

XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ANÁLISE COMPARATIVA DE DADOS DE CHUVAS INTENSAS EM RELAÇÃO ÀS EQUAÇÕES IDF NA CIDADE DE MACEIÓ – ALAGOAS

Adriana Torres Medeiros¹; Vladimir Caramori Borges de Souza²; Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves³

RESUMO – As equações IDF são comumente usadas para estimar a precipitação de projeto no dimensionamento de obras hidráulicas. Assim, o objetivo desse estudo é analisar as curvas IDF disponíveis em Maceió – AL, comparando com resultados obtidos a partir de ajustes a dados pluviométricos. Para isso, foram utilizados os dados de chuva subdiários para a obtenção de coeficientes para desagregar as chuvas diárias pelo método das relações de diferentes durações. Já, os dados diários, foram desenvolvidas três curvas ajustadas pela distribuição GEV, verificadas com o nível de significância de 5%, pelo teste de aderência Filliben. Concluiu-se que o uso de coeficientes de desagregação médios, obtidos em regiões diferentes, pode gerar grandes diferenças, para mais ou para menos, na análise das chuvas intensas a partir das curvas IDF (nesse estudo, até 44% menores em relação aos coeficientes de CETESB, 1986; até 14% maiores em relação ao trabalho de Pfafstetter, 1957; até 22% maiores em relação a Denardin e Freitas, 1982). Foram avaliados tempos de retorno de 2 a 10 anos, indicando a necessidade da revisão das curvas IDF existentes, sobretudo para os tempos de retorno utilizados para microdrenagem e considerando a ampliação de estudos de regionalização de coeficientes de desagregação.

ABSTRACT – The equation IDF are commonly used to estimate the design of precipitation in the design of hydraulic works. The objective of this study is to analyze the IDF curves available for the city of Maceió, comparing with results obtained from adjustments to rainfall data. For this purpose, subsidiary rainfall data were used to obtain coefficients to disaggregate daily rainfall by the method of relationships of different durations. Already, the daily data, three curves adjusted by the GEV distribution were developed, verified with a significance level of 5%, by the Filliben adherence test. It was concluded that the use of average breakdown coefficients, obtained in different regions, can generate great differences, more or less, in the analysis of intense rains from the IDF curves (in this study, up to 44% lower in relation to the coefficients de CETESB, 1986; up to 14% greater in relation to the work of Pfafstetter, 1957; up to 22% greater in relation to Denardin and Freitas, 1982). Return times of 2 to 10 years were evaluated, indicating the need to review the existing IDF curves, especially for the return times used for microdrainage and considering the expansion of studies on regionalization of disaggregation coefficients.

Palavras – Chave – Desagregação de chuva, precipitação máxima, distribuição GEV.

1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS; Av. Bento Gonçalves, 91501-970; Porto Alegre – RS, adriana.medeiros@ctec.ufal.br

2) Universidade Federal de Alagoas – UFAL; Av. Lourival Melo Mota, 57072-970; Maceió – AL, vcaramori@yahoo.com

3) Universidade Federal de Alagoas – UFAL; Av. Lourival Melo Mota, 57072-970; Maceió – AL, marllus.neves@ctec.ufal.br

1 INTRODUÇÃO

Eventos extremos de precipitação interferem no planejamento em áreas urbanas e rurais, tanto por sua falta diante das demandas como pelo excesso (Nóbrega *et al.*, 2015). Assim, o conhecimento das características do ciclo da água de uma determinada região é de suma importância para estudos estratégicos associados ao planejamento urbano e rural (Carvalho e Assad, 2005). Dessa forma, diante do aumento da intensidade e frequência das precipitações extremas observadas, Wang *et al* (2013) sugeriram que as curvas IDF devem ser revisadas periodicamente, atualizando os dados das séries pluviométricas.

Como a disponibilidade de dados pluviográficos é bem menor do que a dos dados pluviométricos para o desenvolvimento de equações IDF, muitos estudos utilizam os fatores de conversão do método de desagregação das precipitações diárias com precipitações de menores durações, divulgados pelo CETESB em 1986 (Campos *et al.*, 2017). Contudo, é importante considerar que esse estudo utilizou dados de 102 postos pluviográficos localizados em todo o Brasil, razão pela qual Zuffo (2004) discute se os resultados considerados foram representativos para todas as regiões, tendo em vista às dimensões continentais do país.

