



MATRIZ DE ANÁLISE DO ÍNDICE DE CHUVA DIRIGIDA (ICD) PARA A CIDADE DE BRASÍLIA-DF

**Vanda Alice Garcia Zanoni (1); José Manoel Morales Sánchez (2);
Elton Bauer (3); Cláudia Naves David Amorim (4)**

Doutoranda do PPG - FAU – UnB, vandazanoni@unb.br

DR, Professor do PPG - FAU – UnB, sanchez@unb.br

DR, Professor do PECC- FT – UnB, elbauerlem@gmail.com

DR, Professor do PPG - FAU – UnB, clamorim@unb.br

RESUMO

As condições de exposição da envoltória do edifício afetam a sua durabilidade. A ação combinada dos agentes de degradação que atuam nas fachadas acelera a degradação, comprometendo o desempenho higrotérmico e diminuindo a vida útil da edificação. Um dos principais agentes de degradação é a ação da chuva dirigida, resultante do efeito combinado de chuva e vento, que intensifica o umedecimento da fachada e as infiltrações. Este trabalho apresenta a determinação dos índices de chuva dirigida (ICD) anuais e mensais para a cidade de Brasília-DF, com base em três períodos: 1961-1990, 1991-2000 e 2001-2010. Ainda, estabelece uma matriz de referência para análise do grau de exposição das fachadas à degradação pela ação da chuva dirigida direcional, visando a seleção de estratégias arquitetônicas que influenciam a vida útil da envoltória da edificação. Para a determinação do índice de chuva dirigida direcional (ICD_d) foi adotado o método semi-empírico de mensuração proposto por Lacy. Os valores encontrados para os ICD-anual mostram que Brasília encontra-se na faixa de classificação Moderado ($3 \leq \text{ICD} < 5$). Conclui-se que, mesmo sendo Brasília classificada na faixa de condição de exposição Moderada, os ICD_d-mensal mostram que o efeito combinado de chuva e vento nos meses chuvosos, principalmente de novembro a março, pode ser agressivo para a durabilidade e vida útil das fachadas. Quando observada a matriz de análise que relaciona os ICD_d-mensal com as faixas de direção do vento, verifica-se que as fachadas mais expostas à ação das chuvas dirigidas são aquelas orientadas para Leste, Nordeste e Norte, seguidas pela Noroeste.

Palavras-chave: Chuva dirigida. Índice de chuva dirigida. Fachada. Durabilidade. Desempenho.

ABSTRACT

The durability of the building envelope is affected by exposure conditions. The combined action of degradation agents that act on the façades has accelerated the degradation, affecting the hygrothermal performance and decreasing the service life of the building. One of the main agents of degradation has been the action of driving rain, resulting from the combined effect of wind and rain, which enhances humidity and infiltration of the facade. The article presents the determination of driving rain index (annual and monthly) for the city of Brasília-DF, based on three periods: 1961-1990, 1991-2000 and 2001-2010. Further, establishing an array of reference for analyzing the exposure intensity of the façades to degradation by the action of driving rain in order to select architectural strategy influencing ageing exposure of the envelope of the building. The driving rain index was determined by the method semi-empirical model presented in the literature. The values found for the directional driving rain index show that Brasilia is exposure level Moderate ($3 \leq \text{DRI} < 5$). When observing the analysis array that relates the directional driving rain index - monthly quadrants guidance shows that the façades more exposed to the action of driving rain are those oriented quadrants East, North and Northeast, followed by the Northwest quadrant. Despite of Brasília being classified as Moderate exposure level conditions, we conclude that the directional driving rain index - monthly show that the combined effect of wind and rain in the rainy months, mainly from November to March, can be very aggressive to the durability and service life the façades.

Keywords: Driving rain. Driving rain index. Façade. Durability. Performance.

1. INTRODUÇÃO

As condições de exposição da envoltória do edifício afetam a sua durabilidade. Os agentes de degradação que atuam nas fachadas das edificações são ações externas que variam de acordo com a localização, condições climáticas e orientação. A ação combinada desses agentes acelera a degradação, comprometendo o desempenho higrotérmico e diminuindo a vida útil da edificação.

Um dos principais agentes de degradação é a ação da chuva dirigida que intensifica o umedecimento da fachada e as infiltrações. O aumento do teor de umidade dos materiais pode aumentar a condutividade térmica e acarretar a diminuição da resistência térmica dos materiais, tornando as fachadas mais permeáveis ao calor. Por esta razão, Chand e Bhargava (2002) *apud* Giongo, Padaratz e Lamberts (2011) consideram importantes os dados de chuva dirigida para os estudos de problemas relacionados ao fluxo de calor nas edificações e o consumo de energia para atingir o conforto térmico em ambientes internos.

A chuva dirigida é a chuva que se projeta sobre a superfície da fachada decorrente da ação do vento. Sem o vento, a chuva cairia verticalmente e pouco molharia as paredes (PEREZ, 1988). A intensidade de exposição da fachada à chuva dirigida direcional depende ação do vento (velocidade, frequência e direção).

O primeiro zoneamento de chuva dirigida foi elaborado em 1955 para a Noruega, por Hoppestad que estabeleceu uma relação entre o vento e a precipitação com o objetivo de tipificar soluções construtivas para paredes face à severidade da zona climática em que os edifícios iam ser construídos (FREITAS, 2011). Em 1962, Lacy (*) propôs o conceito de chuva incidente Durante os anos 60, o CIB (*International Council for Research and Innovation in Building and Construction*) apresentou o conceito e estabeleceu o índice de chuva dirigida (ICD ou DRI – *Driving Rain Index*) como sendo o produto da precipitação pela velocidade do vento incidente nas edificações, sendo esses valores expressos por médias anuais (BAUER, 1987; PEREZ, 1988).

