



EQUAÇÃO IDF DA CIDADE DE PINHALZINHO – SP. *IDF equation of the city of Pinhalzinho – SP.*

LANZELLOTTI, João Pedro; VOLGA, Thiago Vianna.
(Professor Mestre Heitor Berger Campos – Universidade São Francisco)
joao.lanzellotti@mail.usf.edu.br; thiago.volga@mail.usf.edu.br.

RESUMO. As equações IDF desenvolvidas para os municípios são equações de suma importância para o melhor desenvolvimento da cidade, as equações são utilizadas em pesquisas hidrológicas e no desenvolvimento de projetos hidrológicos. Sabemos que muitas cidades da região bragantina ainda usam a equação de cidades vizinhas pelo fato de não possuírem uma equação baseada nos dados pluviométricos do próprio município, o que pode acabar prejudicando pesquisas ou projetos que sejam desenvolvidos com essas informações. Com base nesse fato, será desenvolvida e apresentada equação IDF para o Município de Pinhalzinho, SP, lembrando que, o método apresentado poderia ser utilizado em qualquer outro município que tenha disponível em seu território pelo menos um posto pluviométrico, com dados disponíveis de no mínimo 10 anos e que não possuam muitas falhas nas medições, esses fatores são os principais para o desenvolvimento da equação. O método utilizado para a obtenção da equação consiste na análise de dados do posto pluviométrico do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica), definição do ano hidrológico, análise de precipitações máximas, distribuição de Gumbel e Chow-Gumbel e construção de equação no formato DAEE-FCTH. Nesse contexto, será apresentada a equação idf do município escolhido podendo ser utilizada em projetos e pesquisas que envolvem hidrologia.

Palavras-chave: Pinhalzinho – Equação IDF - Distribuição de Gumbel - Chow-Gumbel.

ABSTRACT. The IDF equations developed for the municipalities are extremely important equations for the better development of the city, the equations are used in hydrological research and in the development of hydrological projects. We know that many cities in the region still use the equation of neighboring cities because they do not have an equation based on the municipality's own rainfall data, for this reason it may end up harming research or projects that are being developed for the good of the population. This equation will be developed and presented for the Municipality of Pinhalzinho, SP, remembering that the method presented could be used in any other municipality that has at least one pluviometric station available in its territory, with data available for at least 10 years and that have many flaws in the measurements, these factors are the main factors for the development of the equation. The method used to obtain the equation consists of analyzing data from the DAEE (Department of Water and Electric Energy) pluviometric station, defining the hydrological year, analyzing maximum rainfall, Gumbel and Chow-Gumbel distributions. From this work we will conclude and present the equation of the chosen municipality, which can be used in projects and research involving hydrology.

Keywords: IDF equations – Pinhalzinho – distributions Gumbel - Chow-Gumbel.

INTRODUÇÃO

A equação IDF, ou equação de chuva, é uma equação desenvolvida para estudos hidrológicos, sendo de total importância para cálculos que envolvam precipitações, como o desenvolvimento de projetos de drenagem urbana, cálculos de cheias e outros cálculos que



dependem dos dados de precipitações, é possível também estimar o tempo de retorno de precipitações máximas prováveis, ou seja chuvas com a intensidade altas e que possam causar danos tanto materiais quanto a vida.

Para que seja possível obter essa equação é necessário que o município tenha pelo menos 1 posto pluviométrico, tenha disponível os dados de pelo menos 10 anos e que os dados sejam sólidos, sem muitas falhas.

O primeiro passo é simplesmente fazer a coleta dos dados do posto escolhido junto ao DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica); Em seguida será feita a definição do ano hidrológico através dos valores totais mensais; O próximo passo é fazer uma análise, criteriosa, se os dados disponíveis possuem uma consistência mínima, caso existam muitas falhas, principalmente no período úmido, o ano hidrológico deverá ser descartado; Após a exclusão dos anos com grande déficit de dados, pegamos os valores máximos de cada ano hidrológico e construímos uma série de dados relacionando o ano hidrológico e qual foi a maior chuva de 1 dia registrada dentro desse ano; Feito isso, podemos determinar a média e o desvio padrão e com esses dados já conseguimos aplica-los na distribuição de Gumbel e estimar chuvas máximas para qualquer período de retorno.

Sendo assim não há como negar a necessidade de ter disponível para o maior número possível de cidades a equação referida, porém não é o que acontece atualmente, hoje muitas cidades, apesar de possuírem postos pluviométricos e dados suficientes para a determinação da equação, ainda não possuem a referida equação que poderia não só facilitar para a elaboração de projetos, mas também os tornar mais exatos e precisos.

Uma dessas cidades que ainda não possui a sua própria equação de chuva é a cidade de Pinhalzinho, que fica no estado de São Paulo. Quando existe a necessidade da equação o município acaba utilizando a fórmula de Bragança Paulista, que é o município mais próximo da região.

Como é o caso de Pinhalzinho, muitas outras cidades ainda não possuem suas próprias equações IDF. O que acaba acontecendo é que as cidades que não possuem essa equação usam os dados de cidades vizinhas, como também ocorre no município em questão, o que não é o correto, podendo afetar o dimensionamento do projeto e posteriormente essas falhas poderão ser a causa de problemas relacionados, como é o caso das inundações. Além dos problemas materiais que as inundações podem trazer o maior risco que elas trazem é a saúde da sociedade, como é o caso de doenças como a leptospirose, diarreia, cólera, e vários outros tipos de doenças.

