



## ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA EM CIDADES DO PARANÁ E SUA IMPORTÂNCIA NO PROJETO DE FACHADAS DE EDIFÍCIOS

BATISTA, Gustavo Dias (1); RUFATO, Leonardo Torterolli (2); MIRANDA, Dayane de Cristo Miranda (3); GIORDANO, Dominique Elena (4); MATTANA, Alécio Júnior (5); MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias (6)

*Universidade Federal do Paraná, Iniciação científica, gustavo\_d\_medeiros@hotmail.com*<sup>1</sup>; *Universidade Federal do Paraná, Iniciação científica, leorufato@gmail.com*<sup>2</sup>; *Universidade Federal do Paraná, Iniciação científica, daymiranda05@gmail.com*<sup>3</sup>; *Instituto Federal do Paraná, Pesquisadora, domi.giordano@gmail.com*<sup>4</sup>; *Instituto Federal do Paraná, Pesquisadora, alehcio@gmail.com*<sup>5</sup>; *Universidade Federal do Paraná, Professor Doutor, medeiros.ufpr@gmail.com*<sup>6</sup>.

### RESUMO

Tendo em vista a progressiva preocupação com a durabilidade das construções, torna-se necessário estabelecer métodos para análise da influência das condições ambientais sobre as estruturas. Neste contexto, este trabalho visa o estudo do fenômeno de chuva dirigida (chuva associada ao vento) e sua influência sobre a durabilidade de fachadas. A análise baseou-se nos dados de 3 estações meteorológicas do estado do Paraná, localizadas nas cidades de Londrina, Maringá e Curitiba, buscando identificar as orientações de chuva dirigida mais críticas destas regiões. Assim, analisou-se a variação da chuva dirigida ao longo do tempo através dos Índices de Chuva Dirigida Anual, Mensal e Direcional. Estes índices indicaram, respectivamente, o grau de exposição dessas cidades ao fenômeno de chuva dirigida, o índice de chuva dirigida crítico para a cidade e a orientação crítica das precipitações associadas ao vento podendo orientar nos critérios de projeto de edificações nestas regiões. Segundo este indicativo, para as cidades de Curitiba e Londrina as orientações críticas de fachada são Leste e Nordeste e para Maringá Norte e Nordeste.

**Palavras-chave:** Chuva Dirigida; Nível de Exposição; Índice de Chuva Dirigida Direcional; Durabilidade de Fachadas.

### ABSTRACT

*In view of the progressive concern with the durability of the structures, it's necessary to establish methods to analyze the influence of environmental conditions on the structures. In this context, this work aims to study the phenomenon of wind-driven rain (rain associated with wind) and its influence on the durability of façades. The analysis was based on the data from 3 meteorological stations in the state of Paraná, located in the cities of Londrina, Maringá and Curitiba, seeking to identify the most critical wind-driven rain directions on these regions. Therefore, the rainfall variation over time was analyzed through the Directed, Montly and Annual Directed Rain Index. These index indicated, respectively, the degree of exposure of these cities to the phenomenon of wind-driven rain, critical the wind-driven index for the city and the critical orientation of the precipitations associated to the wind, being able to guide in the criteria of design of buildings in these regions. According to this indicative, for the cities of Curitiba and Londrina the critical orientations of the facade are East and Northeast and for Maringá are North and Northeast.*

**Keywords:** Wind-Driven Rain; Range of Exposure; Directional Driven Rain Index; Facade Durability.

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a durabilidade das construções tem sido foco crescente de pesquisas na Engenharia Civil. Motivados pela busca de edificações que

mantenham suas condições de segurança e usabilidade por mais tempo, engenheiros civis tem buscado cada vez mais entender os processos de degradação das edificações e como atuar para mitigá-los.

A durabilidade de uma edificação está diretamente relacionada com os agentes ambientais que causam a deterioração dos seus componentes, sendo a chuva uma das principais causas de manifestações patológicas em ambientes externos. Dentro deste contexto, está inserido o estudo das chuvas dirigidas, ou seja, quando há presença de precipitação e vento. Esse fenômeno possui alta variabilidade, pois é função da matriz de ventos e chuvas da região, o que depende diretamente do clima e topografia do local. Por essa característica, a chuva dirigida faz com que edificações com fachadas idênticas, mas orientações distintas, apresentem nível de incidência variável às manifestações patológicas causadas por umedecimento.

Portanto, este trabalho se propõe a analisar os dados referentes às chuvas e ventos de três grandes cidades do estado do Paraná: Londrina, Maringá e Curitiba. O estudo visa apresentar as orientações mais críticas para o fenômeno de chuva associada ao vento e os graus de agressividade para diferentes cidades. Assim, engenheiros civis, arquitetos e profissionais da construção terão em mãos uma variável importante que pode balizar as escolhas dos projetos, tais como decisões quanto aos materiais, soluções arquitetônicas e orientação das fachadas em prol da maior durabilidade das edificações.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Segundo Blocken e Carmeliet (2004), chuva dirigida é a chuva (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 e, em uma definição mais restrita, é lançada de encontro ao revestimento da edificação (MOOK, 2003). Pode ainda ser definida como a quantidade de chuva com uma componente horizontal que passa através de uma superfície vertical pela ação do vento (GIONGO et al., 2011).