Os métodos utilizados para estudo das chuvas dirigidas são: métodos experimentais, métodos semi-empíricos e métodos numéricos - simulações numéricas baseadas em Dinâmica dos Fluidos Computacional (*Computational Fluid Dynamics- CFD*).

Entre os estudos de chuva dirigida no Brasil, destacam-se os trabalhos de Bauer (1987) e Kazmierczak (1989). Bauer (1987) analisou os fenômenos que envolvem a penetração de água de chuva em fachadas e o grau de exposição das fachadas frente à ação da chuva dirigida. Kazmierczak (1989) estudou a influência da quantidade de chuva incidente nos problemas existentes nas alvenarias de tijolos.

Usando métodos semi-empíricos, Silva e Giralt (1995) estabeleceram o ICD anual para a cidade de Porto Alegre a partir de dados horários de precipitação, velocidade e direção do vento de cinco anos (1977-1981).

Lima e Morelli (2005) realizaram o primeiro mapa de chuva dirigida para o Brasil. Os pesquisadores optaram pelos dados de 2004 pois desejavam trabalhar com a situação climatológica atual que apontasse de forma mais realística as mudanças climáticas. A metodologia adotada trabalhou com base no total de chuva anual e na média de vento do ano e determinou um mapa que traz informações sobre o grau de exposição, apenas para o ano de 2004, sem indicações de sentido preferencial de incidência da chuva dirigida.

Lima e Estrela (2010) determinaram os Índices de Chuva Dirigida para a cidade de São José dos Campos – SP, por meio da análise de dados de um ano de monitoração.

Melo Júnior e Carasek (2011) apresentaram os índices de chuva dirigida direcionais para a cidade de Goiânia-GO, considerando os dados meteorológicos do período de 2002 a 2008 e dados da média mensal de um único mês (janeiro).

Giongo, Padaratz e Lamberts (2011) apresentaram o ICD para a cidade de Florianópolis-SC, com base na análise de três períodos distintos: 1961-1970, 1991/1993-1996 e setembro de 2005 a agosto de 2006.

O índice de chuva dirigida pode ser calculado para cada direção do vento (ICD direcional), o que permite avaliar qual orientação de fachada estará mais exposta às ações da chuva dirigida e em quais estações do ano os níveis de exposição indicam maior agressividade para a envoltória dos edifícios.

O ICD feito por médias mensais ou anuais de precipitação e vento podem mascarar o valor máximo crítico e sua determinação não leva em consideração dados da duração dos eventos de chuva e a quantidade de chuva projetada sobre a envoltória, parâmetros necessários para o estudo da agressividade da chuva dirigida quanto à estanqueidade das fachadas e seus componentes.

Mas, os ICD e os ICDd são informações bastante úteis para a seleção de estratégias, quando as necessidades das edificações de um lugar são levadas em consideração, pois permitem uma avaliação do nível de exposição das edificações à chuva dirigida com informações úteis para os projetistas, no intuito de criar projetos mais adequados à proteção das fachadas, além de trazer contribuições para o estudo de durabilidade e conforto térmico das edificações na área de estudo (GIONGO, PADARATZ e LAMBERTS, 2011).

Portanto, a determinação de índices de chuva dirigida como resultado de médias anual, mensais ou sazonais ou a avaliação dos índices para cada direção são escolhas que influenciam as análises mais macro ou que aproximam as análises das condições de exposição locais mais específicas e realistas quanto ao micro clima.

2. OBJETIVO

Este trabalho apresenta a determinação dos índices de chuva dirigida anuais (ICD-anual) e os índices de chuva dirigida direcionais mensais (ICDd-mensal) para a cidade de Brasília-DF, com base em três períodos (1961-1990, 1991-2000 e 2000-2010). Apresenta ainda um estudo das condições de exposição à chuva dirigida das fachadas de acordo com a sua orientação, relacionando as precipitações mensais, as intensidades dos ventos e as direções predominantes. O principal objetivo deste trabalho é estabelecer uma matriz de referência para análise do nível de exposição à degradação pela ação da chuva dirigida, visando a seleção de estratégias arquitetônicas que influenciam a vida útil da envoltória das edificações.

3. MÉTODO

Para a determinação do índice de chuva dirigida para a cidade de Brasília foram considerados três períodos: série 1961-1990 e os decênios 1990-2000 e 200-2010.

Para o período 1961-1990, optou-se por usar as Normais Climatológicas (série histórica) que são médias de dados climatológicos calculadas para períodos consecutivos de 30 anos e que representam o valor predominante no local estudado. Os dados utilizados foram obtidos das Normais Climatológica do Brasil 1961-1990, computadas em 1992 pelo INMET e consolidadas em 2009 (INMET, 2009).

Os dados analisados para os decênios 1990-2000 e 2000-2010 foram obtidos das Tabelas Climatológicas 2012 (METEOROLOGIA TCA 105-7) publicadas em 2012, pelo Ministério da Defesa, divulgando os valores decenais de vários parâmetros meteorológicos observados em aeródromos onde se localizam as Estações Meteorológicas de Superfície (EMS). Esses dados são considerados Normais dos decênios 1990-2000 e 200-2010 e são reconhecidas como Normais Provisórias pois são médias de curto período, baseadas em observações que se estendem sobre um período mínimo de 10 anos (MD, 2012).

