A SEGURANÇA DAS OBRAS NO BRASIL DISCUTIDA SOB DIFERENTES PONTOS DE VISTA. TRAGA O SEU.

1º CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

21 a 23 de maio de 2014 - Foz do Iguaçu - PR

PROPOSTA DE UM MAPA DE CHUVA DIRIGIDA PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Zucchetti, L.[1], Masuero, A. B.[2], Loredo- Souza, A. M. [3]

[1] Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS/ PPGEC/ NORIE/ LAMTAC), Doutoranda (PPGEC/ UFRGS), Arquiteta e Urbanista (UPF), Mestre em Engenharia Civil (PPGEC/ UFRGS), e-mail: laiszucchetti@yahoo.com.br

[2] Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS/ PPGEC/ NORIE/ LAMTAC), Docente (PPGEC/ UFRGS), Doutora (UFRGS), e-mail: angela.masuero@ufrgs.br

[3] Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS/ PPGEC/ LAC), Docente (PPGEC/ UFRGS), PhD (University of Western Ontario), e-mail: acir@ufrgs.br

RESUMO

A chuva dirigida, também conhecida como chuva incidente, representa importante papel na deterioração dos elementos externos das edificações, e, caracteriza-se basicamente pela ação conjunta da precipitação e do vento. Este trabalho apresenta, de forma geral, uma análise do nível de exposição das edificações à chuva dirigida no estado do Rio Grande do Sul, através da aplicação de fórmulas empíricas existentes na literatura internacional. Nos cálculos foram utilizados dados mensais oriundos de 18 estações meteorológicas espalhadas pelo território deste estado, considerando as informações de velocidade do vento e de precipitação para o período entre os anos de 2002 a 2012, resultando na avaliação de 10 anos consecutivos. De acordo com os resultados verificou-se que as regiões do estado que apresentam maior número de estações meteorológicas são a Nordeste, a Noroeste e a Sudeste. De forma geral, o grau de exposição das edificações à chuva dirigida, entre os anos de 2002 e 2012, no estado do Rio Grande do Sul, variou de protegido a alto, entretanto o nível moderado foi o que ocorreu com maior frequência. Este trabalho contribui com informações relevantes para o desenvolvimento de projetos mais adequados com relação à proteção contra a chuva dirigida das fachadas das edificações.

Palavras chave: Mapa de Chuva dirigida; Índice de chuva dirigida; Durabilidade.

ABSTRACT

The wind-driven rain, also known as rain incident, plays an important role in the degradation process of the external elements of buildings, and is basically characterized by the interaction of rain and wind. This paper presents, in general, an assessment of driving rain exposure level in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, using semi-empirical formulas from the international literature on driving rain. In order to obtain these indices, monthly climatic data from 18 weather stations scattered throughout the territory of this state were used, considering the information of wind speed and precipitation for the period between the years 2002 to 2012, resulting in the evaluation of 10 consecutive years . According to the results the regions of the state with highest number of weather stations are the Northeast, Northwest and Southeast . In general , the degree of exposure of buildings to driving rain , between the years 2002 and 2012 in the state of Rio Grande do Sul, varied from protected to high , however the moderate level was what occurred with greater frequency . This work contributes with relevant information to the development of more appropriate projects with respect to protection of the buildings facades from the driving rain

Keywords: Wind-Driven Rain Map; Driving Rain Index; Durability.

1. INTRODUÇÃO

A umidade é um dos principais agentes causadores de manifestações patológicas no ambiente construído, e, a chuva dirigida, é uma das principais fontes de umidade que afetam a durabilidade e o desempenho higrotérmico das fachadas das edificações (STRAUBE; BURNETT, 2000; BLOCKEN; CARMELIET, 2004).

A chuva incidente, também conhecida como chuva dirigida, é basicamente a ação conjunta da chuva e do vento, ou, da mesma forma, a chuva carregada pelo vento que possui uma componente horizontal dada pela velocidade do vento que incide nas fachadas quando ocorre a precipitação (GIONGO, PADARATZ; LAMBERTS, 2011; SILVA; GIRALT 1995).

Neste sentido, o estudo da chuva dirigida se faz importante para a análise da agressividade do meio no qual a edificação se encontra, proporcionando informações que levem à maior durabilidade das fachadas (MELO JUNIOR; CARASEK, 2011). Esta avaliação do nível de exposição das edificações à chuva dirigida ocorre através da quantificação do fenômeno, que pode ser realizada através de diferentes métodos, sendo o principal deles denominado Índice de chuva dirigida (ICD), ou, *Drinving Rain Index* (DRI), que utiliza, para o cálculo, dados meteorológicos como a velocidade média do vento e a precipitação acumulada anual, para a determinação do nível de agressividade do meio onde está inserida a edificação (CHOI, 1999).

Entretanto, segundo Melo Junior e Carasek (2011), no Brasil, a quantidade de trabalhos que tratam deste assunto ainda é pequena, e um dos motivos para que isto aconteça é justamente a dificuldade de obtenção destas informações acerca dos dados climáticos junto aos órgãos que fazem os registros meteorológicos. Lima e Morelli (2005) acrescentam ainda a este fator, a falta de coleta sistematizada, a ausência de digitalização destas informações e até a ausência de confiabilidade dos dados disponíveis, uma vez que foi verificado um evento climático de neve na região da Amazônia.

Desta forma, os trabalhos que abordam os cálculos de ICD no Brasil foram os de Lima e Morelli (2005) com o primeiro mapa de chuva dirigida para o Brasil, o de Giongo (2007) com os ICD´s para a região de Florianópolis e as principais direções de chuva dirigida para esta mesma região, o de Estrela e Lima (2009) apresentando o ICD para a cidade de São José dos Campos – SP, bem como as pesquisas de Melo Junior (2010) com o calculo dos ICD´s de Goiânia, de Heerdt e Back (2012) com a determinação da chuva dirigida para região sul catarinense e o de Curitiba, desenvolvido por Martinez e Medeiros (2012).

