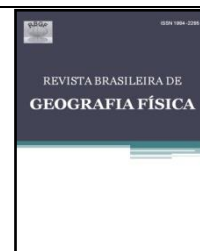




# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Algoritmo para Determinação da Equação de Chuvas Intensas

Simone Rosa da Silva<sup>1</sup> & George Rodrigues de Sousa Araújo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Professora Adjunto da Universidade de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil, [simonerosa@poli.br](mailto:simonerosa@poli.br). <sup>2</sup>Engenheiro Civil/Universidade de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil, [rodrigues1988@hotmail.com](mailto:rodrigues1988@hotmail.com).

Artigo recebido em 10/07/2013 e aceite em 30/09/2013.

### RESUMO

Estudos hidrológicos regionais são necessários em obras de engenharia relacionadas ao planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos, pois eventos extremos de precipitações estão diretamente relacionados com os custos e a segurança das obras de aproveitamento hídrico, tais como: sistema de drenagem de águas pluviais, canais e bacias de detenção. O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver e aplicar um algoritmo para determinação de parâmetros das equações IDF - Intensidade-Duração-Frequência, visando tornar o processo ágil a partir dos dados disponíveis de precipitação. Foi elaborada uma rotina computacional através da integração dos dados através de planilha eletrônica e software estatístico, que compreende regressões lineares múltiplas e processos gráficos. O algoritmo foi aplicado para obtenção da equação IDF para o município do Recife. Foi realizada a extrapolação de dados históricos de séries anuais através da distribuição de probabilidade de valores extremos de Gumbel, verificando-se sempre o ajuste dessa distribuição aos dados através do teste de Kolmogorov-Smirnov. A seguir, através da aplicação do algoritmo foram calculados os parâmetros da equação IDF para o respectivo posto pluviográfico, obtendo-se resultados satisfatórios.

Palavras-chave: Recursos hídricos, Equação IDF, Distribuição Gumbel.

### Algorithm to Determine the Equation of Intense Rain

#### ABSTRACT

Regional hydrological studies are required on engineering works related to planning and use of water resources because of extreme precipitation events are directly related to the cost and safety of the works of water use, such as: drainage system rain water channels and basins detention. The main objective of this work is to develop and apply an algorithm for determining parameters of the equations IDF - Intensity-Duration-Frequency, designed to make the agile process from data available for precipitation. Was developed a computational routine by integrating data through spreadsheet and statistical software, which comprises multiple linear regressions and printing processes. The algorithm was applied to obtain the equation for the IDF city of Recife. We performed the extrapolation of historical data series of annual means of the probability distribution of extreme values of Gumbel, always checking the fit of this distribution to data using the Kolmogorov-Smirnov test. Then, by applying the algorithm parameters were calculated from the equation for the IDF pluviometric respective station, obtaining satisfactory results.

Keywords: Rainfall intensity. Equations IDF. Gumbel Distribution.

## Introdução

As intensidades máximas de precipitações são dados relevantes para o dimensionamento de obras de engenharia, especialmente para projetos de drenagem urbana, uma vez que é comum não se dispor de dados de vazão para o local de estudo. Através das relações Intensidade-Duração-Frequência - IDF, é possível estimar a vazão de projeto associando a intensidade máxima da precipitação a uma determinada duração da chuva.

Existem equações IDF calculadas para diversos municípios do Estado de Pernambuco, entre os mais recentes podemos citar: Ramos (2010) calculou uma equação IDF para Recife, Silva et al. (2012) calculou a equação IDF para vários municípios do Estado e, Pernambuco (2010) apresenta equações IDF para várias localidades das bacias dos rios Ipojuca e Capibaribe.

Uma equação IDF não é estática temporalmente e deve ser atualizada ao longo do tempo, daí a importância de um procedimento prático para calculá-las. Com o aumento do número de anos de registros pluviográficos, essas equações podem sofrer mudanças significativas, pois são calculadas, basicamente, por variáveis estocásticas. Essas equações também precisam de validação estatística, para que possam, fidedignamente, ser modelo das precipitações máximas anuais nas regiões em que foram calculadas.

Ramos e Azevedo (2010) desenvolveram uma equação IDF para a cidade do Recife e compararam os resultados obtidos com equações pré-existentes. Os resultados indicam que, para durações de até 30 minutos, a nova equação apresenta valores de intensidade de precipitação até 41% superiores as equações atualmente utilizadas, o que implica em um subdimensionamento no projeto de obras hidráulicas. Os autores apontam que é necessário que essas equações sejam atualizadas periodicamente, devido a fatores como a urbanização e o aquecimento global.

