Índice de Chuva dirigida combinado (ICDc): uma proposta para avaliação em fachadas de edifícios

Baptista, Gustavo D. M.¹; Giordano, Dominique E.²; Medeiros, Marcelo Henrique Farias³

¹ Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná (UFPR), gustavo_d_medeiros@hotmail.com

² Arquiteta, Mestra em Engenharia Civil (PPGEC), UTFPR, Professora do Instituto Federal do Paraná (IFPR), domi.giordano@gmail.com

³ Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Civil e Urbana, USP, Professor da Universidade Federal do Paraná (UFPR), medeiros.ufpr@gmail.com

Resumo: Este trabalho visa o estudo do fenômeno de chuva dirigida, que consiste na ação simultânea da precipitação e do vento, e sua influência sobre a durabilidade de fachadas. Desse modo, esta pesquisa baseou-se no método semi-empírico, a partir de dados obtidos do SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná) para 4 estações meteorológicas do estado do Paraná, buscando identificar as orientações de chuva dirigida mais críticas das regiões no entorno das estações. Para isso, foram calculados os Índices de Chuva Dirigida Anual, Direcional e Combinado, que foram usados para classificar o grau de exposição dessas diferentes localidades com relação ao índice de chuva dirigida crítico para cada cidade e a orientação crítica das precipitações associadas ao vento, podendo, desta forma, orientar a escolha de critérios de projeto para edificações nestas regiões. Para os municípios analisados, foram feitos gráficos no formato de rosetas, indicando as direções de fachada crítica.

Palavras-chave: Índice de Chuva Dirigida, Durabilidade de Fachadas, Mapa do Paraná, Variação Climatológica.

Abstract: This work aims to study the phenomenon of directed rainfall, which consists of the simultaneous action of precipitation and wind, and its influence on the durability of façades. Thus, this research was based on the semi-empirical method, based on data obtained from the SIMEPAR (Paraná Meteorological System) for 4 meteorological stations in the state of Paraná, seeking to identify the most critical driving rain of these regions. Thus, was analyzed using the Annual, Directed and Combined driving rain index. These indexes were used to classify the degree of exposure of these different localities to the critical driving rain index for each city and the critical orientation of the precipitations associated with the wind, and, in this way, could guide the selection of design criteria for buildings in these regions.

Keywords: Driving rain Index, Facade Durability, Paraná Map, Climatological Variation.

1. Introdução

Segundo Blocken e Carmeliet [1], chuva dirigida é a precipitação pluviométrica que recebe uma componente de velocidade horizontal pela ação do vento e então passa a cair obliquamente. É a chuva carregada pelo vento que é lançada de encontro ao envelope da edificação [2]. Pode ainda ser definida como a quantidade de chuva com uma componente horizontal que passa através de uma superfície vertical pela ação do vento [3].

A fachada, como elemento fundamental da envoltória do edifício, age como barreira protetora aos agentes atmosféricos e, assim sendo, sofre com uma das agressões físicas mais severas: a da água da chuva. Para edificações, a chuva dirigida é uma grande fonte de umidade, afetando seu desempenho higrotérmico e a vida útil.

Na ausência de vento, as gotas de chuva caem verticalmente e causam pouco umedecimento dos envoltórios dos edifícios. Contudo, sob a ação da velocidade do vento, o impacto da chuva dirigida em paredes exteriores passa a submeter as fachadas a diferentes níveis de umidade, conforme ilustrado na Figura 1 [4].

De acordo com Giongo, Padaratz e Lamberts [3] e Melo Jr e Carasek [5], os danos causados por esta umidade em abundância vão desde problemas estéticos até degradações profundas. Entre eles estão a proliferação de micro-organismos, a descoloração dos revestimentos, a formação de manchas e eflorescências, a variação dimensional de elementos construtivos, a corrosão eletroquímica dos metais e infiltrações, levando à degradação dos materiais que constituem os componentes das fachadas.

Figura 1: Influência do vento na direção da chuva dirigida e na exposição das fachadas: (a) Condição sem vento e (b) Condição com vento [4].

Segundo Blocken e Carmeliet [1], nos anos 60, o CIB (Conseil International du Bâtiment) estabeleceu o Índice de Chuva Dirigida (ICD) como sendo o produto entre a velocidade média do vento e a quantidade total de precipitação, conforme a Equação 1.

$$ICD = V \times \frac{P}{1000} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: ICD = índice de chuva dirigida (m²/s); V = velocidade média do vento (m/s); P = precipitação total (mm).

2. Chuva dirigida direcional

Sabe-se que a incidência de vento tem sentidos preferenciais para cada localidade e isso resulta em níveis de exposição à chuva dirigida diferentes para as várias orientações de uma fachada [6]. Sendo assim, o ICD generaliza a informação de tal forma que não orienta o projetista na especificação de soluções diferentes para as distintas orientações das fachadas de um edifício, não lhe permitindo racionalizar o projeto da fachada da melhor maneira possível. Tendo isso em vista, é proposta a análise do Índice de Chuva Dirigida Direcional (ICDd), que decompõe a intensidade de chuva dirigida incidente em cada sentido cardeal e colateral, permitindo quantificar o nível de agressividade pela chuva dirigida para cada orientação de uma fachada.