METODOLOGIA

A cidade de Pinhalzinho foi a escolhida para este trabalho devido ao grande crescimento da cidade. Com novos loteamentos sendo lançados a área permeável do solo acaba aumentando e a necessidade de desenvolver projetos para a captação e condução de águas pluviais só aumentam e para que essas redes de drenagem possam atender a essa demanda o ideal é que o cálculo da rede seja feito com base nos dados hidrológicos do próprio município e não de municípios vizinhos, como ocorre atualmente.

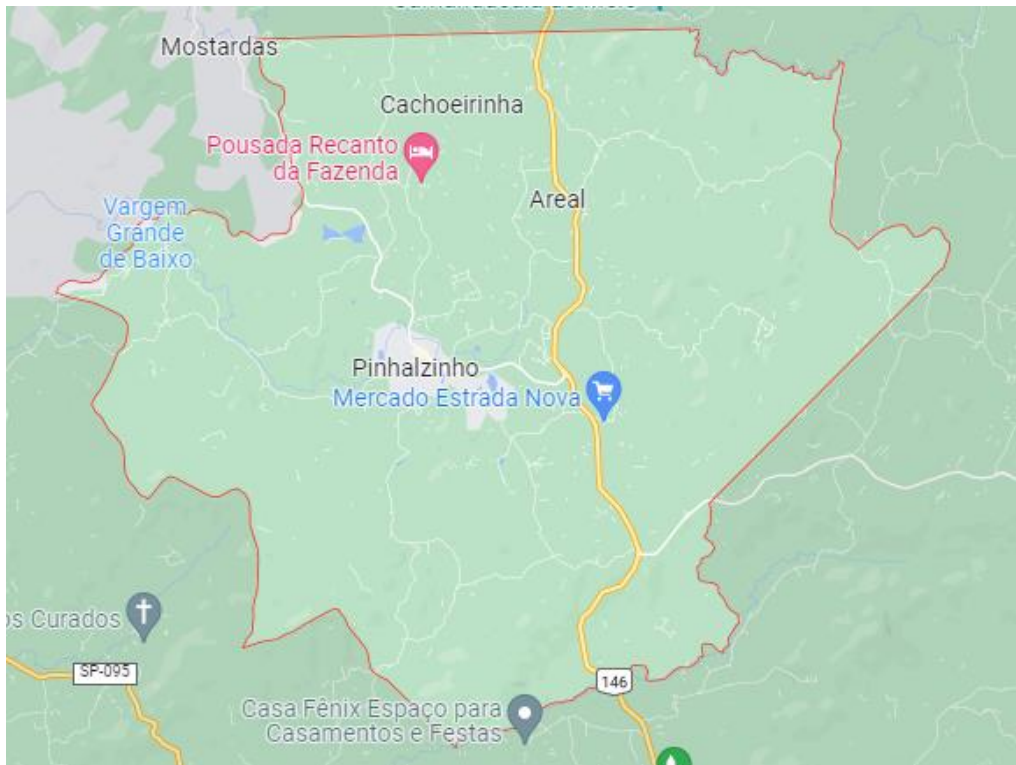


Figura 1 - Território do Município de Pinhalzinho. – (Fonte: google.com).

Pinhalzinho é um município do estado de São Paulo, que conta com cerca de 15400 habitantes (2020) e com um território de aproximadamente 154,95 km².

A cidade é cortada pelo Ribeirão do Pinhal, que desagua no Rio Camanducaia que pertencem a Bacia do Rio Piracicaba que se estende por cerca de 11300 km².



Figura 2 - Bacia do Rio Piracicaba.- (Fonte: <https://www.saisp.br/site/piracicaba.html>)



A equação que se busca desenvolver é relacionada em 3 fatores principais, intensidade, duração e frequência e são definidos das seguintes formas:

Intensidade: A intensidades se refere a altura da chuva, ou seja, a quantidade de chuva precipitada. É possível calcular esse dado através de instrumentos pluviométricos desenvolvidos para esta função, como é o caso do pluviômetro e o pluviógrafo. Segundo a meteorologista Hermsdorff, Juliana temos alguns graus de chuvas: fraca, moderada, forte e muito forte. Consideramos chuva fraca quando a intensidade da chuva é menor que 5,0 milímetros por hora (mm/h), a moderada é quando a chuva ficar entre 5,1 e 25 mm/h, já quando o volume de água ficar entre 25,1 e 50 mm/h a consideramos forte, acima de 50mm/h é chuva muito forte.

Duração: a duração representa o intervalo entre o início e o fim da chuva, podendo ser representada tanto em horas como em minutos. Para ser possível obter esse dado para um determinado período, antes será necessário fazer a análise dos dados de uma chuva diária e transformá-la em uma chuva de 24 horas após isso podemos então estimar a chuva para uma hora daquele dia, por exemplo

A frequência se refere ao tempo de retorno das precipitações, quanto tempo para a próxima chuva de tal intensidade. Para a obtenção desse dado podemos utilizar o método de Hershfield (1961).

Eltz et al. (1992) afirmam que a análise de frequência é uma técnica estatística importante no estudo das chuvas, em razão da grande variabilidade temporal e espacial das precipitações pluviais, as quais não podem ser previstas em bases puramente determinísticas.

1.1- Determinação do ano hidrológico

O ano hidrológico se refere ao período de um ano, porém não ao ano civil e sim aos períodos secos e úmidos de uma determinada região. Cada região possui o seu próprio ano hidrológico e é determinado através da análise dos dados de precipitações totais mensais recolhidos todos os dias por postos pluviométricos e essas informações ficam disponíveis para todos, para que assim possam ser elaborados cálculos que dependam dessas informações. Segundo Simon et al., (2013) a definição do ano hidrológico pela precipitação tem seu início no começo do período chuvoso e termina no final do período seco, contabilizando 12 meses.