### **2.1 Chuva dirigida e durabilidade de fachadas de edifícios**

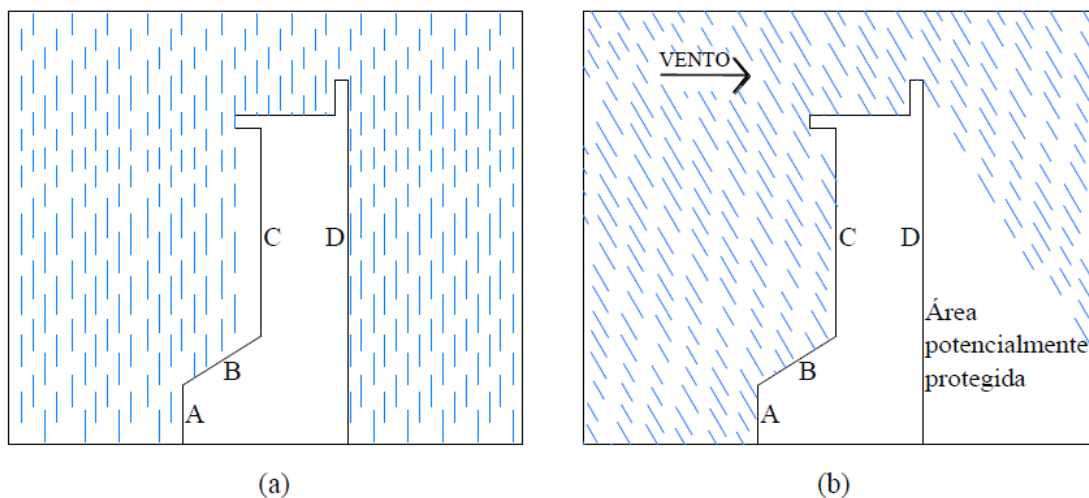
A fachada - como elemento fundamental da envoltória do edifício - age como barreira protetora aos agentes atmosféricos e, assim sendo, sofre com uma das agressões físicas mais importantes: a da água da chuva (POYASTRO, 2011). Para edificações, a chuva dirigida é uma grande fonte de umidade, afetando seu desempenho higrotérmico e a durabilidade de suas fachadas (GIONGO et al., 2011).

De acordo com Choi (1999), danos causados pela penetração de água nas fachadas de edifícios tem há tempos sido reconhecidos como um grande problema de manutenção. Estes danos e seus decorrentes prejuízos financeiros podem ser atribuídos à dois tipos de processos. O primeiro está relacionado à penetração de água da chuva para o ambiente interior através das fachadas, causando inconvenientes aos habitantes, danificando acabamentos do edifício e bens em seu interior. O segundo está relacionado à entrada de umidade nos materiais que constituem a envoltória do edifício, danificando-os. O primeiro processo usualmente ocorre em curta duração de tempo e a degradação

depende da intensidade da chuva dirigida. Por outro lado, o segundo mecanismo é um processo de longo prazo e a degradação está relacionada a quantidade total de chuva dirigida ao longo desse período. Ainda como consequência da chuva dirigida, o aumento da umidade nas paredes externas aumenta a condutividade térmica destas, tornando-as mais permeáveis ao calor (CHAND e BHARGAVA, 2002).

Na ausência de vento, as gotas de chuva caíam verticalmente e causariam pouco umedecimento nas paredes das fachadas 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 (THOMAZ, 1990).

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



Fonte: Thomaz (1990)

De acordo com Giongo et al. (2011) e Melo Júnior e Carasek (2011), 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.

## 2.2 Índice de chuva dirigida (ICD anual, ICD direcional e ICD mensal)

A medição direta da chuva dirigida (medição da quantidade de água passando por um plano vertical) claramente seria a maneira mais natural de quantificar cargas de chuva dirigida em diferentes localidades. Contudo, o equipamento necessário para isso (medidor de parede vertical ou "driving rain gauge") não é um equipamento padrão em estações meteorológicas e, portanto, a chuva dirigida não é medida de maneira rotineira (RYDOCK et al., 2005). Seria, então, interessante que a chuva dirigida fosse mensurada através de dados usualmente lidos nas estações. Tendo isso em vista, pesquisadores verificaram a relação proporcional entre a quantidade de chuva dirigida e as variáveis climáticas de influência como velocidade do vento, direção do vento e precipitação (estas

sendo medidas realizadas em estações padrão), o que conduziu aos métodos semi-empíricos de medição (BLOCKEN e CARMELIET, 2004). Estes métodos baseiam-se em relações entre dados de vento e precipitações pluviométricas obtidos de estações meteorológicas para o cálculo da chuva dirigida e suas direções principais (TOMAZ et al., 2014).

Segundo Blocken e Carmeliet (2004), 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.

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

Onde: ICD = índice de chuva dirigida (m<sup>2</sup>/s); V = velocidade média do vento (m/s); P = precipitação total (mm).

Quando o ICD é calculado a partir de médias anuais de velocidade do vento e de precipitação acumulada anual, ou seja, baseando-se em dados de anos completos, ele é denominado ICD anual (ou ICDA), sendo este um método razoavelmente preciso para comparação entre o total acumulado de chuva dirigida em paredes de diferentes lugares (GIONGO et al., 2011). Dessa forma, este parâmetro é importante como um critério global de balizamento de projetos de fachadas de edifícios de modo a torná-las mais duráveis, embora não seja comumente considerado na prática de projeto (TOMAZ et al., 2014).

