v7.n9.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

EQUAÇÕES INTENSIDADE–DURAÇÃO–FREQUÊNCIA (IDF) PARA O MUNICÍPIO DE PONTAL DO PARANÁ (PR): AJUSTE ESTATÍSTICO E IMPLICAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DA DRENAGEM URBANA

INTENSITY–DURATION–FREQUENCY (IDF) EQUATIONS FOR THE MUNICIPALITY OF PONTAL DO PARANÁ (PR): STATISTICAL FIT AND IMPLICATIONS FOR URBAN DRAINAGE DESIGN

ECUACIONES DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA (IDF) PARA EL MUNICIPIO DE PONTAL DO PARANÁ (PR): AJUSTE ESTADÍSTICO E IMPLICACIONES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL DRENAJE URBANO

Bruno Borges de Ramos[1], Marcello Henrique Ruffini de Oliveira[1], Pieter Hans Prall[1], Thais Assumpção dos Santos[1], Karina Guedes Cubas do Amaral[2], Cintia Miua Maruyama[3], Virnei Silva Moreira[4], Fernando Augusto Silveira Armani[5]

e798933
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i9.8933

PUBLICADO: 09/2026

RESUMO

As equações intensidade–duração–frequência (IDF) constituem uma das principais ferramentas para o dimensionamento de sistemas de drenagem urbana e demais obras hidráulicas. Entretanto, muitos municípios brasileiros ainda utilizam equações desenvolvidas para localidades vizinhas, o que pode comprometer a representatividade das estimativas de chuva intensa. Este estudo teve como objetivo ajustar equações IDF para o município de Pontal do Paraná (PR) a partir de séries históricas de precipitação máxima anual obtidas em três estações pluviométricas locais. As precipitações subdiárias foram estimadas por meio do método de desagregação DAEE/CETESB, sendo a análise de frequência realizada pela distribuição de Gumbel e o ajuste das equações efetuado por regressão não linear. Os resultados evidenciaram diferenças entre as estimativas obtidas para as três estações. Entretanto, considerando as diferenças na extensão e nos períodos de observação das séries, tais variações não podem ser atribuídas exclusivamente à variabilidade espacial das chuvas intensas no município. A estação Ipanema, com série histórica mais extensa, apresentou os ajustes estatísticos mais consistentes e maior confiabilidade para aplicação em projetos de drenagem. As demais estações forneceram estimativas preliminares, cuja utilização deve considerar as limitações decorrentes da reduzida extensão das séries. Os resultados reforçam a importância da utilização de equações IDF locais, proporcionando maior representatividade hidrológica e contribuindo para o dimensionamento mais adequado de dispositivos de drenagem urbana em Pontal do Paraná.

PALAVRAS-CHAVE: Chuvas intensas. Equações IDF. Drenagem urbana.

ABSTRACT

Intensity–duration–frequency (IDF) equations are one of the main tools for designing urban drainage systems and other hydraulic structures. However, many Brazilian municipalities still use equations developed for neighboring locations, which can compromise the representativeness of intense rainfall estimates. The objective of this study was to calibrate IDF equations for the

[1] Graduando(a) em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Pontal do Paraná, Paraná, Brasil.
[2] Doutora em Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos. Docente da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Pontal do Paraná, Paraná, Brasil.
[3] Doutora em Ciências. Docente da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Pontal do Paraná, Paraná, Brasil.
[4] Doutor em Física. Docente da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Pontal do Paraná, Paraná, Brasil.
[5] Doutor em Métodos Numéricos em Engenharia. Docente da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Pontal do Paraná, Paraná, Brasil.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

municipality of Pontal do Paraná (PR) using historical series of annual maximum precipitation obtained from three local rain gauge stations. Sub-daily precipitation was estimated using the DAEE/CETESB disaggregation method, with frequency analysis performed using the Gumbel distribution and equation adjustment carried out via nonlinear regression. The results revealed differences among the estimates obtained for the three stations. However, given the differences in the length and in the observation periods of the series, these variations cannot be attributed exclusively to the spatial variability of heavy rainfall within the municipality. The Ipanema station, with the longest historical series, yielded the most consistent statistical fits and the highest reliability for application in drainage projects. The other stations provided preliminary estimates, the use of which must take into account the limitations arising from the short duration of the series. The results reinforce the importance of using local IDF equations, which provide greater hydrological representativeness and contribute to more appropriate sizing of urban drainage systems in Pontal do Paraná.

