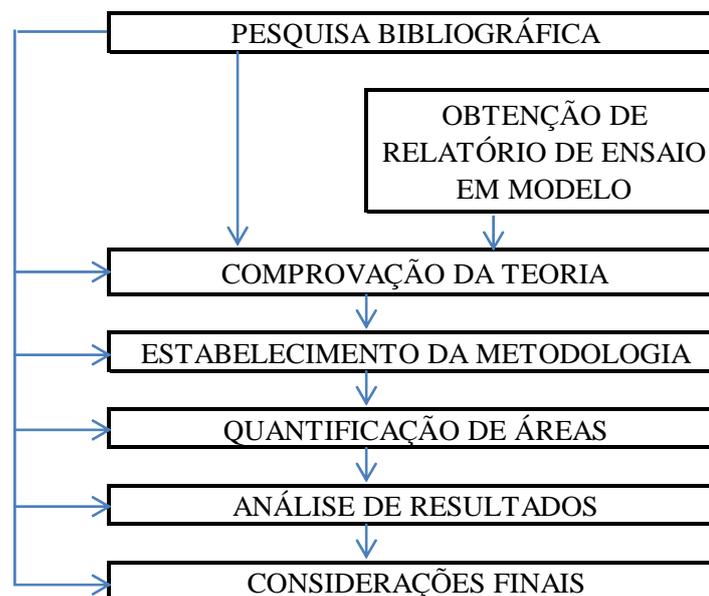
2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;

- b) obtenção de relatório de ensaio em modelo;
- c) comprovação da teoria;
- d) estabelecimento de metodologia;
- e) quantificação de áreas;
- f) análise de resultados;
- g) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama esquemático do delineamento da pesquisa



(fonte: elaborada pelo autor)

O trabalho teve início pela **pesquisa bibliográfica**, responsável pelo embasamento teórico sobre chuva dirigida e suas consequências nas edificações. Como quase inexitem trabalhos experimentais desenvolvidos nesta área específica, foram utilizados trabalhos realizados na Universidade Federal do Rio Grande do Sul e no Canadá.

Em seguida, os esforços foram concentrados na **obtenção de relatório de ensaio em modelo** que demonstre para uma edificação, diante de diferentes configurações, a interação entre as fachadas dos modelos e a chuva dirigida. Com os resultados obtidos, pode-se fazer a **comprovação da teoria**, através da verificação do molhamento das fachadas do modelo com padrão de parábola.

A partir desta constatação, foi então realizado o **estabelecimento da metodologia**, que consiste no foco deste trabalho, no qual foi desenvolvida uma proposta para **quantificação de áreas** em modelos submetidos à chuva dirigida com a utilização de programas empregados no tratamento/manipulação de imagens. Os resultados são apresentados em forma de percentual e comparados para todas as configurações analisadas.

Com as informações coletadas, foi efetuada a **análise dos resultados**, em que pôde ser feita uma avaliação geral da eficiência da metodologia. Restaram então somente as **considerações finais**, quando puderam ser feitos comentários adicionais a partir de conhecimentos retirados deste trabalho.

3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS DECORRENTES DA CHUVA DIRIGIDA

Toda edificação possui um elemento entre o ambiente interno e externo, que pode ser constituída por diversos materiais, como concreto ou alvenaria. A função deste elemento, denominado “envelope do edifício”, é resistir integralmente aos elementos da natureza, como chuva, vento, ruído, ou pelo menos amenizar o efeito destes, satisfazendo as condições de conforto (BAUER, 1987, p. 1).

Para estudar o efeito da chuva dirigida em fachadas de edificações, é necessário avaliar o que pode ocorrer se este fenômeno não for considerado na etapa de concepção de projetos. Problemas como envelhecimento e a degradação das fachadas de edificações são cada vez mais comuns em edificações recentes, principalmente o segundo, que para Van Mook (2002, p. 11, tradução nossa), ocorre devido a diversos fatores: clima, a qualidade do projeto de arquitetura, construção e a falta de manutenção. A utilização de detalhes arquitetônicos modernos mais audaciosos e lisos inibiu antigos detalhes que impediam o escoamento da chuva e dos poluentes, trazendo consigo um aumento de manifestações patológicas (POYASTRO, 2011, p. 26).

Já Poyastro (2011, p. 33) separou os elementos que condicionam o manchamento de fachadas de edificações em dois grupos:

Eles estão divididos em fatores extrínsecos, que são agentes climáticos (fatores que são independentes das características das fachadas), e fatores intrínsecos (que dependem das características das fachadas).

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

Dentre os elementos externos, foram considerados neste trabalho a chuva e o vento, caracterizando a chuva dirigida. Este fenômeno exerce importante papel na determinação dos manchamentos das fachadas das edificações, uma vez que é a água da chuva quem carrega as sujidades pelos paramentos das construções. Estas manifestações são corriqueiras em fachadas de edificações e provocam um aspecto de envelhecimento, mesmo que tenham sido

construídas recentemente. Este visual envelhecido acaba reduzindo a valorização do imóvel, e conseqüentemente, afetando tanto psicologicamente como financeiramente os eventuais moradores ou investidores. Neste sentido é importante ressaltar que a NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 3) estabeleceu critérios pouco visados em normas específicas brasileiras, como durabilidade, manutenção e conforto. Desta forma, espera-se que as construtoras e incorporadoras deem mais atenção ao desempenho das edificações, utilizando métodos que tornem seu produto mais atrativo para o consumidor.

Uma das principais responsáveis pelas manifestações patológicas em fachadas, por estar diretamente ligada ao fenômeno de chuva dirigida, é a umidade. De acordo com Loredo-Souza e Fante (1999, p. 988), os problemas relacionados ao umedecimento ocupam o segundo lugar em ocorrência de patologias, de acordo com levantamento feito pela Fundação de Ciência e Tecnologia (Cientec). Já dentre estas falhas, as mais recorrentes são as causadas pela umidade de infiltração, que ocorre devido à ação da interação entre chuva e vento, ou seja, a chuva dirigida (DAL MOLIN, 1988, p. 126).

Dal Molin (1988, p. 128) indica que os problemas de umidade ocorrem com maior frequência em edificações com mais de três pavimentos. Isso se deve a relação da velocidade média do vento com a altura, sendo o valor, no solo, nulo e aumenta exponencialmente. Como as principais patologias de umidade são provenientes de infiltração, a ação da chuva e do vento tem mais intensidade em maiores alturas.

Um trabalho realizado em Porto Alegre, visando fazer um diagnóstico de manifestações patológicas em edificações, desenvolvido por Marques (2009, p. 61), demonstrou que os principais problemas encontrados foram os descolamentos de placas e o empolamento no revestimento externo de argamassa. A causa encontrada foi, justamente, a umidade nas fachadas, causada pela infiltração de água no revestimento, afetando inclusive as áreas internas, nas quais evapora e provoca descolamentos.

Giongo (2007, p. 16) expressa que os problemas de umidade estão diretamente ligados ao desempenho e à vida útil de uma edificação. Estes problemas podem afetar a satisfação do usuário, e até propiciar o desenvolvimento de bolores, que podem prejudicar a saúde dos moradores.

Como uma das necessidades para a ocorrência de problemas de umidade em fachadas de edificações é justamente haver uma fonte de água disponível, Straube (2002, p. 2, tradução nossa) cita quais são as quatro primárias:

- a) água líquida, de precipitação (chuva ou neve derretida) ou vazamentos de tubulações;
- b) vapor d'água, do exterior e de atividade e processos do entorno da edificação;
- c) líquido e vapor do solo confinado na edificação;
- d) umidade contida nos materiais de construção ou trazida com bens e pessoas.

Já Perez (1988, p. 571) indica os tipos de umidade do seguinte modo, a partir de uma classificação internacionalmente aceita:

- a) proveniente da execução da obra;
- b) de infiltração;
- c) de condensação;
- d) de absorção e capilaridade;
- e) acidental.

A umidade de infiltração, juntamente com a absorção e capilaridade, é a mais importante para este trabalho devido à sua relação com o efeito de chuva dirigida. Este tipo de infiltração caracteriza-se pela penetração de água no envelope da edificação por meio de falhas nos materiais constituintes, sendo que isto pode acontecer em fachadas ou coberturas (COSTELLA; GEYER, 1997, p. 375). Consequentemente, das quatro fontes primárias de água disponíveis citadas por Straube (2002), a que implicada mais neste trabalho é água líquida de precipitação, pois tem uma influência muito mais significativa que as outras no umedecimento de fachadas.

Além disso, é preciso ter em mente que soluções para acabar definitivamente com problemas de umidade podem não ser permanentes, exigindo assim, futuros cuidados para evitar o retorno das patologias. Acompanhamento e manutenção são medidas imprescindíveis para combater o surgimento destes problemas (COSTELLA; GEYER, 1997, p. 379).

Nos próximos itens, são discutidos os conceitos de penetração e escorrimento da água. Estes fatores podem ser considerados como os principais responsáveis pelos problemas de umidade em fachadas de edificações.

3.1 PENETRAÇÃO DA ÁGUA

A penetração de água em fachadas de edificações, especialmente as com base em alvenaria, é correlacionada (BAUER, 1987, p. 19):

[...] com diversos fenômenos físicos os quais determinam a incidência da chuva sobre as paredes, com fenômenos que regem o comportamento dos materiais porosos quando solicitados pela chuva e com aspectos construtivos pertinentes a concepção e construção das paredes (detalhes de projeto, defeitos, componentes, tratamento superficial, etc.).

Garden (1963, p. 1, tradução nossa) determinou que a penetração de água em fachadas de edificações ocorre por meio de “[...] água na parede, aberturas que permitam sua passagem e forças que conduzam-na para dentro.”.

O primeiro processo refere-se à incidência da água sobre a superfície da fachada por meio de precipitação, sendo esta maior ou menor de acordo com a relação das paredes da edificação com o meio ambiente. A formação do escoamento de água sobre a parede depende de fatores como os materiais utilizados na fachada e da precipitação de chuva (GARDEN, 1963, p.1).

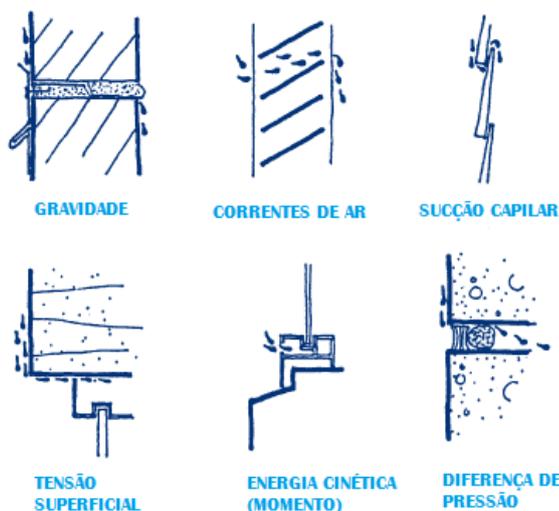
O segundo processo ocorre pela presença de brechas na fachada pelas quais a água pode entrar, tanto em aberturas naturais dos materiais como poros, em outras de origem patológica, como fissuras, e ainda têm algumas de origem construtiva, como as juntas de dilatação (POYASTRO, 2011, p. 109).

Já no terceiro processo, exemplificado na figura 2 e segundo Beall (2000, p. 1, tradução nossa):

Diversas forças podem causar penetração de água através destas aberturas [...]:

- a) gravidade;
- b) correntes de ar;
- c) sucção capilar;
- d) tensão superficial;
- e) energia cinética (momento);
- f) pressão do ar;
- g) pressão hidrostática.

Figura 2 – Forças que causam a penetração de água em fachadas de edificações



(fonte: adaptado de BEALL, 2000, p. 1)

Adicionalmente, Marsh (1977, p. 12, tradução nossa) explica que as três formas de penetração de umidade pelo transporte do ar são relacionadas ao grau de exposição da edificação. Ou seja, é dependente do vento que está levando a chuva e de acordo com a orientação deste. Sem levar em consideração esta informação a análise pode se mostrar incorreta, pois é necessário investigar antes os fatores climáticos da envoltória do edifício para depois estudar o fluxo de água sobre a superfície da fachada.

Os problemas de penetração de água podem ser amenizados com a utilização de três estratégias (BEALL, 2000, p. 30, tradução nossa):

- a) utilização de materiais e técnicas, como selantes de junta, defletores, calhas, projeções, para diminuir a ação da água e sua penetração nas fachadas;
- b) a execução de ventilação, drenagem e secagem/evaporação para diminuir o acúmulo de água na superfície;
- c) a utilização de mecanismos que impeçam o transporte de água, como pingadeiras e painéis de chuva.

3.2 ESCORRIMENTO DA ÁGUA

Marques (2009, p. 61) salienta que entre os principais fenômenos causadores de patologias, se destaca o escoamento de água pela fachada, causado pela incidência de chuva dirigida e a falta de detalhes arquitetônicos que atenuem seu efeito no revestimento.

De acordo com Petrucci et al. (2004, p. 3), o escoamento da água é diretamente influenciado pela porosidade do material de revestimento. De acordo com o nível de porosidade do material escolhido, a água pode ser absorvida ao máximo no coroamento, diminuindo o efeito de lavagem na fachada em grande proporção, ou minimamente, aumentando o escoamento de água.

Segundo Carrié et al.¹ (1975 apud PETRUCCI, 2000, p. 30) os fatores que fazem com que a velocidade e intensidade do escoamento de água que desce através da fachada diminuam, são os seguintes:

- a) quanto maior a quantidade de sujeira sendo carregada, maior a viscosidade do líquido;
- b) quanto mais próxima do solo, menor a quantidade de chuva recém chegada na fachada;
- c) a porosidade de materiais pode absorver a água;
- d) materiais pulverulentos podem absorver a água, diminuindo seu deslocamento superficial.

Tendo em mente estas afirmações, é possível explicar a razão pela qual a água escorre por trajetórias preferenciais (CARRIÉ et al², 1975, apud, PETRUCCI, 2000, p. 30) em:

[...] paramentos, junto aos extremos dos peitoris das janelas, e a formação e aspecto desses deslizamentos, junto aos extremos dos peitoris das janelas, e a formação e aspecto desses deslizamentos preferentes e localizados de água: um escoamento preferente e localizado é fortemente limitado em largura; a velocidade do deslocamento é máxima no centro e nula sobre as margens; sendo assim, as sujidades que são transportadas se depositam preferencialmente sobre as margens onde a velocidade é mínima; os escoamentos sucessivos que se produzem sobre os mesmo leitos incrementam a sujidade depositada, formando barreiras de sujidade que delimitam perfeitamente as zonas submetidas ou não ao escoamento. A água que atinge estas zonas da fachada é imediatamente absorvida pelas sujidades (depositadas por escoamentos anteriores), conservando maior umidade no paramento e com isso favorecendo novos depósitos e acentuando o fenômeno com o passar do tempo.

Conforme Petrucci (2000, p. 42), o volume de água no escoamento pela fachada depende da quantidade de água de chuva e de elementos que recebam esta água e tenham a capacidade de vertê-la de volta, protegendo as superfícies. Esta quantidade de água que escorre sobre a interface da edificação está ligada a redistribuição e eliminação de sujeira.