Empregando a mesma Equação 1 calcula-se o ICD para cada orientação do vento (Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste). Para realizar o cálculo, utiliza-se a precipitação total dos dias em que o vento foi predominante na orientação em questão e a velocidade média anual do vento nesta mesma direção, atentando ao fato de que em dias de precipitação nula a velocidade do vento não entra no cálculo de sua média.

Esse índice direcional facilita a visualização e a análise da influência de cada direção quanto à exposição à chuva dirigida, uma vez que podem ser feitos gráficos do tipo roseta, como mostrado na Figura 2, o que facilita a visualização do grau de exposição para cada direção de fachada [7].

Figura 2: Exemplo de Gráfico tipo roseta do Índice de Chuva Dirigida [7].

Martinez [7] salienta que a importância do ICDd encontra-se no fato de que este pode ser utilizado para fundamentar o uso de materiais mais resistentes à umidade em fachadas mais críticas de um mesmo edifício, de modo a otimizar o desempenho dos materiais empregados. Dessa maneira, materiais mais nobres e, principalmente, uma execução mais rigorosa deve ser utilizada nas fachadas onde o ICDd é mais elevado – no exemplo da Figura 1, estas seriam as fachadas voltadas às direções Sul e Nordeste, respectivamente.

3. Metodologia

3.1 Cálculo do índice de chuva dirigida

Para este trabalho, foi utilizado o método de cálculo semi-empírico, que consiste na análise dos dados de precipitação e velocidade do vento. Os objetos de estudo foram 4 estações meteorológicas localizadas nas cidades de Curitiba, Foz do Iguaçu, Maringá e Ponta Grossa. Os dados obtidos foram fornecidos pelo SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná). A série histórica disponibilizada para cada estação começa no ano de 1997 e vai até o ano de 2015, totalizando 19 anos de amostragem.

Os dados obtidos consistem em precipitação, em milímetros de chuva, velocidade do vento média (em m/s) e direção do vento, variando a cada 45° para cada sentido da rosa dos ventos, sendo o Norte equivalente a 0°, e crescendo no sentido horário. É importante ressaltar que os arquivos de precipitação obtidos abrangem todos os dias do ano, o que inclui aqueles em que a precipitação medida foi igual a zero. Sendo assim, é necessário desconsiderar estes dias com valores nulos, visto que para o cálculo do Índice de Chuva Dirigida, é necessário que haja precipitação.

Para determinar o Índice de Chuva Dirigida Direcional, foi necessário fazer algumas adaptações nos dados. Visto que o arquivo de direção do vento trazia os pontos cardeais e colaterais em graus, foi preciso alterar este valor para a direção correspondente, como mostra a Figura 3.

Figura 3: Direção dos ventos expressas em graus, para o cálculo do ICDd [7].

A partir desta conversão, foi possível separar, para cada direção, a precipitação total e a velocidade média do vento, e então, calcular o ICDD através da Equação 1 para cada ano. Após calculados os valores do ICDD, fez-se uma análise da combinação dos sentidos adjacentes para compor uma nova proposta de análise, o ICDC (Índice de Chuva Dirigida combinado).

3.2 Índice de Chuva dirigida combinado (ICDC)

Partindo do princípio de que um edifício possui faces retas e contínuas ao longo de sua extensão (sem formas irregulares), cada fachada estará exposta a três sentidos da rosa dos ventos, porém com intensidades diferentes: o sentido principal, que incide perpendicularmente, e os dois sentidos adjacentes, que incidem em um ângulo de 45°.

Desta forma, para uma determinada direção, é agregado também um componente de 45° dos sentidos adjacentes (Figura 4), formando assim, o Índice de Chuva Dirigida Combinado (ICDC). Para a direção Norte, por exemplo, seriam adicionados os componentes das direções Nordeste e Noroeste. Para a direção Nordeste, seriam adicionados os componentes das direções Norte e Leste, e assim por diante.

O cálculo do ICDC pode ser expresso pela Equação 2.

$$ICDC = I + I_1 * \cos 45^\circ + I_2 * \sin 45^\circ \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: I = Sentido perpendicular à fachada analisada; I_1 = Sentido adjacente horário ao sentido principal; I_2 = Sentido adjacente anti-horário ao sentido principal.

Figura 3: Exemplo de Componentes do ICDC.

Esta análise proporciona uma aproximação da situação real à qual uma fachada é exposta. Além disso, também permite fazer estudos de direções não pertencentes à rosa dos ventos, ou seja, de direções Sub-Colaterais ou Intermédias, desde que haja dados suficientes para esta análise.

4. Resultados e discussões

A Figura 4 mostra o índice de chuva dirigida direcional (ICDd) e o índice de chuva dirigida combinado (ICDc), proposto neste trabalho, para a cidade de Maringá. Nota-se que a direção Nordeste foi predominante, tanto para o ICDd quanto para o ICDc, com valores de 1,25 m²/s e 2,49 m²/s, seguida das direções Leste, com 0,97 m²/s e 2,10 m²/s, e Norte, com 0,79 m²/s e 1,74 m²/s. A face mais protegida foi a Oeste, para as duas análises, com 0,06 m²/s e 0,24 m²/s.