Para a cidade de Porto Alegre, Silva e Giralt (1995) determinaram o ICD e as principais direções da chuva dirigida com base nas informações obtidas entre os anos de 1977 e 1981, comparando as informações que dispunham com aquelas publicadas por Marquardt (1969) e Arozteguy (1977), obtendo valores diferenciados de ICD.

Em síntese, as iniciativas para a determinação do nível de exposição das edificações, no Brasil, são pontuais, conforme apresentado. Além disso, não foram encontrados registros de análises específicas englobando o território do Rio Grande do Sul. Desta forma, fica tácita a necessidade de um estudo dirigido sobre o comportamento, em ambiente estadual, deste fenômeno.

2. CHUVA DIRIGIDA

A chuva dirigida, também conhecida como chuva incidente (SABBATINI, 1988; KAZMIERCZAK, 1989), é a chuva que apresenta uma componente de velocidade horizontal que tem origem no vento. As pesquisas envolvendo chuva dirigida apresentam importância em diversas áreas de pesquisa, incluindo agronomia, meteorologia e engenharia civil (BLOCKEN; CARMELIET, 2004).

Neste trabalho será adotado o termo chuva dirigida, em função da ampla utilização por parte de diversos pesquisadores em ambiente nacional e internacional, bem como pela definição do termo, seguindo o exposto por Giongo (2007) que determina que a chuva por sua natureza é incidente, contudo, quando consideramos este fenômeno nas edificações, e principalmente sobre as superfícies verticais das fachadas, é necessário que a precipitação seja conduzida pelo vento, uma vez que sem esta força de transporte, as gotas cairiam verticalmente sem atingir as paredes.

Entretanto, a quantidade de chuva dirigida que incide nas fachadas é influenciada por diversos parâmetros, tais como: a posição das fachadas, a existência de elementos de descolamento de água, a direção do vento, a geometria do edifício, a topografia, a velocidade do vento, a intensidade da precipitação, o tamanho das gotas e a duração do evento de chuva (BLOCKEN; HENS; CARMELIET, 2002).

Esse grande número de parâmetros e suas variações fazem com que a quantificação da chuva dirigida seja um problema complexo. E não é surpreendente que, apesar dos esforços de pesquisa que abrangem mais de quase um século, a chuva dirigida ainda é uma área de pesquisa ativa e com muito trabalho a ser desenvolvido (BLOCKEN; HENS; CARMELIET, 2002).

2.1 A chuva dirigida e o ambiente construido

O estudo da chuva dirigida na engenharia civil é dividido, basicamente, em duas partes: a quantificação de cargas de chuva dirigida e o estudo da resposta da edificação a estas cargas (BLOCKEN; CARMELIET, 2004).

Com relação à quantificação dos valores de chuva dirigida, foco deste trabalho, Blocken e Carmeliet (2004) identificaram a utilização de três métodos principais: os experimentais, os

numéricos e os semi-empíricos, sendo estes últimos empregados no desenvolvimento desta pesquisa.

2.1.1 Métodos semi-empíricos

Os métodos de quantificação de chuva dirigida denominados semi-empíricos relacionam, basicamente, os dados referentes aos ventos com àqueles relacionados à precipitação pluviométrica, normalmente estas informações provém de estações meteorológicas.

Estes métodos surgiram da necessidade de se conhecer o nível de exposição das fachadas com relação à chuva dirigida, e, geralmente apresentam, como produto final de sua utilização, mapas de índice de chuva dirigida.

Desta forma, Hoppestad (1955) apresentou duas relações nas quais se baseia a grande maioria dos métodos semi-empíricos existentes: o índice de chuva dirigida (ICD) (*Driving Rain Index - DRI)* e a relação de chuva dirigida *(Driving Rain Relationship- DRR),* também conhecida como chuva acumulada em parede vertical.

No Brasil, inexistem normas que abordem a quantificação do índice de chuva dirigida ou o cálculo da quantidade de chuva acumulada em superfícies verticais. A única norma nacional que apresenta aspectos relativos é a ABNT NBR 6123 que trata das características dos ventos no Brasil (ABNT, 2013).

2.1.1.1 ICD

Durante os anos 60, o CIB *(Conseil International du Bâtiment)* estabeleceu o ICD como sendo o produto da quantidade de precipitação (P), em milímetros (mm) pela velocidade do vento (V), em metros por segundo (m/s), conforme demonstrado na equação 1(PEREZ, 1988). Desta forma a resultante da equação é dada em m²/s, determinado o nível de exposição da região em questão frente à chuva dirigida.

$$\mathrm{ICD} = \mathrm{V}.\frac{\mathrm{P}}{1000} \qquad (1)$$

A partir da determinação do ICD a região de implantação pode ser classificada de acordo com o nível de agressividade que representa para a edificação. Lacy (1965)[1] apud Chand e Bargava (2002) propôs, considerando o ICD anual, três níveis de exposição à chuva dirigida, conforme apresentado na tabela 1.

[1] LACY, R. E. Driving-rain maps and the onslaught of rain on buildings. In: Moisture problems in buildings. RILEM/CIB Symposium. Helsinki, 1965.

Tabela 1: Níveis de agressividade do meio segundo Lacy (1965)

Faixa	Grau de exposição
ICD ≤ 3m²/s	Protegida ou branda
3m²/s ≤ ICD ≤ 7m²/s	Moderada
ICD > 7m²/s	Severa

Neste sentido, Chand e Bargava (2002) propuseram uma quarta faixa de exposição, considerando os valores de ICD entre 7m²/s e 11 m²/s como condição de exposição à chuva dirigida alta e acima de 11m²/s como condição severa, como demonstrado na tabela 2.