¹ CARRIE, C.; MOREL, D.; FOURQUIN, J. **Salissures de façades**. Paris: Eyrolles, 1975.

O escoamento de água da chuva pelas fachadas de edificações tem relação direta com a porosidade do material de revestimento externo utilizado. Segundo Torraca³ (1986 apud PETRUCCI, 2000, p. 42), “A água da chuva que incide sobre os paramentos de fachadas pode penetrar no seio da porosidade aberta, em uma certa grandeza, dependendo do índice de absorção da água pelo material [...]”.

Também tem forte influência no escoamento a rugosidade do material utilizado, pois certos materiais, como alvenaria de pedra e tijolos, têm a capacidade de absorver a água, evitando o escoamento de água. Porém estes materiais também têm problemas, a sua rugosidade permite o depósito e adesão de partículas de sujeira (ROBINSON; BAKER, 1975, p. 10).

A geometria da fachada tem papel preponderante no escoamento de água sobre seus paramentos, pois, de acordo com Petrucci (2000, p. 44), “[...] trata-se do principal meio de controle da alteração da aparência das fachadas por manchamento devido às sujidades atmosféricas.”.

² op. cit.

³ TORRACA, G. **Materiaux de construction poreux**; science des matériaux por la conservation architecturale. Rome: ICCROM, 1986.

4 AGENTES EXTRÍNSECOS ABORDADOS NESTA PESQUISA

Como mencionado anteriormente, os agentes extrínsecos são aqueles que provêm das condições ambientais, como vento e chuva, e afetam o manchamento de fachadas. De acordo com Petrucci (2001, p. 54), estes são diretamente relacionados à localização e condição urbana de onde a edificação será ou está concebida. E são justamente estes dois fatores que são discutidos nos próximos subcapítulos, a fim de construir uma base teórica para chegar à chuva dirigida.

4.1 AÇÃO DO VENTO

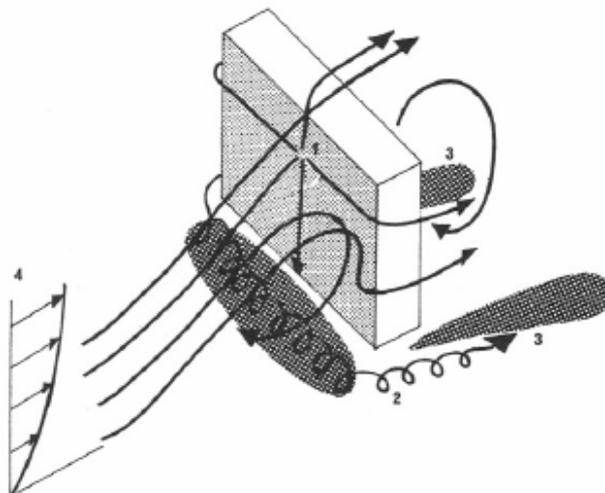
O conceito de vento e sua ação são definidos por Gandemer (1978, p. 4, tradução nossa) como “um fluxo de ar que tende a equalizar diferentes zonas de pressão na atmosfera. Em baixas altitudes, tem uma significativa ‘agitação’ ou turbulência. Assim, em um determinado ponto a velocidade do vento irá flutuar em magnitude e direção.”.

Gandemer (1978, p. 3, tradução nossa) ainda explica a ação do vento em torno de uma edificação do seguinte modo, exemplificada na figura 3, onde os números de 1 a 4 representam respectivamente, o ponto de separação, vórtice em forma de rolo, zona lateral de vórtices e o gradiente vertical de velocidade média:

Na face a barlavento de um grande obstáculo, o vento causa uma distribuição de sobrepressão em uma função crescente da altura dependendo do gradiente vertical de velocidade média. Assim, o fluxo desce ao longo da face frontal e ao encontro do chão formando um vórtice rolado [...]; faixas de ar são forçada a passar em volta do obstáculo, e na esteira de partida das linhas separadoras ao longo da borda aguda, zonas de baixa pressão aparecem, que são relativamente constantes com a altura e essencialmente relacionadas a velocidade no topo da edificação.

A grande quantidade de efeitos aerodinâmicos que podem ocorrer em edificações, mostra como é complexa a ação do vento em edificações e no entorno destas. Para isso, são necessários ensaios em laboratório, como o Túnel de Vento da UFRGS, que possibilitam (BLESSMANN, 2011, p. 112) “[...] desenvolver satisfatoriamente estudos de efeitos estáticos e dinâmicos sobre construções civis em geral, além da determinação de características de ventos simulados e outras pesquisas [...]”.

Figura 3 – Demonstrativo da ação do vento em edificações



(fonte: GANDEMER, 1978, p. 3)

Determinar o fluxo de ar no entorno de edificações é essencial para o desenvolvimento deste trabalho, pois auxilia o entendimento posterior do funcionamento do padrão de umedecimento em fachadas. Penwarden e Wise (1975, p. 1, tradução nossa), fornecem uma breve explicação sobre as características desta interação entre vento e edificações, sendo que este fenômeno está representado na figura 4, tendo sido utilizado fumaça para visualizar o vento:

O padrão de fluxo de ar em torno de uma edificação depende das características do vento que se aproxima, das redondezas imediatas, e do tamanho e formato do próprio edifício. O vento não pode interferir diretamente em edificações que não são mais altas que suas vizinhas ou são protegidas por árvores próximas ou outros recursos de altura similar. Neste caso, a corrente principal de vento passa sobre os telhados, e as ruas na vizinhança são usualmente protegidas a não ser que o vento esteja soprando diretamente junto a elas. Um edifício que seja substancialmente mais alto que suas vizinhanças representa uma grande obstrução ao vento, defletindo tanto horizontalmente como verticalmente do seu curso original.

Figura 4 – Fluxo típico do vento em torno de uma edificação



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

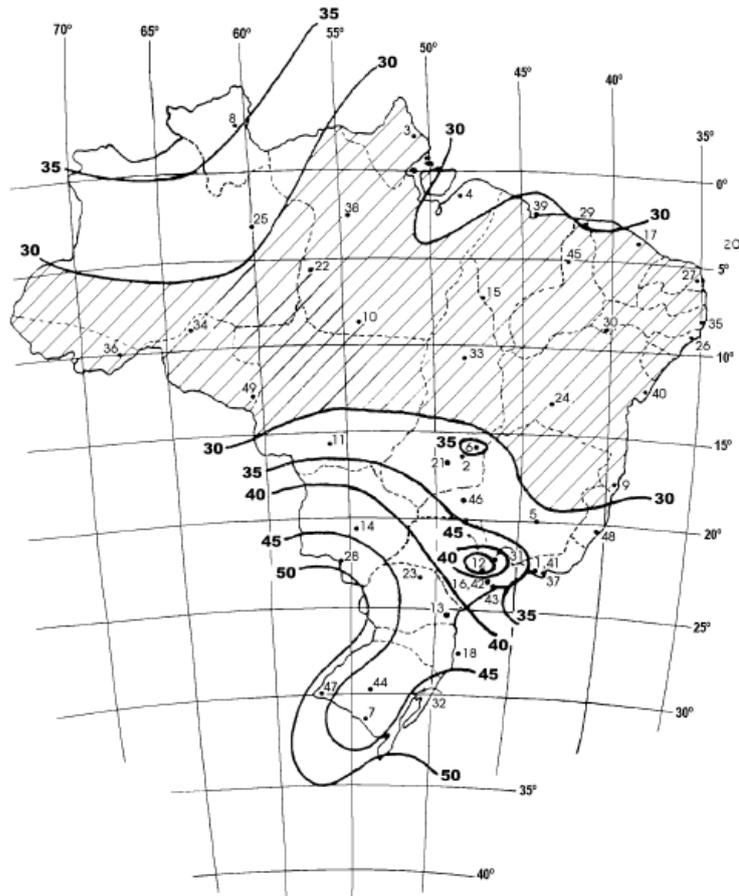
O vento também atua como uma forma de transporte para deposição de partículas sujas em fachadas e distribuindo estes elementos atmosféricos ao longo das faces da edificação. Neste processo de transporte pode haver também a contaminação de áreas próximas ou até mesmo mais distantes, devido a dispersão de partículas finas (PETRUCCI, 2000, p. 14).

Para analisar o efeito do vento em fachadas de edificações é necessário utilizar a norma NBR 6123 e, com alguns passos, demonstrados nos próximos subitens, é possível encontrar as forças que atuam no edifício. É necessário o cálculo destas forças para (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 4):

- a) elementos de vedação e suas fixações (telhas, vidros, esquadrias, painéis de vedação, etc.);
- b) partes da estrutura (telhados, paredes, etc.);
- c) a estrutura como um todo.

4.1.1 Velocidade básica do vento

Para identificar o valor da velocidade básica do vento, V_o , de acordo com o local onde será executado o projeto, utiliza-se a figura 5 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 5-6).

Figura 5 – Isopletas da velocidade básica V_o (m/s)

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 9)

4.1.2 Velocidade característica do vento

Com o valor da velocidade básica encontrado, deve-se utilizar a fórmula 1 para determinar a velocidade característica do vento, V_k (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 4):

$$V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

V_k = velocidade característica do vento (m/s)

V_o = velocidade básica do vento (m/s)

S_1 = fator topográfico

S_2 = fator de rugosidade, dimensão da edificação e altura acima do terreno

S_3 = fator estatístico

O fator topográfico s_1 leva em consideração o relevo do solo do local. Este é definido da seguinte maneira, de acordo com a planicidade do terreno em que será executado o projeto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 5):

- a) terreno plano ou com pouco relevo: $S_1=1,0$;
- b) taludes e morros: interpolação entre as fórmulas da Norma.

Já o fator de rugosidade S_2 , é encontrado a partir da tabela 1. Este é função das dimensões da edificação, da relação entre a velocidade do vento e a altura do solo, e também da própria rugosidade do terreno (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 8).

Tabela 1 – Fator de rugosidade S_2

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
20	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	1,10	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	1,33	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: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 10)

Por último encontra-se o valor do fator estatístico S_3 , que leva em conta a utilização da edificação e a segurança exigida. Para isso deve-se utilizar a tabela 2, que apresenta o valor deste elemento para diversos tipos de edificações ou partes destas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 10).

Tabela 2 – Valores mínimos do fator estatístico S_3

Grupo	Descrição	S_3
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 e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,1
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1
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: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 10)

4.1.3 Pressão dinâmica

Para determinar as forças do vento em edificações, é preciso determinar a pressão dinâmica. De acordo com a NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 4) a pressão dinâmica deve ser calculada com a utilização da fórmula 2:

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

Onde:

q = pressão dinâmica (N/m²)

V_k = velocidade característica do vento (m/s)

4.1.4 Força global

Utilizando os valores encontrados anteriormente, é possível obter o valor da força global que atua na edificação. Este cálculo é realizado por meio da fórmula 3, sendo que, o valor do coeficiente do coeficiente de arrasto C_a é definido através de tabelas e ábacos, presentes na

Norma, que levam em conta as dimensões da edificação e o nível de turbulência do vento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988, p. 4):

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

Onde:

F_a = força global do vento (N)

q = pressão dinâmica (N/m²)

A_e = área frontal efetiva (m²)

C_a = coeficiente de arrasto

Assim, no próximo subitem serão discutidos pontos sobre a precipitação, que, atuando em conjunto com a ação do vento, consistirá na chuva dirigida, tema principal deste trabalho e que será discutido posteriormente.

4.2 PRECIPITAÇÃO

Tendo mostrado a definição de vento e sua ação em fachadas de edificações, é necessário então, estabelecer algumas considerações sobre precipitação. De acordo com Van Mook (2002, p. 28, tradução nossa), esta “[...] ocorre quando partículas de nuvem, que crescem em processos complexos como condensação e agregação, alcançam tal tamanho que a sua velocidade de descida é maior que a velocidade do vento para cima no ar.”. Já chuva, é o nome que se dá para a precipitação, quando esta se dá de forma líquida na altura do terreno (VAN MOOK, 2002, p. 28, tradução nossa).

Para que a chuva ocorra, é imprescindível, além da umidade atmosférica, a presença de determinados fatores, como mecanismo de resfriamento do ar, de crescimento das gotas e a presença de núcleos higroscópicos. Este processo ocorre da seguinte maneira (RUPP, 2010, p. 17):

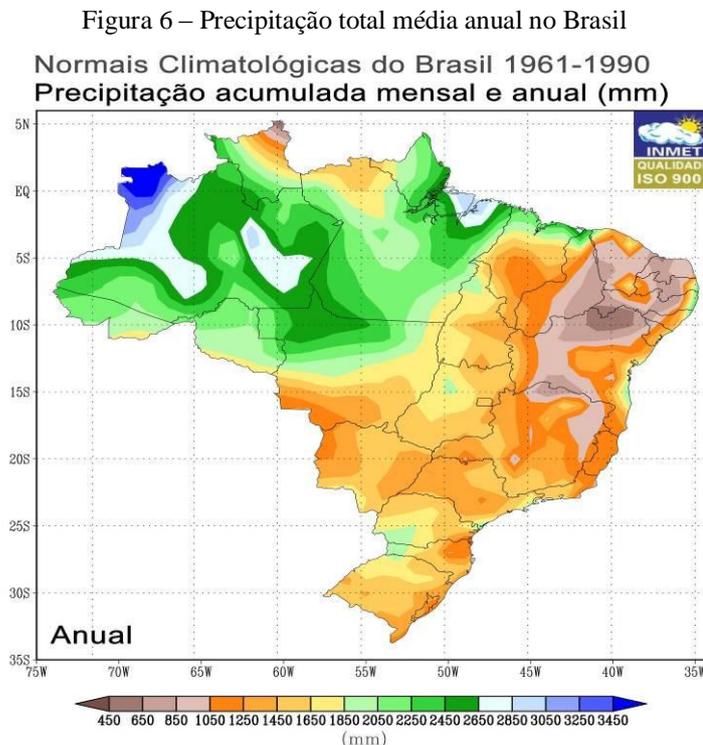
[...] ar úmido das camadas baixas da atmosfera é aquecido por condução, torna-se mais leve que o ar das vizinhanças e sofre uma ascensão adiabática. Nessa ascensão ele expande e se resfria na razão de 1° C por 100 m (expansão adiabática seca) até atingir a condição de saturação (nível de condensação). A partir desse nível, em

condições favoráveis, não possuem massa suficiente para vencer a resistência do ar, sendo, portanto mantidas em suspensão até que, por um processo de crescimento, ela atinja tamanho suficiente para precipitar.

De acordo com Rupp (2010, p. 17-18), é possível classificar a formação de chuva, causada principalmente pelo esfriamento adiabático descrito anteriormente, conforme as condições que geram a movimentação vertical do ar. Deste modo, são três os principais tipos de chuva:

- a) ciclônicas: de longa duração, intensidade de baixa a moderada e associadas a diferenças de pressão causadas pelo aquecimento desigual da superfície terrestre;
- b) orográficas: decorrentes da elevação de correntes de ar úmido acima de barreiras naturais;
- c) convectivas: de grande intensidade, curta duração e associadas a condensação de massas de ar quente que ascendem a grandes altitudes.