Figura 4: ICDd e ICDc Médio de Maringá.

Na Figura 5 tem-se o ICDd e o ICDc para a cidade de Ponta Grossa, que indica um ICDd crítico para a direção Nordeste, com 1,28 m²/s, seguida da direção Leste, com 1,11 m²/s. Para o ICDc, estas duas direções apresentaram o mesmo valor, de 2,52 m²/s. As direções Norte, Sudeste e Noroeste também exibiram valores significativos de ICDc, com 2,17 m²/s, 1,57 m²/s e 1,37 m²/s, respectivamente.

Figura 5: ICDd e ICDc Médio de Ponta Grossa.

A Figura 6 mostra o ICDd e o ICDc para a cidade de Curitiba. A cidade de Curitiba mostrou resultados pouco expressivos em relação às outras cidades. Enquanto suas direções críticas de ICDd são a Leste e Nordeste, com 0,94 m²/s e 0,83 m²/s respectivamente, há uma inversão no ICDc, com a Nordeste superando o valor da Leste, com 1,67 m²/s e 1,60 m²/s, respectivamente. Tanto o ICDd quanto o ICDc máximo de Curitiba são os menores valores críticos de todas as cidades analisadas, mostrando um nível de exposição baixo.

Figura 6: ICDd e ICDc Médio de Curitiba.

No caso da cidade de Foz do Iguaçu, os valores de ICDd e o ICDc estão representados na Figura 7. Deve-se notar que, assim como Curitiba, Foz do Iguaçu mostrou resultados baixos de exposição. Seus valores críticos ficaram nas direções Norte e Leste, para o ICDd, com 1,00 m²/s e 0,89 m²/s, respectivamente. Para o ICDc, a direção Nordeste, que recebe as componentes destas duas direções críticas, passou de 0,37 m²/s para 1,71 m²/s, representando o maior valor do ICDc desta cidade. Este resultado ressalta a importância de usar o ICDc como balizamento dos projetos, pois a exposição baseada no ICDd pode não refletir a real incidência da chuva dirigida nas fachadas dos edifícios.

Figura 7: ICDd e ICDc Médio de Foz do Iguaçu.

5. Conclusões

O trabalho desenvolvido permitiu elaborar as conclusões listadas a seguir:

- O índice de chuva dirigida direcional (ICDd) possibilita uma avaliação mais detalhada do que o índice de chuva dirigida anual, que não considera a direção dos ventos;
- O índice de chuva dirigida combinado (ICDc), proposto neste trabalho, se aproxima ainda mais da real exposição das fachadas de um edifício, sendo mais recomendado para uso como parâmetro de especificação de materiais de acabamento de fachadas;
- No caso de Foz do Iguaçu, a comparação de ICDd com ICDc mostra mudança de fachada crítica indicando mais ainda a importância de emprego do ICDc como parâmetro de especificação;
- Considerando os dados de ICDc, as cidades de Ponta grossa e Maringá apresentam valores máximos de exposição a chuva dirigida superiores em relação às cidades de Curitiba e Foz do Iguaçu;
- Nas quatro cidades estudadas do Paraná, as fachadas voltadas para o norte, nordeste e leste são as mais solicitadas pela incidência da chuva dirigida.

6. Referências

- [1] Blocken, B.; Carmeliet, J. (2004) A review of wind-driven rain research in building science, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 92-13: 1079-1130.
- [2] Mook, F. J. R. (2003) Driving rain on building envelopes, Bouwstenen series of the Faculty of Architecture, Planning and Building of the Eindhoven University of Technology.
- [3] Giongo, M.; Padaratz, I. J.; Lamberts, R. (2011) Determinação da exposição à chuva dirigida em Florianópolis, SC: índices de chuva dirigida e métodos semi-empíricos, *Ambiente Construído*, 11-1: 7-23.
- [4] Thomaz, E. (1990) *Manual Técnico de Alvenaria: patologia*. São Paulo: Projeto, 97-117.
- [5] Melo Junior, C. M.; Carasek, H. (2011) Índices de chuva dirigida direcional e análise do nível de umedecimento em fachadas de edifício multipavimento em Goiânia, GO, *Ambiente Construído*, 11-3: 23-37.
- [6] Tomaz, T. P.; Bill, G. H.; Giordano, D. E.; Pereira, E.; Medeiros, M. H. F. (2014) Índice de Chuva Dirigida para o Estado do Paraná: uma ferramenta para projeto de fachadas. In: *Lúcia Bressiani; Cristiano Poletto. (Org.). Tópicos Especiais em Construção Civil*. 1ed. Toledo: UTFPR, v. único, p. 107-122.
- [7] Martinez, M. A. C. (2013) *A influência do índice de Chuva Dirigida sobre o grau de exposição das fachadas de edifícios da cidade de Curitiba*. Trabalho Final de Curso de Graduação. Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, Brasil.