Tabela 2: Níveis de agressividade do meio segundo Chand e Bargava (2002)

Faixa	Grau de exposição
ICD ≤ 3m²/s	Protegida
3m²/s ≤ ICD ≤ 7m²/s	Moderada
7m²/s ≤ ICD ≤ 11m²/s	Alta
ICD > 11m²/s	Severa

Segundo Marsh (1977) para as distâncias menores que 8 km do mar, nas áreas com ICD menores que 3 m²/s, a exposição deve ser considerada moderada, e entre 5 m²/s e 7 m²/s, a exposição deve ser considerada severa, conforme apresentado na tabela 3.

Tabela 3: Modificação dos níveis de agressividade do meio proposta por Marsh (1977)

Faixa	Grau de exposição
ICD ≤ 3m²/s	Moderada
5m²/s ≤ ICD ≤ 7m²/s	Alta
ICD > 7m²/s	Severa

Normalmente o índice de chuva dirigida é utilizado para indicar aos projetistas a intensidade de exposição do local de implantação de uma edificação e permitir que sejam realizadas comparações, considerando o grau de agressividade de diferentes locais. É comum a produção de mapas com estes índices que apresentam os diferentes graus de exposições de áreas de uma região, estado ou país.

Neste sentido, na tabela 4 pode observar um compêndio, adaptado de Blocken e Carmeliet (2004) com as principais pesquisas que analisaram o nível de exposição de diferentes regiões com relação à chuva dirigida.

Desta forma, pode-se observar que grande parte das pesquisas foram desenvolvidas entre os anos de 1955 e 1970, principalmente no continente europeu. Sendo que a partir de 1980 outras regiões geográficas produziram mapas de chuva dirigida, entre elas os Estados Unidos, a China e a Índia. Na América do Sul, os primeiros estudos publicados foram os de Lima e Morelli (2005) e Lima, Morelli e Junior (2012) considerando o Brasil, e o de Perez et al. (2013) determinando o grau de exposição à chuva dirigida no Chile.

Tabela 4: Resumo dos principais trabalhos que originaram mapas de chuva dirigida no mundo entre 1955 e 2013 (adaptado de BLOCKEN; CARMELIET, 2004).

País	Autores e datas de publicação
Noruega	Hoppestad (1955)
Dinamarca	Jessing(1959, 1966)
Reino Unido	Lacy e Shellard (1962), Lacy (1965, 1971, 1976, 1977)
Canadá	Boyd (1963)
Polônia	Blociszewski (1966)
Romênia	Jonesen e Marcu (1966)
Espanha	Avendano (1966)
Suíça	Varnbo (1966), Jãrnmark (1968)
Alemanha ocidental	Caspar (1966)
Alemanha oriental	Eichler (1970)
Estados Unidos	Grimm (1982), Underwood e Meentemeyer (1998)
China	Sauer (1987)
Índia	Chand e Bargava (2002)
Brasil	Lima e Morelli (2005); Lima, Morelli e Junior (2012)
Grécia	Giarma e Aravantinos (2011)
Chile	PEREZ et al. (2013)

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizaram-se informações provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), obtidas no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), disponíveis mediante cadastro no site do órgão, mais precisamente, na seção de estações e dados, usando as informações da série histórica.

Inicialmente realizou-se uma varredura para determinar a quantidade de estações meteorológicas com dados disponíveis no estado do Rio Grande do Sul. Desta forma, contabilizaram-se 18 (dezoito) estações meteorológicas, pertencentes ao INMET, distribuídas ao longo de 5 (cinco) diferentes regiões deste estado, segundo a categorização proposta pela Fundação de Economia e Estatística do estado do Rio Grande do Sul (FEE- RGS)(figura 1).

A seguir, são apresentadas as principais características destas estações, tais como sua localização, início de operação e altitude (tabela 5). Cabe ressaltar que, apesar do inicio de operação das estações ser entre os anos de 1909 e 1948, os dados disponíveis e utilizados nesta pesquisa para a análise do nível de agressividade do ambiente limitaram-se ao período compreendido entre 2002 e 2012, visto que, para períodos anteriores os dados não estavam disponíveis.



Figura 1: Localização das estações meteorológicas utilizadas nesta pesquisa.

Tabela 5: Características das estações meteorológicas utilizadas como base para o desenvolvimento da pesquisa

Cidade	Número da Estação	Inicio de operação	Localização			Mesorregião
			Latitude	Longitude	Altitude (m)	
Santa Maria	83936	01/01/ 1912	-29.7	-53.7	95.00	Central
Porto Alegre	83967	09/ 12/ 1909	-30.05	-51.16	46.97	Metropolitana
Torres	83948	01/ 01/ 1913	-29.35	-49.73	4.66	Metropolitana
Caxias do Sul	83942	12/ 04/ 1912	-29.16	-51.2	759.60	Nordeste
Bom Jesus	83919	01/ 05/ 1948	-28.66	-50.43	1047.50	Nordeste
Bento Gonçalves	83941	01/ 02/ 1918	-29.15	-51.51	640.00	Nordeste
Lagoa Vermelha	83916	01/ 06/ 1914	-28.21	-51.5	840.00	Nordeste
Cruz Alta	83912	02/ 02/ 1912	-28.63	-53.6	472.50	Noroeste
Irai	83881	01/ 06/ 1935	-27.18	-53.23	247.10	Noroeste
Passo Fundo	83914	01/ 08/ 1912	-28.21	-52.4	684.05	Noroeste
São Luiz Gonzaga	83907	01/ 04/ 1912	-28.4	-55.01	245.11	Noroeste
Encruzilhada do Sul	83964	01/ 05/ 1913	-30.53	-52.51	427.75	Sudeste
Pelotas	83985	01/ 01/ 1926	-31.78	-52.41	13.00	Sudeste
Rio Grande	83995	01/ 01/ 1912	-32.03	-52.11	2.46	Sudeste
Sta. Vitória do Palmar	83997	01/ 01/ 1912	-33.51	-53.35	24.01	Sudeste
Bagé	83980	01/ 01/ 1912	-31.33	-54.1	242.31	Sudoeste
Santana do Livramento	83953	01/ 06/ 1912	-30.83	-55.6	328.00	Sudoeste
Uruguaiana	83927	01/ 02/ 1912	-29.75	-57.08	62.31	Sudoeste