Segundo Marcuzzo e Goulart (2013, p. 1), “A determinação e a caracterização do ano hidrológico, bem como a distribuição espacial e o volume pluviométrico precipitado, são importantes fatores para diversos estudos em pluviometria e fluviometria dentro do ciclo hidrológico de uma região”.

Existem muitas áreas da sociedade que necessitam das chuvas, como é o caso da agricultura, pesca e até mesmo a utilização das águas pluviais. Tornando-se assim, imprescindível a definição do ano hidrológico. (Soares et al., 2016)

No caso de cidades onde a agricultura e a pesca são pontos importantes, ter a disposição os dados pluviométricos e o ano hidrológico definido se tornam algo imprescindível dentro do ponto de vista socioeconômico. No caso da agricultura, as espécies de plantas têm suas características próprias, algumas necessitam de mais água que as outras ou necessitam de mais

luz do sol do que outras. O que podemos notar é que sabendo o período chuvoso da região é muito menos provável que um agricultor perca sua colheita por motivos hidrológicos.

Neste estudo de caso será necessário fazer a utilização dos dados pluviométricos da estação pluviométrica D3-036 do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica), onde estão disponíveis os dados, para a cidade de Pinhalzinho do ano de 1940 até 2021. O posto analisado tem uma base de dados de 81 anos, o que é um ponto muito bom para a análise de precipitações máximas e para a execução da distribuição de Gumbel.

Para a determinação do ano hidrológico são utilizados os dados diários e os totais mensais de precipitação do local desejado, a partir desses dados é feita uma análise dos dias e meses, segundo Marcuzzo (...) Os meses secos são considerados aqueles onde a quantidade de chuva em milímetros é igual ou inferior que o dobro da temperatura média em graus celsius. Contudo, é comum que se verifique a sequência de seis meses sequenciais com os menores valores dos mínimos mensais analisados para fazer a definição do período seco do ano hidrológico.

Com a definição dos meses de seca podemos então definir o ano hidrológico do local estudado conforme mostrado na Figura 3.

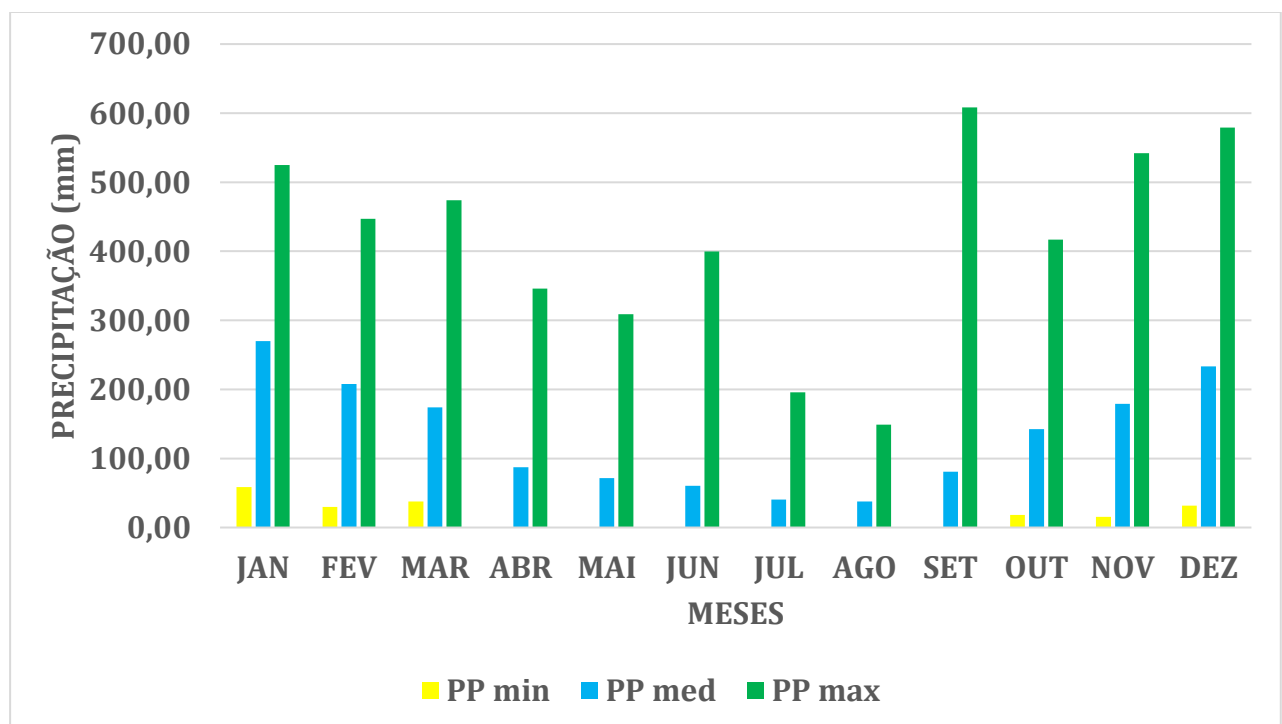


Figura 3 - Ano hidrológico do Município de Pinhalzinho. - (Fonte: Próprio autor).

Este gráfico é a representação do ano hidrológico de Pinhalzinho, onde ‘pp média’ é a precipitação média anual para todos os meses, ‘pp max’ a precipitação máxima e ‘pp min’ a precipitação mínima.

A partir desse gráfico podemos notar que no mês de abril ocorre uma baixa nas alturas das precipitações, que é quando começa o período seco da região. E em outubro é que se volta a ter chuvas mais intensidade e com mais frequência, caracterizando o início do período úmido.