No Brasil, o primeiro estudo de chuvas intensas com a curva IDF foi desenvolvido por Pfafstetter (1957), tendo sido estabelecidas curvas para 98 postos pluviográficos e pluviométricos por todo país. No município de Maceió, estado de Alagoas, há o estudo de Denardin e Freitas (1982), mas as curvas de Pfafstatter continuam em uso corrente. Considerando a instalação de uma rede de monitoramento pluviométrico com discretização com intervalo mínimo de 10 minutos a partir de 2014 na região (CEMADEN, 2020) e a possibilidade de melhorar a análise de chuvas intensas, o objetivo deste trabalho é avaliar as diferenças na geração de chuvas de projeto pelo uso de curvas IDF antigas e/ou pela geração de curvas IDF considerando coeficientes de desagregação médios.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada para este trabalho consistiu em: I) selecionar eventos intensos a partir dos registros de 18 pluviômetros instalados na cidade de Maceió – AL e analisar a consistência dos dados; II) determinar as relações de durações diferentes a partir de dados horários de precipitação intensa, para a cidade de Maceió – AL; III) com os valores obtidos para cada coeficiente, calcular os parâmetros locais da curva IDF e; IV) comparar os resultados obtidos entre as novas curvas e as equações propostas por Otto Pfafstetter (1957) e Denardin & Freitas (1982).

I) Seleção e análise de eventos intensos a partir dos registros nos pluviômetros

A síntese descritiva das séries de precipitações de 15 postos pluviométricos foi obtida de ANA (2020) e CEMADEN (2020) está apresentada no quadro 1.

Quadro 1: Postos pluviométricos, ativos e inativos, na cidade de Maceió.

Frequência	Código	Nome da estação	Entidade Responsável	Período
Diária	935004	Tabuleiro	INMET	1961-2017
	935005	Maceió	DNOCS	1912-1994
	935024	Saúde	DNOCS	1963-1994
Subdiária (Intervalo de tempo mínimo de 10 minutos)	270430203A	Farol	CEMADEN	2014-2019
	270430205A	Tabuleiro do Martins	CEMADEN	2014-2019
	270430207A	Farol 2	CEMADEN	2014-2019
	270430209A	Trapiche da Barra	CEMADEN	2014-2019
	270430210A	Benedito Bentes I	CEMADEN	2014-2019
	270430211A	Ipioca	CEMADEN	2014-2019
	270430212A	Cruz das Almas	CEMADEN	2014-2019
	270430213A	Antares	CEMADEN	2014-2019
	270430215A	Clima Bom	CEMADEN	2014-2019
	270430216A	Cidade Universitária	CEMADEN	2014-2019
	270430217A	Chã da Jaqueira	CEMADEN	2014-2019
	270430218A	Cambona	CEMADEN	2014-2019

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Para a seleção dos eventos extremos nos postos pluviométricos com frequência diária, foi adotado como o tamanho da série de dados como critério para definição da metodologia aplicada. Assim, se as séries apresentavam mais que 12 anos de dados, foi dada preferência para a metodologia das séries anuais, já que as séries parciais são utilizadas quando o tamanho da série for menor do que 12 anos e os tempos de retorno calculados forem inferiores a 5 anos (Wilken, 1978).

Desse modo, foram determinados os valores anuais máximos relativos a cada ano de dados observados nos 3 postos pluviômetros com medições diárias e o máximo anual dos intervalos de tempo de 10, 20, 30, 60, 90, 120, 360, 480, 600, 720 e 1440 minutos nos 12 postos pluviométricos com registros subdiários.

Acerca da análise de consistência dos eventos, foram avaliados os seguintes critérios: falhas nos meses com a maior média de precipitação que segundo Pinho *et al* (2010) é de abril a julho e valores sistemáticos ao longo das séries de precipitações. Os anos que apresentaram alguma das interferências citadas foram descartados, a fim de manter a consistência dos dados.