De forma geral, no Brasil existe um alto índice pluviométrico, que é distribuído de modo bastante homogêneo por sua área. Excetuam-se aí, principalmente, as regiões noroeste e nordeste, que apresentam altíssimos e baixos índices, respectivamente, demonstrados na figura 6 (LIMA; MORELLI, 2005, p. 623).



(fonte: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2014)

5. CHUVA DIRIGIDA

Este capítulo decorre sobre o tema principal do trabalho, chuva dirigida, que pode ser definida, de acordo com Van Mook (2002, p. 1, tradução nossa), como “[...] um fenômeno complexo de gotas caindo em um fluxo turbulento de vento em torno de uma construção”. Já Choi (1993, p. 721) conceituou este fenômeno como “[...] a chuva que é carregada pelo vento e se movendo em direção oblíqua à vertical.”.

Silva e Giralt (1995, p. 610) também afirmam que os problemas de umidade, como manchas, devem ser mensurados de acordo com a situação mais desfavorável nas fachadas, ou seja, sob exposição contínua à chuva dirigida. Com estes resultados em mãos, projetistas podem diminuir consideravelmente os gastos com futuras manutenções e problemas que afetam a estanqueidade das edificações.

A quantificação da chuva dirigida é muito complicada devido ao grande número de variáveis que alteram a sua ação. De acordo com Giongo (2007, p. 15), diversos parâmetros influem na incidência de chuva dirigida em fachadas, tornando esta um fenômeno de alta complexidade, como:

- a) geometria da edificação;
- b) topografia do terreno;
- c) orientação das fachadas;
- d) velocidade e direção do vento;
- e) intensidade da precipitação;
- f) dimensão das gotas;
- g) duração do evento de chuva.

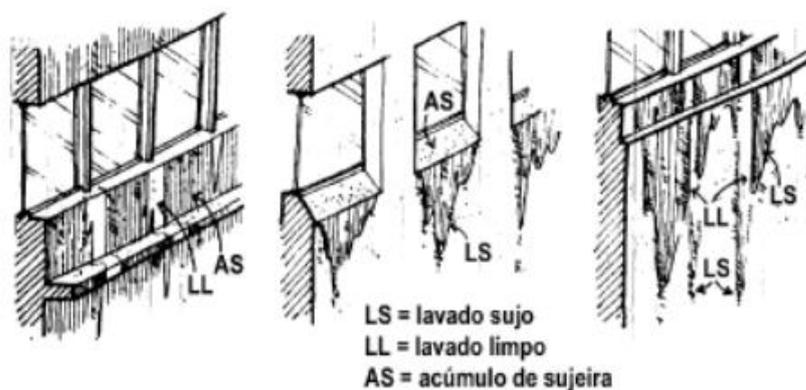
A avaliação do comportamento da chuva dirigida durante a etapa de projeto de uma construção é de suma importância para evitar futuros contratempos. Assim, para a correta concepção de uma edificação, levando-se em conta o efeito da interação entre chuva e vento, são necessárias algumas medidas, tais como (CARMELIET; BLOCKEN, 2004, p. 1, tradução nossa):

- a) analisar a distribuição da chuva dirigida sobre a fachada;

- b) determinar o escoamento de água em decorrência da chuva dirigida;
- c) avaliar a possibilidade de penetração de água na fachada;
- d) analisar a perspectiva de ocorrência de danos devido a umidade e antecipar medidas para diminuir seus efeitos.

Como explicitado anteriormente, a principal responsável pela degradação de fachadas, juntamente com a poluição atmosférica, é a chuva dirigida que provoca, por meio de uma combinação com a segunda, a ocorrência de “lavado limpo” e “lavado sujo”. O “lavado limpo” ocorre no topo de fachadas após o carregamento de sujeira, enquanto esta sujeira é transportada para a face inferior (“lavado sujo”), como demonstrado na figura 7 (ROBINSON; BAKER, 1975, p. 13).

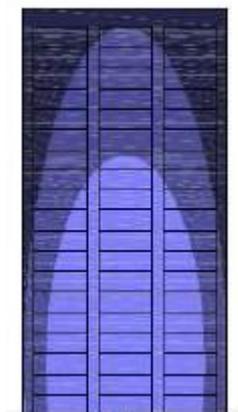
Figura 7 – Demonstração de lavado sujo e branco em fachada de edificação



(fonte: ROBINSON; BAKER, 1975, p. 37)

Analisando o evento de chuva dirigida em diversas formas de edificações, Carmeliet e Blocken (2004, p. 11, tradução nossa) puderam comprovar que a intensidade desta ocorrência está relacionada com o umedecimento diferenciado nas partes superiores, descendo em forma de parábola. Este formato é exemplificado na figura 8, nas quais as cores mais escuras representam maiores concentrações de água na fachada e, as cores mais claras, menores.

Figura 8 – Padrão de umedecimento em forma de parábola em fachadas de edificações.



(fonte: MELO JR.; CARASEK, 2011)

Na engenharia civil, existem basicamente três métodos para quantificação de chuva dirigida em fachadas de edificações: experimentais, semi-empíricos e numéricos, estes últimos realizados através de *Computational Fluid Dynamics* (CFD), traduzindo, Dinâmica de Fluidos Computacional. Os três métodos são baseados na simulação higrótérmica de modelos para a determinação da chuva dirigida em edificações revestidas com materiais porosos, utilizando estes mesmos modelos para testes de desempenho (BLOCKEN et al., 2009, p. 1, tradução nossa).

5.1 MÉTODOS SEMI-EMPÍRICOS

Os métodos semi-empíricos surgiram da necessidade dos pesquisadores em dispor de um banco de dados completo com a exposição de fachadas de edificações à chuva dirigida, já que estações meteorológicas apenas medem velocidade e direção do vento, e acumulado de chuva. Assim, estes cientistas estabeleceram relações semi-empíricas entre fatores climáticos de vento e chuva e a quantidade de WDR (*Wind driven rain*), utilizando para isto bases teóricas para fundamentar as fórmulas e parâmetros livres adquiridos a partir de dados experimentais (BLOCKEN; CARMELIET, 2004, p. 1098, tradução nossa).

Para estudar este evento é preciso utilizar o chamado índice de chuva dirigida, ICD, ou também, DRI (*driving rain index*), definido por Silva e Giralt (1995, p. 606) como “[...] o produto da precipitação média anual em qualquer localidade pela velocidade média anual

neste local [...]”. Conhecido este dado é possível estabelecer gráficos que demonstrem o nível de exposição da fachada devido à ação da chuva dirigida. Este índice é definido através da fórmula a seguir:

$$\text{ICD} = V \cdot P / 1000 \quad (\text{fórmula 4})$$

Onde:

ICD = índice de chuva dirigida (m²/s)

V = velocidade média anual do vento (m/s)

P = total de precipitação anual (mm)

Com esta fórmula definida para encontrar o valor do índice de chuva dirigida, Silva e Giralt (1995, p. 606), utilizando como dados 545 dias de chuva num total de 5690 mm, que resultam em 109 dias por ano e 1138 mm, encontraram o valor de 3,92 m²/s para Porto Alegre. O grau de exposição pode ser definido então como moderado, de acordo com a classificação proposta por Lacy e apresentada na tabela 3 (PEREZ⁴, 1986 apud BAUER, 1987, p. 63-64). Como uma forma de auxiliar futuros projetos e trabalhos, fazendo uma comparação qualitativa entre orientações de fachadas para chuva dirigida em Porto Alegre, Silva e Giralt (1995, p. 609-610), encontraram resultados mostrados na figura 9 em forma de gráfico de radar, comumente utilizados para demonstrar o índice de chuva dirigida direcional, na qual o índice de chuva dirigida está associado à direção do vento atuante no determinado momento da chuva. Estes dados servem para comprovação de que as fachadas orientadas para sudeste sofrem mais com a ação da chuva dirigida. A partir deste conhecimento, projetistas podem concentrar seus esforços nas áreas críticas para atenuar os efeitos.

⁴ PEREZ, A. R. **Umidade nas edificações**. 1986. p. 271. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1986.

Tabela 3 – Grau de exposição à chuva dirigida em um ano sobre uma superfície vertical perpendicular ao vento

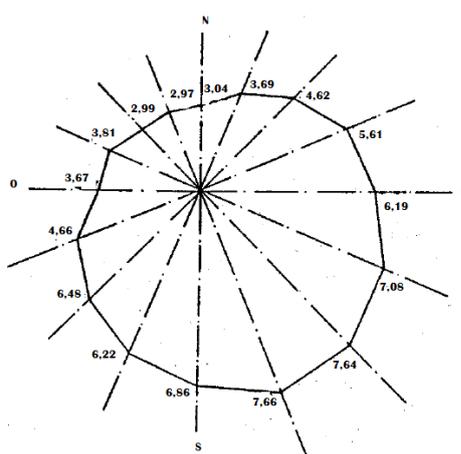
Exposição	Índice de chuva dirigida (ICD) (m ² /s)
Abrigada ou Protegida	$DRI \leq 3$
Moderada	$3 < DRI < 7$
Severa	$DRI \geq 7$

(fonte: adaptado de PEREZ⁵, 1986 apud BAUER, 1987, p. 63-64)

Conforme Petrucci (2000, p. 62), estes resultados são importantes para demonstrar o nível de exposição à chuva em fachadas. De acordo com estudos, na França, realizados por Carrié et al.⁶ (1975 apud PETRUCCI, 2000, p. 62) e, na Espanha, por Vallejo⁷ (1990 apud PETRUCCI, 2000, p. 62), é possível dividir a rosa dos ventos em quatro níveis:

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

Figura 9 – Exposição de fachadas à chuva dirigida em Porto Alegre de acordo a orientação



(fonte: SILVA; GIRALT, 1995, p. 610)

⁵ PEREZ, A. R. **Umidade nas edificações**. 1986. p. 271. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1986.

⁶ CARRIE, C.; MOREL, D.; FOURQUIN, J. **Salissures de façades**. Paris, Eyrolles, 1975.

⁷ VALLEJO, F. J. L. **Ensuciamento de fachadas por contaminación atmosférica: análisis y prevención**. Valladolid: Universidad, Secretariado de Publicaciones, 1990.

5.2 MÉTODOS NUMÉRICOS

Devido à necessidade dos pesquisadores em obter mais dados que possibilitem estudar o fenômeno de chuva dirigida e também à complexidade deste, surgiram os métodos numéricos, que se tornaram possíveis com os avanços recentes em desempenho computacional. Estes possibilitam um melhor entendimento da interação entre a chuva dirigida e as edificações, já que reproduzem os efeitos de vento e chuva, quantitativamente e espacialmente (BLOCKEN; CARMELIET, 2004, p. 1114, tradução nossa).

De acordo com Blocken e Carmeliet (2004, p. 1114, tradução nossa), como ponto negativo para este método pode-se indicar a relativamente alta necessidade de memória, entre 2 e 3 Gb. Também é preciso muita precisão em itens como:

[...] escolha do modelo de turbulência, a resolução espacial da grade computacional, a distribuição de tamanhos de gotas de chuva, a fórmula de coeficiente de arrasto, se deve ou não incluir a dispersão turbulenta das gotas de chuva e do tempo de resolução dos dados de entrada meteorológicos.

É importante apontar que, por mais que se tenha evoluído, até o momento os estudos utilizam modelos de edificações com volumetria simples e sem o emprego de detalhes construtivos/arquitetônicos.

5.3 MÉTODOS EXPERIMENTAIS

De acordo com Blocken e Carmeliet (2004, p. 1083, tradução nossa), os métodos experimentais podem ser realizados a partir de duas formas básicas: a utilização de coletores de chuva e realização de testes laboratoriais. Considerando a primeira opção, estes se baseiam em realizar mensurações da chuva dirigida através da utilização de medidores. Este sistema consiste em aberturas verticais para coletar dados de chuva dirigida. Basicamente existem duas situações em que este método pode ser utilizado: medição da chuva dirigida livre e da chuva dirigida em edificações.

Avaliando os ensaios experimentais, foco deste trabalho, de acordo com Surry et al. (1994, p. 23, tradução nossa), existem dois métodos utilizados para medição de concentração de chuva depositada em fachadas de modelos: utilizando sensores eletrostáticos e papel sensível à água. Estes ensaios são utilizados até hoje no campo da engenharia civil, com a utilização de

modelos reduzidos submetidos à simulação de chuva dirigida em túnel de vento de camada limite.

A primeira opção consiste no carregamento eletrostático de gotas de chuva que, quando atingem a edificação, geram uma resposta nos sensores instalados nas faces dos modelos.. A partir da coleta dos resultados de carga-massa e carga coletada, é possível calcular a quantidade de chuva que incide na edificação/modelo (SURRY et al., 1994, p. 23, tradução nossa). Porém, esta técnica tem suas dificuldades, já que “a carga em uma partícula não é proporcional à massa da partícula e, portanto, esta técnica é mais útil quando todas as gotas têm o mesmo tamanho” (RUPP, 2010, p. 48).

Já a segunda alternativa, trata da utilização de papel sensível a água nas faces da edificação a ser estudada. Com o contato da água, o papel de cor amarelo, se tornará azul, permitindo assim a imediata visualização da incidência da chuva dirigida nas fachadas dos modelos analisados, contrariamente à técnica onde se empregam sensores que demanda uma análise posterior do comportamento do fenômeno. O problema deste método recai na variabilidade encontrada nos resultados e no curto tempo de ensaio (SURRY et al., 1994, p. 23, tradução nossa).

De acordo com Poyastro (2011, p. 134), a utilização deste tipo de papel tem um importante benefício, que é a aderência total e imediata das gotas que entram em contato com ele, facilitando a visualização das áreas afetadas, e permitindo a identificação da quantidade e tamanho das partículas de chuva. Porém, é preciso cuidado com seu manejo, já que, por ser sensível à água, apresenta ressalvas quanto sua utilização, tais como o cuidado com a respiração do usuário, a necessidade do controle de umidade do ambiente e o impedimento de contato das mãos úmidas com este, necessitando de luvas para a sua manipulação.

Para analisar o fenômeno da chuva dirigida em edificações o método experimental mais difundido é através de ensaios em túnel de vento. Basicamente, usando o estudo de Poyastro (2011, p. 115), são duas etapas:

- a) vento: obtenção de coeficientes de pressão nas fachadas da edificação em questão;
- b) vento + chuva: análise do efeito da chuva dirigida nas fachadas com a utilização de papel sensível à água para visualização.

