

UM ESTUDO SOBRE CHUVA DIRIGIDA EM FLORIANÓPOLIS-SC

Michele Giongo (1); Ivo José Padaratz (2); Roberto Lamberts (3)

(1) LabEEE – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis-SC, Brasil –
e-mail: michigiongo@gmail.com

(2) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC),
Florianópolis-SC, Brasil – e-mail: padaratz@gmail.com

(2) Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC),
Florianópolis-SC, Brasil – e-mail: lamberts@ecv.ufsc.br

RESUMO

A chuva dirigida, chuva que cai obliquamente e possui uma componente horizontal dada pela velocidade do vento, é a maior fonte de umidade que afeta a performance higrotérmica e a durabilidade das fachadas dos edifícios. Este trabalho tem como origem uma pesquisa cujo objetivo foi avaliar o nível de exposição das edificações à chuva dirigida em Florianópolis com o auxílio de índices de chuva dirigida e de índices de chuva dirigida em parede vertical. Para a obtenção destes índices foram aplicadas fórmulas empíricas existentes na literatura internacional e utilizados dados de precipitação pluviométrica, de velocidade e de direção do vento de estações meteorológicas localizadas na Ilha de Santa Catarina e na cidade de São José-SC. Este artigo apresenta os resultados dessa pesquisa referentes aos índices de chuva dirigida anuais e sazonais, aos índices direcionais de chuva dirigida anuais e sazonais e aos índices de chuva dirigida em parede vertical para o período de 1961 a 1970. Os resultados apontam as direções sul e sudoeste como as mais críticas quanto à exposição das fachadas, além de indicar uma exposição moderada da área de estudo à chuva dirigida. O trabalho traz como contribuição informações que podem ser utilizadas por projetistas no intuito de criar projetos mais adequados à proteção das fachadas das edificações na área de estudo buscando escolher materiais que melhor se adaptem à exposição a qual estes estarão submetidos, além de trazer subsídios para as áreas de estudo de conforto térmico e durabilidade das edificações.

Palavras-chave: Chuva dirigida; índice de chuva dirigida; fachada; durabilidade; conforto térmico.

ABSTRACT

Driving rain, the oblique rain with a wind-driven speed horizontal component occurring with an angle in relation to the vertical plan, is the greatest moisture source that affects hygrothermal performance and durability of building facades. This article arose from research whose goal was to assess the exposure level of buildings to driving rain in Florianópolis, by using both the driving rain index and the driving rain index for vertical surfaces. In order to obtain these indices, empirical formulas from the international literature were applied and rain precipitation, wind direction and speed data from meteorological stations located in Santa Catarina Island and in São José-SC were used. This article introduces the results of the research above mentioned regarding the annual and seasonal driving rain indices, the directional driving rain indices and the driving rain indices for vertical surfaces from 1961 to 1970. The results indicate that the South and the Southeast directions are the most critical regarding the exposure of facades. Additionally, they point to a moderate exposure of the area of study to driving rain. The relevance of the study lies on the fact that it introduces information that can aid project designers devise more suitable projects concerning the protection of the building facades in this area of study, by choosing the most adaptable material to the exposure to which it will be submitted. Finally, it also provides subsidies to the areas of study on building thermal comfort and durability.

Keywords: Wind-driven rain; driving rain index; facade; durability; thermal comfort.

1 INTRODUÇÃO

A chuva dirigida é uma grande fonte de umidade que afeta a performance higrotérmica e a durabilidade das fachadas das edificações. Entre os danos causados pela umidade proveniente da chuva estão infiltrações, eflorescências, bolores, goteiras, manchas e degradação dos materiais que constituem os componentes das fachadas.

A chuva dirigida pode ser definida como a quantidade de chuva que passa através de uma superfície vertical (STRAUBE; BURNETT, 1997) e que possui uma componente da velocidade do vento (BLOCKEN; CARMELIET, 2004). O ângulo com o qual a chuva atinge uma parede vertical depende da combinação da velocidade do vento com o tamanho das gotas de chuva (MARSH, 1977). Diversos são os parâmetros que influenciam na quantidade de chuva dirigida que incide nas fachadas tais como a geometria do edifício, a topografia, a posição das fachadas, a velocidade e direção do vento, a intensidade da precipitação, o tamanho das gotas e a duração do evento de chuva (BLOCKEN; HENS; CARMELIET, 2002).