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver e aplicar um algoritmo para determinação de parâmetros das equações IDF - Intensidade-Duração-Frequência, visando tornar o processo ágil a partir dos dados disponíveis de precipitação.

Como objetivos específicos para se atingir o objetivo principal, são elencados os seguintes:

- Obter, tratar e analisar dados pluviográficos da cidade em estudo.
- Selecionar uma metodologia para verificação das precipitações máximas anuais com diferentes durações.
- Selecionar uma metodologia para estimar a relação matemática entre intensidade, duração e frequência das

precipitações nos municípios selecionados.

- Desenvolver um algoritmo para cálculo dos parâmetros da equação de chuvas intensas.
- Analisar, estatisticamente, a validade das equações IDF calculadas.

## Material e Métodos

A cidade de Recife, capital de Pernambuco, ocupa posição de destaque no contexto regional. Atualmente, a cidade se consolida como o maior polo de serviços modernos do Nordeste. Segundo o IBGE (2013), a cidade possui 1.537.704 habitantes, área de aproximadamente 218,50 km<sup>2</sup>, e situa-se nas coordenadas geográficas: latitude 8° 04' 03'' S e longitude 34° 55' 00'' W, altitude média 4m. Possui clima tropical quente e úmido, bioma predominante de mata atlântica destacando-se áreas de manguezais.

O município é constantemente acometido por inundações provocadas pelas águas pluviais, e toda a Região Metropolitana do Recife apresenta histórico de cheias. Neste ano de 2013 a população da cidade do Recife sofreu com os impactos de chuvas intensas, tendo consequências graves econômicas e sociais. Portanto, a cidade é vulnerável a inundações e poderá vir a ter grandes problemas com a intensificação do ciclo hidrológicos associada às mudanças climáticas.

## 2.1 Obtenção e tratamento dos dados

Os registros pluviográficos utilizados nesse trabalho foram fornecidos pela Unidade de Monitoramento da Rede Hidrometeorológica (UMR – HIDROMET) que integra o Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP). O arquivo fornecido pelo ITEP contém dados pluviográficos, registrados entre os anos de 1999 e 2012 pelas Plataformas de Coleta de Dados – PCD's de várias cidades do Estado de Pernambuco. Após análise dos arquivos fornecidos pelo ITEP, foram excluídos para este trabalho os dados pluviográficos da PCD Recife para os anos em que houve falha nos registros das precipitações, tendo sido selecionado o período 2003-2011.

## Metodologia

De acordo com Villela e Mattos (1975), procura-se analisar as relações entre intensidade-duração-frequência das chuvas, determinando-se, para os diferentes intervalos de duração, qual o tipo de equação e o número de parâmetros desta, que melhor caracterizam aquelas relações.

As curvas IDF podem ser representadas por equações genéricas que geralmente possuem a forma seguinte:

$$i = \frac{k*Tr^m}{(t+b)^n} \quad \text{Equação (1)}$$

aonde:

$i$  = Intensidade de precipitação em mm/h;

$Tr$  = tempo de retorno em anos;

$t$  = duração da precipitação em estudo em minutos;

$b, k, m, n$  são parâmetros adimensionais regionais.

A forma da equação 1 é adotada por Tucci (2009), Wilken (1978), Pinto *et al.* (1975), Chow, Maidment e Mays (1994), Fendrich . (2003) e Villela e Mattos (1975).

Para obtenção das séries históricas de máximas precipitações, verificou-se, para a PCD em estudo, a máxima precipitação anual ocorrida em cada intervalo de duração. Os valores mínimos de intensidades máximas obtidas para cada duração foram corrigidos, respeitando os valores recomendados por Wilken (1978), Ayres e Lopes (1985) *apud* Fendrich *et al.* (1997) e Ramos (2010), adotando nesta pesquisa sempre os valores recomendados por estes, conforme apresentado na tabela 1. Para as durações de 15 min, 240 min e 1080 min, as precipitações mínimas a serem consideradas foram obtidas mediante interpolação. Para a duração de 5 min, conforme Ramos (2010), adotou-se o valor de 8 mm.

Tabela 1 – Precipitações mínimas a serem consideradas como chuvas intensas.