Contrabalaneando com a pequena quantidade de estudos com modelos reduzidos, os trabalhos realizados a partir da observação direta de edificações, em escala real, se apresentam em maior número, caracterizando-se por estudos de caso. A seguir, na figura 10, são apresentados os principais, ordenados pelo país em que foram executados. Cabe destacar, que a partir destes saíram algumas definições que são utilizadas para a análise do padrão de umedecimento em fachadas (BLOCKEN; CARMELIET, 2004, p. 1088-1089, tradução nossa):

- a) a fachada a barlavento é molhada enquanto as outras permanecem relativamente secas;
- b) na fachada a barlavento, o molhamento aumenta de baixo para cima e do centro para os lados. Tipicamente, os cantos superiores são mais molhados, seguidos pelas bordas superiores e laterais;
- c) para edifícios altos e largos, a maior parte da fachada a barlavento recebe pouca chuva dirigida, exceto nos cantos e nas bordas superiores e laterais;
- d) a intensidade da chuva dirigida em uma determinada posição aumenta aproximadamente de modo proporcional a velocidade do vento e a intensidade da chuva horizontal.

Figura 10 – Principais trabalhos realizados com chuva dirigida a partir de observações com edificações reais.

País	Autor(es) e data de publicação
Bélgica	Meert e Van Ackere (1997, 1978), Ali Mohamed and Hens (1992), Hens e Ali Mohamed (1994), Bollen e Eerdeken (1998), Blocken e Carmeliet (2000, 2002), Blocken et al. (2001).
Canadá	Ritchie e Davison (1969), Straube et al. (1995), Straube e Burnett (1997, 2000), Straube (1998)
Dinamarca	Korsgaard e Madsen (1964), Kragh (1998)
França	Croiset (1957), Hilaire e Savina (1988), Flori (1990, 1991, 1992)
Alemanha	Künzel e Schwartz (1968), Künzel (1970, 1986, 1993), Künzel et al. (1971), Helbig (1972), Schwartz (1973), Frank (1973), Scultetus (1974), Lammel e Metzger (1997), Kerr e Freathy (1998)
Japão	Ishizaki et al. (1970), Ito et al (1983), Ishikawa (1988)
Holanda	Basart (1946), van Mook (1996, 1998, 1999, 2002), Högberg et al. (1999)
Noruega	Isaksen (1965), Isaksen (1975)
Portugal	Henriques (1992)
Suécia	Ryd (1970), Holmgren (1972), Sandin (1973, 1980, 1984, 1987, 1991, 1994), Beijer (1976, 1977), Jacobson (1977), Lyberg (1979, 1980), Högberg (1998, 1999, 2002), Adl-Zarrabi e Högberg (2001)
Reino Unido	Lacy (1959, 1964, 1965, 1977), Hendry (1964), Harrison e Bonshor (1970), Cronshaw (1971), Herbert (1974), Whiteside et al. (1980), Newman (1987), Prior e Newman (1988), Brown (1988), Osmond (1995, 1996), Kerr et al. (1997), Kerr e Freathy (1998)
União Soviética (antiga)	Tsvit (1960)

(fonte: adaptado de BLOCKEN; CARMELIET, 2004, p. 1089)

Já com a utilização de modelos reduzidos, foram realizados três estudos para analisar o efeito de chuva dirigida em edificações: Surry (1994), Rupp (2010) e Poyastro (2011). Nos próximos subitens são demonstrados em ordem cronológica estes trabalhos e suas constatações.

5.3.1 Estudo experimental desenvolvido por SURRY (1994)

A pesquisa de Surry et al (1994, p. 21, tradução nossa), é a pioneira no estudo da interação da chuva dirigida com as edificações utilizando modelos reduzidos testados em túnel de vento, e possibilitou o estabelecimento de diretrizes para futuros trabalhos. Os autores tinham como objetivos:

- a) projetar, desenvolver e comprovar técnicas para simular chuva dirigida em escala de modelo;
- b) projetar, desenvolver e validar técnicas para quantificar/medir a quantidade de chuva que atinge as superfícies do modelo;
- c) validar as técnicas utilizando uma edificação padrão real;
- d) explorar os efeitos da forma e dos detalhes geométricos sobre os padrões de deposição de chuva.

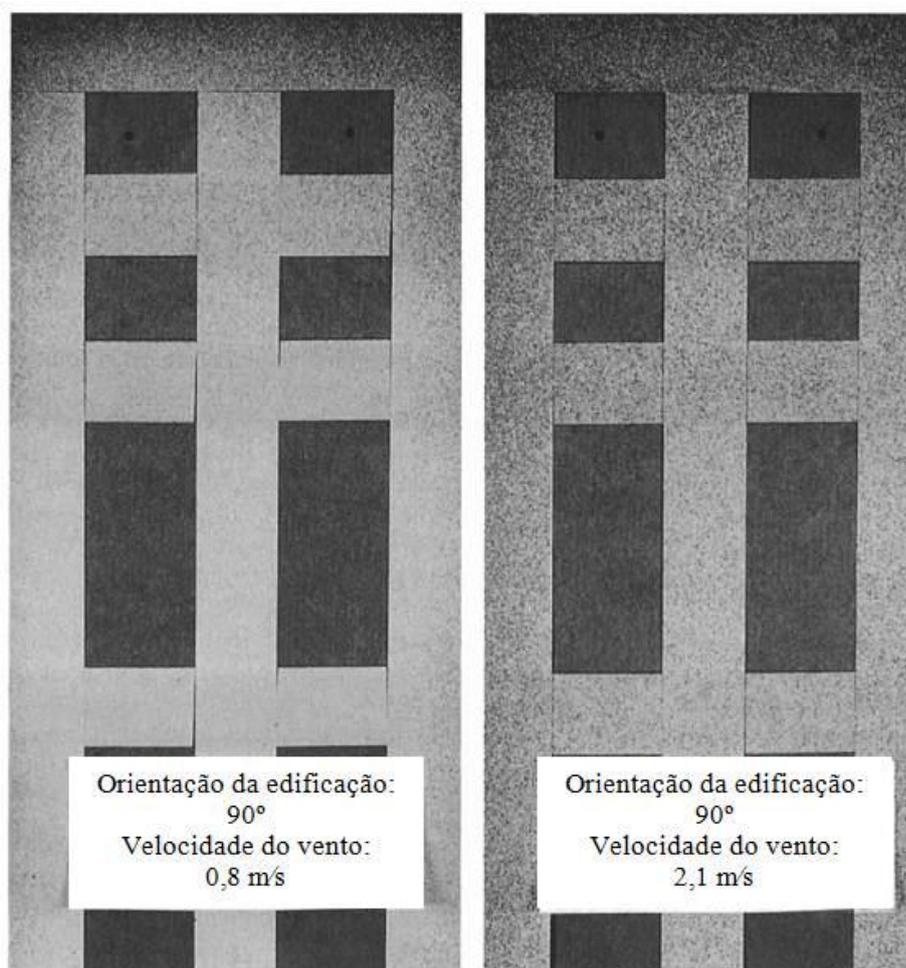
O trabalho foi realizado em duas fases, em que na primeira, foi analisado o padrão de umedecimento nas fachadas de uma edificação, de acordo com a velocidade e ângulo do vento, e a influência de detalhes na superfície, já na segunda estudou-se a influência da geometria e detalhes arquitetônicos dos modelos no umedecimento das fachadas. Na primeira fase, foi selecionado um edifício de 18 andares, com 60 metros de altura e seção de 81 m x 18 m. A escala utilizada para o modelo reduzido foi de 1:64, assim, construindo este com 0,94 m de altura e seção de 1,3 m x 0,29 m. Já na segunda fase, foram analisadas três situações, demonstradas na tabela 4. Na figura 11 é demonstrado um dos resultados encontrados no experimento da fase 1 (INCULET; SURRY, 1995, p. 8-9).

Tabela 4 – Formas estudadas na fase 2 do experimento de Surry et al.

EDIFICAÇÃO	ALTURA (m)	LARGURA (m)	PROFUNDIDADE (m)
A	60	40	20
B	40	40	20
C	20	40	20

(fonte: adaptado de INCULET; SURRY, 1995, p.9)

Figura 11 – Padrão de umedecimento no experimento de Surry et al



(fonte: adaptado de SURRY et al., 1994, p. 25)

A partir dos ensaios realizados, Surry et al. (1994, p. 32, tradução nossa) puderam tirar diversas conclusões a respeito da ação da chuva dirigida em fachadas de edificações. As principais destas são as seguintes:

- a) foram formulados modelos teóricos de respostas de validade;

- b) chuva dirigida foi simulada com sucesso na escala de 1/64;
- c) padrões de umedecimento foram observados para uma edificação retangular, sugerindo que áreas molhadas podem ser de 20 a 30 vezes maiores próximas aos cantos do que em áreas centrais;
- d) medições de pressão em alta resolução indicam que existem gradientes com valores elevados próximos às áreas da edificação, mesmo para ventos normais à uma face;
- e) análises preliminares considerando os dados de pressões instáveis indicam que estes podem ser significativamente maiores que gradientes médios de pressão.

De acordo com Surry et al. (1994, p. 21, tradução nossa), são diversos os problemas envolvidos na simulação de chuva dirigida com a utilização de modelos reduzidos. As principais dificuldades apontadas foram:

- a) a dificuldade em simular a chuva, que apresenta um comportamento altamente variável, sobretudo com a adição do vento, tornando a interpretação dos resultados um desafio;
- b) a necessidade de escalar as gotas de chuva devido a interação destas com o fluxo no entorno da edificação;
- c) a evaporação das gotas de chuva que saem dos aspersores;
- d) a necessidade de utilizar técnicas para medir a deposição das gotas de chuva nas faces dos modelos;
- e) a impossibilidade de analisar todos os processos que ocorrem na migração das gotas nas fachadas dos modelos, mais especificamente, gravidade, tensão de cisalhamento do vento e tensão superficial.

5.3.2 Experimento realizado por RUPP (2010)

O segundo trabalho dentro da linha de ensaios experimentais de simulação de chuva dirigida, que se tem conhecimento, foi o de Rupp (2010, p. 16), onde analisou-se a incidência da chuva dirigida em um modelo reduzido de ginásio, diferenciando dos outros trabalhos por não analisar a interação entre a fachada e a chuva dirigida. O autor realizou inicialmente uma avaliação do escoamento de vento com o modelo em escala 1/150 e, posteriormente, verificou a ação combinada de chuva e vento em um modelo com escala 1/64, baseado na experiência do trabalho de Surry (1994), que utilizou esta mesma escala.

Rupp (2010, p. 44) utilizou como referência para seu estudo um ginásio localizado na cidade do Rio de Janeiro, mostrada na figura 12 em escala real e na figura 13 em escala reduzida. A

intenção foi verificar a ação da chuva dirigida nesta edificação a fim de diminuir problemas de passagem de água da chuva através dos elementos da cobertura.

Figura 12 – Ginásio em escala real



(fonte: RUPP, 2010, p.44)

Figura 13 – Ginásio em escala reduzida



(fonte: adaptado de RUPP, 2010, p. 47)

Nos testes de chuva dirigida, foi empregado papel sensível à água para determinação das áreas molhadas. Nesta etapa o experimento foi realizado em dois momentos distintos, primeiramente com a ação da chuva sem vento, com as gotas caindo perpendicularmente, em seguida, com o efeito da ação combinada de chuva e vento para diferentes situações de placas de proteção de chuva, como apresentado a seguir (RUPP, 2010, p. 16):

- a) Etapa I – análise do escoamento
- b) Etapa II – análise do efeito da chuva dirigida para três configurações:
 - configuração I: sem placas de proteção;
 - configuração II: placas horizontais;
 - configuração III: placas inclinadas.

O papel sensível à água foi posicionado no piso do interior do modelo do ginásio, para a verificação do comportamento da chuva dirigida, sendo que para isto foram simuladas em túnel de vento as configurações anteriormente apresentadas. A partir dos resultados obtidos, Rupp (2010, p. 89), elencou algumas considerações:

- a) os resultados obtidos nos ensaios demonstraram-se coerentes com os observados na realidade;
- b) com a ação da chuva sem vento a cobertura apresentou uma proteção eficiente contra a infiltração de água, ocorrendo somente alguns respingos na quadra;
- c) na simulação empregando o ginásio sem placas, a quadra esportiva apresentou molhamento até o centro desta para incidências de vento com ângulo de 0° e 180°, e menos umedecimento para 30° e 210°;
- d) com o uso de placas horizontais a infiltração de água da chuva diminuiu consideravelmente, porém não totalmente;
- e) utilizando placas inclinadas percebe-se uma evolução na proteção com relação à entrada de água da chuva localizada, entretanto esta configuração reflete em agravante considerando o carregamento de vapor d'água para o interior da edificação.

5.3.3 Simulação experimental desenvolvida por POYASTRO (2011)

O estudo de Poyastro (2011, p. 114), utilizado como base para o desenvolvimento deste trabalho, teve como finalidade “[...] analisar a influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no que se refere ao manchamento e infiltração de água em fachadas por ação da chuva dirigida”. Para isso foram testados os efeitos do vento e da chuva dirigida para diferentes volumetrias e condições de entorno, com o intuito de identificar o comportamento

da chuva dirigida sobre diferentes configurações, sendo uma das contribuições deste trabalho a comprovação do umedecimento das fachadas com padrão em forma de parábola.

O experimento de Poyastro (2011, p. 124), foi realizado em dois momentos: ação do vento sobre fachadas e ação da chuva dirigida sobre estas. Na primeira etapa foi analisado o escoamento do vento na edificação, como demonstra a figura 14, e, no segundo, este efeito em conjunto com a chuva, exemplificado na figura 15. Poyastro (2011, p. 125) confeccionou modelos reduzidos de edificações para a fase inicial com escala 1:250 e para a segunda, 1:150 (POYASTRO, 2011, p. 130).

Figura 14 – Ensaio realizado para determinação das tomadas de pressão do vento



(fonte: POYASTRO, 2011, p. 127)

Figura 15 – Ensaio realizado para chuva dirigida

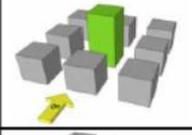
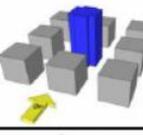
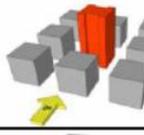
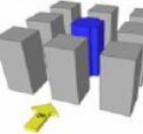
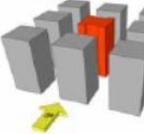


(fonte: POYASTRO, 2011, p. 151)

Poyastro (2011, p. 135), estabeleceu nove situações em que modelos reduzidos de edificações foram expostos à chuva dirigida em testes laboratoriais. Abaixo são descritas as configurações utilizadas para as variações da geometria (formato do modelo) e das condições de entorno/vizinhança, sendo que o ângulo de incidência do vento permanece fixo em 0° , e são demonstradas na figura 16:

- a) modelo 1: formato quadrado;
- b) modelo 2: formato em cruz;
- c) modelo 3: forma em H;
- d) entorno 1: sem edificações ao redor;
- e) entorno 2: vizinhança na metade da altura da edificação;
- f) entorno 3: vizinhança na mesma altura que a edificação.

Figura 16 – Representações das configurações de ensaio

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

(fonte: POYASTRO, 2011, p. 135)

Na confecção dos modelos reduzidos, foram utilizadas chapas em acrílico de cor branca, e os entornos, incolor, para que a chuva pudesse ser vista através destes. Os ensaios foram executados na mesa M-IV do túnel de vento do LAC (Laboratório de Aerodinâmica das Construções da UFRGS), com a mesa giratória sendo construída em madeira pintada (POYASTRO, 2011, p. 130).