Na realização dos cálculos do índice de chuva dirigida, isoladamente para cada cidade, foram utilizados os dados mensais de precipitação (mm) e velocidade média de vento (m/s), para cada um dos anos entre 2002 e 2012, disponibilizados no site do INMET. Ademais para a cidade de Lagoa Vermelha, a avaliação foi realizada para um período de tempo inferior, visto que as informações para o período compreendido entre 2007 e 2012 não estavam disponíveis na página do INMET.

Os cálculos dos ICD's foram realizados através da aplicação da fórmula proposta por Lacy (1955), apresentada anteriormente, e a categorização dos níveis de agressividade de cada uma das cidades foi determinada, inicialmente, seguindo a indicação de Chand e Bargava (2002), e, posteriormente, a partir do emprego da modificação das classificações proposta por Marsh (1977) para as zonas litorâneas. A etapa final caracterizou-se pela confecção de mapas individuais de chuva dirigida para cada um dos anos analisados, adotando-se para cada um dos níveis de agressividade uma legenda específica apresentada conjuntamente com os mapas.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com relação às estações meteorológicas com dados disponíveis para análise do ICD no estado do Rio Grande do Sul, pode-se observar com relação às mesorregiões, que a Nordeste, Noroeste e Sudeste são as que apresentam maior quantidade de estações meteorológicas, com quatro delas para cada uma destas regiões, enquanto que a Central é representada por apenas uma estação de coleta e a Metropolitana por duas estações.

O estado do Rio Grande do Sul apresentou, de forma geral, variações nos níveis de agressividade do meio considerando as diferentes regiões estudadas neste trabalho. O grau de exposição variou, considerando a classificação proposta por Chand e Bragava (2002), de protegido a alto, com valores de ICD oscilando entre 1,2m²/s e 9,7m²/s.

Tomando-se como base os valores médios, os índices de chuva dirigida variaram de 2,2m²/s (exposição protegida) a 7,0m²/s (exposição alta), entretanto, o grau de exposição moderado foi o que ocorreu com maior frequência, conforme apresentado na tabela 6.

A adoção da classificação do grau de exposição proposto por Marsh (1977) para as áreas litorâneas, distantes até 8km da costa, altera a configuração da exposição de três municípios que se encontram nesta condição no estado do Rio Grande do Sul: Santa Vitória do Palmar, Rio Grande e Torres, identificadas com o sinal *, na tabela 6.

Desta forma, na análise considerando a escala de agressividade do meio, proposta por Chand e Bargava (2002), pode-se observar que o comportamento com relação ao grau de exposição variou tanto em relação aos anos quanto com relação às cidades, enquanto em alguns municípios, tais como Iraí e Rio Grande não houve alteração do grau de exposição ao longo dos anos, em Pelotas foram identificados os três níveis de exposição, protegido em 2012,

moderado de 2003 a 2011, e alto em 2002. Com relação aos anos compreendidos no período de análise deste trabalho, de forma isolada em 2002 se identificaram valores mais acentuados de chuva dirigida, sendo que nos demais anos estes valores apresentaram maior proximidade.

Tabela 6: ICDs e seus respectivos anos para cada umas das cidades do estado do RS.

Cidades	ICD (m²/s)											
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Média
Santa Maria	5,3	4,0	2,0	3,0	2,5	3,1	2,7	4,3	3,6	2,8	3,3	3,3
Porto Alegre	2,8	2,4	1,8	2,0	1,7	2,4	2,6	3,6	3,1	3,9	3,8	2,7
Torres *	3,7	2,9	4,1	3,6	3,0	4,3	3,2	3,2	3,2	4,0	2,7	3,5
Caxias do Sul	4,3	3,9	2,4	2,9	2,2	2,7	2,2	3,3	3,0	3,5	3,3	3,1
Bom Jesus	2,8	1,9	1,5	3,5	4,7	8,0	5,4	7,5	7,4	7,7	5,8	5,1
Bento Gonçalves	3,2	3,4	2,6	3,1	2,2	3,7	2,9	4,4	3,4	4,1	3,2	3,3
Lagoa Vermelha	5,2	4,0	3,6	5,2	3,5	x	x	x	x	x	x	4,3
Cruz Alta	6,6	4,1	2,5	4,0	3,1	3,3	2,9	4,4	4,1	4,4	3,4	3,9
Irai	2,9	2,3	1,9	2,8	1,8	2,4	2,3	2,7	2,9	2,9	2,2	2,5
Passo Fundo	9,4	6,6	5,3	7,7	5,5	9,7	7,2	7,5	5,9	7,3	5,2	7,0
São Luiz Gonzaga	8,6	5,4	3,2	6,6	4,4	6,0	4,4	5,9	5,5	4,4	4,1	5,3
Encruzilhada do Sul	4,0	2,5	1,9	2,2	2,0	2,5	2,1	2,8	1,8	2,2	1,7	2,3
Pelotas	7,2	5,4	5,4	4,3	3,5	5,4	4,6	4,9	4,0	3,6	3,0	4,7
Rio Grande*	4,7	3,3	3,3	3,7	3,3	4,2	3,6	4,5	3,3	4,7	3,4	3,8
Sta. Vitória do Palmar*	7,2	5,7	4,5	4,6	4,2	5,6	3,2	4,4	4,6	4,9	3,2	4,7
Bagé	9,0	6,7	4,5	3,7	3,5	4,5	4,1	5,7	4,2	3,5	4,0	4,9
Santana do Livramento	6,1	2,9	1,4	1,4	1,2	1,9	1,4	2,7	2,1	1,4	1,8	2,2
Uruguaiana	5,1	4,1	2,6	2,8	2,8	3,0	2,4	3,6	2,8	2,4	2,6	3,1