Para a determinação do índice de chuva dirigida (ICD), foi adotado o método semi-empírico de mensuração da chuva dirigida proposto por Lacy^(*) como sendo o produto da velocidade do vento pela quantidade de precipitação, obtido pela equação 1, fórmula de análise simples que foi aplicada nos estudos de Bauer (1987), Silva e Giralt (1995), Lima e Morelli (2005), Lima e Estrela (2011), Melo Júnior e Carasek (2011) e Giongo, Padaratz e Lamberts (2011).

$$ICD = V \cdot \frac{P}{1000} \quad \text{Eq. 1}$$

onde:

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

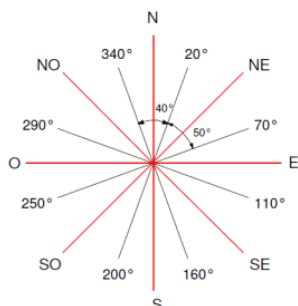


Fig. 1 - Transformação das direções de vento medidas em graus para oito faixas de direções.
Fonte: GIONCO *et al.*, 2011.

Os índices de chuva dirigida mensais foram caracterizados como direcionais (ICDd), pois estão relacionados às direções dos ventos que atuam em cada uma das oito principais faixas da direção da frequência relativa de ocorrência do vento, facilitando a identificação das direções mais agressivas e a orientação das fachadas mais expostas aos eventos de chuva dirigida.

As direções identificadas N, E, S, O abrangem uma faixa de 40°. As direções NE, SE, SO, NO abrangem uma faixa de 50°.

Com os ICD-anuais e ICDd-mensais fez-se a classificação do nível de exposição à chuva dirigida ao qual as edificações de Brasília estão submetidas. A Fig. 2 apresenta as faixas de exposição à chuva dirigida de acordo com as contribuições dos autores citados que consideram, para a classificação, graus de exposição

de acordo com as condições locais, como proximidade da costa, elevação do terreno e altura da edificação (Giongo, Padaratz e Lamberts, 2011).

Índice de Chuva Dirigida (m^2/s)	Nível de exposição			
	Lacy ¹	Chand e Bhargava ²	Lacy ¹ com recomendação ³	Chand e Bhargava ² com recomendação ³
$ICD \leq 3$	Protegido	Protegido	Moderado	Moderado
$3 < ICD \leq 5$	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
$5 < ICD \leq 7$	Moderado	Moderado	Severo	Alto
$7 < ICD \leq 11$	Severo	Alto	Severo	Severo
$ICD > 11$	Severo	Severo	Severo	Severo

Fonte: ¹Lacy (citado por Fazio, Mallidi e Zhu, 1995), ²Chand e Bhargava (2002), ³Marsh (1977).

Fig. 2 - Níveis de exposição à chuva dirigida. Fonte: Giongo, Padaratz e Lamberts (2011).

Como a cidade de Brasília não apresenta nenhuma das condições diferenciadas mencionadas nas metodologias dos autores de referência (por exemplo, distante até 8 km do mar ou grandes estuários ou relevos acidentados), a faixa de exposição proposta por Lacy atende aos objetivos deste trabalho. Esta classificação não considera nenhum aspecto do entorno da edificação ou da própria edificação.

Os índices de chuva dirigida (ICDd- mensal e ICDd-anual) determinados para a cidade de Brasília-DF são apresentados em uma matriz de análise (tabela 12) que os relacionam com as direções predominantes dos ventos, facilitando a identificação das fachadas que estão mais expostas à degradação pela ação das condições de exposição às chuvas dirigidas e a escolha de estratégias arquitetônicas que influenciam a vida útil da envoltória das edificações.

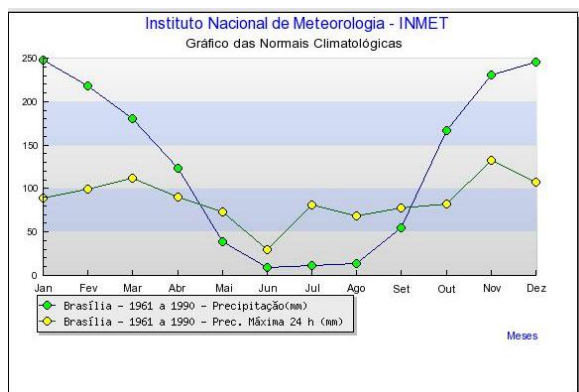
3.1. Chuvas e ventos: parâmetros e normais climatológicas de Brasília

A cidade de Brasília, situada no Planalto Central do Brasil, está localizada em um sítio convexo, aberto a todas as influências dos ventos predominantes, em área bem drenada, condição que justifica a umidade a um mínimo, coberta com uma floresta de árvores baixas que minimiza a temperatura do solo e a influência da radiação noturna (ROMERO, 2000).

Localizada na latitude 15°52 Sul, longitude 47°52 Oeste e altitude 1.061 m, caracteriza-se pelo clima Tropical de Altitude, de acordo com a classificação de Köppen, com duas estações distintas: quente-úmida (outubro a abril) e quente-seca (maio a setembro).

O período quente-úmido caracteriza-se pelo verão chuvoso. A partir da primavera, uma massa de ar quente proveniente da Amazônia atua sobre o Centro-Oeste, trazendo umidade para o DF e cobrindo a cidade de nuvens, resultando em fortes pancadas de chuva. O período chuvoso ocorre de outubro a abril e o ápice da ação dessa massa de ar quente ocorre nos meses de dezembro e janeiro (Amorim e Braga, 2004).