Duração (min)	Ayres e Lopes		
	Wilken (1978)	(1985) <i>apud</i> Fendrich (2003)	Ramos (2010)
5	-	-	8
10	12	10	10
15	15	12,5	12,5

30	20,1	20	20
60	25,5	30	25,2
120	30	35	30
240	36	41,6	36
360	-	45	45
720	-	50	50
1080	-	52,5	52,5
1440	-	55	55

Fonte: Araújo (2013).

Em seguida foi calculada uma distribuição empírica de probabilidade de acordo com o método Kimbal, descrito por Pinto *et al.* (1976). A extrapolação de dados efetivou-se pela distribuição estatística de valores extremos de Gumbel para máximos, utilizada também para realizar testes estatísticos de aderência, como o teste de Kolmogorov-Smirnov.

Existem vários métodos e distribuições teóricas para valores extremos. Uma discussão mais detalhada sobre o assunto é descrita por Naghettini e Pinto (2007), na qual apresentam-se as distribuições Log Normal, Log Pearson Tipo III, Gumbel e Weibull. Villela e Mattos (1975) apresenta também o método de Fuller.

A extrapolação de dados efetivou-se pela distribuição estatística de valores extremos de Gumbel para máximos, ou simplesmente distribuição Gumbel, que possui a seguinte expressão para Função Cumulativa de Probabilidade (FCP), segundo TUCCI (2009):

$$\alpha^2 = \frac{\pi^2}{(6 \cdot S^2)} \quad \text{Equação (2)}$$

$$\mu = \bar{X} - \frac{0,577}{\alpha} \quad \text{Equação (3)}$$

$$P(Y \leq y) = e^{-e^{-\alpha(y-\mu)}} \quad \text{Equação (4)}$$

Sendo:

$\bar{X}$  a média amostral;

$S^2$  a variância amostral;

$y$  o valor de uma precipitação extrema na qual se deseja conhecer o tempo de retorno;

$\alpha$  e  $\mu$  são parâmetros adimensionais da distribuição de probabilidade de Gumbel.

Através da Equação 4 e dos parâmetros adimensionais  $\alpha$  e  $\mu$ , é possível calcular a distribuição Gumbel e compará-la com a obtida empiricamente, isto serve para avaliar o quão fidedigno estão os valores calculados por essa distribuição teórica de probabilidade.

Matematicamente, é válida a relação descrita pela Equação 5.

$$Tr = \frac{1}{(1-P(Y \leq y))} \quad \text{Equação (5)}$$

Através das Equações 4 e 5, obtém-se a Equação 6, na qual estima a precipitação em função do tempo de retorno  $Tr$ .

$$y = \mu - \left(\frac{1}{\alpha}\right) * \ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{Tr}\right)\right) \quad \text{Equação (6)}$$

Para cada duração será gerado uma nova sequência de dados extrapolados pela distribuição Gumbel, expressos pela equação imediatamente a seguir.

$$y_{D,Tr} = \mu_D - \left(\frac{1}{\alpha_D}\right) * \ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{Tr}\right)\right) \quad \text{Equação (7)}$$

Na Equação 7, para cada duração ( $D$ ), o tempo de retorno assumirá os seguintes valores: 2, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100.

### 3.1 Teste de aderência

Realizou-se um teste estatístico não paramétrico, denominado teste de Kolmogorov-Smirnov, descrito detalhadamente por Naghettini e Pinto (2007), para verificar se a distribuição de Gumbel pode representar os dados observados empiricamente.

Segundo Siegel (1975), matematicamente, o teste K-S é representado pela equação imediatamente a seguir.

$$D = \text{máximo}|F_0(X) - S_N(X)| \quad \text{Equação (8)}$$

Na Equação 8,  $D$  é o desvio absoluto máximo,  $F_0(X)$  a FCP Gumbel suposta completamente especificada e  $S_N(X)$  a FCP empírica de uma determinada duração. Espera-se que, para cada valor de  $X$ ,  $S_N(X)$  esteja suficientemente próximo de  $F_0(X)$ .

Segundo Pinto *et al.* (1976), longos períodos de observações de dados

monitorados não são comuns em algumas regiões do Brasil, sendo assim, apesar da carência de dados históricos, é admissível a utilização de períodos relativamente curtos mediante aplicação de alguns testes estatísticos. Dentre esses, o teste de Kolmogorov-Smirnov, ou teste K-S, é utilizado para testar a adequação do ajuste de distribuições contínuas, completamente especificadas. Foram utilizados os níveis de significância de 1%, 5%, 10% e 20%.