De acordo com Blocken e Carmeliet (2004), o estudo da chuva dirigida na ciência da construção está dividido em quantificação das cargas de chuva dirigida e estudo da resposta dos edifícios a essas cargas, sendo três os métodos utilizados para este estudo: métodos experimentais, métodos semi-empíricos e métodos numéricos.

Em 1955, Hoppestad apresentou duas relações nas quais se baseia a maioria dos métodos semi-empíricos existentes: o Índice de Chuva Dirigida - ICD (Driving Rain Index - DRI) e a Relação Chuva Dirigida (Driving Rain Relationship) (BLOCKEN; CARMELIET, 2004). Durante os anos 60, o CIB (Conseil International du Bâtiment) estabeleceu o índice de chuva dirigida (ICD) como sendo o produto da quantidade de precipitação pela velocidade do vento (PEREZ, 1988). Este índice pode ser obtido pela Equação 1 (LACY, 1977).

$$ICD = V \cdot \frac{P}{1000} \quad [1]$$

Onde, ICD = índice de chuva dirigida (m²/s); V = velocidade média anual do vento (m/s, medida a 10m de altura); P = total de precipitação anual (mm).

Quando o ICD é calculado a partir das médias anuais de vento e de precipitação pluviométrica, ele é denominado índice de chuva dirigida anual médio (ICDa médio). Pode-se também calcular o índice de chuva dirigida para diversas orientações de vento, dessa forma criam-se rosetas de índices de chuva dirigida direcionais (ICDd) para uma determinada localidade. Esse índice direcional facilita a visualização e a análise da influência de cada direção de vento quanto à exposição à chuva dirigida. Pode-se ainda calcular os índices mensais e sazonais para se fazer uma comparação do comportamento da chuva dirigida em cada estação do ano.

Lacy (1977) adotou 3 faixas de exposição à chuva dirigida de acordo com o ICD anual obtido: local protegido para ICD ≤ 3, exposição moderada para 3 < ICD ≤ 7 e exposição alta para ICD > 7. Lacy e Shellard (1962) apresentaram mapas de exposição à chuva dirigida para o Reino Unido baseados em índices de chuva dirigida anuais. Uma quarta faixa foi adotada por Chand e Bhargava (2002) subdividindo a terceira das faixas propostas por Lacy (1977): exposição alta para 7 < ICD ≤ 11 e exposição severa para ICD > 11. Dessa forma confeccionaram um mapa de chuva dirigida para a Índia.

Com base na metodologia de Lacy (1977), mapas de chuva dirigida foram confeccionados para diversos países como a Suécia, Dinamarca, Canadá, Estados Unidos e China (FAZIO *et al.*, 1995). Silva e Giralt (1995) calcularam o índice de chuva dirigida para a cidade de Porto Alegre com dados de 5 anos e, de acordo com a metodologia de Lacy (1977), essa cidade está sob exposição moderada à chuva dirigida. Lima e Morelli (2005), adotando a metodologia das quatro faixas de exposição, montaram um primeiro mapa de chuva dirigida para o Brasil. Este mapa é ainda experimental e foi feito com base nos dados de velocidade do vento e de precipitação pluviométrica do ano de 2004 disponíveis na página do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC.

Esses graus de exposição podem precisar de ajustes de acordo com as condições locais como proximidade da costa, elevação do terreno e altura da edificação. O BRS *DIGEST* 127 *apud* Lacy (1977) faz algumas recomendações: Para áreas onde o ICD calculado é menor que 3 m²/s e que estão distantes até 8 km do mar ou grandes estuários, a exposição deve ser tida como moderada; Áreas com ICD maior ou igual a 5 m²/s e menor que 7 m²/s e distantes até 8 km do mar ou grandes estuários devem ser classificadas como área de exposição severa (adotando-se a metodologia complementada por Chand e Bhargava (2002) a exposição, neste caso, deverá ser classificada como alta); Áreas protegidas ou com exposição moderada, edifícios mais altos que seus circunvizinhos, sobre encostas ou morro podem ser classificados com exposição um grau maior do que o calculado.