O período quente-seco caracteriza-se pelo inverno seco (fig.3). A massa quente e seca de ar tropical que vem da extensão paraguaia do Pantanal invade o Centro Oeste, impedindo a chegada de frentes frias da Argentina e do Uruguai. Devido ao insuficiente vapor de água na atmosfera, provoca baixa nebulosidade, o céu fica sem nuvens e a estiagem se instala no período de maio a setembro (Amorim e Braga, 2004).



A média do número de dias com precipitação maior ou igual a 1 mm é de 111 dias no ano, na série histórica 1961-1990 (INMET, 2009).

Fig. 3 - Gráfico das Normais Climatológica : Precipitação e Precipitação máxima 24h (mm). Fonte: INMET (2009). Disponível em: [http://www.inmet.gov.br/portal/index.php ?r=clima/graficosClimaticos](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos)

As tabelas 1, 2 e 3 apresentam as médias mensais e anuais da precipitação em mm. Observa-se que os decênios apresentam médias de precipitação mais baixas que a série 1961-1990 (fig.4). Mas, quando observada a precipitação máxima em 24 h, verifica-se que o parâmetro mantém-se aproximadamente igual a 140 mm, em todos os três períodos analisados.

Tabela 1 - Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990: Precipitação acumulada (mm). Estação: (83377) Brasília-DF.

jan	fev	março	abril	maio	junho	julho	agost	set	out	nov	dez	ano (mm)
247,4	217,5	180,6	123,8	38,6	8,7	11,1	13,9	55,2	166,6	231,1	246,0	1.540,6

Precipitação máxima em 24 horas: 132,80 mm (novembro de 1963).

Fonte: Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 (INMET, 2009).

Tabela 2 - Parâmetros Climatológicas do Brasil 1991-2000 (série decenal): Precipitação acumulada (mm). Aeródromo Presidente Juscelino Kubitschek. Brasília - DF.

jan	fev	março	abril	maio	junho	julho	agost	set	out	nov	dez	ano (mm)
138,73	124,33	140,50	64,72	13,37	1,77	0,18	7,31	15,41	59,76	141,41	124,00	831,49

Precipitação máxima em 24 horas: 140,6 mm (16/2/1991).

Fonte: Meteorologia TCA 105-7: Tabelas Climatológicas 2012 (MD, 2012).

Tabela 3 - Parâmetros Climatológicas do Brasil 2001-2010 (série decenal): Precipitação acumulada (mm). Aeródromo Presidente Juscelino Kubitschek. Brasília - DF.

jan	fev	março	abril	maio	junho	julho	agost	set	out	nov	dez	ano (mm)
151,80	154,00	175,89	96,34	21,66	0,62	0,28	15,09	28,71	87,17	125,49	198,52	1.055,77

Precipitação máxima em 24 horas: 139,0 mm (17/12/2004).

Fonte: Meteorologia TCA 105-7: Tabelas Climatológicas 2012 (MD, 2012).

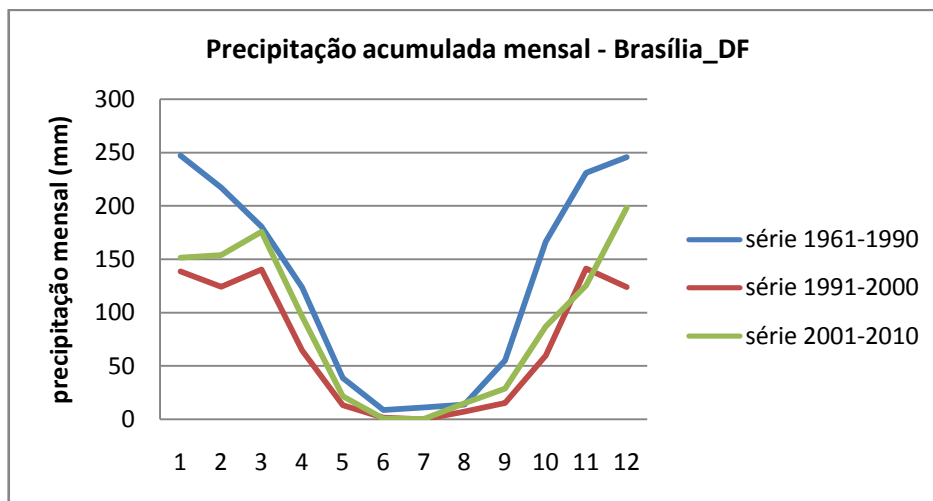


Fig. 4 - Gráfico da precipitação horizontal para os períodos 1961-1990, 1991-2000 e 2001-2010.

A tabela 4 apresenta as médias mensais e anuais da intensidade dos ventos (m/s) e as direções resultantes e predominantes no período 1961-1990 (INMET, 2009).

De acordo com a metodologia de revisão e ampliação das Normais Climatológicas 1961-1990 computadas pelo INMET em 1992 e consolidadas em 2009, a faixa (direção) de maior frequência relativa dos ventos é aquela cuja frequência é superior a 20%. Para os meses que compreendem o período de outubro a março (incluída a estação chuvosa), esta condição não foi atendida para a definição de uma direção predominante (de maior frequência) nesta série. Nestes casos, verifica-se a denominação Calmo (tabela 4).