Avaliando o comportamento médio da chuva dirigida no estado do Rio Grande do Sul entre os anos de 2002 a 2012 (figura 2), pode-se identificar um predomínio do nível de exposição moderado, com destaque para as regiões Nordeste e Central que apresentaram em sua totalidade este tipo de exposição. Já na região Noroeste as edificações estão sujeitas a uma maior variação deste indicador, visto que foram identificados os níveis protegido, moderado e alto. Considerando os municípios, Passo Fundo, localizado na região Noroeste foi o que apresentou o maior valor médio de ICD dentre os analisados no RS, no período de 2002 a 2012.

Pontualmente, verificou-se que no ano de 2002 (figura 3), dentre os demais anos avaliados, ocorreram índices de chuva dirigida com características mais acentuadas, configurando um grau de exposição alto para cinco cidades, distribuídas entre as regiões Noroeste, Sudeste e Sudoeste do estado.

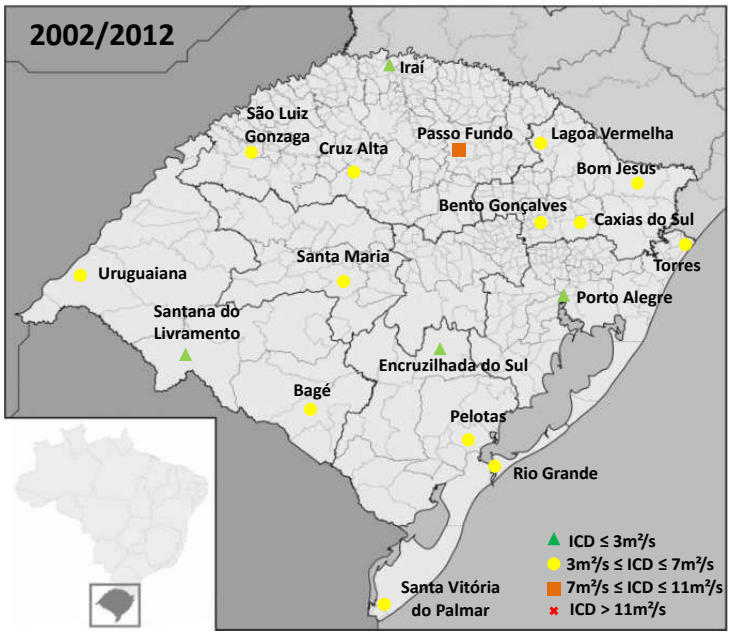

Figura 2: Mapa de chuva dirigida do Rio Grande do Sul, no período de 2002 a 2012.

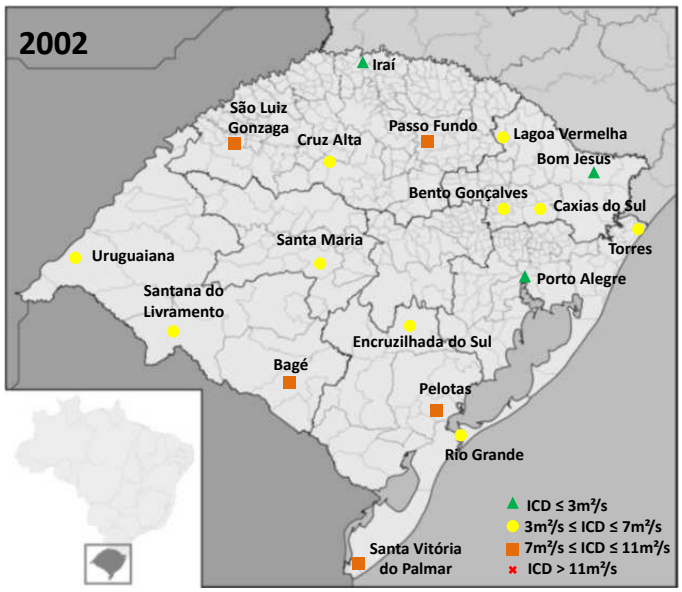

Figura 3: Mapa de chuva dirigida do Rio Grande do Sul, no ano de 2002, segundo classificação de Chand e Bargava (2002).

Dentre as três cidades litorâneas, onde se aplica a escala de agressividade do meio proposta por Marsh (1977), a de Santa Vitória do Palmar foi a que apresentou maior variação nos níveis de agressividade, com valores de ICD entre 3,2m²/s e 7,2m²/s, alterando entre exposição moderada, alta e severa. Ademais, neste município foi identificado o nível de exposição mais elevado do estado, especificamente no ano de 2002, com um regime severo de agressividade do meio (ICD= 7,2m²/s). Entretanto, considerando-se os valores médios de ICD

destes municípios na escala de Marsh (1977), não se identificou alteração no nível de exposição das edificações à chuva dirigida.