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. Sendo assim, o ICDA generaliza em tal grau a informação 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, idealizou-se o ICD direcional (ou ICDD), que separa a intensidade de chuva dirigida incidente em cada sentido, permitindo quantificar o nível de agressividade pela chuva dirigida para cada orientação de uma fachada (TOMAZ et al., 2014).

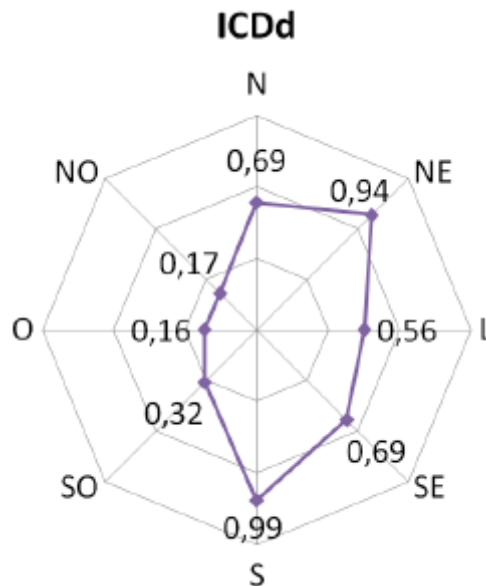
Empregando a mesma Equação 1 calcula-se o ICD para cada orientação do vento (Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste). Para realizar o cálculo, utiliza-se a precipitação total dos dias em que o vento foi predominante na orientação em questão e a velocidade média anual do vento 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 (MARTINEZ, 2013).

A importância do ICDD encontra-se no fato de que este pode ser utilizado para fundamentar o uso de materiais mais resistentes a umidade em fachadas mais críticas de um mesmo edifício, de modo a otimizar o desempenho dos materiais empregados (MARTINEZ, 2013). Dessa maneira, materiais mais nobres e uma execução especial devem ser utilizados nas fachadas onde o ICDD é mais

elevado. No exemplo da Figura 2, estas seriam as fachadas voltadas às direções Sul e Nordeste, respectivamente. Nas fachadas em que o ICDd é mais baixo, os materiais usados para o revestimento da fachada podem ser menos nobres, podendo isso ser convertido em redução dos custos das empresas de engenharia, sem comprometer a durabilidade e eficiência da edificação (TOMAZ et al., 2014).

Figura 2 - Gráfico tipo roseta do ICDd



Fonte: Martinez (2013)

Ainda é possível calcular índices de chuva dirigida mensais (ICD mensais) para se fazer uma comparação do comportamento da chuva dirigida ao longo do ano (GIONGO et al., 2011). Com isso, pode-se verificar qual é a chuva dirigida crítica que um local recebe, ou seja, qual é a carga máxima de chuva dirigida que uma edificação irá ser submetida ao longo dos meses de um ano. Esse valor pode ainda ser utilizado como a carga máxima de projeto da edificação (TOMAZ et al., 2014).

### 2.3 Classes de exposição

Com a finalidade de gerar parâmetros de referência para classificar o nível de impacto da chuva dirigida em uma localidade quanto ao Índice de Chuva Dirigida (ICD), foram criadas por pesquisadores faixas distintas de exposição. Com isso, a partir do ICD anual, pode-se classificar uma localidade quanto ao seu grau de exposição.

A primeira classificação foi proposta por Lacy (1977), englobando três faixas (Protegido, Moderado e Severo), de acordo com ICDA da localidade.

Em 2002, Chand e Bhargava (2002) propuseram uma nova faixa de classificação no critério de Lacy (1977), haja vista os altos índices de chuva dirigida encontrados na Índia. A Tabela 1 mostra a classificação proposta.

Tabela 1 - Classificação segundo o grau de exposição

| Índice de Chuva Dirigida<br>(m <sup>2</sup> /s) | Grau de Exposição |
|---|-------------------|
| ICD ≤ 3   | Protegido         |
| 3 ≤ ICD ≤ 7                                     | Moderado          |
| 7 ≤ ICD ≤ 11                                    | Alto              |
| ICD > 11  | Severo            |

Fonte: Lacy (1977) adaptado por Chand e Bhargava (2002)

Por se tratar de uma classificação mais recente, foram usadas estas faixas de exposição da Tabela 1 nas avaliações do presente trabalho.

### 3 METODOLOGIA

Para este trabalho, foi utilizado o método de cálculo semiempírico, que consiste na análise dos dados de precipitação e velocidade do vento. Os objetos de estudo foram 3 cidades do Paraná, cujos dados meteorológicos foram obtidos através do SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná), para uma série histórica de janeiro de 2006 até dezembro de 2015.