Para a realização dos testes com chuva dirigida, Poyastro (2011, p. 133), realizou uma série de testes pra determinar as melhores condições de vento e dos aspersores. Com isso foram definidas as seguintes configurações:

- a) pressão de água dos aspersores de 4 Bar;
- b) frequência do inversor do túnel de 3 Hz;
- c) duração da chuva dirigida de 5 segundos;
- d) velocidade do vento de 25 km/h.

Para a simulação da chuva dirigida, foram utilizados aspersores, distribuídos uniformemente e conectados a um sistema composto por cilindro e compressor para proporcionarem a passagem de água, sem a existência de bolhas de ar. Já para manipular a liberação e cancelamento da saída de água foi acoplado um registro, além de um aspirador de água e pó para evitar a ocorrência de respingos (POYASTRO, 2011, p. 132).

Para que fosse possibilitada a medição do umedecimento das fachadas foram usados papéis sensíveis à água que mudam de cor do amarelo para o azul com este contato de umidade. Com isso é possível visualizar as áreas que tiveram mais, ou menos, contato com a água da chuva (POYASTRO, 2011, p. 134).

Poyastro (2011, p. 168) pôde comprovar a existência do formato de parábola de umedecimento em fachadas de edificações, que contribui para a validação do experimento realizado. Esta obteve as seguintes conclusões ao comparar a ação do vento com a chuva dirigida:

- a) não se observa semelhança entre o padrão de umedecimento e a disposição de pressões do vento, ou seja, o comportamento do vento é diferente do comportamento da associação da chuva e vento;
- b) o formato de manchamento de fachadas pela ação da chuva dirigida obedece ao formato de parábola, ou seja, a água da chuva se concentra no topo da fachada e nos cantos superiores laterais;
- c) com base nas imagens para cada configuração testada, o padrão de umedecimento se mostrou verossímil;
- d) as saliências ou reentrâncias, paralelas à ação do vento se mostraram protegidas da chuva dirigida, quando comparadas com os planos perpendiculares à ação da chuva dirigida.

Assim, o presente trabalho pretende acrescentar informações quantitativas referentes ao padrão de umedecimento pela chuva em fachadas de edificações, evidenciando o desempenho dos modelos frente a este fenômeno, que contribui fortemente para o aparecimento de manifestações patológicas em edificações. Tanto Surry (1994), como Poyastro (2011), evidenciaram em seus trabalhos a necessidade de quantificar as áreas afetadas e protegidas da chuva dirigida.

6 METODOLOGIA PARA QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS EXPOSTAS À CHUVA DIRIGIDA

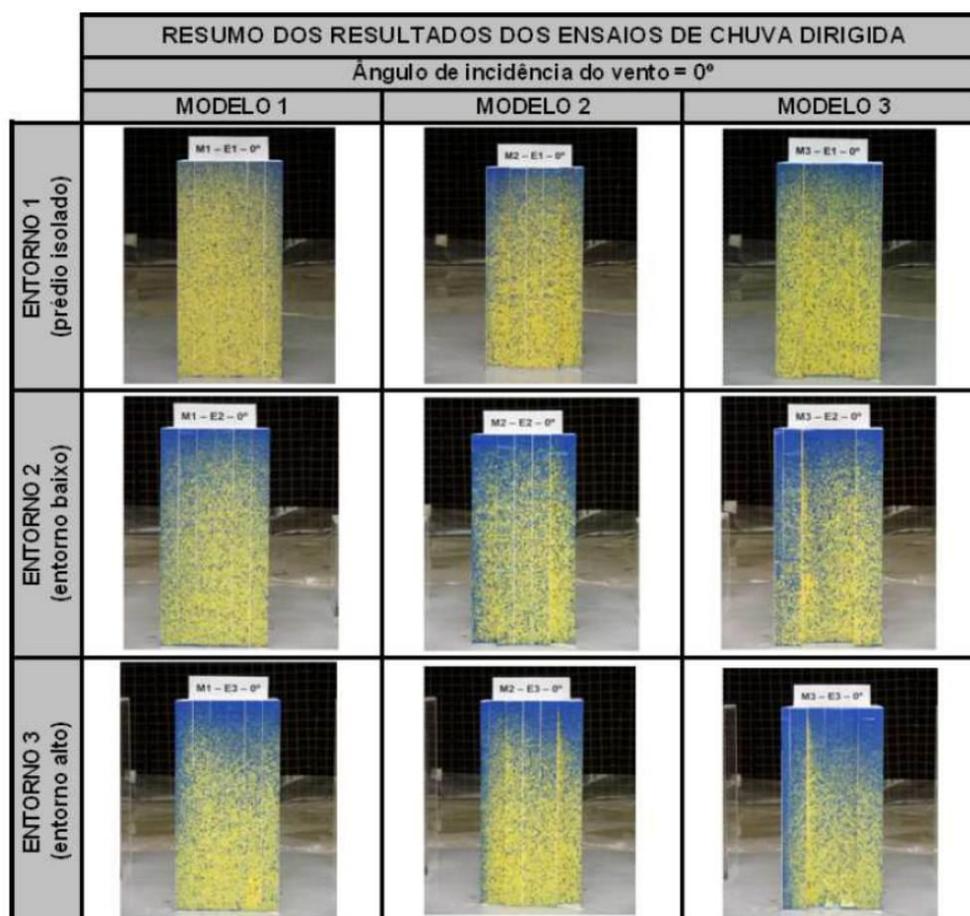
Para o desenvolvimento da proposta de uma metodologia para a quantificação de áreas expostas à chuva dirigida, considerando modelos reduzidos ensaiados de forma experimental em túnel de vento, foram utilizados os resultados obtidos por Poyastro (2011). Nesta pesquisa, a autora procura comprovar o padrão em forma de parábola de molhamento em fachadas de edificações e verificar a influência que condições geométricas e de entorno na variação deste fenômeno.

Como o objetivo deste trabalho é quantificar as áreas expostas à chuva dirigida, são utilizados os resultados de ensaio que contemplam a ação conjunta de chuva e vento, excluindo-se então, os testes com a ação individual do vento, realizados por Poyastro (2011).

Na figura 17, estão demonstradas em um quadro, as imagens escolhidas para a realização deste trabalho. Para a escolha das imagens a serem utilizadas para quantificação a partir da metodologia proposta, foram levados em conta os seguintes critérios:

- a) padrão de umedecimento comprovado visivelmente;
- b) clareza de imagem, ou seja, a qualidade, já que está relacionada diretamente a quantidade de pixels, que possibilita o seu tratamento e forma de captação ;
- c) visão totalmente frontal da fachada, para que seja visualizada a quantidade total de pixels da fachada;

Figura 17 – Quadro com as imagens utilizadas para quantificação das áreas umedecidas



(fonte: POYASTRO, 2011, p. 157)

O *software* utilizado neste trabalho é o Adobe Photoshop CC, que é um programa de tratamento de imagem que possibilita diversas ações para modificar e analisar os mais diversos tipos de documentos. O recurso que foi decisivo na escolha deste aplicativo foi a possibilidade de fazer uma contagem de pixels totais e parciais por cor nas figuras que serão utilizadas, em vista que outros softwares não disponibilizam esta função. Foram pesquisados outros programas semelhantes, como Corel Paint Shop Pro, PhotoStyler, PhotoFinish e Paint, porém nenhum destes apresentou as características ideais para a realização deste trabalho.

O **primeiro passo** proposto para implantação desta metodologia é a obtenção das imagens coletadas em laboratório no momento dos ensaios experimentais, que demonstrem a ação da chuva dirigida nas fachadas das edificações. Estas imagens foram feitas em túnel de vento, equipado com equipamento de captura de imagem e para simulação de chuva através de aspersores. O registro do impacto da água nas faces do modelo deve ser feito através de papel

sensível à água, uma vez que a quantificação depende da contagem de pixels de diferentes cores. Desta forma, deve-se atentar para esta sensibilidade do material, que é intensa de tal modo que a própria transpiração das mãos pode causar alterações em sua cor, bem como a captura das imagens deve ser executada de forma breve, para que a umidade não altere os resultados dos testes.

Tendo a imagem da fachada o padrão de umedecimento em forma de parábola devidamente comprovado, pode-se então passar para o **segundo passo**, que consiste em analisar a imagem. Como mencionado anteriormente, foi utilizado para isto o software Adobe Photoshop CC, que reúne as ferramentas necessárias para a quantificação de áreas com diferentes cores/tonalidades.

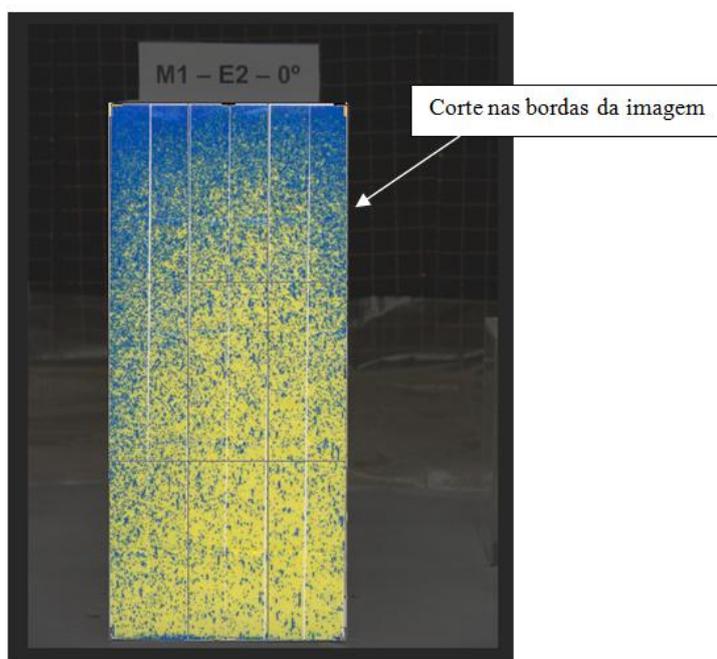
Ressalta-se também a importância da captura da imagem, feita com o aplicativo Ferramenta de Captura, que deve ser realizada de modo a preservar a qualidade original. Estas imagens devem ser salvas em formatos que permitam obter alta definição, obtendo assim uma quantidade maior de pixels. A partir de testes elaborados com uma imagem aleatória, constatou-se que é recomendável utilizar extensões como PNG e TIFF, que não alteram ou alteram pouco a qualidade da imagem, e evitar JPEG, GIF e JPG, que comprimem o arquivo, diminuindo a quantidade de pixels.

Para fazer a contagem de pixels nas imagens deve-se atentar para alguns fatores que são essenciais para a obtenção de um resultado adequado. Estes são:

- a) corte preciso da imagem;
- b) definição da tolerância;
- c) seleção dos pixels.

A imagem deve ser cortada exatamente nas bordas da fachada, como demonstrado na figura 18, evitando que pixels não provenientes do modelo da edificação sejam contabilizados. Para isso é recomendável utilizar a ferramenta *zoom* juntamente com a de corte, para facilitar a identificação dos limites da fachada.

Figura 18 – Corte da imagem

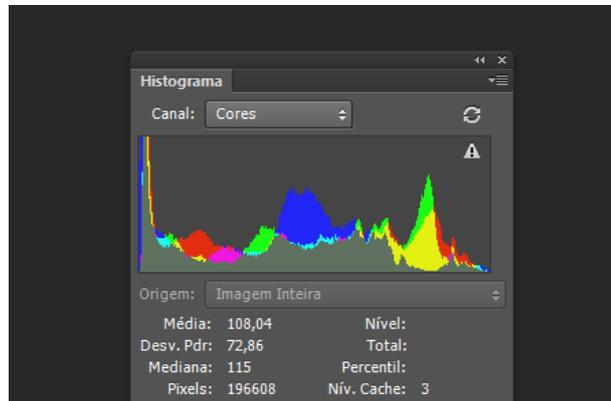


(fonte: elaborado pelo autor)

A definição da tolerância a ser utilizada na quantificação dos *pixels* é uma etapa essencial desta metodologia. Para que esta seja realizada da maneira mais correta possível, as seguintes ações devem ser seguidas para encontrar a tolerância mais adequada:

- a) utilizando a ferramenta de histograma, anotar a contagem de *pixels* total da imagem, exemplificada na figura 19;
- b) definir uma tolerância inicial, demonstrada na figura 20;
- c) selecionar as áreas molhadas da imagem com a ferramenta *Magic Wand*, ou seja, os *pixels* de cor azul, e anotar a contagem de *pixels* desta área (para facilitar a ação, os *pixels* de cor verde podem ser considerados, justificada posteriormente);
- d) selecionar as áreas secas da imagem com a ferramenta *Magic Wand*, ou seja, os *pixels* de cor amarela, que não tiveram contato com a água, e anotar a contagem de *pixels* desta área;
- e) somar os *pixels* secos (amarelos) e molhados (azuis e verdes) e verificar se o resultado é semelhante à contagem total anotada anteriormente;
- f) se a soma der o resultado adequado, dentro da tolerância, da faixa de valores determinada, seguir para o próximo passo;
- g) se a soma não der o resultado correto, repetir o procedimento utilizando uma tolerância diferente da adotada anteriormente.

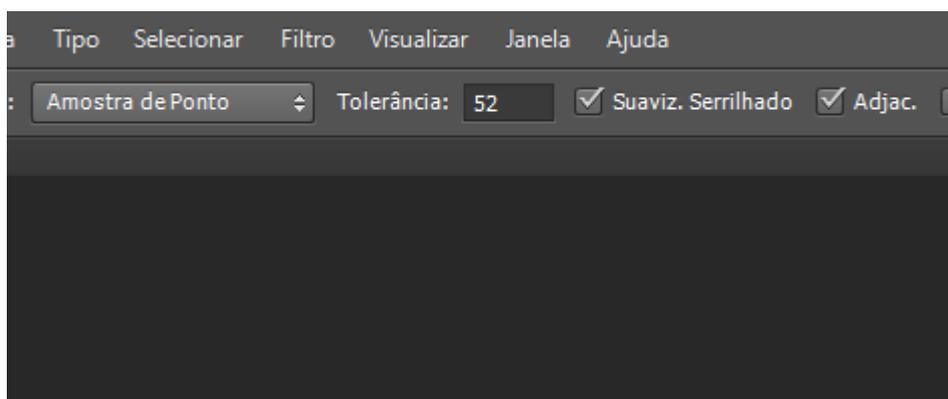
Figura 19 – Contagem de pixels



(fonte: elaborado pelo autor)

Como observação importante neste passo ressalta-se a importância da seleção dos *pixels*, demonstrada na figura 21, que se mostrou tão essencial para a correta contagem de *pixels* quanto à tolerância. Recomenda-se novamente a utilização da ferramenta *zoom* para facilitar esta etapa, e evitar que *pixels* de diferentes cores sejam considerados juntamente. Indica-se também, nesta etapa, a seleção dos *pixels* amarelos através da ferramenta Seleção Inversa, que proporciona uma facilidade considerável para evitar o aparecimento de *pixels* duplicados nas duas imagens, trazendo assim resultados mais condizentes com a realidade.