II) Cálculo das relações de durações diferentes

Com base nas relações de duração apresentadas pela CETESB (1986), foram calculadas as relações de durações diferentes, para cada posto por meio da média dos valores obtidos com a equação 1, relativa a cada posto. Dessa forma, calculou-se os coeficientes de desagregação com as médias dos valores anuais de todos os postos, obtendo as relações de 10 e 20 minutos para 30 minutos; 30 minutos para 60 minutos; 60, 90, 120, 360, 480, 600 e 720 minutos para 1.440 minutos e de 1.440 minutos para 1 dia.

$$r = \frac{\text{Precipitação de duração } T_1}{\text{Precipitação de duração } T_2} \quad (1)$$

As relações de duração foram calculadas apenas para os postos pluviométricos com disponibilidade de dados com intervalos subdiários, indicados no quadro 1, para posterior aplicação aos demais postos, gerando as séries anuais.

III) Construção das curvas IDF a partir das precipitações máximas anuais

Utilizou-se os valores máximos anuais dos postos pluviômetros: i) Tabuleiro (Cód. 935004) com registros de chuva diária do período de 1961 a 2017; ii) Maceió (Cód. 935005), do período de 1912 a 1994 e iii) Saúde (Cód. 00935024), do período de 1963 a 1994.

Para obter as 3 curvas ajustadas por meio da distribuição GEV com a equação 2, foram definidos os tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos (Naghettini e Pinto, 2007).

$$x = \beta + \frac{\alpha}{\kappa} \left\{ 1 - \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^\kappa \right\} \quad (2)$$

onde: x é o valor da variável hidrológica associada a um tempo de retorno (mm), T é o tempo de retorno (anos), K , β e α são parâmetros de forma, posição e escala, respectivamente, da distribuição empregada.

A aderência das séries de máximas precipitações anuais à distribuição GEV foi verificada pelo teste de Filliben a nível de significância de 5%, sendo este o mais rigoroso entre os testes de Kolmogorov – Smirnov, Qui-quadrado e o de Anderson-Darling, conforme descrito por Abreu *et al* (2018).

A desagregação dos dados ocorreu pelo método das relações de diferentes durações, com os valores obtidos nesse estudo com dados locais da cidade de Maceió – AL. A partir da série de chuva máxima diária anual ajustada, determinou-se as alturas de chuva (mm) para durações de 10, 20, 30, 50, 60 e 90 minutos e 2, 6, 8, 10, 12, e 24 horas.

Após obter os valores das máximas precipitações para cada duração e tempo de retorno, realizou-se o ajuste dos parâmetros da curva IDF (a , b , c e d), conforme equação 3, por meio da análise de regressão linear, utilizando-se o método dos mínimos quadrados.

$$I = \frac{a \cdot T_R^b}{(t+c)^d} \quad (3)$$

onde: I é intensidade de chuva (mm/h); T_R é tempo de retorno da chuva (anos); t : é a duração da precipitação (minutos), a , b , c e d são os parâmetros ajustados para cada posto pluviométrico.

IV) Comparação entre as curvas IDF

Para verificar os resultados, foram avaliados os erros obtidos entre cada uma das três equações obtidas a partir dos dados de cada um dos postos analisados, e as equações de Pfafstetter (1957) e Denardin & Freitas (1982). O erro foi mensurado a partir da equação 4.

$$\text{Erro} = \frac{\text{Valor 2} - \text{Valor 1}}{\text{Valor 2}} \quad (4)$$

onde: Valor 1 é a intensidade obtida na equação IDF calculada, utilizada como referência; valor 2 representa a intensidade da equação de Denardin & Freitas (1882) ou de Otto Pfafstetter (1957).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Relações de durações

Utilizando os critérios expostos, a tabela 1 apresenta as relações de diferentes durações que foram calculadas com 11 séries de chuva para a cidade de Maceió comparadas aos coeficientes publicados pela CETESB (1986) e aos desenvolvidos pelo estudo de Farias et al (2018) com um posto pluviométrico situado na Universidade Federal de Alagoas – UFAL, 13 anos de dados observados.

Tabela 1: Relações de diferentes durações calculadas.