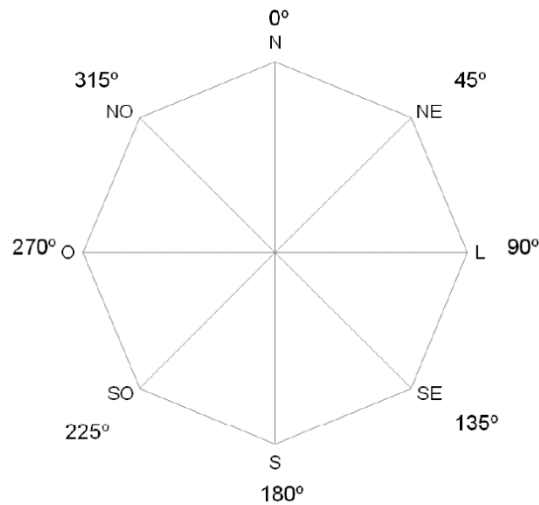
Os dados obtidos consistiam em precipitação, em milímetros de chuva, velocidade do vento média (em m/s) e direção do vento, variando a cada 45° para cada sentido da rosa dos ventos, sendo o Norte equivalente a 0°, e crescendo no sentido horário. É importante ressaltar que os arquivos de precipitação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

Para o cálculo do ICDA, determinou-se a precipitação total para cada ano, assim como as respectivas velocidades médias, e foi aplicada a Equação 1. O nível de exposição de cada cidade, de acordo com o critério de Chand e Bhargava (2002), foi determinado através da média de todos os anos analisados durante este período.

O cálculo também foi realizado para uma divisão de dados mensal, de modo que foi possível determinar o mês mais crítico ao longo dos anos. Para este caso, foi calculada a soma da precipitação mensal e a velocidade média mensal, de modo a obter as variáveis para a Equação 1 e estabelecer o ICD mensal. Em seguida, foi calculada a média da série de anos analisada para estipular o nível de exposição do mês correspondente.

Para o Índice de Chuva Dirigida Direcional, foi necessário fazer algumas adaptações nos dados. Visto que o arquivo de direção do vento trazia os pontos cardiais 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 Índice de Chuva Dirigida Direcional



Fonte: Autores (2017)

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, e por fim, fazer a média da série histórica e determinar qual a direção com o maior nível de exposição para cada cidade analisada.

Além das tabelas com os cálculos, os resultados também foram expressos na forma de gráficos, para melhor entendimento e análise.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ICDA

As Tabelas 2, 3 e 4 mostram os valores obtidos de precipitação anual, velocidade média do vento, e ICDA, para as cidades de Curitiba, Londrina e Maringá, para os anos de 2006 a 2015, além do nível de exposição, segundo os critérios de Chand e Bhargava (2002). Para cada tabela, foi destacado em vermelho o ano em que houve o ICDA máximo.

Tabela 2 - Precipitação anual, velocidade média do vento e ICDA para Curitiba

| Curitiba                |                    |                         |                          |  |
|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|--|
| Ano                     | Veloc. Média (m/s) | Precipitação Anual (mm) | ICDa (m <sup>2</sup> /s) | Nível de Exposição - Chand & Bhargava (2002) |
| 2006                    | 2,052              | 916,400                 | 1,88                     | Protegido                                    |
| 2007                    | 2,188              | 1241,800                | 2,72                     | Protegido                                    |
| 2008                    | 2,046              | 1182,800                | 2,42                     | Protegido                                    |
| 2009                    | 2,034              | 1645,400                | 3,35                     | Moderado                                     |
| 2010                    | 2,031              | 1761,800                | 3,58                     | Moderado                                     |
| 2011                    | 2,052              | 1841,400                | 3,78                     | Moderado                                     |
| 2012                    | 2,047              | 1467,400                | 3,00                     | Moderado                                     |
| 2013                    | 2,111              | 1411,600                | 2,98                     | Protegido                                    |
| 2014                    | 2,077              | 1573,200                | 3,27                     | Moderado                                     |
| 2015                    | 2,003              | 1835,200                | 3,68                     | Moderado                                     |
| ICD médio (2006 - 2015) |                    |                         | 3,065                    | Moderado                                     |

Fonte: Autores (2017)

Tabela 3 - Precipitação anual, velocidade média do vento e ICDA para Londrina

| Londrina                |                    |                         |                          |  |
|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|--|
| Ano                     | Veloc. Média (m/s) | Precipitação Anual (mm) | ICDa (m <sup>2</sup> /s) | Nível de Exposição - Chand & Bhargava (2002) |
| 2006                    | 2,313              | 1054,800                | 2,44                     | Protegido                                    |
| 2007                    | 2,329              | 1305,800                | 3,04                     | Moderado                                     |
| 2008                    | 2,373              | 1288,200                | 3,06                     | Moderado                                     |
| 2009                    | 2,200              | 2442,200                | 5,37                     | Moderado                                     |
| 2010                    | 2,325              | 1768,000                | 4,11                     | Moderado                                     |
| 2011                    | 2,334              | 1440,400                | 3,36                     | Moderado                                     |
| 2012                    | 2,298              | 1433,800                | 3,30                     | Moderado                                     |
| 2013                    | 2,381              | 1878,800                | 4,47                     | Moderado                                     |
| 2014                    | 2,391              | 1378,200                | 3,30                     | Moderado                                     |
| 2015                    | 2,200              | 2441,600                | 5,37                     | Moderado                                     |
| ICD médio (2006 - 2015) |                    |                         | 3,782                    | Moderado                                     |

Fonte: Autores (2017)