As medições pluviométricas muitas vezes apresentam falhas, sejam falhas na medição, quando os valores são muito maiores ou menores que o esperado para aquele período do ano hidrológico, ou por falta da coleta de dados.

É possível fazer o preenchimento dessas falhas através de alguns métodos, como o método de regressão linear, média aritmética e o método de medias ponderadas.

1.2- Definição da precipitação máxima diária de cada ano hidrológico

Para fazer essa definição serão utilizados os dados das precipitações diárias coletados do posto D-036.

1.3- Distribuição de Gumbel e Gumbel-Chow para determinar precipitações máximas diárias para vários TRs

A distribuição de Gumbel pode ser utilizada para modelar distribuições de máximos ou mínimo de um número de amostras. Para que seja possível obter resultados satisfatórios.

O método de Gumbel é um método comumente utilizado para cálculos hidrológicos ou de probabilidade máxima. Com a utilização desse método e dados de precipitações diárias da região podemos construir um gráfico para a relação de precipitações máximas e o período de retorno.

Usualmente, identifica-se a distribuição estatística de probabilidade de extremos estabelecida por GUMBEL (1956), que pode ser aplicada aos totais anuais e, principalmente aos registros de máxima precipitação diária anual. GUMBEL (1956) demonstrou que “P” é a probabilidade da máxima intensidade média de uma precipitação, de dada duração ser maior ou igual a “X”:

$$P = 1 - e^{-e^{-y}}$$

Em que “y” é a chamada variável reduzida e é definida como:

$$y = -\ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right)$$

Em que “TR” é o chamado período de retorno, em anos, e é definido como:

$$TR \approx \frac{1}{P} = \frac{1}{F}$$

Ou seja, está relacionado à probabilidade (P) de ocorrência de um evento, ou seja, à sua frequência (F), sendo que “F” é definida como sendo:

$$F = \frac{m}{n + 1}$$

Em que “n” é o total de eventos da série, que no caso deste estudo é o total de anos hidrológicos com precipitações diárias máximas anuais, enquanto que “m” é o número de ordem de cada evento registrado dentro desta mesma série histórica.

Com base nisso, GUMBEL (1956) definiu que um valor extremo de precipitação máxima diária anual com frequência “F” e período de retorno “TR”, seria dado pelas seguintes relações:

$$P_{1d,TR} = (\mu - 0,45 * \sigma) + (\mu - 0,45 * \sigma) * y$$

$$y = -\ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right)$$

Em que:

P1d, TR = precipitação diária (ou de 1 dia) para o período de retorno TR, em mm;

y = variável reduzida da distribuição de Gumbel;

μ = média das máximas alturas diárias anuais, em mm;

σ = desvio padrão das máximas alturas diárias anuais, em mm;

TR = período de retorno, em anos.

O método de Gumbel-Chow, ou Chow-Gumbel, pode ser utilizado em situações em que não se dispões de registros pluviográficos, este método utiliza das series históricas obtidas das operações de pluviômetros. O objetivo desse método é tornar possível a definição de equações IDF onde, como dito antes, existem poucos dados pluviográficos disponíveis.

Essa metodologia foi baseada na equação geral de frequência de Chow (1964):

$$X_t = X_n + K.S_n$$

onde,

X_t = valor da precipitação para um período de retorno t

X_n = média da série de n máximos anuais

S_n = desvio padrão da série de n máximos anuais

K = fator de recorrência que varia com as diferentes distribuições de frequência que ajustam aos valores extremos de dados hidrológicos

1.4- Coeficiente de desagregação temporal- CETESB

Para que seja possível dar início aos cálculos para chuvas de diferentes durações é necessário realizar a transformação de chuvas diárias, estimadas estatisticamente para diversos períodos de retorno, em chuvas de duração de 24h. Apenas após isso, pode-se realizar a desagregação das chuvas de 24h de duração em chuvas com durações menores.

WEISS (1964) determinou a relação entre chuvas de 1 dia e chuvas com duração contínua de 24h como sendo:

$$\frac{PP_{24h}}{PP_{1dia}} = 1,143$$

Para obter as chuvas com durações inferiores a 24h, serão utilizados os coeficientes de desagregação adotados pela CETESB (1979) para o Estado de São Paulo, conforme mostrado na Figura 4.

Relação entre Alturas Pluviométrica	Coefficiente de Desagregação
5min / 30min	0,34
10min / 30min	0,54
15min / 30min	0,70
20min / 30min	0,81
25min / 30min	0,91
30min / 1h	0,74
1h / 24h	0,42
6h / 24h	0,72
8h / 24h	0,78
10h / 24h	0,82
12h / 24h	0,85

Figura 4 – Relação entre as alturas pluviométricas para precipitações de mesma frequência e diferentes durações. (CETESB, 1979)

Com os coeficientes de desagregação adotados pela CETESB (1979) para o Estado de São Paulo é possível gerar relações entre chuvas de diferentes durações com uma chuva de 24 horas conforme mostrado na Figura 5.

Relação entre Alturas Pluviométrica	Coefficiente de Desagregação
5min / 24h	0,106
10min / 24h	0,168
15min / 24h	0,218
20min / 24h	0,252
25min / 24h	0,283
30min / 24h	0,311
1h / 24h	0,420
3h / 24h	0,607

Relação entre Alturas Pluviométrica	Coefficiente de Desagregação
6h / 24h	0,720
8h / 24h	0,780
10h / 24h	0,820
12h / 24h	0,850

Figura 5 – Relação Coef. Chuvas de diferentes durações com chuvas de 24 horas.