Lacy (1965 *apud* FAZIO *et al.*, 1995; 1977) desenvolveu uma relação entre as taxas de deposição de água da chuva em paredes verticais e em superfícies horizontais. Esta relação resultou na equação 2:

$$R_v = \frac{2}{9} \cdot V \cdot R_h^{8/9} \approx 0,222 \cdot V \cdot R_h^{0,88} \quad [2]$$

Onde, V = velocidade do vento (m/s); R_v e R_h = taxa de chuva em superfície vertical e horizontal respectivamente (mm/tempo); 0,222 (s/m) é o coeficiente de chuva dirigida (valor médio) resultante de relações empíricas adotadas.

Para chegar à equação 2, Lacy (1965 *apud* FAZIO *et al.*, 1995) empregou relações empíricas que expressam o tamanho médio das gotas como uma função da intensidade da precipitação e a velocidade final de queda das gotas. Para esta equação assume-se que a distribuição do tamanho das gotas na parede é uniforme, com gotas de tamanhos similares com velocidades finais V_t = (1/0,222) m/s = 4,5 m/s que corresponde a um diâmetro de 1,2 mm. O expoente 0,88 pode ser omitido com boa aproximação (BLOCKEN; CARMELIET, 2004).

Rydock *et al.* (2005), em um estudo sobre a exposição das edificações à chuva dirigida para a Noruega, utilizou a equação 3 para calcular a quantidade acumulada de chuva dirigida em parede vertical com dados de observações sinóticas.

$$I_0 = 0,206 \cdot \sum_{D=\beta-80^\circ}^{\beta+80^\circ} R_D \cdot V_D \cdot \cos(D - \beta) \quad [3]$$

Onde, I₀ = montante de chuva dirigida em parede vertical (mm/ano); V_D = velocidade anual média do vento para a direção D (m/s); R_D = precipitação anual média para a direção D (mm); D = direção do vento (graus a partir do norte); β = ângulo entre o N e a direção normal à parede. O fator de conversão 0,206 foi determinado por Lacy (1965 *apud* RYDOCK *et al.*, 2005) em um estudo de 75 eventos de chuva para um período de 16 anos no qual 1 m²/s (1 ICD) corresponde a 0,206 m ou 206 mm de chuva dirigida em uma parede vertical (RYDOCK *et al.*, 2005). Como Rydock *et al.* (2005) utilizaram neste estudo dados que continham direções de vento medidas a cada 10°, o cálculo do I₀ incluiu um somatório para todas as direções D que representam vento incidindo na parede incluídos no setor β - 80° a β + 80°. Além disso, os autores omitiram o expoente 8/9 do termo R_D, pois, segundo eles, este não se mostrou válido para o cálculo com dados não horários.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar o nível de exposição das edificações à chuva dirigida em Florianópolis-SC.

3 METODOLOGIA

Para fins do presente trabalho, delimitou-se como área de estudo a região do litoral de Florianópolis

apresentada pelo Atlas Climatológico Digital do Estado de Santa Catarina (PANDOLFO *et al.*, 2002) abrangida pela estação meteorológica do aeroporto Hercílio Luz. A área assim definida é formada pela cidade de Florianópolis (parte insular e parte continental), a ilha de Santa Catarina com exceção de uma porção ao norte e parte dos municípios de Biguaçu, São José e Palhoça.

Neste estudo foram utilizados dados de direção do vento, de velocidade do vento e de precipitação pluviométrica da estação meteorológica do Aeroporto Internacional Hercílio Luz localizado na Ilha de Santa Catarina. Foram utilizados os dados do período de 1961-1970, totalizando 10 anos. Os dados estão armazenados em CD no acervo do LabEEE anteriormente obtidos através da ABRAVA/IBF (Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento/ Instituto Brasileiro do Frio), junto ao CTA/IAE (Centro Técnico Aeroespacial/ Instituto da Aeronáutica e Espaço). Este CD contém dados horários de vento, sendo a velocidade medida em nós e a direção de 10 em 10 graus, e cinco medidas diárias de precipitação anotadas em milímetros, além de outras variáveis climáticas.