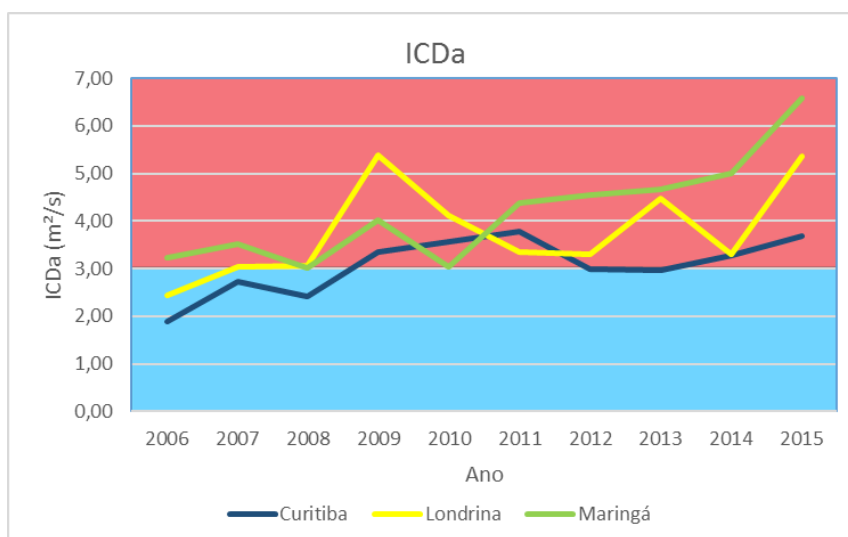
Tabela 4 - Precipitação anual, velocidade média do vento e ICDA para Maringá

| Maringá                 |                    |                         |                          |  |
|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|--|
| Ano                     | Veloc. Média (m/s) | Precipitação Anual (mm) | ICDa (m <sup>2</sup> /s) | Nível de Exposição - Chand & Bhargava (2002) |
| 2006                    | 2,639              | 1220,800                | 3,22                     | Moderado                                     |
| 2007                    | 2,724              | 1289,800                | 3,51                     | Moderado                                     |
| 2008                    | 2,559              | 1182,000                | 3,03                     | Moderado                                     |
| 2009                    | 2,316              | 1739,000                | 4,03                     | Moderado                                     |
| 2010                    | 2,499              | 1214,200                | 3,03                     | Moderado                                     |
| 2011                    | 2,671              | 1637,600                | 4,37                     | Moderado                                     |
| 2012                    | 2,616              | 1742,600                | 4,56                     | Moderado                                     |
| 2013                    | 2,678              | 1747,200                | 4,68                     | Moderado                                     |
| 2014                    | 2,718              | 1840,400                | 5,00                     | Moderado                                     |
| 2015                    | 2,608              | 2527,200                | 6,59                     | Moderado                                     |
| ICD médio (2006 - 2015) |                    |                         | 4,203                    | Moderado                                     |

Fonte: Autores (2017)

Ao analisar essas três cidades, percebe-se claramente um aumento do valor do ICDA ao longo dos anos. Em Curitiba, o valor máximo foi de 3,78 m<sup>2</sup>/s em 2011, enquanto em Londrina foi de 5,37 m<sup>2</sup>/s em 2009. Para Maringá, o máximo atingido foi 6,59 m<sup>2</sup>/s, em 2015. Para os três municípios, o nível de exposição médio para este período, segundo o critério de Chand e Bhargava (2002) é Moderado, com valores de 3,065 m<sup>2</sup>/s, 3,782 m<sup>2</sup>/s e 4,203 m<sup>2</sup>/s, respectivamente. Na Figura 4 observa-se esta evolução do ICDA ao longo dos anos para as três cidades. Para uma análise mais precisa, seria necessário um período de dados mais longo, para entender melhor o comportamento climático das cidades, e conseqüentemente, fazer uma análise mais completa.

Figura 4 - Variação do ICDA em Curitiba, Londrina e Maringá



Fonte: Autores (2017)

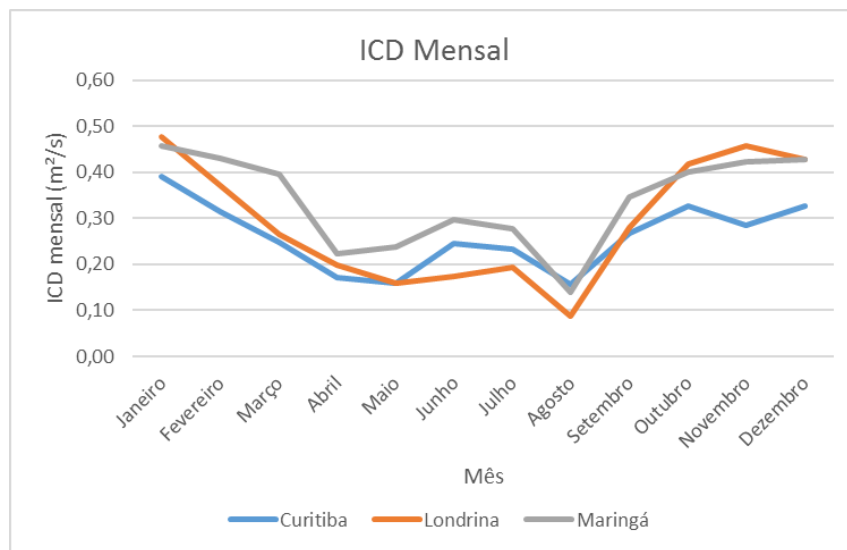
Para o período de 2006 a 2015, percebe-se que na cidade de Londrina ocorrem três picos no valor do ICDA, nos anos de 2009, 2013 e 2015, que diferem do comportamento característico da cidade e ficam consideravelmente acima da

média. No caso da cidade de Maringá, observa-se um crescimento regular ao longo dos anos, com leves quedas em 2008 e 2010, até atingir seu valor máximo em 2015. No caso da capital paranaense, o ano de 2006 foi o que teve o menor ICDa, com o valor de 1,88 m<sup>2</sup>/s, localizando-se na faixa de exposição protegida. A partir de 2009, o índice passou para moderado com um pico em 2011, seguido por uma queda, mas com novo crescimento até o ano de 2015.