1.5- Equação IDF Tipo “DAEE-FCTH”

Para tanto, levando em conta que as relações IDF apresentadas para o posto pluviométrico analisado foram produzidas por intermédio da distribuição estatística de Gumbel aliada às expressões propostas por Ven-Te-Chow, pode-se falar que as relações IDF podem ser equacionadas, conforme DAEE (1999), como sendo:

$$i_{t,TR} = M_{(i)t} + \sigma_{(i)t} * K_{n,TR}$$

com:

$$K_{n,TR} = \frac{(y - \bar{y})}{\sigma_y} = - \left(\frac{\bar{y}}{\sigma_y} \right) - \left(\frac{1}{\sigma_y} \right) * \ln \ln \left(\frac{TR}{TR - 1} \right)$$

Em que:

$i_{t,TR}$: intensidade de chuva (mm/min) para a duração t (min) e período de retorno TR (anos);

$M_{(i)t}$: média das intensidades médias das chuvas intensas correspondentes à duração t;

$\sigma_{(i)t}$: desvio-padrão das intensidades médias das chuvas intensas correspondente à duração t;

$K_{n,TR}$: fator de frequência para a distribuição de Gumbel, função do número de anos da série de precipitações e do período de retorno TR;

y : variável reduzida da distribuição de Gumbel;

\bar{y} : média da variável reduzida da distribuição de Gumbel;

σ_y : desvio-padrão da variável reduzida da distribuição de Gumbel;

Além disso, a expressão de $K_{n,TR}$ pode ser reescrita como:

$$K_{n,TR} = G + H * \ln \ln \left(\frac{TR}{TR - 1} \right)$$

Segundo DAEE (1999), admite-se a hipótese de que a média e o desvio-padrão das intensidades médias das chuvas variem com a duração, por meio de expressões do tipo:

$$\begin{aligned} M_{(i)t} &= A * (t + B)^C \\ \sigma_{(i)t} &= D * (t + E)^F \end{aligned}$$

Em que:

A, B, C, D, E e F são parâmetros a serem definidos para cada localidade.

Combinando as quatro expressões apresentadas, obtêm-se a formulação matemática de uma equação IDF denominada como sendo do tipo “DAEE - FCTH”:

$$i_{t,TR} = A * (t + B)^C + D * (t + E)^F * \left[G + H * \ln \ln \left(\frac{TR}{TR - 1} \right) \right]$$

Em que:

$i_{t,TR}$: intensidade de chuva (mm/min) para a duração t (min) e período de retorno TR (anos);

t : duração da chuva (min);

TR : período de retorno (anos);

A, B, C, D, E, F, G e H : valores que dependem da duração da chuva e do local em estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.1 - Precipitações Diárias Máximas Anuais

Diante os dados e análises realizadas podemos então chegar aos resultados conforme Figura 6, a tabela representa a maior chuva do ano hidrológico citado.

Por falta de dados foram desconsiderados os anos hidrológicos de 1950 a 1951, 1951 a 1952, 1952 a 1953 e 2020 a 2021.

Ano Hidrológico			Ano Hidrológico		
Início	Final	PP máx. (mm)	Início	Final	PP máx. (mm)
01/10/1941	30/09/1942	206,1	01/10/1982	30/09/1983	104,5
01/10/1942	30/09/1943	46,4	01/10/1983	30/09/1984	59
01/10/1943	30/09/1944	31,5	01/10/1984	30/09/1985	82
01/10/1944	30/09/1945	115	01/10/1985	30/09/1986	57,5
01/10/1945	30/09/1946	85	01/10/1986	30/09/1987	59,3
01/10/1946	30/09/1947	75	01/10/1987	30/09/1988	72,2
01/10/1947	30/09/1948	84	01/10/1988	30/09/1989	93,8
01/10/1948	30/09/1949	49	01/10/1989	30/09/1990	87,7
01/10/1949	30/09/1950	110	01/10/1990	30/09/1991	85,1
01/10/1953	30/09/1954	90	01/10/1991	30/09/1992	95,1
01/10/1954	30/09/1955	92	01/10/1992	30/09/1993	45,8
01/10/1955	30/09/1956	90	01/10/1993	30/09/1994	54,4
01/10/1956	30/09/1957	75	01/10/1994	30/09/1995	23,5
01/10/1957	30/09/1958	45	01/10/1995	30/09/1996	65,6
01/10/1958	30/09/1959	50,5	01/10/1996	30/09/1997	92
01/10/1959	30/09/1960	87	01/10/1997	30/09/1998	65,8
01/10/1960	30/09/1961	109	01/10/1998	30/09/1999	120
01/10/1961	30/09/1962	70	01/10/1999	30/09/2000	70
01/10/1962	30/09/1963	65	01/10/2000	30/09/2001	123
01/10/1963	30/09/1964	75	01/10/2001	30/09/2002	121,5
01/10/1964	30/09/1965	83	01/10/2002	30/09/2003	39,7
01/10/1965	30/09/1966	65	01/10/2003	30/09/2004	69
01/10/1966	30/09/1967	50	01/10/2004	30/09/2005	146,2
01/10/1967	30/09/1968	50	01/10/2005	30/09/2006	56,3
01/10/1968	30/09/1969	50	01/10/2006	30/09/2007	96
01/10/1969	30/09/1970	60	01/10/2007	30/09/2008	71,1
01/10/1970	30/09/1971	155	01/10/2008	30/09/2009	74,8
01/10/1971	30/09/1972	67,8	01/10/2009	30/09/2010	69
01/10/1972	30/09/1973	55,2	01/10/2010	30/09/2011	86,4
01/10/1973	30/09/1974	79,5	01/10/2011	30/09/2012	72,6
01/10/1974	30/09/1975	93,2	01/10/2012	30/09/2013	55,5
01/10/1975	30/09/1976	89,2	01/10/2013	30/09/2014	65,2
01/10/1976	30/09/1977	93,4	01/10/2014	30/09/2015	71,9
01/10/1977	30/09/1978	78,4	01/10/2015	30/09/2016	76
01/10/1978	30/09/1979	73,4	01/10/2016	30/09/2017	67,2
01/10/1979	30/09/1980	76,5	01/10/2017	30/09/2018	73,7
01/10/1980	30/09/1981	97,2	01/10/2018	30/09/2019	68,8
01/10/1981	30/09/1982	92,5	01/10/2019	30/09/2020	54

Figura 6 – Precipitações Diárias Máximas Anuais.