Figura 20 - Tolerância

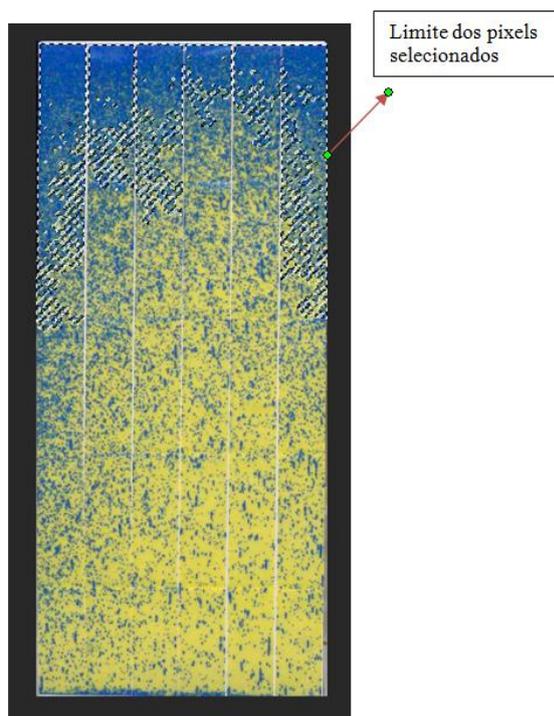


(fonte: elaborado pelo autor)

Como observação na escolha da tolerância inicial e posteriores, é necessário estabelecer a precisão que se deseja obter, já que quanto menor o valor utilizado, menor será o *range* de

cores *pixels* próximos que serão selecionados com um clique, e vice-versa. Sugere-se então estabelecer como tolerância inicial 40, e, como próxima tentativa, 80, para ir testando então com valores entre estes limites.

Figura 21 – Seleção dos pixels



(fonte: elaborado pelo autor)

Tendo-se determinada a tolerância ideal, pode-se então realizar a etapa de contagem de *pixels* para áreas molhadas e secas. Como a fase de transição entre as duas áreas é de difícil seleção, este espaço foi contabilizado como molhado, ou seja, os *pixels* de cor azul e verde foram considerados como molhados, e os amarelos, secos, de modo idêntico à etapa de definição da tolerância. O *pixel* verde fica desta cor por ser uma transição entre o azul e o amarelo, aparecendo então na zona intermediária entre as áreas mais umedecidas e as secas.

O procedimento foi realizado como segue, para cada imagem é contabilizada a quantidade de pixels molhados e secos através da ferramenta *Magic Wand* do Photoshop CC, semelhante ao procedimento da definição da tolerância. Ressalta-se novamente, que se tenha o devido cuidado no instante da seleção dos *pixels*.

A partir dos dados obtidos para quantidade de *pixels* em áreas molhadas, secas e totais é possível calcular a porcentagem de cada área, no que consiste o **terceiro passo**. Esta etapa deve ser feita a partir da aplicação da fórmula 5:

$$A_i = P_i/P_t \cdot 100 \quad (\text{fórmula 5})$$

Onde:

A_i = porcentagem da área selecionada (%)

P_i = quantidade de pixels da cor selecionada (uni)

P_t = quantidade total de pixels da imagem (uni)

7 DESENVOLVIMENTO DAS ANÁLISES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são demonstrados os resultados encontrados na quantificação de áreas das imagens dos modelos reduzidos escolhidos.

As tolerâncias foram definidas para que possa ser feita uma comparação entre resultados obtidos com um valor baixo, 52 e outro mais elevado, 72. Estes números foram definidos visando dois critérios e testados em uma imagem aleatória dentre as que foram analisadas: facilidade de seleção de *pixels* e geração de resultados suficientemente precisos. Ou seja, se fosse utilizado um valor abaixo de 52, a seleção de *pixels* se tornaria uma tarefa demasiadamente demorada e inviável, já para tolerâncias maiores que 72, não haveria uma seleção criteriosa o suficiente. Quanto maior o valor de tolerância adotado, maior será o *range* de cor dos *pixels* envolta do clicado que serão selecionados, e quanto menor for este número, mais semelhantes com o *pixel* selecionado serão os *pixels* do entorno, contudo este processo se torna mais lento, uma vez que necessita de uma quantidade maior de seleção para que todas as áreas de uma mesma cor sejam contabilizadas, ou seja, já que menos *pixels* serão selecionados para cada clicado, e cada imagem contém entre 100 e 300 mil *pixels*.

Para obter uma imagem com qualidade, todas as imagens foram salvas no formato TIFF, que, apesar de aumentar o tamanho do arquivo, mantém a definição original desta.

7.1 MODELO 1 – ENTORNO 1

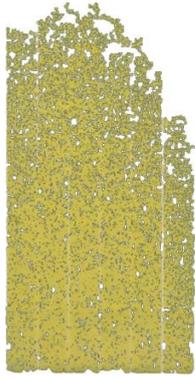
Na figura 22 é apresentada a imagem da edificação retangular, sem entorno e ângulo do vento de 0°, a partir da aplicação da tolerância 52. A primeira imagem é a original obtida no estudo de Poyastro (2011), na segunda imagem da mesma edificação é apresentada apenas a área afetada pela chuva e na terceira imagem é a parte que não foi atingida pelo molhamento. Abaixo destas são demonstrados os quantitativos dos pixels para cada uma e a sua porcentagem da área total, calculada a partir da fórmula 5 anteriormente apresentada.

Já na figura 23, é utilizada a mesma edificação, com as mesmas configurações, diferenciando somente pelo valor da tolerância, neste caso de 72.

Figura 22 – Resultados para a imagem M1-E1 com tolerância 52

ÁREA TOTAL	ÁREA MOLHADA	ÁREA SECA
		
QUANTIDADE DE PIXELS (Pt)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)
114478	35538	78940
	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)
	31,04%	68,96%

Figura 23 – Resultados para a imagem M1-E1 com tolerância 72

ÁREA TOTAL	ÁREA MOLHADA	ÁREA SECA
		
QUANTIDADE DE PIXELS (Pt)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)
114478	28765	85713
	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)
	25,13%	74,87%

A partir dos resultados é possível notar que a diferença entre a quantificação das áreas, tanto molhadas quanto secas, com tolerância 72 e 52 foi de 5,91%, diminuindo na área molhada e acrescentando na seca para a tolerância de 72.

Considerando a quantidade de pixels esta porcentagem torna-se quase inexpressiva, desta forma, pode-se julgar que a utilização da tolerância mais alta é aceitável, proporcionando um resultado bastante próximo da mais baixa e tornando o processo de seleção de pixels mais rápido e simples.

7.2 MODELO 1 – ENTORNO 2

Na figura 24 é apresentada a imagem da edificação retangular, com edificações de entorno a meia altura e ângulo do vento de 0°, a partir da aplicação da tolerância 52.

Já na figura 25, é utilizada a mesma edificação, com as mesmas configurações, diferenciando somente pelo valor da tolerância, neste caso de 72.

Figura 24 – Resultados para a imagem M1-E2 com tolerância 52

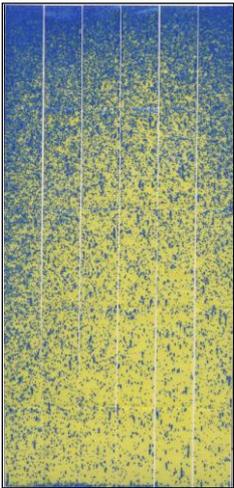
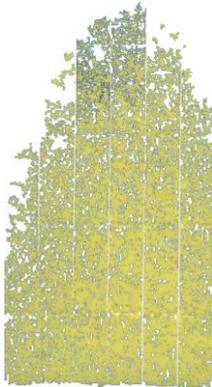
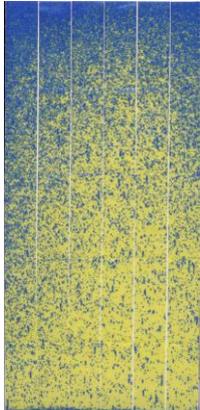
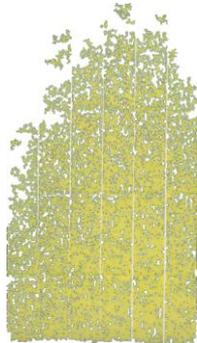
ÁREA TOTAL	ÁREA MOLHADA	ÁREA SECA
		
QUANTIDADE DE PIXELS (Pt)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)
341828	130259	211569
	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)
	38,11%	61,89%

Figura 25 – Resultados para a imagem M1-E2 com tolerância 72

ÁREA TOTAL	ÁREA MOLHADA	ÁREA SECA
		
QUANTIDADE DE PIXELS (Pt)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)
341828	139221	202607
	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)
	40,73%	59,27%

A partir dos resultados é possível notar que a quantificação das áreas com tolerância 72 apresentou uma diferença, em comparação com a tolerância de 52, de 2,62% entre áreas de mesma cor.

Este resultado demonstra que a utilização da tolerância 72 aumenta o valor das áreas atingidas pelo molhamento e diminui daquelas que não tiveram contato com a água. Desta forma, mesmo que a tolerância 72 não seja a mais precisa considerando a seleção de pixels, ela se torna uma opção satisfatória, uma vez que retornou um resultado adequado e com maior facilidade de execução.

7.3 MODELO 1 – ENTORNO 3

Na figura 26 é apresentada a imagem da edificação retangular, com edificações de vizinhança da mesma altura que a analisada e ângulo do vento de 0°, a partir da aplicação da tolerância 52.

Já na figura 27, é utilizada a mesma edificação, com as mesmas configurações, diferenciando somente pelo valor da tolerância, neste caso de 72.

Figura 26 – Resultados para a imagem M1-E3 com tolerância 52

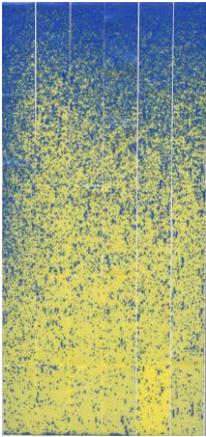
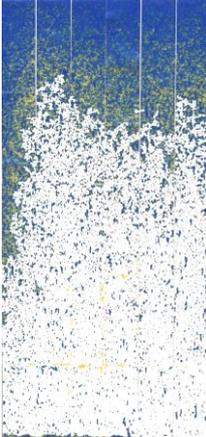
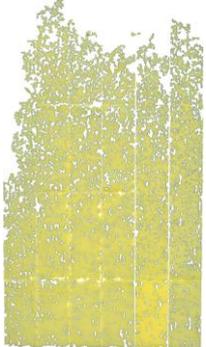
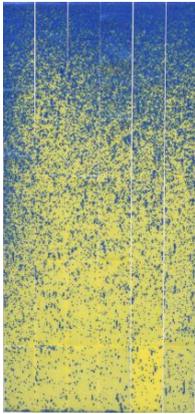
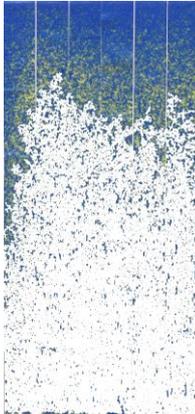
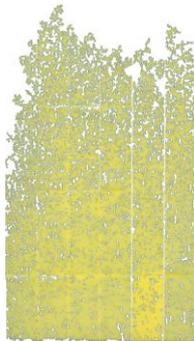
ÁREA TOTAL	ÁREA MOLHADA	ÁREA SECA
		
QUANTIDADE DE PIXELS (Pt)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)
309120	128351	182953
	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)
	41,52%	59,19%

Figura 27 – Resultados para a imagem M1-E3 com tolerância 72

ÁREA TOTAL	ÁREA MOLHADA	ÁREA SECA
		
QUANTIDADE DE PIXELS (Pt)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)
309120	118735	190385
	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)
	38,41%	61,59%

A partir dos resultados é possível notar que a quantificação das áreas com tolerância 72 apresentou uma diferença de 3,11% entre áreas de mesma cor, diminuindo na área molhada e aumentando na seca.

Como a área de molhamento com a tolerância 72 apresentou uma pequena diferença para a tolerância 52, aponta-se que a primeira é a melhor opção, proporcionando um resultado com precisão e rapidez.

A partir da análise do modelo 1, com os três diferentes entornos, a aplicação da metodologia para a quantificação das áreas secas e molhadas demonstrou que a edificação retangular, com edificações de vizinhança da mesma altura que a analisada e ângulo do vento de 0° apresentou um nível de áreas molhadas maior do que os testes com os demais entornos para a tolerância 52, evidenciando a influência das edificações vizinhas no maior molhamento da fachada do modelo em estudo. Já para a tolerância 72, a condição com entorno à meia altura que apresentou maior área de molhamento.

7.4 MODELO 2 – ENTORNO 1

Na figura 28 é apresentada a imagem da edificação em forma de cruz, sem edificações na vizinhança e ângulo do vento de 0°, a partir da aplicação da tolerância 52.

Já na figura 29, é utilizada a mesma edificação, com as mesmas configurações, diferenciando somente pelo valor da tolerância, neste caso de 72.

Figura 28 – Resultados para a imagem M2-E1 com tolerância 52

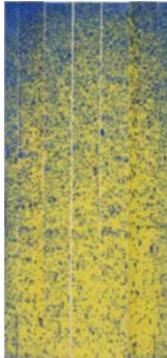
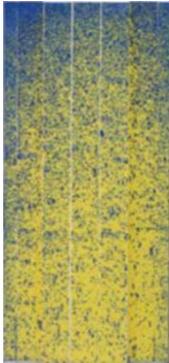
ÁREA TOTAL	ÁREA MOLHADA	ÁREA SECA
		
QUANTIDADE DE PIXELS (Pt)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)
146500	50689	95811
	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)
	34,60%	65,40%

Figura 29 – Resultados para a imagem M2-E1 com tolerância 72

ÁREA TOTAL	ÁREA MOLHADA	ÁREA SECA
		
QUANTIDADE DE PIXELS (Pt)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)
146500	61896	84604
	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)
	42,25%	57,75%

A partir dos resultados é possível notar que a quantificação das áreas com tolerância 72 apresentou uma diferença de 7,65% entre áreas de mesma cor, acrescentando na área molhada e diminuindo na seca.

Esta diferença encontrada para cada área torna a utilização da tolerância 52 uma opção mais acertada, pois retorna um valor mais preciso do que o encontrado com a tolerância 72.

Ressalta-se também que esta imagem não apresenta uma qualidade do mesmo nível das demais, apresentando assim uma quantidade menor de pixels e retornando valores que não tem a precisão exigida. Desta forma, esta não será utilizada como comparação com as demais imagens empregadas neste trabalho, entretanto, serviu para demonstrar a necessidade da qualidade adequada das figuras para que seja realizada uma avaliação confiável. Como a obtenção da imagem a partir da mesma fonte das outras não foi possível, esta foi, portanto, capturada do trabalho publicado.