Na série histórica 1961-1990 (tabela 4), a intensidade dos ventos varia de 2 a 3 m/s. Os meses de outubro a março (incluído o período chuvoso) caracterizam-se pelas resultantes das direções dos ventos nas direções Norte e Nordeste. Os meses de abril a setembro (incluído o período seco) caracterizam-se pelas direções resultantes e predominantes dos ventos no quadrante Leste.

Tabela 4 - Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990: Ventos (m/s). Estação: (83377) Brasília-DF.

Vento (graus) DIREÇÃO	Resultante	jan	fev	março	abril	maio	junho	julho	agost	set	out	nov	dez	ano
		16	39	65	92	102	99	98	94	93	70	26	3	76 E
	N	NE	NE	E	E	E	E	E	E	NE	NE	N		
Predominante	Calmo	Calmo	Calmo	E	E	E	E	E	E	Calmo	Calmo	Calmo		
Intensidade do vento (m/s)	2,54	2,43	2,23	2,37	2,43	2,61	2,89	3,00	2,83	2,53	2,39	2,53	2,56	

Fonte: Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 (INMET, 2009).

As tabelas 5 e 6 apresentam as médias mensais e anuais da intensidade dos ventos (m/s) e as direções predominantes dos decênios 1991-2000 e 2001-2010, respectivamente.

Nas séries decenais, as médias das intensidades dos ventos variam acima de 3 m/s em todos os meses dos decênios.

Nos meses que compreendem de abril a setembro (incluído o período seco) das séries decenais, a direção predominante dos ventos é Leste e Nordeste. Na segunda predominância surgem as direções Leste, Nordeste e Sudeste.

Nos meses que compreendem de outubro a março (incluído o período chuvoso) das séries decenais, as direções dos ventos na primeira predominância são Leste, Nordeste e Noroeste. Na segunda predominância surgem as direções Nordeste e Sudeste.

**Tabela 5 - Parâmetros Climatológicas do Brasil 1991-2000 (série decenal): Vento (m/s).
Aeródromo Presidente Juscelino Kubitschek. Brasília - DF.**

Vento (graus)	DIREÇÃO Primeira Predominância	jan	fev	março	abril	maio	junho	julho	agost	set	out	nov	dez	ano
		330	90	60	60	90	90	90	90	90	90	90	60	300
		NO	L	NE	NE	L	L	L	L	L	L	NE	NO	L
Intensidade do vento (m/s)	4,11	3,59	4,11	3,59	3,59	3,59	3,59	4,11	3,59	3,59	4,11	3,08	3,59	
Vento (graus)	DIREÇÃO Segunda Predominância	jan	fev	março	abril	maio	junho	julho	agost	set	out	nov	dez	ano
		300	60	90	120	120	120	60	120	60	60	90	330	60
		NO	NE	L	SE	SE	SE	NE	SE	NE	NE	L	NO	NE
Intensidade do vento (m/s)	3,59	3,59	3,59	3,08	3,08	3,08	4,11	3,59	4,11	4,11	3,59	3,08	4,11	

Fonte: Ministério da Defesa. Meteorologia TCA 105-7: Tabelas Climatológicas 2012.

**Tabela 6 - Parâmetros Climatológicas do Brasil 2001-2010 (série decenal): Vento (m/s).
Aeródromo Presidente Juscelino Kubitschek. Brasília - DF.**

Vento (graus)	DIREÇÃO Primeira Predominância	jan	fev	março	abril	maio	junho	julho	agost	set	out	nov	dez	ano
		60	80	60	70	90	90	90	60	60	60	60	60	60
		NE	L	NE	L	L	L	L	NE	NE	NE	NE	NE	L
Intensidade do vento (m/s)	3,59	4,11	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59	4,11	4,11	3,59	3,59	3,08	3,59	
Vento (graus)	DIREÇÃO Segunda Predominância	jan	fev	março	abril	maio	junho	julho	agost	set	out	nov	dez	ano
		90	90	90	80	80	80	60	80	80	90	80	90	60
		L	L	L	L	L	L	NE	L	L	L	L	L	NE
Intensidade do vento (m/s)	3,59	3,59	3,08	3,59	3,59	3,59	3,59	4,11	4,11	3,59	3,59	3,08	3,59	

Fonte: Ministério da Defesa. Meteorologia TCA 105-7: Tabelas Climatológicas 2012

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

As tabelas 7, 8, 9, 10 e 11 apresentam os Índices de Chuva Dirigida - direcional mensal (ICD_d-m) e os Índices de Chuva Dirigida Anual (ICD-a) dimensionados pela equação 1, com os dados dos três períodos analisados (1961-1990, 1991-2000 e 2001-2010), relacionando os parâmetros de precipitação e intensidade e direção dos ventos.

Tabela 7 - Valores dos Índice de Chuva Dirigida Direcional Mensal (ICDd-m) e Índice de Chuva Dirigida Anual (ICD-a) para o período 1961-1990 para a cidade de Brasília-DF (estação: Estação: 83377).

	jan	fev	março	abril	maio	junho	julho	agost	set	out	nov	dez	ANO
Precipitação (mm)	247,4	217,5	180,6	123,8	38,6	8,7	11,1	13,9	55,2	166,6	231,1	246,0	
Intensidade do vento (m/s)	2,54	2,43	2,23	2,37	2,43	2,61	2,89	3,00	2,83	2,53	2,39	2,53	
Direção Resultante do Vento (graus)	N	NE	NE	E	E	E	E	E	E	NE	NE	N	
Índice de Chuva Dirigida (m²/s)	0,62	0,52	0,40	0,29	0,09	0,02	0,03	0,04	0,15	0,42	0,55	0,62	3,75