2.2 - Definição do desvio padrão e da média de valores de precipitações máximas diárias dos anos hidrológicos selecionados.

Para a definição do desvio padrão e da média das precipitações máximas diárias utilizamos os dados das precipitações máximas citada no item 2.1.

O resultado que chegamos para o desvio padrão foi de 28,1 mm e o resultado para a média foi de 78,3 mm, para uma série com 76 anos hidrológicos considerados.

2.3 - Distribuição de Gumbel e Gumbel-Chow para determinar precipitações máximas diárias para vários TRs

Com base nas informações apresentadas no item 2.2, e utilizando as distribuições estatísticas de Gumbel e Gumbel-Chow, foi possível obter os resultados apresentados na Figura 7 e na Figura 8.

TR (anos)	y	Gumbel	Gumbel-Chow	
		PP (mm)	K	PP (mm)
5	1,500	98,5	0,943	104,8
10	2,250	115,0	1,682	125,6
15	2,674	124,3	2,066	136,4
20	2,970	130,7	2,355	144,5
25	3,199	135,8	2,575	150,7
50	3,902	151,2	3,250	169,7
100	4,600	166,5	3,921	188,5

Figura 7 – Resultados da Distribuição de Gumbel e Gumbel Chow.

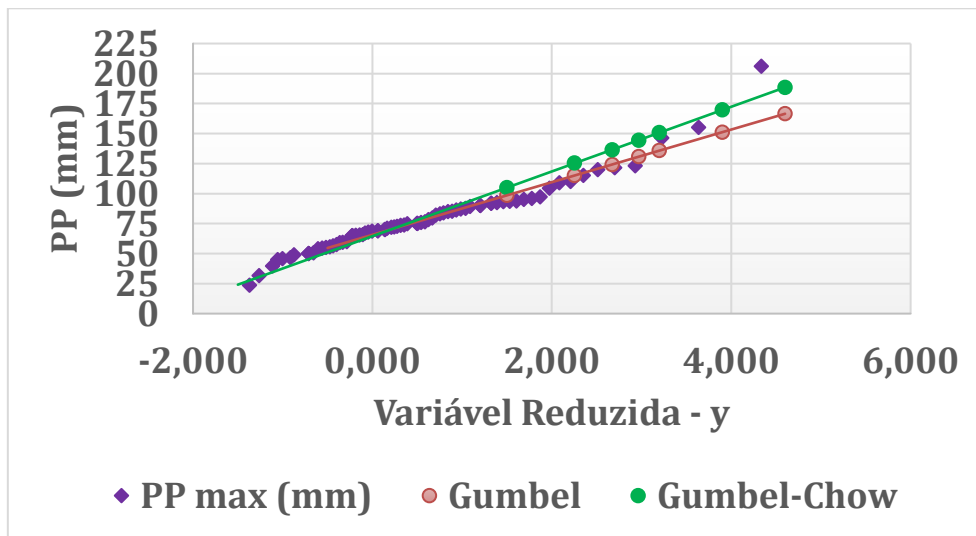


Figura 8 – Resultados da distribuição de Gumbel e Gumbel Chow.

Verifica-se que a distribuição de Gumbel-Chow fornece melhores resultados para chuvas mais raras.

2.4 - Equação IDF Tipo “DAEE-FCTH”

Tomando o tipo de equação “DAEE-FCTH” e as relações IDF produzidas por meio de análises estatísticas dos dados históricos do posto pluviométrico D3-036, foi possível obter, por meio de regressão não-linear, os valores dos parâmetros A, B, C, D, E, F, G e H. Com isso, a nova equação IDF proposta para o município de Pinhalzinho ser escrita como sendo:

$$i = 15,17 * (t + 15)^{-0,7815} + 25,87 * (t + 15)^{-0,7815} * \left\{ 0 - 0,2449 * \ln \left[\ln \left(\frac{TR}{TR - 1} \right) \right] \right\}$$

para $TR \geq 5$ anos e para $t \geq 10$ min

Em que:

$i_{t,TR}$: intensidade de chuva (mm/min) para a duração t (min) e período de retorno TR (anos);

t : duração da chuva (min);

TR : período de retorno (anos);

Esta nova equação IDF apresenta pequena variação em relação aos dados de chuva obtidos pelas análises estatísticas do posto pluviométrico D3-036, ou seja, demonstrando grande aderência aos dados existentes.

Sendo assim, a nova equação de chuva proposta para o município de Pinhalzinho produz os seguintes resultados apresentados nas Figuras 9, 10, 11, 12.