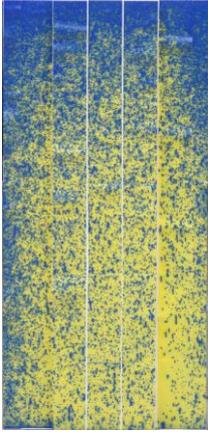
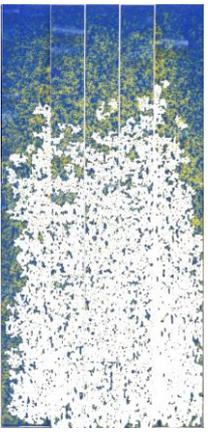
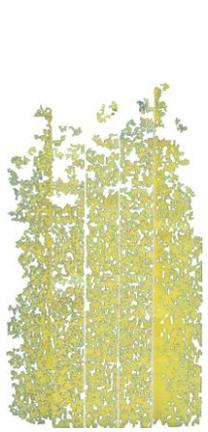
7.5 MODELO 2 – ENTORNO 2

Na figura 30 é apresentada a imagem da edificação em forma de cruz, com edificações de vizinhança à meia altura que a analisada e ângulo do vento de 0°, a partir da aplicação da tolerância 52.

Já na figura 31, é utilizada a mesma edificação, com as mesmas configurações, diferenciando somente pelo valor da tolerância, neste caso de 72.

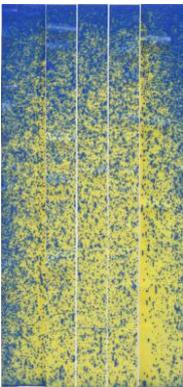
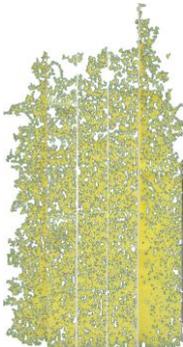
A partir dos resultados é possível notar que a quantificação das áreas com tolerância 72 apresentou uma diferença de 10,88% entre áreas de mesma cor, diminuindo na área molhada e acrescentando na seca.

Figura 30 – Resultados para a imagem M2-E2 com tolerância 52

ÁREA TOTAL	ÁREA MOLHADA	ÁREA SECA
		
QUANTIDADE DE PIXELS (Pt)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)
313968	156110	157858
	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)
	49,72%	50,28%

Este resultado demonstra que a utilização da tolerância 72 diminui o valor das áreas atingidas pelo molhamento e aumenta daquelas que não tiveram contato com a água. Desta forma, a escolha pela tolerância 52 se mostra uma opção mais adequada, já que retorna um resultado com mais precisão.

Figura 31 – Resultados para a imagem M2-E2 com tolerância 72

ÁREA TOTAL	ÁREA MOLHADA	ÁREA SECA
		
QUANTIDADE DE PIXELS (Pt)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)
313968	121135	192833
	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)
	38,58%	61,42%

7.6 MODELO 2 – ENTORNO 3

Na figura 32 é apresentada a imagem da edificação em forma de cruz, com edificações de vizinhança da mesma altura que a analisada e ângulo do vento de 0°, a partir da aplicação da tolerância 52.

Já na figura 33, é utilizada a mesma edificação, com as mesmas configurações, diferenciando somente pelo valor da tolerância, neste caso de 72.

A partir dos resultados é possível notar que a quantificação das áreas com tolerância 72 apresentou uma diferença de 0,89% entre áreas de mesma cor, acrescentando na área molhada e diminuindo na seca.

Nesta situação a escolha é pelo uso da tolerância 72, que apresenta um resultado praticamente igual ao encontrado com a tolerância 52, e com o acréscimo de viabilizar uma seleção de pixels mais rápida e prática.

Como a qualidade da imagem M2-E1 não possui a mesma qualidade das demais, não é possível fazer uma comparação entre os modelos. Desta forma, verifica-se, em comparação

com o modelo de edificação retangular (M1) que o modelo 2 (em forma de cruz) apresenta uma porcentagem de área molhada superior à do modelo 1, considerando o mesmo entorno, ou seja, neste caso, com edificações à meia altura e com a mesma altura que a edificação analisada, sendo assim, a volumetria da edificação alterou o nível de molhamento.

Figura 32 – Resultados para a imagem M2-E3 com tolerância 52

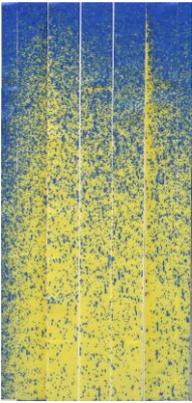
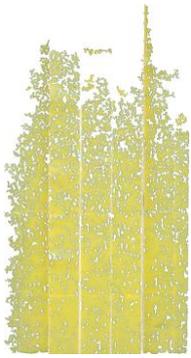
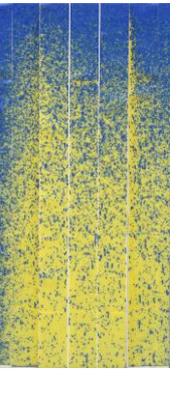
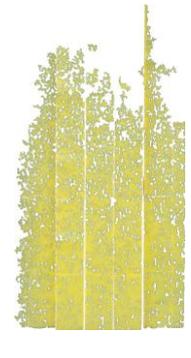
ÁREA TOTAL	ÁREA MOLHADA	ÁREA SECA
		
QUANTIDADE DE PIXELS (Pt)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)
308115	134073	174042
	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)
	43,51%	56,49%

Figura 33 – Resultados para a imagem M2-E3 com tolerância 72

ÁREA TOTAL	ÁREA MOLHADA	ÁREA SECA
		
QUANTIDADE DE PIXELS (Pt)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)
308115	136811	171304
	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)
	44,40%	55,60%

7.7 MODELO 3 – ENTORNO 1

Na figura 34 é apresentada a imagem da edificação em forma de “H”, sem edificações na vizinhança e ângulo do vento de 0°, a partir da aplicação da tolerância 52.

Já na figura 35, é utilizada a mesma edificação, com as mesmas configurações, diferenciando somente pelo valor da tolerância, neste caso de 72.

Figura 34 – Resultados para a imagem M3-E1 com tolerância 52

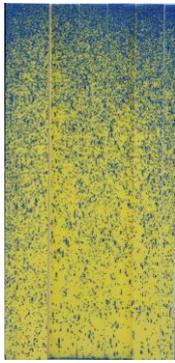
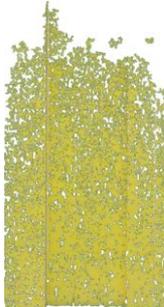
ÁREA TOTAL	ÁREA MOLHADA	ÁREA SECA
		
QUANTIDADE DE PIXELS (Pt)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)
324993	117986	207007
	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)
	36,30%	63,70%

Figura 35 – Resultados para a imagem M3-E1 com tolerância 72

ÁREA TOTAL	ÁREA MOLHADA	ÁREA SECA
		
QUANTIDADE DE PIXELS (Pt)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)
324993	111912	213081
	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)
	34,44%	65,56%

A partir dos resultados é possível notar que a quantificação das áreas com tolerância 72 apresentou uma diferença de 1,86% entre áreas de mesma cor, diminuindo na área molhada e aumentando na seca.

Como a diferença porcentual é bastante baixa, a tolerância 72 mostra-se uma opção mais adequada, já que apresenta um resultado com precisão e agilidade.

7.8 MODELO 3 – ENTORNO 2

Na figura 36 é apresentada a imagem da edificação em forma de “H”, com edificações na vizinhança à meia altura da analisada e ângulo do vento de 0°, a partir da aplicação da tolerância 52.

Já na figura 37, é utilizada a mesma edificação, com as mesmas configurações, diferenciando somente pelo valor da tolerância, neste caso de 72.

A partir dos resultados é possível notar que a quantificação das áreas com tolerância 72 apresentou uma diferença de 3,69% entre áreas de mesma cor, diminuindo na área molhada e acrescentando na seca.

Para esta configuração, o resultado encontrado entre as tolerâncias ficou bastante próximo, levando a conclusão de que a tolerância 72 é a melhor escolha. Elucida-se também que o aparecimento das juntas do papel sensível à água na imagem pode ter influência nos resultados, já que nestas faixas não há a presença de pixels amarelos ou azuis, porém na comparação entre elas esta pode ser desconsiderada, já que está presente nas duas situações.

Figura 36 – Resultados para a imagem M3-E2 com tolerância 52

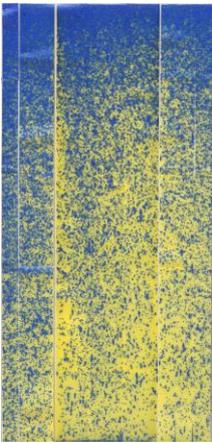
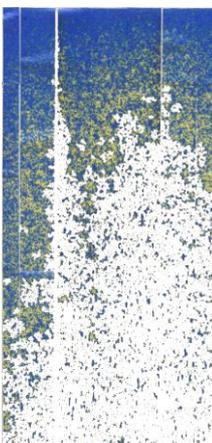
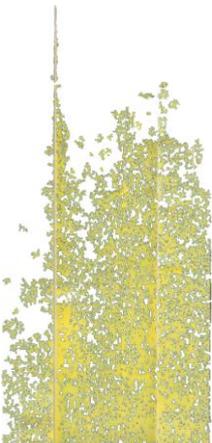
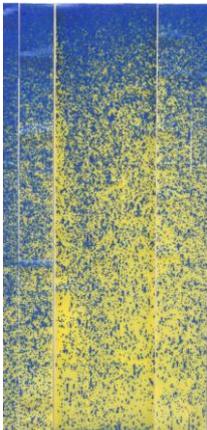
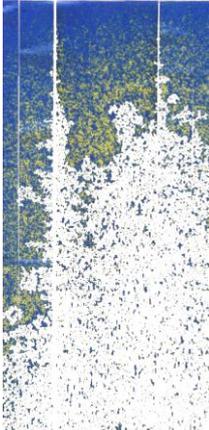
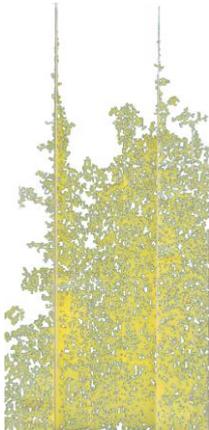
ÁREA TOTAL	ÁREA MOLHADA	ÁREA SECA
		
QUANTIDADE DE PIXELS (Pt)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)
334755	168788	165497
	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)
	50,42%	49,44%

Figura 37 – Resultados para a imagem M3-E2 com tolerância 72

ÁREA TOTAL	ÁREA MOLHADA	ÁREA SECA
		
QUANTIDADE DE PIXELS (Pt)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)
334755	156432	178323
	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)
	46,73%	53,27%

7.9 MODELO 3 – ENTORNO 3

Na figura 38 é apresentada a imagem da edificação em forma de “H”, com edificações na vizinhança com a mesma altura da analisada e ângulo do vento de 0°, a partir da aplicação da tolerância 52.

Já na figura 39, é utilizada a mesma edificação, com as mesmas configurações, diferenciando somente pelo valor da tolerância, neste caso de 72.

A partir dos resultados é possível notar que a quantificação das áreas com tolerância 72 apresentou uma diferença de 2,54% entre áreas de mesma cor, diminuindo na área molhada e aumentando na seca.

Figura 38 – Resultados para a imagem M3-E3 com tolerância 52

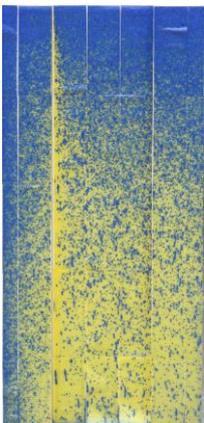
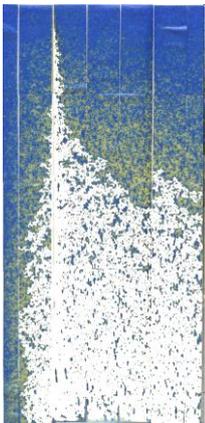
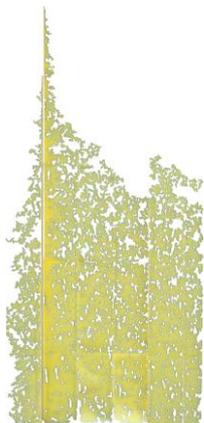
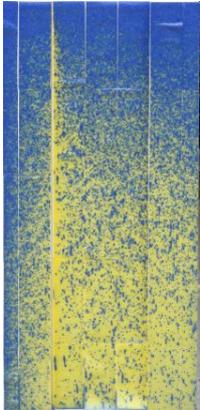
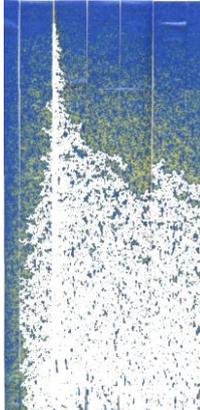
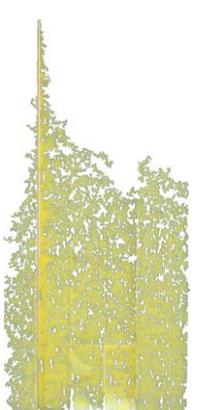
ÁREA TOTAL	ÁREA MOLHADA	ÁREA SECA
		
QUANTIDADE DE PIXELS (Pt)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)
294393	170839	123554
	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)
	58,03%	41,97%

Figura 39 – Resultados para a imagem M3-E3 com tolerância 72

ÁREA TOTAL	ÁREA MOLHADA	ÁREA SECA
		
QUANTIDADE DE PIXELS (Pt)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)	QUANTIDADE DE PIXELS (Pi)
294393	163360	131033
	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)	PORCENTAGEM DA ÁREA TOTAL (Ai)
	55,49%	44,51%

De acordo com o resultado obtido, a tolerância 72 mostra-se a melhor escolha, pois retorna um erro muito pequeno comparado à tolerância 52, e, adicionalmente, torna o processo de seleção de *pixels* mais rápido e prático.

Pode-se identificar nestas três análises para o modelo 3, que a última configuração, com entorno na mesma altura que a edificação, apresentou maior porcentagem de molhamento, tanto para a tolerância de 52 quanto para a de 72. Isto leva ao entendimento de que o entorno influenciou negativamente no molhamento, semelhante ao ocorrido com o modelo 1, diferenciando apenas que no modelo 1 esta tendência aconteceu somente com a tolerância 52, já no modelo 3 ocorreu em ambas.