Para um melhor entendimento acerca dos índices de chuva dirigida identificados neste trabalho, principalmente para o ano de 2002 e o período compreendido entre 2002 e 2012, os dados de velocidade de vento (m/s) e de precipitação foram compilados na tabela 7. De forma geral o comportamento identificado em 2002, com valores mais acentuados de chuva dirigida, pode ser atribuído a um visível aumento nos índices de precipitação, em todos os municípios, quando comparados com a média anual do período de 2002 a 2012.

Tabela 7: Dados de velocidade de vento e precipitação de 2002 e 2002/ 2012.

Cidades	**2002**			**2002/2012**		
	Vento médio (m/s)	Precipitação acumulada (mm)	ICD (m²/s)	Vento médio (m/s)	Precipitação média anual (mm)	ICD (m²/s)
Santa Maria	2,0	2683,4	5,3	2,0	1700,3	3,3
Porto Alegre	1,6	1707,3	2,8	1,9	1441,7	2,7
Torres	1,9	1925,1	3,7	2,3	1548,9	3,5
Caxias do Sul	1,9	2.225,2	4,3	1,7	1792,7	3,1
Bom Jesus	1,4	2023,0	2,8	2,8	1768,0	5,1
Bento Gonçalves	1,6	1971,1	3,2	1,9	1749,9	3,3
Lagoa Vermelha *	2,9	1799,2	5,2	2,7	1615,2*	4,3
Cruz Alta	2,0	3298,0	6,6	2,0	1955,3	3,9
Irai	1,5	1945,7	2,9	1,3	1849,9	2,5
Passo Fundo	3,7	2565,3	9,4	3,6	1967,6	7,0
São Luiz Gonzaga	3,0	2865,0	8,6	2,8	1885,1	5,3
Encruzilhada do Sul	1,5	2622,9	4,0	1,4	1652,8	2,3
Pelotas	3,5	2041,3	7,2	3,5	1351,6	4,7
Rio Grande	2,1	2249,2	4,7	2,9	1350,2	3,8
Sta. Vitória do Palmar	3,8	1911,2	7,2	3,8	1235,6	4,7
Bagé	3,4	2655,8	9,0	3,2	1509,3	4,9
Santana do Livramento	2,3	2647,8	6,1	1,4	1479,9	2,2
Uruguaiana	2,5	2006,2	5,1	2,3	1377,3	3,1

Neste sentido, quando se comparam as cidades com nível alto de exposição à chuva dirigida do ano de 2002, identifica-se que tanto a velocidade média do vento quanto o nível de precipitação contribuíram para esta configuração de comportamento, uma vez que os valores de precipitação aumentaram e os de velocidade de vento se mantiveram iguais ou superiores àqueles identificados entre 2002/ 2012.

Considerando-se as regiões, no noroeste do estado do Rio Grande do Sul se verificou maior variação nos índices de chuva dirigida no ano de 2002, alternando de exposição protegida à alta, de acordo com a tabela 7, podemos identificar que este comportamento foi determinado pela influência da velocidade do vento de cada uma das cidades, ou seja, quanto maior a velocidade do vento, mais alto foi o grau de exposição apresentado pelo município, por exemplo, podem ser citadas as cidades de Passo Fundo, com nível de exposição alto e o munícipio de Iraí com grau de exposição protegido.

No Nordeste e região metropolitana, o grau de exposição variou de protegido à moderado no ano de 2002, e, da mesma forma que na região Noroeste, quem determinou o maior ou menor grau de exposição à chuva dirigida foi a velocidade do vento. De forma geral, segundo a figura 4, neste ano especifico, os valores mais acentuados de ICD ocorreram na região Noroeste, Sudeste e Sudoeste.

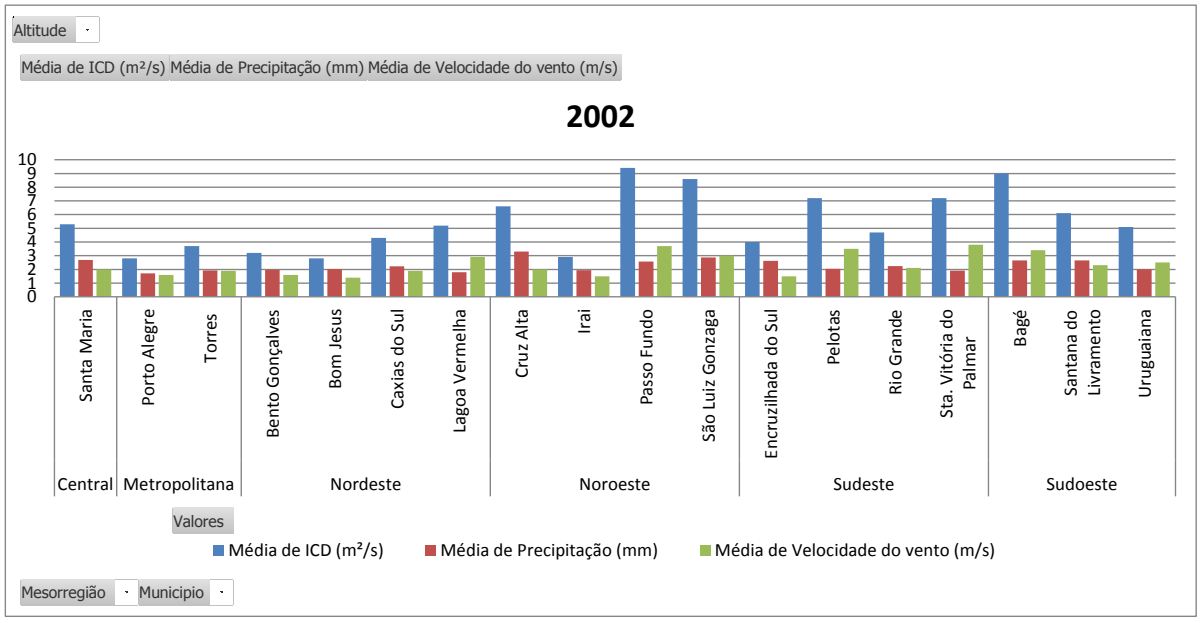

Figura 4: Gráfico de comportamento de ICD para o ano de 2002.