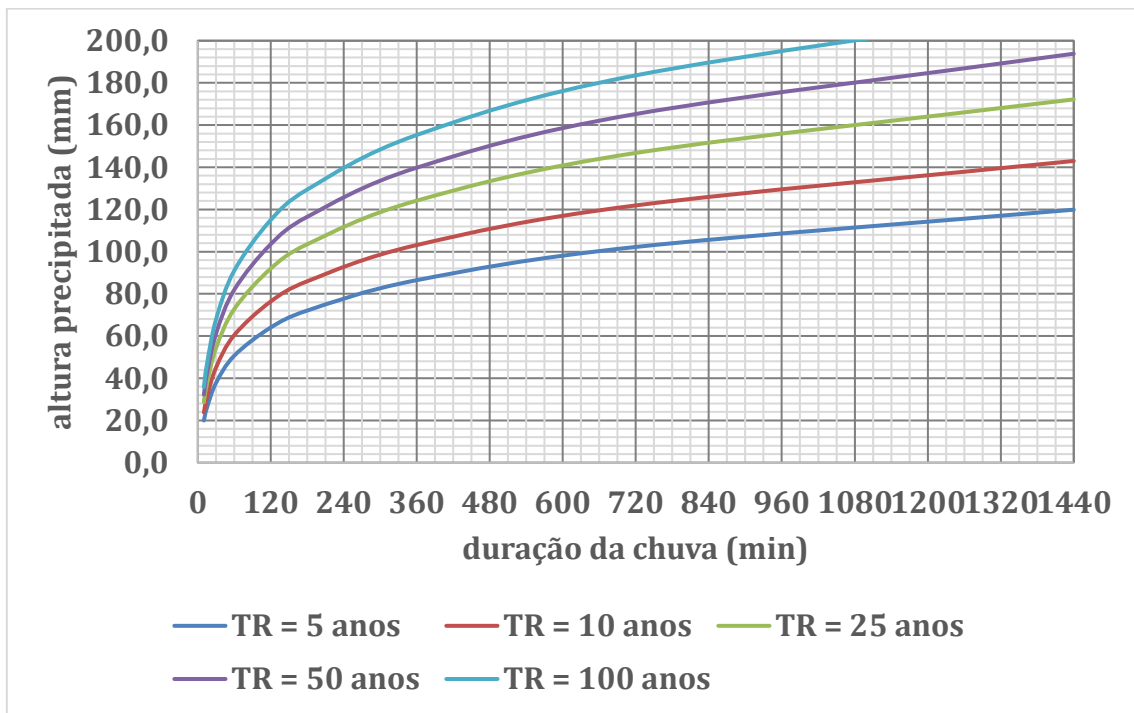


Figura 9 – Totais precipitados (mm) conforme período de retorno e duração da chuva para a nova equação de chuva proposta para o município de Pinhalzinho - SP.

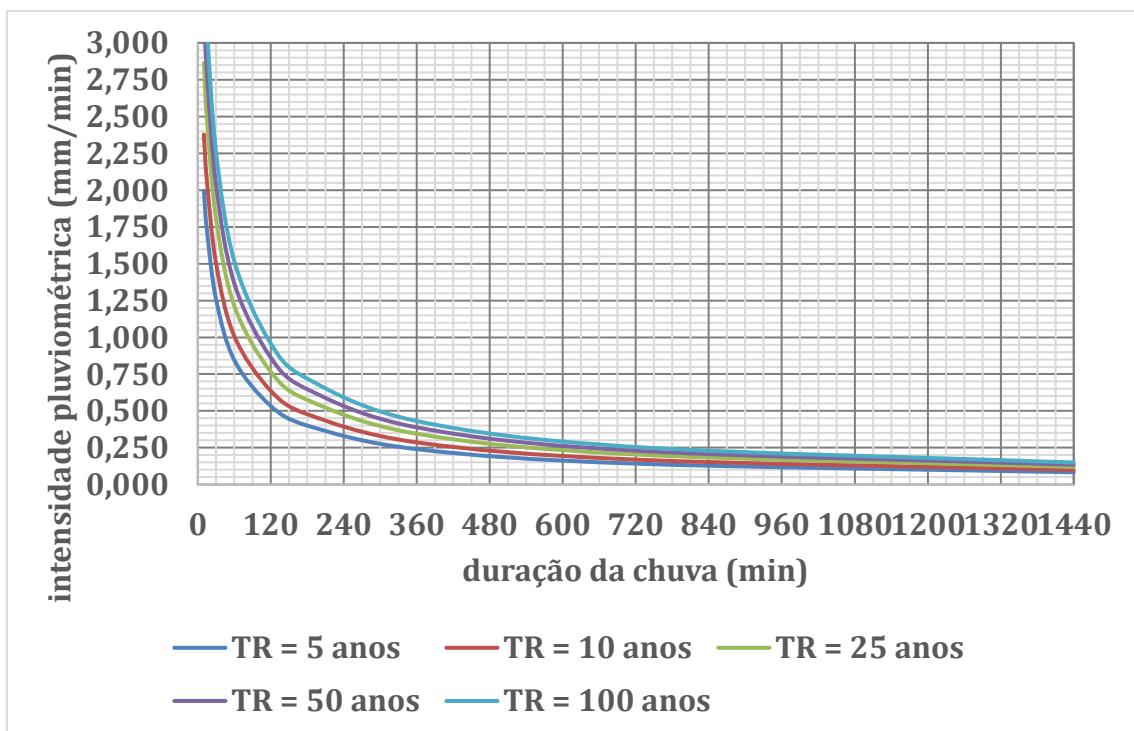


Figura 10 – Intensidade pluviométrica (mm/min) conforme período de retorno e duração da chuva para a nova equação de chuva proposta para o município de Pinhalzinho-SP.