#### Obtenção da equação IDF

Para calcular os parâmetros da equação IDF, conforme a Equação 1 apresentada anteriormente, é necessário preliminarmente, estimar o valor do parâmetro  $b$ , pois a partir de um conjunto de possíveis valores de  $b$ , são empregados métodos para estimar  $k$ ,  $m$ ,  $n$ . A escolha do parâmetro  $b$  deve ser feita cuidadosamente.

Wisler e Brater (1964) sugerem que sejam atribuídos a  $b$  diversos valores até que, locando os pontos resultantes, se obtenha uma reta. Empregam-se as curvas de intensidade-duração, em gráfico bilogárímico, para determinação do parâmetro  $b$  de cada frequência traçada. Nesse gráfico, cada curva traçada possui um conjunto valores para intensidade ( $i$ ) e duração ( $t$ ) correspondentes à frequência escolhida. As intensidades devem ser calculadas de acordo com a distribuição de probabilidade de Gumbel.

Escolhendo-se, na curva IDF, dois pontos cujas coordenadas são  $(i_1, t_1)$  e  $(i_2, t_2)$ ,

são válidas as relações imediatamente a seguir:

$$k \times Tr^m = constante = A \quad \text{Equação (9)}$$

$$i_1 = \frac{A}{(t_1+b)^n} \quad \text{Equação (10)}$$

$$i_2 = \frac{A}{(t_2+b)^n} \quad \text{Equação (11)}$$

Pois, nas Equações 9, 10 e 11,  $Tr$  assume o mesmo valor em todos os pontos da curva de uma mesma frequência.

Considerando-se um terceiro ponto  $(i_3, t_3)$  da mesma curva, tal que, seja válida a relação da Equação 12.

$$i_3 = \sqrt{i_1 * i_2} \quad \text{Equação (12)}$$

Manipulando as Equações 10, 11 e 12 obtém-se a Equação 13.

$$\frac{A}{(t_3+b)^n} = \sqrt{\frac{A}{(t_1+b)^n} * \frac{A}{(t_2+b)^n}} \quad \text{Equação (13)}$$

Elevando-se ao quadrado os dois membros da Equação 13 e resolvendo-a para variável  $b$ , obtém-se a fórmula 14:

$$b = \frac{t_3^2 - t_1 * t_2}{t_1 + t_2 - 2 * t_3} \quad \text{Equação (14)}$$

Através da Equação 14 obtém-se uma estimativa do valor do parâmetro  $b$ , exclusivo para determinada frequência, por isso, adotar-se-á a notação  $b_i$  para representar apenas uma estimativa preliminar. Desse modo, ter-se-á um conjunto de valores preliminares  $b_i$ .

Aplicando a função  $\log_{10} x$  na Equação 1, obtém-se a Equação 15.

$$\log i = \log K + m * \log Tr + n * \log(t + b)$$

Equação (15)

Portanto, é possível ajustar, pelo método da regressão linear múltipla, a equação IDF às intensidades calculadas pela distribuição Gumbel. Iniciar-se-á um novo processo iterativo tendo por base todos os pontos  $b_i$ . Estima-se inicialmente o valor de  $b$  como sendo o menor  $b_i$ , em valor absoluto, do conjunto de todos os  $b_i$ . Posteriormente, soluciona-se um sistema linear, na qual fornecerá os parâmetros de melhor ajuste da regressão linear múltipla de acordo com o  $b_i$  estimado.

#### Validação da Equação IDF

Para validação da equação calculada é necessário verificar, estatisticamente, a qualidade do ajuste entre a equação IDF e a distribuição Gumbel. Utilizam-se, para essa verificação, duas ferramentas estatísticas; o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o Erro Padrão Percentual (EPE).

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é utilizado para avaliar o grau de correlação entre as intensidades máximas anuais calculadas pela equação IDF e pela distribuição Gumbel. Quanto mais próximo da unidade estiver o valor de  $R^2$ , mais bem ajustada estará à equação IDF.

O Erro Padrão da Estimativa (EPE) é utilizado para estimar o grau de divergência, em porcentagem, entre os resultados obtidos pela distribuição Gumbel e os obtidos pela equação IDF. Esse parâmetro estatístico, assim como  $R^2$ , varia entre a unidade e o valor nulo, e quanto mais próximo deste último valor EPE estiver, melhor será a qualidade do ajuste da equação IDF.