Relação (r)	Coeficiente de desagregação				Desvio padrão	
	CETESB (1986)	Farias <i>et al</i> (2018)		Medeiros <i>et al</i> (2020)	Medeiros <i>et al</i> (2020)	-
		Médio	Máximo		Médio	
5min/30min	0,34	-	-	-	-	-
10min/30min	0,54	-	-	-	0,48	0,08
15min/30min	0,7	-	-	-	-	-
20min/30min	0,81	-	-	-	0,79	0,07
25min/30min	0,91	-	-	-	-	-
30min/1h	0,74	-	-	-	0,74	0,09
1h/24h	0,42	0,67	0,34	0,19	0,36	0,11
1,5h/24h	-	-	-	-	0,36	0,11
2h/24h	-	0,97	0,51	0,31	0,41	0,11
4h/24h		0,97	0,63	0,37	0,55	0,10
6h/24h	0,72	0,97	0,72	0,47	0,63	0,14
8h/24h	0,78	0,97	0,78	0,53	0,73	0,17
10h/24h	0,82	0,97	0,83	0,62	0,79	0,15
12h/24h	0,85	0,97	0,85	0,70	0,84	0,12
24h/1dia	1,14	1,22	1,06	1,00	1,21	0,27

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

As diferenças entre os valores das relações de diferentes durações obtidos pela CETESB (1986) e os desenvolvidos por Farias *et al* (2018) e nesse estudo podem ser justificadas pelas características pluviométricas específicas da cidade de Maceió. Contudo, cabe ressaltar que o tamanho das séries de dados disponíveis interfere nessa afirmação somada à elevada divergência ou à amplitude entre as médias dos coeficientes dos postos pluviométricos.

3.2 Ajuste à distribuição GEV

Quanto aos ajustes das precipitações máximas diárias, foram obtidos por meio da distribuição GEV com os parâmetros de forma (K), escala (α) e posição (β) iguais aos valores de 0,202; 28,080 e 83,980 para o posto Tabuleiro; de 0,001; 24,801 e 71,863 para o posto Maceió; de -0,051; 25,731 e 84,820 para o posto Saúde, respectivamente. Já, o teste de aderência de Filliben confirmou a aplicabilidade da distribuição GEV a um nível de significância de 5% para todos os postos pluviométricos, conforme a apresentado na figura 1.

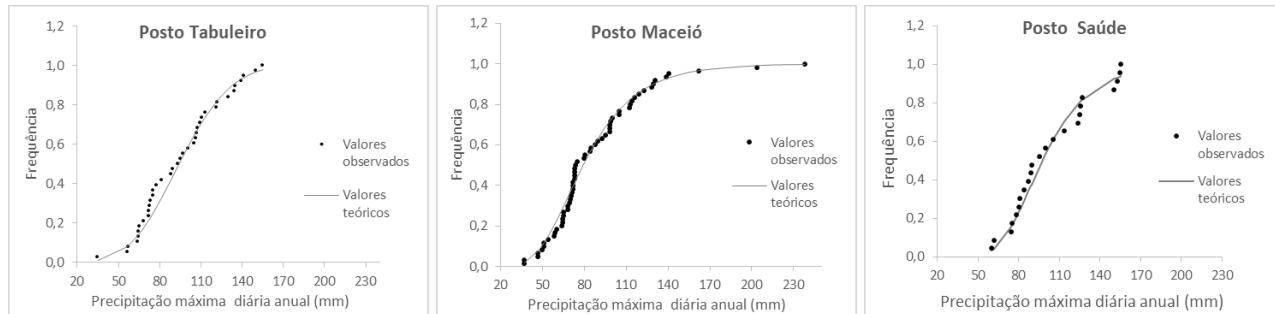


Figura 1. Aderência da distribuição GEV às frequências observadas nos postos pluviométricos. Tabuleiro, Maceió e Saúde.

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

3.3 Comparação entre as curvas IDF

Conforme os ajustes apresentados, as curvas IDF foram construídas com a metodologia de linearização da equação 3, resultando nos parâmetros exibidos na tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros das curvas IDF dos postos pluviométricos Tabuleiro, Maceió e Saúde

Parâmetros	Ponto Tabuleiro	Ponto Maceió	Ponto Saúde
Equação	$I = \frac{545,88 \cdot T_r^{0,1427}}{(t+10,88)^{0,648}}$	$I = \frac{470,37 \cdot T_r^{0,2065}}{(t+12,1)^{0,656}}$	$I = \frac{539,90 \cdot T_r^{0,2098}}{(t+12,1)^{0,656}}$