Tabela 8 - Valores dos Índice de Chuva Dirigida Direcional Mensal (ICDd-m) e Índice de Chuva Dirigida Anual (ICD-a) para o período 1991-2000 considerando Intensidade (m/s) e Direção do Vento (graus) - Primeira Predominância. Cidade: Brasília - DF. Aeródromo - Presidente Juscelino Kubitschek.

	jan	fev	março	abril	maio	junho	julho	agost	set	out	nov	dez	ANO
Precipitação (mm)	138,73	124,33	140,50	64,72	13,37	1,77	0,18	7,31	15,41	59,76	141,41	124,00	
Intensidade (m/s)	4,11	3,59	4,11	3,59	3,59	3,59	3,59	4,11	3,59	3,59	4,11	3,08	
Direção do Vento	NO	L	NE	NE	L	L	L	L	L	L	NE	NO	
Índice de Chuva Dirigida (m²/s)	0,57	0,44	0,57	0,23	0,04	-	-	0,03	0,05	0,21	0,58	0,38	3,1

Tabela 9 - Valores dos Índice de Chuva Dirigida Direcional Mensal (ICDd-m) e Índice de Chuva Dirigida Anual (ICD-a) para o período 1991-2000 considerando Intensidade (m/s) e Direção do Vento (graus) - Segunda Predominância. Cidade: Brasília - DF. Aeródromo - Presidente Juscelino Kubitschek.

	jan	fev	março	abril	maio	junho	julho	agost	set	out	nov	dez	ANO
Precipitação (mm)	138,73	124,33	140,50	64,72	13,37	1,77	0,18	7,31	15,41	59,76	141,41	124,00	
Intensidade (m/s)	3,59	3,59	3,59	3,08	3,08	3,08	4,11	3,59	4,11	4,11	3,59	3,08	
Direção do Vento	NO	NE	L	SE	SE	SE	NE	SE	NE	NE	L	NO	
Índice de Chuva Dirigida (m²/s)	0,49	0,44	0,50	0,19	0,04	-	-	0,02	0,06	0,24	0,50	0,38	2,86

Tabela 10 - Valores dos Índice de Chuva Dirigida Direcional Mensal (ICDd-m) e Índice de Chuva Dirigida Anual (ICD-a) para o período 2001-2010 considerando Intensidade (m/s) e Direção do Vento (graus) - Primeira Predominância. Cidade: Brasília - DF. Aeródromo - Presidente Juscelino Kubitschek.

	jan	fev	março	abril	maio	junho	julho	agost	set	out	nov	dez	ANO
Precipitação (mm)	151,80	154,00	175,89	96,34	21,66	0,62	0,28	15,09	28,71	87,17	125,49	198,52	
Intensidade (m/s)	3,59	4,11	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59	4,11	4,11	3,59	3,59	3,08	
Direção do Vento	NE	L	NE	L	L	L	L	NE	NE	NE	NE	NE	
Índice de Chuva Dirigida (m²/s)	0,54	0,63	0,63	0,34	0,07	-	-	0,06	0,11	0,31	0,45	0,61	3,75

Tabela 11 - Valores dos Índice de Chuva Dirigida Direcional Mensal (ICDd-m) e Índice de Chuva Dirigida Anual (ICD-a) para o período 2001-2010 considerando Intensidade (m/s) e Direção do Vento (graus) - Segunda Predominância. Cidade: Brasília - DF. Aeródromo - Presidente Juscelino Kubitschek.

	jan	fev	março	abril	maio	junho	julho	agost	set	out	nov	dez	ANO
Precipitação (mm)	151,80	154,00	175,89	96,34	21,66	0,62	0,28	15,09	28,71	87,17	125,49	198,52	
Intensidade (m/s)	3,59	3,59	3,08	3,59	3,59	3,59	3,59	4,11	4,11	3,59	3,59	3,08	
Direção do Vento	L	L	L	L	L	L	NE	L	L	L	L	L	
Índice de Chuva Dirigida (m²/s)	0,54	0,55	0,54	0,34	0,07	-	-	0,06	0,11	0,31	0,45	0,61	3,58

Observando os valores dos ICD anuais feitos para Brasília (tabelas 7,8,9,10 e 11), sintetizados no gráfico da Fig.5, verifica-se $2,86 \leq ICD \leq 3,75$. Com exceção do ICD-a para a segunda predominância do decênio 1991-2000, os níveis de exposição às chuvas dirigidas correspondem à faixa de exposição Moderado com $3 \leq ICD < 5$.