#### Resultados e Discussão

Os registros foram analisados por ano e selecionados os valores máximos de precipitações anuais por duração, verificando se estavam de acordo com os limites da Tabela 1. A Tabela 2 apresenta as precipitações selecionadas para a PCD Recife.

Tabela 2 – Séries de Precipitações máximas anuais (mm) para PCD Recife.

ANO	DURAÇÃO (min)										
	5	10	15	30	60	120	240	360	720	1080	1440
2003	8	14,25	16,5	22,25	29,25	36,5	50,75	61,5	94,25	100,25	110,25
2004	8	11,5	16,5	29,5	45,25	52,25	53,5	54	81	90,25	101,75
2005	17,25	29,25	36,5	51,25	69,75	102,25	137,25	176,75	206,5	206,5	206,5
2006	8,75	13,25	17,5	29	45,25	62,25	71,5	93,25	102,75	102,75	112,25
2007	9,5	13	17,25	26,75	40,5	41,75	47,25	56	73,75	80,75	81,75
2008	11	20,5	28	41,75	63	66,5	68,75	86	111,25	112,75	120,75
2009	9,25	15,5	20,25	37,75	47,5	55,5	82	97,25	110,5	112,5	115,5
2010	9,75	16,5	20,75	26	33,25	44,5	77,75	95	112	125	141
2011	12,25	24	32,5	57	71,25	87,25	100,75	102	124,75	125,75	126,25

As intensidades máximas anuais calculadas através da distribuição de probabilidade de Gumbel para máximos estão relacionados na Tabela 3.

Tabela 3 – Intensidades máximas anuais (mm/h) das precipitações calculadas pela distribuição Gumbel.

Duração (min)	Tempo de Retorno (anos)								
	2	3	5	10	15	20	25	50	100
5	119,27	133,84	150,07	170,45	181,96	190,01	196,21	215,32	234,29
10	99,34	114,16	130,65	151,39	163,08	171,27	177,58	197,01	216,30
15	86,47	99,12	113,20	130,90	140,89	147,88	153,26	169,85	186,32
30	67,41	77,54	88,82	102,99	110,99	116,59	120,90	134,19	147,38
60	46,94	53,31	60,41	69,33	74,36	77,89	80,60	88,96	97,26
120	28,70	33,24	38,29	44,64	48,23	50,74	52,67	58,62	64,53
240	17,99	20,95	24,25	28,40	30,75	32,38	33,65	37,54	41,40
360	14,20	16,79	19,67	23,28	25,33	26,76	27,86	31,25	34,62
720	8,89	10,23	11,73	13,61	14,67	15,41	15,98	17,75	19,50
1080	6,19	7,04	7,98	9,17	9,84	10,31	10,67	11,79	12,89
1440	4,93	5,54	6,21	7,07	7,55	7,89	8,14	8,94	9,74

Utilizando as séries de máximas precipitações anuais, calcularam-se as probabilidades através da distribuição empírica e da distribuição Gumbel para Recife para todas as durações. Comparando-se os valores da FCP Gumbel e da FCP

empírica, a magnitude absoluta da máxima divergência entre essas distribuições pode ser avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Esse teste estatístico é importante para rejeitar, ou não, a hipótese de que a distribuição Gumbel representa as



precipitações máximas anuais nas cidades em teste K-S para PCD Recife.  
estudo. A Tabela 4 exhibe os resultados do

Tabela 4 – Resultados do teste K-S entre as distribuições Gumbel e Empírica.

Duração (min)	Divergência Máxima (D)	Valores críticos do teste K-S c/ n= 9 e Nível de significância de:				Passa no teste K-S em todos os 4 níveis de significância?	Qualidade do ajuste (R <sup>2</sup> )
		20%	10%	5%	1%		
5	0,1289	0,3390	0,3880	0,4320	0,5140	SIM	0,93677
10	0,1039	0,3390	0,3880	0,4320	0,5140	SIM	0,95283
15	0,1516	0,3390	0,3880	0,4320	0,5140	SIM	0,89624
30	0,1605	0,3390	0,3880	0,4320	0,5140	SIM	0,9501
60	0,1358	0,3390	0,3880	0,4320	0,5140	SIM	0,95753
120	0,0880	0,3390	0,3880	0,4320	0,5140	SIM	0,98455
240	0,0968	0,3390	0,3880	0,4320	0,5140	SIM	0,97272
360	0,1213	0,3390	0,3880	0,4320	0,5140	SIM	0,91114
720	0,1396	0,3390	0,3880	0,4320	0,5140	SIM	0,91924
1080	0,1418	0,3390	0,3880	0,4320	0,5140	SIM	0,93415
1440	0,1033	0,3390	0,3880	0,4320	0,5140	SIM	0,9295

Os resultados obtidos com o teste K-S indicam que a amostra é representativa das precipitações extremas na PCD estudada, apesar da série de máximas precipitações anuais ter pequena extensão. O teste K-S indica que a distribuição Gumbel pode ser aceita, com razoável nível de significância, como representativa das precipitações extremas na localidade de estudo.