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Para avaliar a intensidade das chuvas registradas na cidade de Maceió, foram realizadas comparação entre a precipitação obtida pelas curvas IDF produzidas nesse trabalho e pelas equações desenvolvidas por Pfafstetter (1957) e Denardin & Freitas (1982), com o objetivo de avaliar potenciais erros na estimativa das chuvas de projeto, conforme apresentado nas tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3: Diferença entre as precipitações estimadas neste trabalho e as precipitações calculadas pelas equações de Otto Pfafsetter (1957) e Denardin & Feitas (1982) – posto Tabuleiro

Tempo de retorno	Precipitação (mm)									
	Otto Pfafsetter (1957)					Denardin & Feitas (1982)				
10 min	20 min	30 min	60 min	2 h	10 min	20 min	30 min	60 min	2 h	
2	-3%	-4%	-3%	1%	-3%	-19%	-22%	-22%	-20%	-15%
5	-4%	-2%	0%	11%	8%	-5%	-7%	-7%	-5%	-2%
10	-5%	-2%	2%	16%	14%	4%	3%	2%	4%	7%
25	-7%	-3%	2%	19%	18%	16%	14%	14%	15%	18%
50	-8%	-4%	2%	21%	20%	23%	22%	22%	23%	26%
100	-10%	-5%	2%	21%	21%	30%	29%	29%	30%	33%

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Tabela 4: Diferença entre as precipitações estimadas neste trabalho e as precipitações calculadas pelas equações de Otto Pfafsetter (1957) e Denardin & Feitas (1982) – posto Maceió.

Tempo de retorno	Precipitação (mm)									
	Otto Pfafsetter (1957)					Denardin & Feitas (1982)				
	10 min	20 min	30 min	60 min	2 h	10 min	20 min	30 min	60 min	2 h
2	13%	12%	11%	15%	11%	-1%	-4%	-4%	-3%	1%
5	7%	7%	9%	19%	16%	6%	3%	3%	4%	7%
10	2%	3%	6%	20%	18%	10%	8%	7%	9%	12%
25	-6%	-3%	2%	18%	17%	16%	14%	13%	15%	18%
50	-13%	-9%	-3%	16%	15%	20%	18%	18%	19%	22%
100	-20%	-15%	-8%	13%	13%	24%	22%	22%	23%	26%

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Tabela 5: Diferença entre as precipitações estimadas neste trabalho e as precipitações calculadas pelas equações de Otto Pfafsetter (1957) e Denardin & Feitas (1982) – ponto Saúde.

Tempo de retorno	Precipitação (mm)									
	Otto Pfafsetter (1957)					Denardin & Feitas (1982)				
	10 min	20 min	30 min	60 min	2 h	10 min	20 min	30 min	60 min	2 h
2	-1%	-2%	-3%	-2%	-2%	-16%	-20%	-20%	-18%	-14%
5	-7%	-7%	-5%	7%	4%	-9%	-12%	-13%	-11%	-7%
10	-14%	-12%	-8%	7%	5%	-4%	-7%	-7%	-6%	-2%
25	-23%	-20%	-14%	5%	4%	3%	0%	-1%	1%	4%
50	-31%	-27%	-20%	2%	1%	7%	5%	4%	6%	9%
100	-40%	-34%	-26%	-2%	-2%	12%	9%	9%	10%	13%

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Apesar do emprego de metodologias distintas e da variação temporal no traçado das curvas IDF, essas comparações permitem observar que as curvas geradas pelos postos Tabuleiro e Saúde geram, para os tempos de retorno de 2 a 10 anos, estimam valores de precipitações superiores as duas equações IDF existentes na cidade de Maceió, chegando a ser 14% maiores quando comparadas com as de Pfafstetter (1957) e 22% com as de Denardin & Freitas (1982) para chuvas inferiores a 30 minutos, ao passo que, as curvas produzidas pelo posto Maceió, só obtém precipitações maiores quando comparadas a equação de Denardin & Freitas (1982). Dessa maneira, essas equações precisam ser revistas, especialmente, para tempos de concentração menores, conforme sugerido por Pontes (2008) e Santos (2018) nos estudos de análise de chuvas intensas para a cidade de Maceió, devido ao indicativo de erros significativos na estimativa da precipitação de projeto no dimensionamento de estruturas hidráulicas.