Os dados de velocidade do vento foram transformados em metros por segundo e os dados de direção do vento foram divididos em 8 direções (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO), com as direções N, E, S e O abrangendo 40 graus e as direções NE, SE, SO e NO abrangendo 50 graus, conforme mostra a Figura 1.

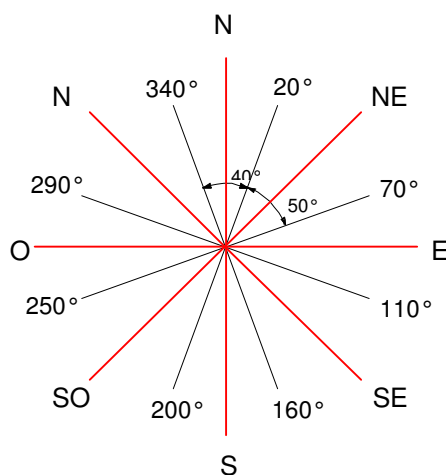


FIGURA 1 – Transformação das direções de vento medidas em graus para oito direções (N, E, S, O abrangendo uma faixa de 40°; NE, SE, SO, NO abrangendo uma faixa de 50°)

Para possibilitar o cálculo dos índices direcionais de chuva dirigida, fez-se a transformação das observações horárias de vento em 5 observações, de acordo com número de observações precipitação pluviométrica e seus respectivos horários. Nesta transformação, o valor da velocidade resultante é a média das velocidades horárias entre as observações de precipitação pluviométrica e a direção adotada é a mais freqüente (moda) entre estas observações.

Foram calculados o índice de chuva dirigida médio do período dos 10 anos, bem como os índices anuais e sazonais. Foram calculados também os índices direcionais anuais médios e os índices direcionais sazonais médios. Estes índices foram obtidos aplicando-se a equação 1 e utilizando os dados de vento apenas das observações na quais houve precipitação. Com os índices anuais e anual médio fez-se a classificação do nível de exposição à chuva dirigida ao qual as edificações da na área de estudo estão submetidas, de acordo com a metodologia de Lacy (1977), considerando as recomendações da BRS DIGEST 127 *apud* LACY (1977).

Os índices de chuva dirigida em parede vertical foram calculados para as direções N, NE, E, SE, S, SO, O e NO (I_{360} , I_{45} , I_{90} , I_{135} , I_{180} , I_{225} , I_{270} e I_{315} , respectivamente) aplicando-se a equação 3. A escolha desta equação para o cálculos dos índices de chuva dirigida em parede vertical ao invés da

equação 2 está relacionada ao coeficiente de chuva dirigida. O fator 0,222 está relacionado especificamente a dados de vento e totais de chuva horários. Como no presente trabalho são utilizados cinco medidas de totais de chuva por dia, preferiu-se adotar a equação 3, cujo coeficiente (0,206) foi obtido através de um valor médio para uma série de tempestades que duram diversas horas a diversos dias. Estas informações foram obtidas em contato via e-mail com os autores de Rydock *et al.* (2005).

Os procedimentos descritos acima estão detalhadamente explicados por Giongo (2007).

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Na Tabela 1 são apresentados os valores dos índices de chuva dirigida anuais do período de 1961-1970 em Florianópolis. Os valores dos índices variaram bastante, sendo que o menor valor encontrado foi de 3,31 m²/s no ano de 1970 e o maior foi de 7,19 m²/s em 1966. De acordo com a metodologia Lacy/Chand e Bhargava (2002), o nível de exposição foi moderado em todos os anos do período, exceto para 1966, cuja exposição foi alta (>7 m²/s). Considerando-se as recomendações do BRS Digest *apud* Lacy (1977), a exposição nos anos de 1961, 1967 e 1969 são consideradas alta (>5 m²/s) e a exposição no ano de 1966 é considerada severa. Apesar das variações durante os anos, a exposição média do período apresentou-se como moderada mesmo depois de considerar as recomendações do BRS Digest 127 *apud* Lacy (1977). Esta exposição é dois níveis menor que a apresentada pelo mapa brasileiro de chuva dirigida (LIMA; MORELLI, 2005). No mapa brasileiro de chuva dirigida a exposição obtida para Florianópolis no ano de 2004 foi severa. Algumas hipóteses podem ser levantadas visando justificar essa diferença: o ano de 2004 pode ter sido um ano atípico apresentando uma exposição mais elevada que a exposição média de 1961-1970; essa diferença pode ser resultado de uma mudança no clima, já que há uma diferença de mais de 30 anos entre os períodos de dados utilizados nos dois trabalhos; podem ainda haver diferenças nos tipos de dados utilizados e seu tratamento em cada um dos trabalhos.