Quando considerados apenas aos valores máximos da função R<sup>2</sup> na PCD Recife, observa-se que oscilaram entre 0,98455 – 0,89624 para o método da regressão linear múltipla. De acordo com Toledo e Ovalle (1983), os valores máximos de R<sup>2</sup> são considerados bons resultados, pois todos eles

estão muito próximos da unidade (valor limite).

Os valores definitivos das variáveis *b*, *k*, *m* e *n* nas equações IDF do município do Recife foi estimado utilizando o critério de minimização de EPE pois, quando os valores de EPE são mínimos, os valores assumidos por R<sup>2</sup> são bastante satisfatórios.

A equação 16, a Tabela 5 e as Figuras 1 e 2 apresentam os resultados obtidos para o município de Recife.

$$I = \frac{1380,2176 \times TR^{0,19369}}{(t+22)^{0,78201}} \quad \text{Equação (16)}$$

Tabela 5 – Intensidades máximas anuais (mm/h) das precipitações calculadas pela equação IDF do município de Recife

Duração (min)	Tempo de Retorno (anos)								
	2	3	5	10	15	20	25	50	100
5	119,92	129,72	143,21	163,79	177,17	187,33	195,60	223,71	255,85
10	105,00	113,58	125,40	143,41	155,13	164,02	171,27	195,87	224,02
15	93,73	101,39	111,94	128,02	138,48	146,42	152,88	174,85	199,98
30	71,83	77,70	85,78	98,11	106,12	112,20	117,16	133,99	153,25
60	50,31	54,42	60,08	68,71	74,32	78,58	82,05	93,84	107,33
120	32,74	35,42	39,10	44,72	48,38	51,15	53,41	61,08	69,86
240	20,28	21,94	24,22	27,70	29,96	31,68	33,08	37,83	43,27
360	15,10	16,34	18,04	20,63	22,31	23,59	24,63	28,17	32,22
720	8,99	9,72	10,73	12,27	13,28	14,04	14,66	16,76	19,17
1080	6,60	7,13	7,88	9,01	9,74	10,30	10,76	12,30	14,07
1440	5,29	5,72	6,31	7,22	7,81	8,26	8,62	9,86	11,28

MÉTODO: REGRESSÃO LINEAR		PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	
MÚLTIPLA		$R^2 = 0,9957$	EPE = 0,05744