Considerando o período de 2002 a 2012, Passo Fundo foi o município que obteve maior valor de ICD, de acordo com a figura 5, este comportamento é resultado da influência de valores médios altos de velocidade de vento e de precipitação, quando comparados aos demais municípios, deste mesmo período. De forma geral, se identificou que os municípios que apresentam valores mais acentuados de velocidade média de vento, são aqueles que apresentam também os maiores valores de ICD. Assim como em 2002, a região Metropolitana apresentou valores menos expressivos de ICD quando comparada às demais.

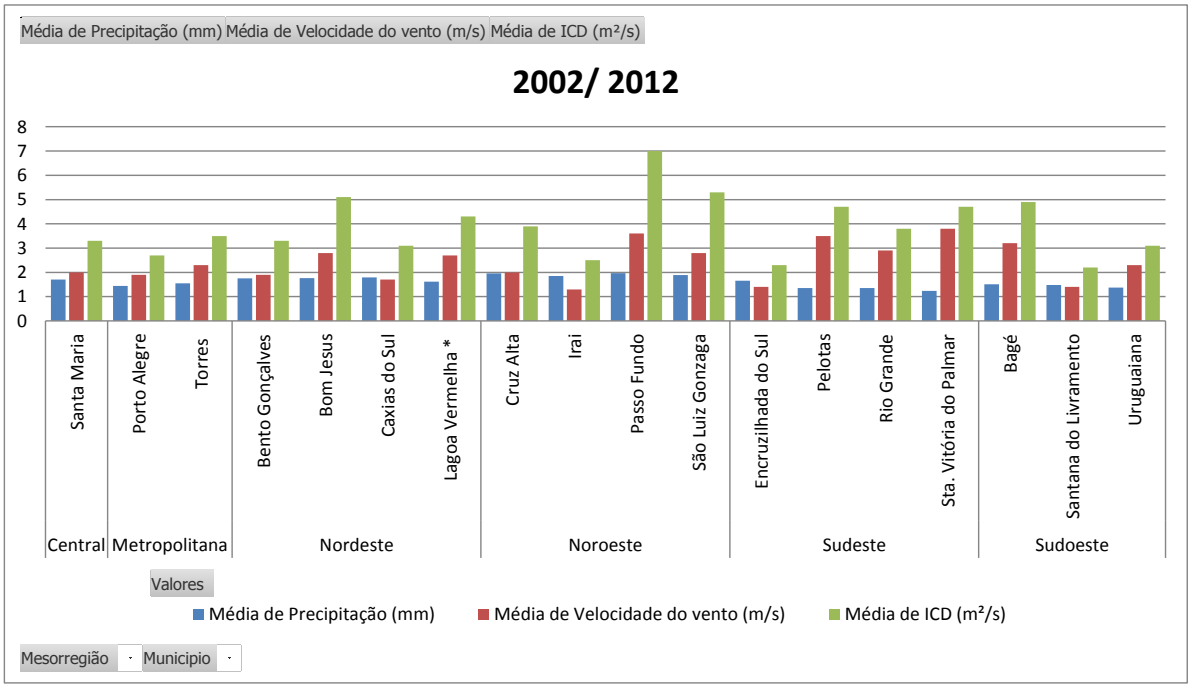

Figura 5: Gráfico de comportamento de ICD para o período de 2002/ 2012.

Desta forma, a partir do apresentado se verificou que a variação na velocidade do vento, de forma geral, influencia de forma mais acentuada na determinação do nível de exposição das edificações à chuva dirigida quando comparada aos níveis de precipitação. Ademais, quando associado a este fenômeno, os níveis de precipitação aumentam, se identificou que os ICD´s tendem a majorar de forma expressiva, refletindo em mudança nos graus de exposição dos municípios.

5. CONCLUSÕES

Os dados oriundos das estações meteorológicas do INMET espalhadas pelo Rio Grande do Sul permitiram a realização de uma análise do índice de chuva dirigida neste estado, fornecendo indicativos do comportamento deste fenômeno, entre os anos de 2002 e 2012.

De forma geral, considerando a classificação dos níveis de exposição de Chand e Baragava (2002) os níveis de exposição moderado e protegido prevaleceram, frente às condições altas e severas. Dentre os municípios, Passo Fundo, localizado na mesorregião Noroeste foi o que apresentou o maior valor médio de ICD no período de 2002 a 2012, fato associado à presença de velocidade média de vento superior às demais cidades empregadas nesta análise, esta verificação corrobora com o comportamento identificado por Lima, Morelli e Junior (2012), e pode estar relacionada com a localização do município no planalto médio do Rio Grande do Sul, região caracterizada pelos campos abertos, bem como pela sua altitude, visto que é a maior da região Noroeste.

Inversamente, em Santana do Livramento, na mesorregião Sudoeste, identificou-se o valor médio inferior, considerando esta mesma seção de anos, este comportamento está associado, assim como na ocorrência anterior, ao baixo valor médio de velocidade de vento identificado neste município. Sendo assim, verifica-se com base nesta pesquisa, que dentre as variáveis utilizadas na determinação do ICD, a velocidade média do vento influencia consideravelmente na deliberação do grau de agressividade do meio com relação à chuva dirigida.