TABELA 1 - Valores dos ICDa para os anos de 1961-1970 e classificação da exposição à chuva dirigida (Florianópolis, Aeroporto Hercílio Luz).

<i>Ano</i>	<i>ICDa (m²/s)</i>	<i>Nível de exposição Lacy/Chand e Bhargava (2002)</i>	<i>Recomendação BRS Digest 127 apud Lacy (1977)</i>
1961	6,45	moderado	alto
1962	4,18	moderado	moderado
1963	3,95	moderado	moderado
1964	3,68	moderado	moderado
1965	4,99	moderado	moderado
1966	7,19	alto	severo
1967	5,71	moderado	alto
1968	3,85	moderado	moderado
1969	6,25	moderado	alto
1970	3,31	moderado	moderado
Média	4,96	moderado	moderado
ICDa médio calculado	4,94	moderado	moderado

Os índices médios de chuva dirigida das quatro estações do ano (ICD sazonais) são apresentados na Tabela 2. Observa-se que os maiores índices foram obtidos na primavera e no verão. O inverno foi a estação que apresentou o menor índice. No período analisado, diferença entre o índice de chuva dirigida sazonal de primavera e o de verão é pouco significativa, sendo que estas estações foram responsáveis por 29% e 31% do ICDa do período, respectivamente.

TABELA 2 - Índices de chuva dirigida sazonais e índice de chuva dirigida anual (m^2/s), Florianópolis, 1961-1970.

<i>ICDsazonal médio (m^2/s)</i>	
Primavera	1,43
Verão	1,52
Outono	1,06
Inverno	0,91
Soma	4,92
ICDa	4,94