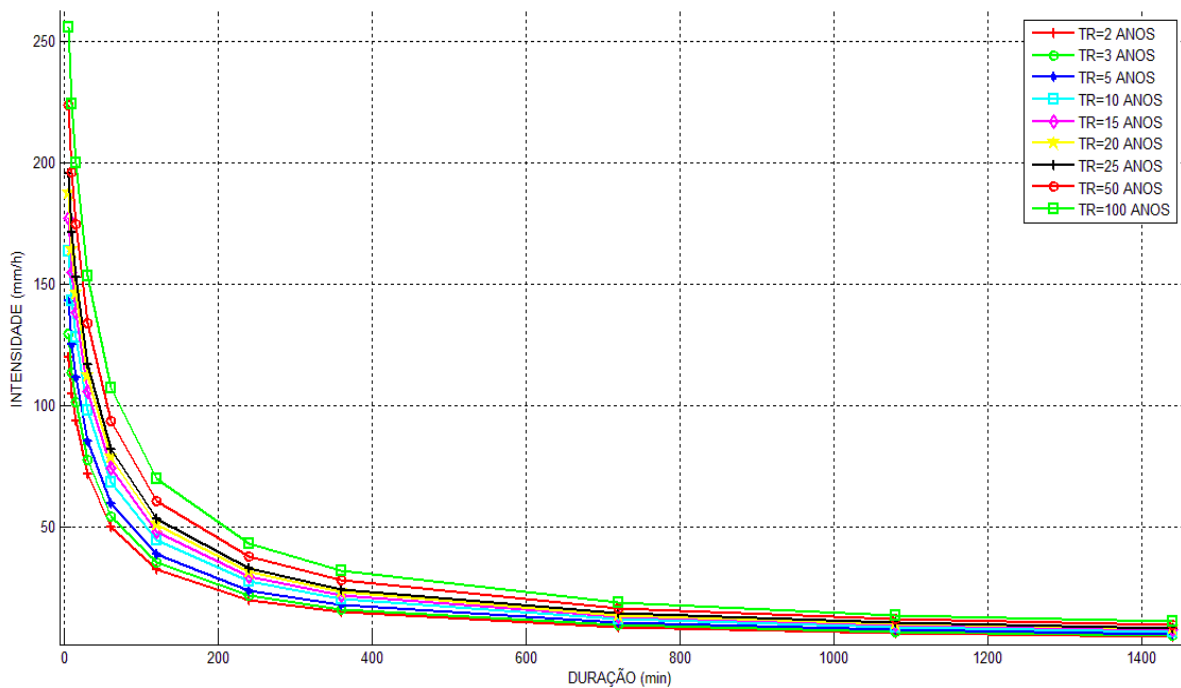


Figura 1 – Aspecto geral das Curvas IDF calculadas pela equação de chuvas intensas em Recife

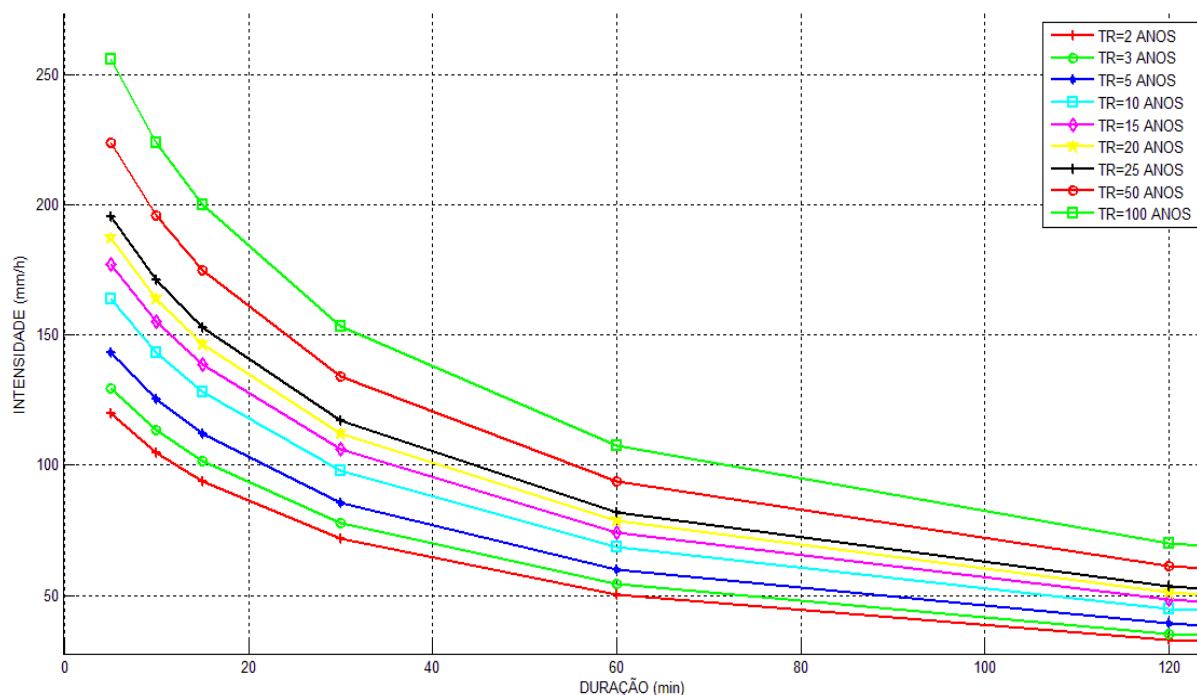


Figura 2 – Ampliação das Curvas IDF calculadas pela equação de chuvas intensas em Recife.

Analisando os gráficos das Figuras 1 e 2 e a Equação 9, constata-se que quando a duração de uma precipitação diminui, a intensidade aumenta exponencialmente, especialmente para períodos de retorno maiores que 10 anos. São necessários, portanto, cuidados especiais em projetos obras de drenagem, pois Recife apresentou valores elevados para intensidades máximas de chuvas de curta duração.