#### 4.2 ICD mensal

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos para a média de ICD mensais dos 12 meses para as cidades de Curitiba, Londrina e Maringá.

Figura 5 - Média de ICD mensal da série histórica analisada para Curitiba, Londrina e Maringá



Fonte: Autores (2017)

Para as três cidades os maiores índices (ICDs críticos) ocorrem para o mês de Janeiro, com ICD mensal de 0,39, 0,48 e 0,46 m<sup>2</sup>/s, respectivamente para cada cidade. Seguindo Janeiro, os meses de Novembro e Dezembro são aqueles que apresentam maiores ICD mensais para as três localidades.

#### 4.3 ICDd

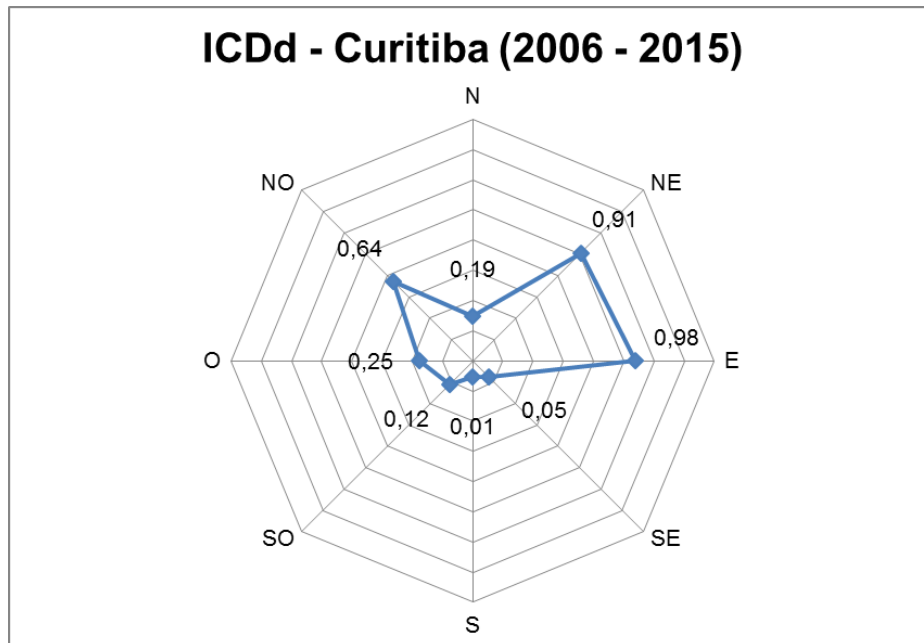
De acordo com Tomaz et al. (2014), a importância do ICDd reside no fato de que pode servir para fundamentar o uso de materiais mais resistentes a umidade em fachadas mais críticas de uma mesma edificação, de modo a otimizar o desempenho dos materiais empregados. Isso possibilita a aplicação do conceito do Functionally Graded Materials (FGM), caracterizado pela variação na composição e estrutura de forma gradual ao longo de um volume, mudando as propriedades do material afim de que ele seja adequado em cada solicitação, ainda que esta seja variável.

O FGM preconiza que os produtos devem ser projetados de modo racional, de maneira que os materiais que o compõem sejam apropriados para a obtenção da durabilidade e funcionalidade necessária ao usuário. Um exemplo de aplicação deste conceito no caso do Índice de Chuva Dirigida (ICD) é o projeto de fachadas de edifícios, que podem estar submetidas à maior ou menor incidência da chuva dirigida em função da sua orientação relativa aos pontos

cardeais. Neste caso, é necessário usar materiais mais nobres nas fachadas onde o ICD é mais elevado. Nas fachadas em que o ICD é mais baixo, os materiais usados para o revestimento da fachada podem ser menos nobres e isso pode ser convertido em redução dos custos das empresas de engenharia sem comprometer a durabilidade e eficiência da edificação.

As Figuras 6, 7 e 8 mostram a média da incidência da chuva dirigida direcional para cada uma das três cidades estudadas, no período de 2006 a 2015.