TR (anos)	DURAÇÃO DA CHUVA								
	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min	180 min	360 min	720 min	1440 min
5	20,1	26,1	37,2	50,3	63,9	72,8	86,3	101,8	119,8
10	24,1	31,2	44,6	60,3	76,9	87,2	103,3	122,0	143,5
15	26,2	33,9	48,4	65,5	83,1	94,7	112,2	132,5	155,9
20	27,7	35,9	51,3	69,4	88,1	100,3	118,9	140,4	165,2
25	28,9	37,5	53,5	72,3	91,9	104,6	124,0	146,4	172,2
50	32,5	42,2	60,3	81,4	103,4	117,8	139,6	164,8	193,9
100	36,2	46,9	67,0	90,5	114,9	130,9	155,1	183,1	215,5

Figura 11 – Totais precipitados (mm) conforme período de retorno e duração da chuva para a nova equação de chuva proposta para o município de Pinhalzinho - SP.

TR (anos)	DURAÇÃO DA CHUVA								
	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min	180 min	360 min	720 min	1440 min
5	2,011	1,738	0,931	0,893	0,532	0,404	0,240	0,141	0,083
10	2,409	2,082	1,115	1,005	0,638	0,484	0,287	0,169	0,100
15	2,616	2,261	1,211	1,091	0,693	0,526	0,312	0,184	0,108
20	2,772	2,395	1,283	1,15	0,734	0,557	0,330	0,195	0,115
25	2,891	2,498	1,338	1,206	0,766	0,581	0,344	0,203	0,120
50	3,254	2,812	1,507	1,357	0,862	0,654	0,388	0,229	0,135
100	3,616	3,125	1,674	1,508	0,958	0,727	0,431	0,254	0,150

Figura 12 – Intensidade pluviométrica (mm/min) conforme período de retorno e duração da chuva para a nova equação de chuva proposta para o município de Pinhalzinho - SP.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento da equação de chuva, conforme pudemos notar, não é algo a ser feito de um dia para o outro, porém é algo que será utilizado em muitas ocasiões, economizando muito tempo de trabalho, economia de dinheiro, e muito mais segurança para cálculos hidrológicos. É ideal que para todos os cálculos que envolvem a hidrologia seja utilizado os dados e equações da própria cidade onde o projeto será executado, pois o fato de utilizar os dados de cidades da região pode trazer muita incerteza e falta de segurança para o dimensionamento de redes de drenagem, bacias hidrológicas e outros tipos de projetos.

Com o que foi desenvolvido nessa pesquisa, é possível fazer previsões aproximadas de tempo de retorno para precipitações de varias intensidades e durações, fazendo assim que seja evitado enchentes, evitar secas, no caso de bacias de contenção. Embora o DAEE forneça dados para o desenvolvimento de todos esses dados, como precipitações máximas, os gráficos desenvolvidos com Gumbel e Gumbel Chow, tudo que foi apresentado, ele não nos mostra todo



o passo a passo para que seja possível chegar nesses resultados. Executando todos os passos apresentados nessa pesquisa, tendo dados disponíveis, é possível desenvolver esses dados para qualquer cidade.

REFERÊNCIAS

COSTA, Cavalcanti Rodrigo Luiz; SANTOS, Silva Carlos Henrique dos; DE, Jesus Elielma Santana; CUNHA, Filho Moacyr; TATIJANA, Stošić. ESTUDO DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL E TEMPO DE RETORNO EM RECIFE (PE). **Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Rural: COMPARTILHANDO CONHECIMENTOS INOVADORES E EXPERIÊNCIAS**, [S.L.], 2018. Instituto Internacional Despertando Vocações. <http://dx.doi.org/10.31692/2526-7701.iiicointerpdvagro.2018.00125>.

COTTA, Higor Henrique Aranda; CORREA, Wesley de Souza Campos; ALBUQUERQUE, Taciana Toledo de Almeida. Aplicação da distribuição de Gumbel para valores extremos de precipitação no município de Vitória-ES. **Revista Brasileira de Climatologia**.

GANDINI, Maria Luíza Teófilo; QUEIROZ, Paulo Ivo Braga de. Análise de modelos probabilísticos de frequência para obtenção de equações IDF na cidade de Cunha-SP. **Revista Dae**, [S.L.], v. 66, n. 211, p. 105-117, 2018. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2018.017>.

GENOVEZ, Abel Maia; ZUFFO, Antonio Carlos. Chuvas intensas no estado de São Paulo: estudos existentes e análise comparativa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 45-58, jun. 2000.

GUMBEL, E.J. Méthods graphiques pour l'analyse des débits de creu. *La Houille Blanche*. p,709-717, 1956.

PEREIRA, Daniela Carneiro; DUARTE, Letícia Rodrigues; SARMENTO, Antover Panazzolo. DETERMINAÇÃO DA CURVA DE INTENSIDADE, DURAÇÃO E FREQUÊNCIA DO MUNICÍPIO DE IPAMERI – GOIÁS. Rec - **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 1-14, 17 ago. 2017. Universidade Federal de Goiás. <http://dx.doi.org/10.5216/reec.v13i2.43330>.

PINTO, Nelson L. de Souza; HOLTZ, Antônio Carlos Tatit; MARTINS, José Augusto; GOMIDE, Francisco Luiz Sibut. **Hidrologia Básica**.



Silva. Estudo da precipitação máxima provável e tempo de retorno em Recife.
Congresso internacional das ciências agrárias – cointer pdvagro 2018.

SILVA, Francisco Osny Enéas da; PALÁCIO, Francisco Flávio Rocha; CAMPOS, José Nilson Bezerra. Equação de chuvas para Fortaleza-CE com dados do pluviógrafo da UFC. **Revista Dae**, [S.L.], v. 61, n. 192, p. 48-59, maio 2013. Revista DAE.
<http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.106>.