4 CONCLUSÕES

Os desempenhos das estimativas de precipitação a partir de dados pluviométricos mostram diferenças significativas na geração de chuvas com o uso de curvas IDF antigas, sobretudo para os tempos de retorno utilizados para microdrenagem. Além disso, verificou-se a importância do aumento da rede de dados pluviométricos monitorados, com discretização com intervalo mínimo de 10 minutos, para a ampliação de estudos de regionalização de coeficientes de desagregação. Por fim, recomenda-se a revisão das curvas IDF existentes na cidade de Maceió, considerando os estudos de regionalização dos coeficientes de desagregação.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. C.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SANTOS, G. R.; ALMEIDA, L. T.; ZANETTI, S. S. (2018) Critérios para Escolha de Distribuições de Probabilidades em Estudos de Eventos Extremos de Precipitação. RBMET. Revista Brasileira de Meteorologia. v. 33, n. 4, pp. 601-613.
- ANA – Agência Nacional de Águas (2020). HidroWeb: Sistema de Informações Hidrológicas: Disponível em www.ana.hidroweb.gov.br, Mar. 2020.
- CAMPOS, A. R., SILVA, J. B. L., SANTOS, G. G., RATKE, R. F. e AQUINO, I. O. (2017) Estimate of intense rainfall equation parameters for rainfall stations of the Paraíba State, Brazil, Revista Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 47, n. 1, p. 15-21.
- CARVALHO, J. R. P.; ASSAD, E. D. (2005). Análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de São Paulo: Comparação de métodos de interpolação. Engenharia Agrícola, v. 25, n. 2, pp. 377-384.
- CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (2020). Disponível em <https://www.cemaden.gov.br>, Mar. de 2020.
- CETESB - Companhia De Tecnologia de Saneamento Ambiental (1986). Drenagem urbana: manual de projeto. CETESB, São Paulo – SP, pp. 476.
- DENARDIN, J.; FREITAS, P. L. (1982). Características fundamentais da chuva no Brasil. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 17, n. 10, pp. 1409-1416.
- FARIAS, P. T. S.; NEVES, M. G. F. P., BEZERRA, R. P. G; RIBEIRO, G. C. S. (2018). “Estatísticas descritivas de chuvas intensas na cidade de Maceió” in Anais do XII Encontro Nacional de Águas Urbanas, Maceió – AL, Nov. 2018.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. (2007). Hidrologia Estatística. CPRM, Belo Horizonte – MG, pp. 522.
- NÓBREGA, R. S.; FARIAS, R. F. L; SANTOS, C. A. C. (2015). Variabilidade temporal e espacial da precipitação pluviométrica em Pernambuco através de índices de extremos climáticos. Revista Brasileira de Meteorologia, v.30, n.2, pp. 171 – 180.
- PFAFSTETTER, O. (1957). Chuvas intensas no Brasil: Relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas em 98 postos com pluviógrafos. DNOS, Rio de Janeiro – RJ, pp. 419.

PINHO, V. N.; MEDEIROS, I. R.; CARNAÚBA, F. M.; NASCIMENTO, A. A.; BRITO, P. L. C. (2010). “Análise da Distribuição da Frequência de Precipitação em Diferentes Intervalos de Classes para Maceió – Alagoas”. In Anais do XVI CBMET - Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém-PA, Set. 2010.

PONTES, P. R. M. (2008). Análise de chuvas intensas na cidade de Maceió. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Engenharia civil) – Universidade Federal de Alagoas. Maceió – AL, pp. 28.

SANTOS, P. R. (2018). Análise de métodos para obtenção de chuvas intensas para a cidade de Maceió. Dissertação de mestrado (Programa de pós-graduação em Recursos hídricos e saneamento) – Universidade Federal de Alagoas – AL, pp. 148.

WANG, D.; HAGEN, S. C.; ALIZAD, K. (2013). Climate change impact and uncertainty analysis of extreme rainfall events in the Apalachicola River basin, Florida. *Journal of Hydrology*, v. 480, pp. 125–135.

WILKEN, P.S. (1978). Engenharia de drenagem superficial. CETESB, São Paulo – SP, pp. 477.