Figura 6 - ICDd médio de Curitiba entre 2006 e 2015



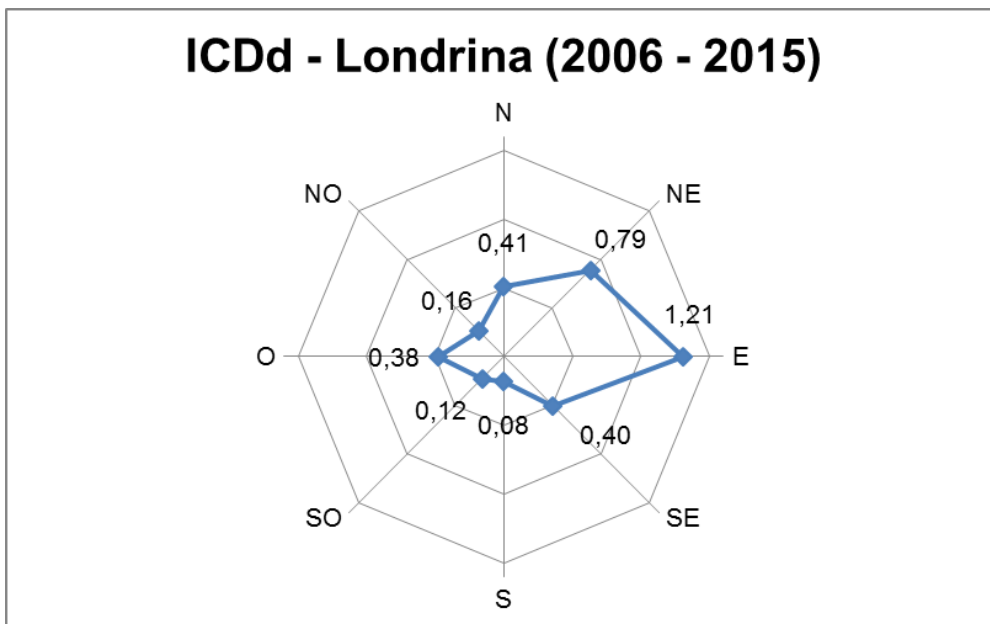
Fonte: Autores (2017)

Para a cidade de Curitiba, a direção com o maior ICDd foi a Leste, com um valor de 0,98 m²/s, por outro lado, a direção menos crítica foi a Sul, com valor quase nulo de 0,01 m²/s. Também é importante notar que a direção Nordeste também apresentou um valor relativamente alto em Curitiba, com 0,91 m²/s.

Para Londrina, a direção mais crítica também foi a Leste, com um valor de 1,21 m²/s, seguida, assim como em Curitiba, pela direção Nordeste, com 0,79 m²/s. O valor menos crítico foi 0,08 m²/s, na direção Sul.

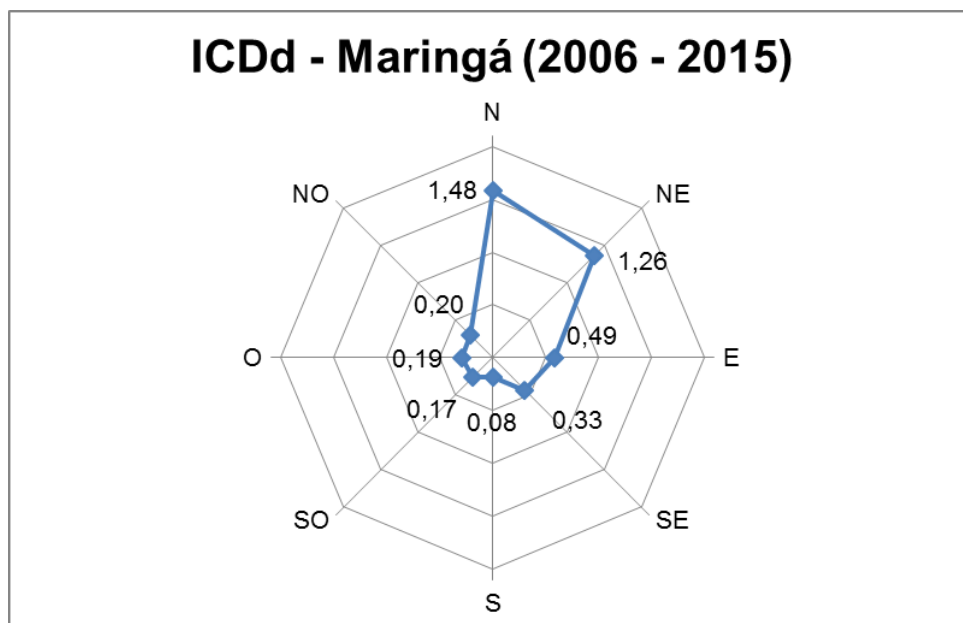
Para Maringá, a direção Norte se mostrou a mais problemática, com um ICDd de 1,48 m²/s, seguida pela direção Nordeste, com 1,26 m²/s. O menor valor foi para a direção Sul, com 0,08 m²/s.

Figura 7 - ICDD médio de Londrina entre 2006 e 2015



Fonte: Autores (2017)

Figura 8 - ICDD médio de Maringá entre 2006 e 2015



Fonte: Autores (2017)

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os índices de chuva dirigida anuais médios obtidos pelos dados do SIMEPAR, as três maiores cidades do estado do Paraná puderam ser consideradas de exposição moderada quanto ao fenômeno de chuva dirigida, segundo o critério de Chand e Bhargava (2002).

Sob o ponto de vista de escolhas de projeto, analisar apenas o ICDA de uma região leva a consideração simplificada e generalista de que o nível de agressividade é uniforme para todas as direções de fachada. Por considerar que a avaliação da chuva dirigida é mais complexa, os índices de chuva dirigida

direcionais médios para cada uma das três cidades foram calculados neste trabalho, gerando gráficos do tipo roseta. Esta ferramenta de fácil visualização pode permitir que projetistas destas três cidades consigam distinguir quais direções de fachada serão as mais críticas em suas edificações futuras, permitindo-lhes discretizar quais fachadas necessitam de materiais mais resistentes a umidade e deverão ter execução mais cautelosa, de maneira que recursos financeiros sejam empenhados somente na medida do necessário.