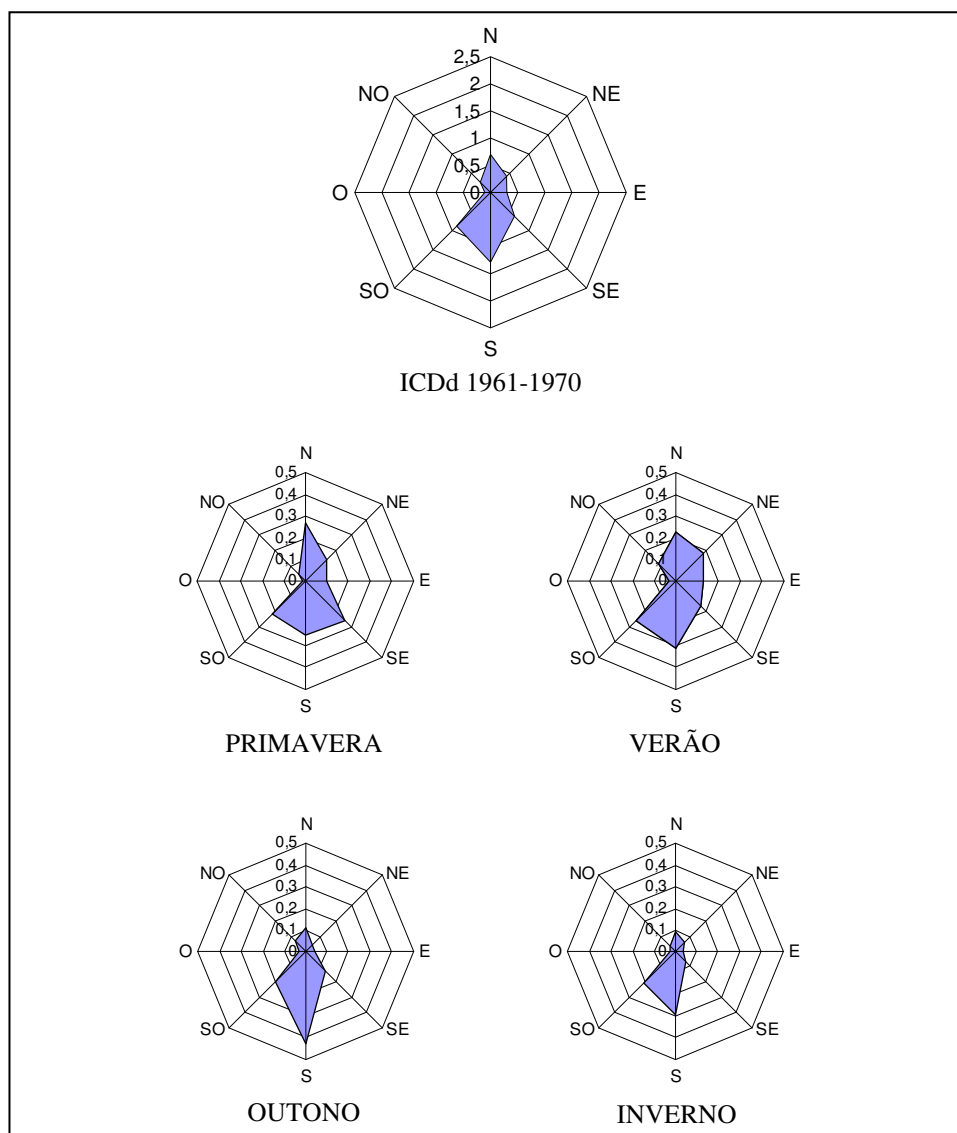


FIGURA 2 - Índices de Chuva Dirigida direcionais anuais médios e Índices de Chuva Dirigida direcionais sazonais (m^2/s), Florianópolis 1961-1970.

As rosetas com os ICDD anuais médios e os ICDD sazonais do período podem ser vistas na Figura 2. Com o auxílio da roseta de ICDD anuais médios, observa-se que as direções mais críticas dentro do período são a S, SO, SE e N, sendo que o maior ICDD é apresentado pela direção S com valor de 1,29 m²/s, que representa 26% do ICDA do período. O segundo maior ICDD é apresentado pela direção SO com índice de 0,88 m²/s, representando 18% do ICDA. Em seguida vem as direções N e SE que tiveram índices bem próximos, 0,70m²/s e 0,62m²/s, representando 14% e 13% do ICDA, respectivamente. A direção O aparece como a menor contribuinte para o ICDA com um ICDD de 0,11m²/s.

No outono e no inverno nota-se que a direção S, seguida pela direção SO, foi a mais crítica. Na primavera a direção N apresenta um ICDD igual às direções S e SE. No verão, estação com o maior ICD sazonal, a chuva dirigida ficou melhor distribuída entre os quadrantes norte e sul.

A Figura 3 apresenta os valores dos índices de chuva dirigida em parede vertical (I_0) do período de 1961-1970 para oito orientações de fachadas. Observa-se que a fachada mais crítica foi a fachada S, com I_0 igual a 484 mm/ano, seguida pela SO, I_0 igual a 384 mm/ano e SE, I_0 igual a 360 mm/ano. As fachadas menos críticas foram a O e a NO com menos I_0 menor que 100 mm/ano.

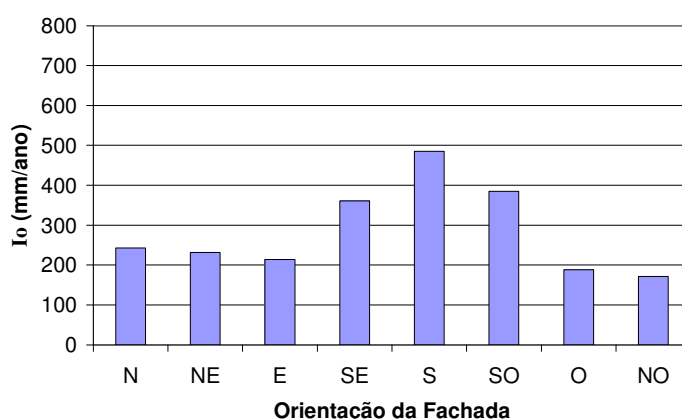


FIGURA 3 - Índices de Chuva Dirigida em parede vertical (mm/ano), Florianópolis 1961-1970.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que as edificações da área de estudo do presente trabalho foram submetidas a um nível moderado de exposição à chuva dirigida. Houve uma grande variabilidade nos resultados dos índices anuais de chuva dirigida dos anos do período analisado, sendo que o ano mais crítico foi o de 1966 que foi considerado de exposição severa. Dentre as estações do ano, a primavera e o verão se apresentaram como as estações mais críticas.