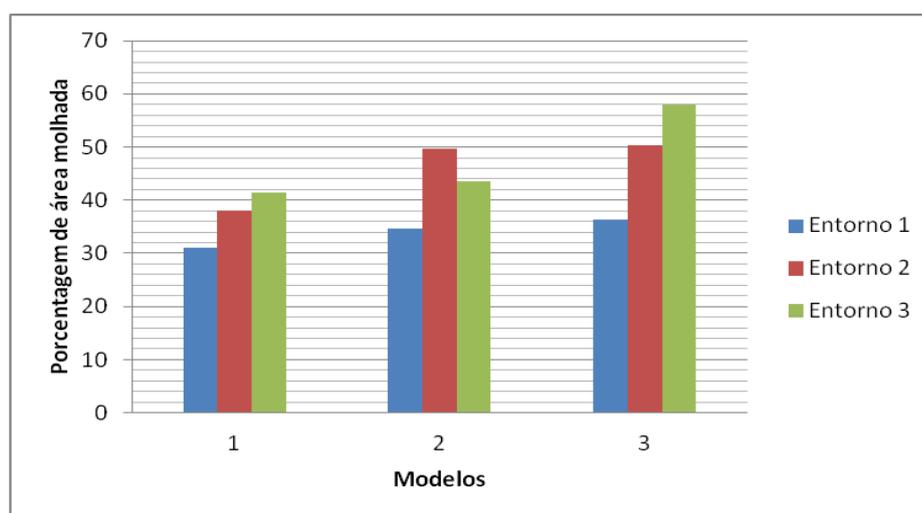
A partir dos resultados coletados nas quantificações de áreas realizadas para cada configuração foi plotada a tabela 5, na qual é possível notar um pronunciado aumento na área molhada das fachadas dos modelos de acordo com a elevação do entorno/vizinhança, e conseqüentemente, a diminuição das áreas secas. Comprova-se assim, em uma análise quantitativa, que o entorno amplificou o molhamento das fachadas, corroborando com a observação qualitativa de Poyastro (2011). Como a imagem M2-E1 apresentou uma qualidade inferior às demais, esta foi ressaltada na tabela 5, para simbolizar que não pode ser comparada com as demais.

Tabela 5 – Resultados de quantificação de áreas

RESULTADOS DE QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS					
Modelo	Entorno	Tolerância 52		Tolerância 72	
		Área Molhada (%)	Área Seca (%)	Área Molhada (%)	Área Seca (%)
1	1	31,04	68,96	25,13	74,87
	2	38,11	61,89	40,73	59,27
	3	41,52	58,48	38,41	61,59
2	1	34,6	65,4	42,25	57,75
	2	49,72	50,28	38,58	61,42
	3	43,51	56,49	44,4	55,6
3	1	36,3	63,7	34,44	65,56
	2	50,42	49,58	46,73	53,27
	3	58,03	41,97	55,49	44,51

No gráfico da figura 40, relativa às análises com tolerância 52, é possível perceber que para os modelos 1 e 3, o entorno 1 é o que provoca menor molhamento na fachada, já o entorno 3 é aquele que apresenta maior molhamento, ficando o entorno 2 com o comportamento mediano. Para o modelo 2 identificou-se que este possui um comportamento diferenciado no que compete ao entorno 2, provocando um molhamento maior da fachada dos que os demais, reiterando que, devido à baixa qualidade da imagem do modelo 2 com entorno 1, sinalizada na figura 40, esta configuração não está sendo utilizada nas análises de desempenho.

Figura 40 – Gráfico com resultados obtidos a partir da tolerância 52

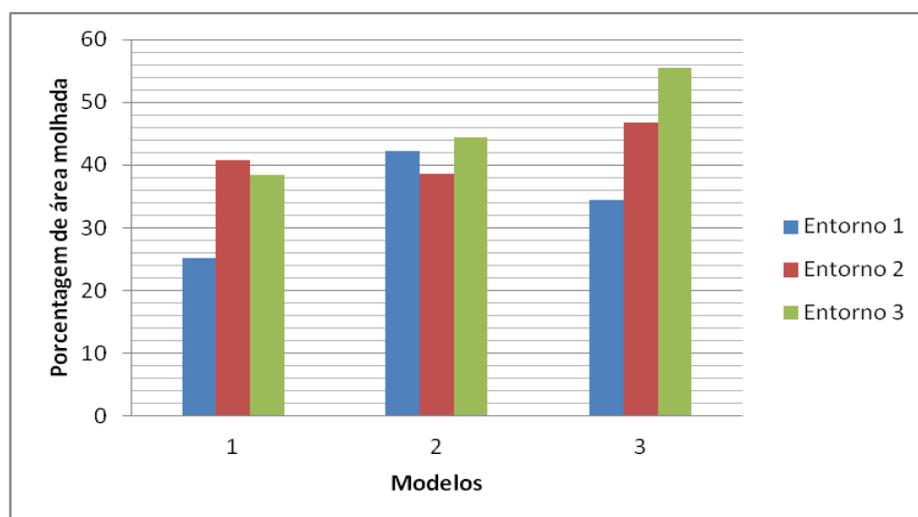


Considerando a tolerância de 72, demonstrada no gráfico da figura 41, para os modelos 2 e 3 a tendência de comportamento se mantém, desconsiderando a imagem sem entorno (M2-E1) devido a baixa qualidade, ou seja, quanto maior a altura do entorno, maior também é a quantidade de área molhada dos modelos. Já para o modelo 1, verifica-se que não há um

padrão de crescimento da área de molhamento devido a variações das condições de entorno, já que a condição com vizinhança à meia altura apresenta a maior área de molhamento.

Ademais a partir destes gráficos podemos identificar que a forma da edificação também influencia no maior molhamento da fachada, uma vez que, de forma geral, a edificação 1 (retangular) apresentou menores valores de área molhada do que a edificação 2 (em forma de cruz) e 3 (forma H).

Figura 41 – Gráfico com resultados obtidos a partir da tolerância 72



8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos resultados obtidos para as quantificações de áreas para as imagens escolhidas pode-se estabelecer que a metodologia apresentada é adequada para os fins desejados. Porém deve-se atentar para duas etapas, a seleção de pixels e a definição da tolerância, já que ambas tem papel significativo nos resultados. Também ressalta-se a importância da qualidade das imagens, que apresentará resultados mais adequados tanto quanto maior for a quantidade de pixels.

Comparando os valores encontrados para cada configuração, é possível perceber que a diferença percentual entre as duas tolerâncias definidas variou de 0,89 % a 10,88%, excetuando-se a imagem M2-E1. Percebe-se que há uma influência das condições de entorno nos resultados, já que nos três modelos, excetuando-se os resultados da tolerância 52 para o modelo 2 e da tolerância 72 para o modelo 1, as configurações com vizinhança na mesma altura da edificações apresentaram maior área de molhamento, exclui-se também a imagem M2-E1, que apresenta uma qualidade inferior às demais, impossibilitando assim sua comparação, e o modelo 1, em que condição de entorno com edificações à meia altura que apresentou maior área de molhamento.

Já as variações ocorridas dentro de cada tolerância ficaram, em 26,99% e 30,36%, para as tolerâncias 52 e 72, respectivamente. Pode-se concluir com isso então, que, por apresentar uma variação menor, a tolerância 52 se mostra mais adequada neste quesito para resultar em maior precisão.

Já para os valores percentuais de cada área, nota-se um aumento na área molhada e um decréscimo da área seca de acordo com a elevação das edificações de entorno/vizinhança, corroborando com os resultados de Poyastro (2011). Excetuando-se a configuração da edificação em forma de cruz com vizinhança na mesma altura, para a tolerância de 52, todas outras imagens seguem este padrão, que pode ter resultados mais variáveis devido à sua seção. Porém para a tolerância 72, esta tendência não fica clara, demonstrando um resultado aleatório nos modelos 1 e 2.

A metodologia apresentada se mostrou eficaz no que se dispôs a realizar, concebendo uma maneira acessível de quantificar áreas em modelos submetidos à chuva dirigida. Porém foram

notadas algumas limitações, como a impossibilidade de analisar as reentrâncias em conjunto com a face frontal e também a necessidade de considerar *pixels* verdes em conjunto com os azuis, tomando essa soma de áreas como molhada. Como sugestão para futuros trabalhos estaria a busca pela tolerância ótima para este tipo de análise, buscando assim um valor que fosse o ideal, contemplando pré-requisitos como facilidade de seleção de *pixels* e precisão nos resultados. Tendo em vista estas conclusões, considera-se que este trabalho atingiu seus objetivos. Como foram analisadas nove imagens com situações contemplando diversas configurações de volumetria e condições de entorno/vizinhança é possível afirmar que estes resultados são bastante próximos com a realidade, podendo ser utilizados para futuros projetos ou estudos visando aperfeiçoar a qualidade e durabilidade de fachadas de edificações.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro. 1988.

_____. **NBR 15575**: edificações habitacionais - desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BAUER, E. **Resistência a penetração da chuva em fachadas de alvenaria de materiais cerâmicos – uma análise de desempenho**. 1987. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1987.

BEALL, C. Water penetration in building envelopes. **Interface**, Raleigh, v. 1, n. 10, p. 29-36, Oct. 2000. Disponível em: < <http://www.rci-online.org/interface/2000-10-beall.pdf>> Acesso em: 18 nov. 2013.

BLESSMANN, J. **Aerodinâmica das construções**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2011.

BLOCKEN, B.; ABUKU, M.; ROELS, S.; CARMELIET, J. Wind-driven rain on building facades: some perspectives. In: EUROPEAN & AFRICAN CONFERENCE ON WIND ENGINEERING, 5th, 2009, Florence. **Proceedings...** Firenze: Firenze University Press, 2009. Disponível em: <<http://www.iawe.org/Proceedings/5EACWE/028.pdf>> Acesso em: 18 nov. 2013.

BLOCKEN, B.; CARMELIET, J. A review of wind-driven rain research in building science. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Ontario, v. 92, n. 13, p. 1079-1130, 2004. Disponível em: <http://sts.bwk.tue.nl/urbanphysics/pdf/JWEIA_WDRreview_preprint.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2014.

CARMELIET, J.; BLOCKEN, B. Driving Rain, Rain Absorption, and Rainwater Runoff for Evaluating Water Leakage Risks in Building Envelopes. In: THERMAL PERFORMANCE OF THE EXTERIOR ENVELOPES OF WHOLE BUILDINGS INTERNATIONAL CONFERENCE ASHRAE, 9th, 2004, Clearwater Beach. **Proceedings...** Atlanta: ASHRAE, 2004. Disponível em: <http://web.ornl.gov/sci/buildings/2012/2004%20B9%20papers/196_Carmeliet.pdf> Acesso em: 18 nov. 2013

CHOI, E. C. C. Simulation of wind-driven-rain around a building. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Ontario, v. 46, n. 47, p. 721-729, 1993.

COSTELLA, M. F.; GEYER, A. Patologia da umidade: estudo de caso. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, 4.; CONGRESSO DE CONTROLE DE QUALIDADE, 6. 1997, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 1997. p. 373-379.

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. 220 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em

Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

GANDEMER, J. **Discomfort due to Wind near buildings: aerodynamic concepts**. Washington: NBS, 1978. Technical Note 710-9. Disponível em: <<https://ia601703.us.archive.org/23/items/buildingresearch7109gand/buildingresearch7109gand.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2013

GARDEN, G. K. **Rain penetration and its control**. Ottawa: Canadian Building Digest, 1963. Technical Note CBD-40. Disponível em: <<http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/eng/ibp/irc/cbd/building-digest-40.html>>. Acesso em: 17 jul. 2014

GIONGO, M. **Análise do nível de exposição das edificações à chuva dirigida para Florianópolis**. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

INCULET, D.; SURRY, D. **Simulation of win-driven rain and wetting patterns on buildings**. Ottawa: CMHC, 1995. Technical Series 96-2013. Disponível em: <http://publications.gc.ca/collections/collection_2011/schl-cmhc/nh18-1/NH18-1-192-1995-eng.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Brasília, Ministério da Agricultura, **Pecuária e Abastecimento**, 2014. Apresenta dados de climatologia anual no Brasil. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 27 maio 2014

LIMA, M. G. L.; MORELLI, F. **Mapa brasileiro de “chuva dirigida” – algumas considerações**. VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas e I International Symposium on Mortars Technology. Florianópolis, 2005

LOREDO-SOUZA, A. M.; FANTE, J. T. Utilização de painéis de chuva de pressão equalizada no controle da penetração da água da chuva em edificações devido à ação do vento. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGÍA DE LAS CONSTRUCCIONES, 5.; CONGRESSO DE CONTROL DE CALIDAD, 7., 1999, Montevidéo. **Anais...** Montevidéo: Asincopat, 1999, p. 988-994.

MARQUES, G. G. **Avaliação de edificações: diagnóstico de manifestações patológicas das áreas condominiais e fachada principal de prédio residencial em Porto Alegre/RS**. 2009, 63 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MARSH, P. **Air and rain penetration of buildings**. Lancaster: Construction Press, 1977.

MELO JR., C. M.; CARASEK, H. **Comportamento diferenciado na deteriorização de revestimentos de argamassa; influência da chuva dirigida**. IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Belo Horizonte, 2011.

PENWARDEN, A. D.; WISE, A. F. E. **Wind environment around buildings**. Londres: Her Majesty's Stationary Office, 1975.

PEREZ, A. R. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas. **Tecnologia de edificações**. São Paulo: PINI/IPT, 1988, p. 571-578

PETRUCCI, H. M. C. **A alteração da aparência das fachadas dos edifícios: interação entre as condições ambientais e a forma construída**. 2000. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

PETRUCCI, H. M. C.; DAL MOLIN, D. C. C.; LOREDO-SOUZA, A. M. Interação entre escoamento da água da chuva e características formais da fachada na ocorrência de manchas por contaminação atmosférica. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1.; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2004.

POYASTRO, P. C. **Influência da volumetria e das condições de entorna da edificação no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida**. 2011. 215 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

RESENDE, M. M.; MEDEIROS, J. S. **Manutenção preventiva de revestimentos de fachada de edifícios: limpeza de revestimentos cerâmicos**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2004.

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

RUPP, H. L. **Simulação experimental da interação vento-chuva**. 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

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, 4, 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANTAC, 1995. Disponível em:

<http://www.infohab.org.br/acervos/pdf/codigo_biblio/13216/titulo/Estabelecimento%20de%20um%20%C3%ADndice%20de%20chuva%20dirigida%20para%20Porto%20Alegre>.

Acesso em: 18 nov. 2013.

STRAUBE, J. F. Moisture in buildings. **ASHRE Journal**, Atlanta, v. 44, n. 1, p. 15-19, Jan. 2002. Disponível em: < <http://bookstore.ashrae.biz/journal/download.php?file=straube.pdf>>. Acessado em: 13 nov. 2013.

SURRY, D.; INCULET, D. R.; SKERJ, P. F.; LIN, J. X.; DAVENPORT, A. G. Wind, rain and the building envelope: a status report of ongoing research at the University of Western Ontario. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Ontario, v.53, n.1, p. 19-36, 1994. Disponível em:

< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167610594900167>>. Acesso em: 20 maio 2014.

VAN MOOK, F. J. R. **Driving rain on building envelopes**. 2002. 198 f. Thesis (Gepromoveerd in de gezondheidszorg) – Faculteit Bouwkunde, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2002. Disponível em: <<http://sts.bwk.tue.nl/drivingrain/fjrvanmook2002.pdf>>. Acessado em: 13 nov. 2013.