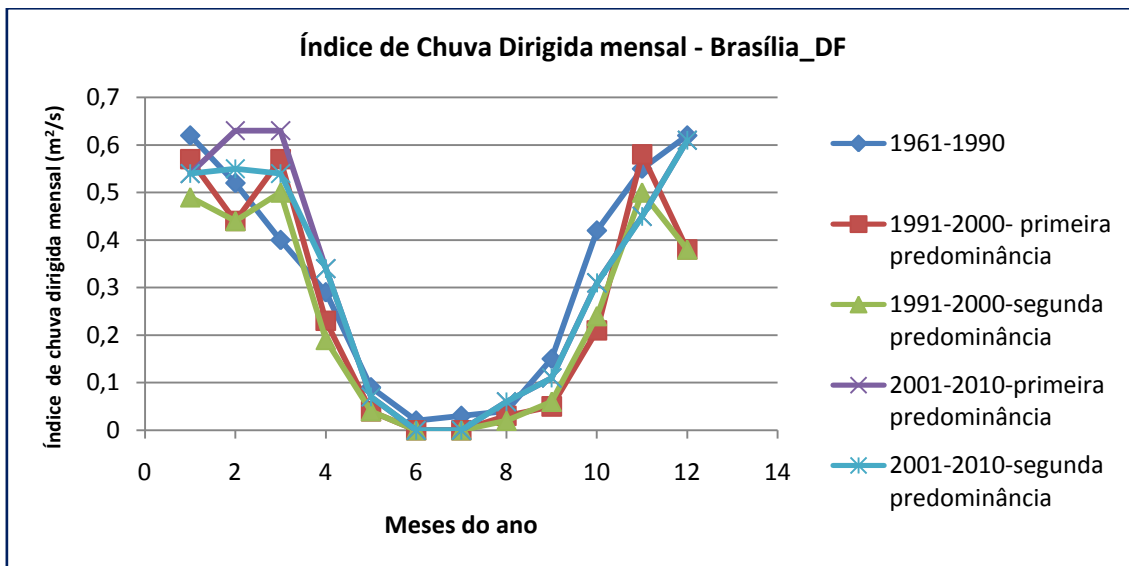


Fig. 5 - Gráfico dos valores dos Índice de Chuva Dirigida - mensal para os períodos 1961-1990, 1991-2000 e 2001-2010.

Se o nível de exposição de $3 \leq \text{ICD} < 5$ para um ICD anual é considerado Moderado, em todas as metodologias adotadas para a definição das faixas de exposição à chuva dirigida (ver Fig. 2), e índices acima de 5 já podem ser considerados Severo ou Alto, dependendo dos aspectos do entorno da edificação ou da própria edificação, pode-se supor que a contribuição mensal para alcançar $\text{ICD} > 5$ varia acima de 0,41. Quando $\text{ICD} > 7$, a classificação da faixa de exposição à chuva dirigida é considerada Severo ou Alto para todas as metodologias. Neste caso, a média mensal de contribuição para este índice são valores que variam acima de 0,58.

A Tabela 12 apresenta a matriz de análise da chuva dirigida relacionando os ICD mensais e anuais para os três período propostos para o estudo, permitindo verificar em quais meses ocorrem as condições de exposição mais agressivas à chuva dirigida e quais as orientações de fachada que requerem estratégias arquitetônicas voltadas para a durabilidade da envoltória.

Tabela 12 - Matriz de análise da Chuva Dirigida para a cidade de Brasília_DF:
Índices de Chuva Dirigida direcional mensal (ICDd) e as direções mais agressivas.

		jan	fev	março	abril	maio	junho	julho	agost	set	out	nov	dez	ANO
1961-1990	Direção Resultante do Vento (graus)	N	NE	NE	L	L	L	L	L	L	NE	NE	N	L
	Índice de chuva dirigida	0,62	0,52	0,40	0,29	0,09	0,02	0,03	0,04	0,15	0,42	0,55	0,62	3,75
1991-2000 Primeira Predominância	Direção do Vento	NO	L	NE	NE	L	L	L	L	L	L	NE	NO	90 - L
	Índice de chuva dirigida	0,57	0,44	0,57	0,23	0,04	-	-	0,03	0,05	0,21	0,58	0,38	3,1
1991-2000 Segunda Predominância	Direção do Vento	NO	NE	L	SE	SE	SE	NE	SE	NE	NE	L	NO	60 - NE
	Índice de chuva dirigida	0,49	0,44	0,50	0,19	0,04	-	-	0,02	0,06	0,24	0,50	0,38	2,86
2001-2010 Primeira Predominância	Direção do Vento	NE	L	NE	L	L	L	L	NE	NE	NE	NE	NE	90 - L
	Índice de chuva dirigida	0,54	0,63	0,63	0,34	0,07	-	-	0,06	0,11	0,31	0,45	0,61	3,75
2001-2010 Segunda Predominância	Direção do Vento	L	L	L	L	L	L	NE	L	L	L	L	L	60 - NE
	Índice de chuva dirigida	0,54	0,55	0,54	0,34	0,07	-	-	0,06	0,11	0,31	0,45	0,61	3,58

LEGENDA:

L	Direção Leste	NE	Direção Nordeste	N	Direção Norte	NO	Direção Noroeste	ICD	ICD $\geq 0,58$	ICD	ICD $\geq 0,40$
---	---------------	----	------------------	---	---------------	----	------------------	-----	-----------------	-----	-----------------

No âmbito deste trabalho e da matriz de análise aqui proposta, estamos considerando que ICD mensais acima de 0,40 já podem ser considerados significativos para o estudo do grau de agressividade das chuvas dirigidas sobre as fachadas e que ICD mensais acima de 0,58 já indicam que as fachadas orientadas para estes quadrantes estão sujeitas às condições de exposição agressivas perante as ações dos efeitos combinados de chuva e vento, exigindo estratégias arquitetônicas para evitar a degradação precoce da fachada.

Observa-se que as direções críticas mais expostas às chuvas dirigidas, nas três séries analisadas, são Leste, Nordeste, Norte e Noroeste. Os meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março são os meses que apresentam os maiores índices de chuva dirigida (período chuvoso).

Analisando as direções críticas, verifica-se que os IDCd-mensais com valores acima de 0,58 estão presentes nas direções Leste, Nordeste e Norte, demonstrando que estas fachadas estão expostas às condições mais agressivas de degradação decorrente das ações externas dos efeitos combinados de chuva e vento.