De acordo com os resultados dos índices de chuva dirigida direcionais, pode-se afirmar que os ventos provenientes do quadrante sul, SE, S e SO, são os que possuem maior agressividade associada à chuva dirigida para as construções na área de estudo.

Diante dos resultados dos índices de chuva dirigida em parede vertical, conclui-se que as fachadas mais expostas aos efeitos da chuva dirigida em Florianópolis são as de orientação para S. Este resultado se deve ao fato de que estas fachadas recebem os ventos de S, SE e SO, que são precisamente os que trazem a maior quantidade de chuva dirigida para a área de estudo. Depois da fachada S, as fachadas com orientação para SE e SO são as que mais sofrem a ação do evento. Diante disso, é importante que os projetistas dêem atenção especial para as fachadas S, SE e SO quando da concepção de novas edificações.

6 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. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: jan/2005.
- BLOCKEN B; HENS H; CARMELIET J. 2002. **Methods for the quantification of driving rain on buildings**. *ASHRAE Transactions* 108(2): 338-350.
- CHAND, I.; BHARGAVA, P.K. Estimation of Driving Rain Index for India. **Building and Environment**, v. 37, n. 5, p. 549-554, mai/2002. Disponível em: <www.sciencedirect.com> Acesso em: jan/2005.
- FAZIO, P.; MALLIDI, S.R.; ZHU, D.A Quantitative Study for the Measurement of Driving Rain Exposure in the Montreal Region. **Building and Environment**, v. 30, n. 1, p. 1-11, jan/1995. Disponível em: <www.sciencedirect.com> Acesso em: nov/2004.
- GIONGO, M. **Análise do Nível de Exposição das Edificações à Chuva Dirigida para Florianópolis**. 2007. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, mai/2007.
- LACY, R.E. **Climate and Building in Britain**. Building Research Establishment. Her Majesty's Stationery Office, London, 1977, 185 p.
- LACY, R.E.; SHELLARD, H.C.. An Index of Fringing Rain, **Meteorol. Mag.** **91**, p. 177-184, 1962.
- LIMA, M.G.; MORELLI, F. **Mapa Brasileiro de “Chuva Dirigida”**: Algumas Considerações. Florianópolis, SC. 2005. p.620-634. Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa, 6, 2005, Florianópolis e International Symposium on Mortars Technology, 1, 2005, Florianópolis. Artigo Técnico. Disponível em: <www.infohab.org.br>.
- MARSH, P. **Air and Rain Penetration of Buildings**. London: The Construction Press, 1977.
- PANDOLFO, C.; BRAGA, H.J.; SILVA JÚNIOR, V.P.; MASSINGAN, A.M.; PEREIRA, E.S.; THOMÉ, V.M.R. **Atlas Climatológico Digital do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-Rom.
- PEREZ, A.R. Umidade nas Edificações: Recomendações para a Prevenção da Penetração de Água pelas Fachadas. In: **Tecnologia de Edificações (1ª parte)**. São Paulo, PINI, IPT-Divisão de Edificações, 1988. p. 571-574.
- 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. Disponível em: <www.sciencedirect.com> Acesso em: Set/2005.
- SILVA, Antonio César S.B.; GIRALT, Romulo Plentz. **Estabelecimento de um Índice de Chuva Dirigida para Porto Alegre**. Rio de Janeiro, RJ. p.605-610. ENTAC 95, Rio de Janeiro, 1995. Artigo Técnico. Disponível em: <www.infohab.org.br>.
- STRAUBE, J.F.; BURNETT, E.F.P. **Driving Rain on Building Façades**. Anais de CLIMA 2000, Bruxelas, 30/agosto a 02/setembro/1997.