Já a análise através da categorização desenvolvida por Marsh (1977) revelou que o estado do Rio Grande do Sul apresentou, ao longo do seu território, diferentes graus de exposição á chuva dirigida, que variam de moderado à severo, sendo que a região litorânea caracteriza-se por um incremento, de forma pontual, nos níveis de exposição das edificações à chuva entre os anos de 2002 e 2012. Este comportamento deve-se, segundo Amarante e Silva (2002), à localização dos municípios ao longo das regiões do litoral sul rio-grandense e costa ao longo da lagoa dos patos, duas importantes regiões do estado pelo potencial eólico que apresentam.

Neste sentido, o município de Santa Vitória do Palmar, localizada no litoral sul do estado, apresentou a maior variação dos valores de ICD no período de 2002/2012, bem como o ICD superior dentre as três cidades costeiras com estações meteorológicas no estado do Rio Grande do Sul, condição relacionada, assim como nos demais casos, com a velocidade média de vento, tal fato pode estar associado à sua localização geográfica, visto que segundo Amarante e Silva, esta região reúne condições promissoras para implantação de usinas eólicas de grande porte, pelas características dos ventos que apresenta.

Os indicativos apresentados neste trabalho buscam contribuir para o desenvolvimento de projetos mais adequados com relação à proteção das fachadas das edificações, considerando diferentes regiões do estado do Rio Grande do Sul, buscando minimizar, desta forma, a ocorrência de manifestações patológicas oriundas da ação da água da chuva, visto que a deterioração dos elementos externos das edificações está diretamente associada com as condições ambientais nas quais elas se inserem, e, dentre estas, a chuva dirigida apresenta papel importante, visto que é considerada a principal fonte de umidade externa que afeta a durabilidade e o desempenho higrotérmico das fachadas das edificações.

6. REFERÊNCIAS

AMARANTE, O. A. C.; SILVA F. J. L. **Atlas Eólico: Rio Grande do Sul**. Ed. pela Secretaria de Energia Minas e Comunicações. Porto Alegre: SEMC, 2002.

AROZTEGUY, J. M. **Parâmetros do conforto térmico para Porto Alegre**. Porto Alegre, NORIE/ UFRGS, 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123:** Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988 Versão Corrigida 2:2013.

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.

BLOCKEN, B.; HENS, H.; CARMELIET, J. **Methods for the Quantification of Driving Rain on Buildings**. ASHRAE Transactions, v. 108, n. 2, p. 338-350, 2002.

CHAND, I.; BHARGAVA, P. K. **Estimation of Driving Rain Index for India**. Journal Building and Environment, v. 37, n. 5, p. 549-554, maio. 2002.

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. 1/2, p.105-122, jan. 1999.

ESTRELA, P. H. T.; LIMA, M. G. Determinação e análise de índices de exposição à chuva dirigida para São José dos Campos – SP com base em dados dos anos de 2008 e 2009. **XIII ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Canela, 2010.

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 de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

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

HEERDT, G.; BACK, A.J. **Determinação da chuva dirigida para região sul catarinense**. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil. Universidade do Extremo Sul Catarinense. Disponivel:http://repositorio.unesc.net/bitstream/handle/1/1150/Graziela%20Heerdt.pdf?sequence=1 Acessado em: 10/09/2013.

KAZMIERCZAK, C. de S. **Desempenho de Alvenarias de Materiais Cerâmicos à Penetração de Água da Chuva: Uma Análise de Fatores Condicionantes.** 1989. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.

LIMA, M. G.; MORELLI, F. Mapa Brasileiro de "Chuva Dirigida": algumas considerações. Florianópolis, SC. 2005. In: **Simpósio Brasileiro de Tecnologia De Argamassa, 6**., Florianópolis, 2005; Anais... Florianópolis, 2005. Disponivel em: http://pt.scribd.com/doc/96325210/Chuva-Dirigida

LIMA, M. G.; MORELLI, F. JUNIOR, W. C. de S. **Influência do ambiente natural sobre o Ambiente construído: Um estudo sobre o índice de chuva dirigida.** Revista Ambiente e Sociedade, vol.15, n.1, pp. 41-52, 2012.

MARQUARDT, H. E. **Determinantes climatológicas para a arquitetura em Porto Alegre e Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, UFRGS, 1969.

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

MARTINEZ, M. A. C.; MEDEIROS, M. H. F. de. **O índice de chuva dirigida na cidade de Curitiba**. Disponivel: http://www.siepe.ufpr.br/cd_4_siepe/evinci/0452.html. Acessado em: 10/09/2013.

MELO JUNIOR, C. M. **Influência da Chuva Dirigida e dos Detalhes Arquitetônicos na Durabilidade de Revestimentos de Fachada**. 204 f. Goiânia, 2010. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Construção Civil e Mecânica das Estruturas, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

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

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.

PÉREZ-BELLA J.M., DOMÍNGUEZ-HERNÁNDEZ J., CANO-SUÑÉN E., DEL COZ-DÍAZ J.J., ALONSO-MARTÍNEZ M. **Global analysis of building façade exposure to water penetration in Chile**, Building and Environment, set. 2013.

SABBATINI, F.H. **Umidade por Infiltração em Paredes de Alvenaria**. Anais EPUSP, São Paulo, p. 95-104, 1988.

SILVA, A. C. S. B.; GIRALT, R. P. Estabelecimento de um Índice de Chuva Dirigida para Porto Alegre. In: **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Rio de Janeiro: ANTAC, 1995.

STRAUBE, J. F.; BURNETT, E. F. P. Simplified Prediction of Driving Rain on Buildings. In: **International Building Physics Conference**, Eindhoven, Netherlands. 2000. Proceedings... Eindhoven, Netherlands, 2000. p. 375-382.