Isso contribui para a racionalização do projeto e a consequente redução de custos. Para Curitiba, as direções de fachada que demanda mais atenção e recursos financeiros são Leste e Nordeste, respectivamente. O mesmo acontece para Londrina, porém para a cidade de Maringá, as direções mais críticas ao projeto e execução são Norte e Nordeste, nesta ordem. Deve-se destacar que estas afirmações consideram só a chuva dirigida, não sendo avaliada a influência da incidência solar, que também é um fator muito importante na durabilidade das fachadas dos edifícios.

Pela obtenção do ICD crítico (maior ICD mensal) para cada cidade, pode-se concluir que Janeiro é o mês com o maior índice de chuva dirigida das três localidades, com 0,39 m<sup>2</sup>/s para Curitiba, 0,48 m<sup>2</sup>/s para Londrina e 0,46 m<sup>2</sup>/s para Maringá.

No momento de elaboração de projetos de fachadas, além do nível de exposição da cidade como um todo (ICDa), o ICD crítico deve ser levado em consideração, pois corresponde à maior incidência de chuva dirigida que a edificação vai receber durante todo o ano, podendo até mesmo ser utilizado como a carga máxima de projeto para chuva dirigida da edificação.

Tendo em vista que a chuva dirigida é um fenômeno climático, esta encontra-se sujeita a anos atípicos e variações imprevisíveis, variações estas que foram apresentadas em forma de gráficos ao longo dos anos da série histórica tomada para análise. Em decorrência dessas variações já esperadas, é recomendado que avaliações sejam feitas preferencialmente com séries históricas de 10 a 30 anos, ou no mínimo 5 anos, pois senão o nível real de exposição de uma localidade pode ficar subestimado ou superestimado se tempos muito curtos forem adotados (GIONGO et al., 2011). Em razão disso, pode-se concluir que a série de dados tomada para análise foi consistente para avaliação das localidades – pois é composta de 10 anos. Contudo, recomenda-se que os índices calculados sejam atualizados ano após ano pela alimentação com novos dados, buscando sempre informações mais completas e que se aproximem ao máximo da realidade das cargas de chuva dirigida que uma edificação futura será imposta ao longo de toda sua vida útil.

Além do supracitado, recomenda-se para trabalhos futuros o desenvolvimento de um critério para a classificação do nível de agressividade quanto à chuva dirigida para cada direção de fachada - através do ICDd -, uma vez que os critérios de Chand e Bhargava (2002) e Lacy (1977) só podem ser associados aos ICD anuais, não podendo serem discretizados para cada direção cardinal. Soma-se à isso um possível trabalho de associação entre os tipos de revestimentos de fachadas mais comumente utilizados e os respectivos ICDds que estes revestimentos suportariam para uma vida útil estipulada, de maneira a auxiliar ainda mais projetistas na escolha de materiais para fachadas.

## 6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Materiais e Estruturas da Universidade Federal do Paraná (LAME-DCC-UFPR), ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC-UFPR), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## REFERÊNCIAS

BLOCKEN, B.; CARMELIET, J. A review of wind-driven rain research in building science. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 92, n. 13, p. 1079-1130, Nov/ 2004.

MOOK, F. J. R. **Driving rain on building envelopes**. Bouwstenen series of the Faculty of Architecture, Planning and Building of the Eindhoven University of Technology, 2003.

GIONGO, M.; PADARATZ, I. J.; LAMBERTS, R. Determinação da exposição à chuva dirigida em Florianópolis, SC: índices de chuva dirigida e métodos semi-empíricos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 7-23, Jan./Mar. 2011.

POYASTRO, P. C. **Influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida**. 2011. 180f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil.

CHOI, E. C. C. Wind-driven rain on building faces and the driving-rain index. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v.79, n.1 e 2 p 105-122, Jan/ 1999.

CHAND, I; BHARGAVA, P. K. Estimation of driving rain index for India. **Building and Environment**, v. 37, n. 5, p. 549-554, Maio/ 2002.

THOMAZ, E. **Manual Técnico de Alvenaria: patologia**. São Paulo: Projeto, 1990. p. 97-117.

MELO JUNIOR, C. M.; CARASEK, H. Índices de chuva dirigida direcional e análise do nível de umedecimento em fachadas de edifício multipavimento em Goiânia, GO. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v 11, n. 3 p. 23-37, Jul./Set. 2011.

RYDOCK, J. P.; LISO, K. R.; FORLAND, E. J.; NORE, K.; THUE J. V. A driving rain exposure index for Norway. **Building and Environment**, v 40, n. 11 p. 1450-1458, Nov./ 2005.

TOMAZ, T. P.; BILL, G. H.; GIORDANO, D. E.; PEREIRA, E.; MEDEIROS, M. H. F. 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, 2014, v. único, p. 107-122.

MARTINEZ, M. A. C. **A influência do índice de Chuva Dirigida sobre o grau de exposição das fachadas de edifícios da cidade de Curitiba**. 2013. (Trabalho Final de Curso de Graduação) - Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, Brasil.

LACY, R. E. *Climate and Building in Britain: building research establishment*. London: Her Majesty's Stationery Office, 1977. 185 p.