5. CONCLUSÕES

Apesar da complexidade das variáveis que envolvem o estudo das chuvas dirigidas, cada vez mais pesquisadores buscam compreender os mecanismos e seus efeitos, considerando a importância que adquirem nos processos de molhagem e secagem das superfícies porosas, já que a chuva dirigida é uma das fontes mais importantes de umidade para as fachadas de edifícios.

Este trabalho, por meio da matriz de análise do nível de exposição à chuva dirigida, não quantifica o volume de chuva que se projeta sobre a fachada ao longo de um período, mas sim quais as direções que apresentam maior agressividade para a envoltória do edifício, representando maior potencial para a degradação e diminuição da sua vida útil.

Verificou-se que, as fachadas mais sujeitas à degradação por exposição às chuvas dirigidas são Leste, Nordeste e Norte.

As Normais Climatológicas 1961-1990 foram consolidadas somente em 2009 e este estudo detectou pequenas variações e tendências de mudança nos valores dos parâmetros climatológicos que habitualmente têm sido adotados nos estudos e pesquisas locais, por isso constatou-se a importância de se estabelecer uma base de referência (*baseline*) para os efeitos combinados de chuva e vento para a cidade de Brasília, apresentada na forma de uma matriz de análise de chuva dirigida para as condições de exposição de fachadas.

As Normais Climatológicas 1961-1990 consolidaram as intensidades de vento do período como um parâmetro climatológico onde predominam as velocidades de 2 a 3 m/s. Mas, as séries decenais (1991-2000 e 2001-2010) apresentam intensidades de ventos com médias que variam acima de 3 m/s em todos os meses dos decênios, ou seja, as séries decenais mostram uma tendência no aumento da intensidade do vento quando comparada com a série histórica 1961-1990.

As precipitações acumuladas nas séries analisadas (fig.4) também apresentam variações importantes nas médias anuais de chuva, mostrando uma queda no volume anual acumulado, decorrente de uma diminuição da precipitação em todos os meses, principalmente no período chuvoso. Observa-se que os decênios apresentam médias de precipitação mais baixas que a série 1961-1990. Mas, quando observada a precipitação máxima em 24h, verifica-se que o parâmetro mantém-se aproximadamente igual a 140 mm, em todos os três períodos analisados.

É prematuro associar o aumento da velocidade do vento às mudanças climáticas, assim como as associações dos efeitos da urbanização e do desmatamento com o aumento ou diminuição dos ventos e chuvas. São necessários mais estudos específicos de investigação e a consolidação da próxima série histórica que se conclui em 2020.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, C. N.; BRAGA, D. K. Conforto térmico em edifícios residenciais do Plano Piloto de Brasília. In: **X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, São Paulo, 2004. Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, 1. Anais ... ANTAC, 2004.
- BAUER, E. **Resistência à Penetração da Chuva em Fachadas de Alvenaria de Materiais Cerâmicos: uma análise de desempenho**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 1987.
- FREITAS, A. S. L. A. **Avaliação do Comportamento Higrotérmico de Revestimentos Exteriores de Fachadas devido à Ação da Chuva Incidente**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2011.
- 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.

- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**. Ed. Rev. e ampliada. Organizadores: Andrea Malheiros Ramos, Luiz André Rodrigues dos Santos, Lauro Tadeu Guimarães Fortes. Brasília-DF, 2009.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil (1961-1990)**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>. Acesso em fevereiro de 2013.
- KAZMIERCZAK, C. S. **Desempenho de Alvenarias de Materiais Cerâmicos à Penetração de Água da Chuva: Uma Análise de Fatores Condicionantes**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 1989.
- LIMA, M. G. ; ESTRELA, P.H.T . 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. In: **XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Canela - RS, 2010. Anais ... ANTAC, 2010, v. 1. p. 1-9.
- LIMA, M. G., MORELLI, F. Mapa Brasileiro de Chuva Dirigida - Algumas Considerações. In: **Simpósio Brasileiro Tecnologia de Argamassas**, Florianópolis, 2005. Anais.... ANTAC, 2005, 16p. 58.
- MELO JÚNIOR, C. M.; CARASEK, H. Índices de chuva dirigida direcional e análise do nível de umedecimento em fachadas de edifício em multipavimentos em Goiânia, GO. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 23-37, jul./set. 2011. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.
- MINISTÉRIO DA DEFESA - MD. Comando da Aeronáutica. **Meteorologia TCA 105-7: Tabelas Climatológicas 2012**. Departamento de Controle do Espaço aéreo, publicada no BCA nº 001, de 2 de janeiro de 2012. Disponível em: <http://www.redemet.aer.mil.br/publicacoes.php>. Acesso em fevereiro de 2013.
- PEREZ, A.R. Umidade nas Edificações: Recomendações para a Prevenção da Penetração de Água pelas Fachadas. In: **Tecnologia de Edificações** (1ª e 2ª partes). São Paulo, PINI, IPT-Divisão de Edificações, 1988. p. 571-578.
- ROMERO, M.A.B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. ProEditores, São Paulo, 2000.
- 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**, VI, Rio de Janeiro, 1995. Anais... Rio de Janeiro, 1995, p.605-610.
-

(*) LACY, R. E. Driving Rain Maps and the Onslaught of Rain on Buildings. In: RILEM/CIB SYMPOSIUM ON MOISTURE PROBLEMS IN BUILDINGS, Helsinki, 1965. **Proceedings**... Helsinki, 1965.