### Conclusões

A sequência de cálculos descritos na metodologia até a obtenção das equações IDF foi sintetizada em uma rotina computacional, implementada e executada na linguagem de programação MATLAB, fornecendo subsídios para os resultados e conclusões desse trabalho. A sistemática de tratamento de

registros pluviográficos utilizando os softwares EXCEL e MATLAB mostrou-se eficiente pela simplicidade de se trabalhar com fórmulas e matrizes.

Embora o tamanho da série de máximas precipitações anuais utilizadas neste trabalho tenha sido relativamente curta, foi obtida equação semelhante à obtida por Ramos (2010) que utilizou uma série bem mais extensa (40 anos) de um pluviógrafo situado no aeroporto do Recife. Entretanto, a comparação dos valores de intensidades máximas obtidos por estas duas equações requer uma análise mais detalhada.

A ausência de longos períodos de registros pluviográficos não foi impedimento para que se obtivesse na equação IDF, um valor de  $R^2$  e EPE bastante razoáveis, o que

pode ser considerado um bom ajuste para a localidade estudada.

Apresenta-se, como resultado deste trabalho, uma ferramenta útil para agilizar a atualização das equações IDF. Ressalta-se, porém, que é necessário investir na rede de coleta de dados hidrológicos, pois os dados pluviográficos são fundamentais para garantir a atualização das equações IDF.

## Referências

- Araújo, G. R. S. 2013. Determinação da equação de chuvas intensas para quatro municípios do Estado de Pernambuco. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil. Universidade de Pernambuco.
- Chow, V T; Maidment, D. R.; Mays, L. W. 1994. Hidrología Aplicada. Tradución Juan G. Saldarriaga. Santafé de Bogotá: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, 584 p.
- Fendrich, R. *et al.* 1997. Drenagem e controle da erosão urbana. 4. ed. Curitiba: Champagnat, 485 p.
- Fendrich, R. 2003. Chuvas intensas para obras de drenagem no estado do Paraná. 2. ed. Curitiba: Gráfica Vicentina Editora, 101 p.
- Garcez, L. N.; Alvarez, G. A. 1988. Hidrologia. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher,. 304 p.
- Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Recife-PE dados básicos. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/paine1.php?codmun=261160>>. Acesso em: 05 fev. 2013.
- Naghattini, M.; Pinto, É. J. A. 2007. Hidrologia estatística. Belo Horizonte: CPRM, 561 p.
- Pernambuco. 2010. Secretaria de Recursos Hídricos. Plano hidroambiental da bacia hidrográfica do rio Ipojuca: Tomo I - Diagnóstico hidroambiental - Volume01/03 - Recursos Hídricos. Recife.
- Pernambuco. 2010. Secretaria de Recursos Hídricos. Plano hidroambiental da bacia hidrográfica do rio Capibaribe: Tomo I - Diagnóstico hidroambiental - Volume01/03 - Recursos Hídricos. Recife.
- Pinto, N. L. De S. ; Holtz, A. C. T.; Martins, J. A.; Gomide, F. L. S. 1976. Hidrologia básica. São Paulo: Edgard Blucher, 278 p.
- Prefeitura Do Recife. A cidade: Dados estatísticos e indicadores demográficos 2010. Disponível em:<<http://www2.recife.pe.gov.br/a-cidade/dados->

estatisticos-e-indicadores-demograficos2010/>. Acesso em: 10 fev. 2013.

Ramos, A. M. 2010. Influência das mudanças climáticas devido ao efeito estufa na drenagem urbana de uma grande cidade. 179f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco - CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife.

Ramos, A. M.; Azevedo, J. R. G. 2010. Nova equação de chuvas intensas para Recife. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 10, Anais ... 1 CD-Rom.

Siegel, S. 1975. Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento. São Paulo: McGraw-Hill, 353 p.

Silva, B. M. ; Montenegro, S. M. G. L.; Silva, F. B.; Araújo Filho, P. F. 2012. Chuvas Intensas em localidades do Estado de Pernambuco. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 17, n. 3, p. 135-147, julho/setembro.

Toledo, G. L.; Ovalle, I. I. 1983. Estatística básica. 2. ed. São Paulo: Atlas, 464 p.

Tucci, C. E. M. (Org.). 2009. Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 943 p.

Vilella, S. M.; Mattos, A. 1975. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245 p.

Wilken, P. S. 1978. Engenharia de drenagem superficial. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 477 p.