KEYWORDS: *Heavy rainfall. IDF equations. Urban drainage.*

RESUMEN
Las ecuaciones de intensidad-duración-frecuencia (IDF) constituyen una de las principales herramientas para el dimensionamiento de sistemas de drenaje urbano y otras obras hidráulicas. Sin embargo, muchos municipios brasileños siguen utilizando ecuaciones desarrolladas para localidades vecinas, lo que puede comprometer la representatividad de las estimaciones de lluvia intensa. El objetivo de este estudio fue ajustar las ecuaciones IDF para el municipio de Pontal do Paraná (PR) a partir de series históricas de precipitación máxima anual obtenidas en tres estaciones pluviométricas locales. Las precipitaciones subdiarias se estimaron mediante el método de desagregación DAEE/CETESB, realizándose el análisis de frecuencia mediante la distribución de Gumbel y el ajuste de las ecuaciones mediante regresión no lineal. Los resultados pusieron de manifiesto diferencias entre las estimaciones obtenidas para las tres estaciones. Sin embargo, considerando las diferencias en la extensión y en los períodos de observación de las series, tales variaciones no pueden atribuirse exclusivamente a la variabilidad espacial de las lluvias intensas en el municipio. La estación de Ipanema, con la serie histórica más extensa, presentó los ajustes estadísticos más consistentes y una mayor fiabilidad para su aplicación en proyectos de drenaje. Las demás estaciones proporcionaron estimaciones preliminares, cuya utilización debe tener en cuenta las limitaciones derivadas de la reducida extensión de las series. Los resultados refuerzan la importancia del uso de ecuaciones IDF locales, ya que proporcionan una mayor representatividad hidrológica y contribuyen a un dimensionamiento más adecuado de los sistemas de drenaje urbano en Pontal do Paraná.

PALABRAS CLAVE*: Lluvias intensas. Ecuaciones IDF. Drenaje urbano.*

1. INTRODUÇÃO

A região litorânea do Paraná tem sido frequentemente impactada por eventos de precipitação intensa, caracterizados por elevados volumes de chuva concentrados em curtos intervalos de tempo. Esses eventos têm provocado diversos efeitos negativos no ambiente urbano, como enchentes, alagamentos e deslizamentos de encostas. Tal cenário tem se agravado nas últimas décadas em função das mudanças climáticas. Apesar da elevada

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

suscetibilidade da região litorânea do Paraná à ocorrência de chuvas intensas, o dimensionamento de sistemas de drenagem urbana ainda depende, em muitos casos, de equações IDF desenvolvidas para municípios vizinhos ou desatualizadas, o que pode comprometer a representatividade hidrológica local e resultar em projetos sub ou superdimensionados. Estudos demonstram que a relação intensidade–duração–frequência apresenta variabilidade espacial associada às características climáticas e fisiográficas, de modo que a utilização de equações locais ou regionalizadas adequadamente validadas tende a aumentar a representatividade das estimativas de chuva de projeto (Kareem *et al.*, 2022; Corapi; Neira, 2022).

Para Pontal do Paraná são utilizadas equações IDF de Antonina, o que pode comprometer a representação hidrológica local e tornar inadequado o dimensionamento das estruturas de drenagem. As curvas IDF constituem um dos principais instrumentos do dimensionamento hidrológico urbano, expressando a relação entre a intensidade máxima média de precipitação, a duração do evento e o período de retorno associado. Sua determinação é etapa fundamental em projetos de drenagem urbana, bacias de detenção, dimensionamento de galerias pluviais e obras de controle de cheias (Tucci, 2004).

Este estudo teve como objetivo ajustar e avaliar equações intensidade-duração-frequência (IDF) para o município de Pontal do Paraná, utilizando séries históricas de precipitação provenientes de três estações pluviométricas locais, comparando seus resultados e discutindo suas implicações para o dimensionamento de sistemas de drenagem urbana, com períodos de retorno de 2, 5, 10 e 20 anos. A análise segue as diretrizes estabelecidas pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE, 1994), pela CETESB (1986) e pelas recomendações técnicas de Tucci (2004) e Villela e Mattos (1975).

1.1. Referencial Teórico

As catástrofes causadas pela chuva no período de 2013 a 2023 foram responsáveis por mais de 80% das perdas de vidas causadas por desastres no território brasileiro (CNM, 2024). A região Sul se destaca no segundo lugar, concentrando mais de 14% do total destas mortes. No intervalo de 2015 a 2025 somente o Estado do Paraná teve 4.467 óbitos por causa da chuva e ela causou um prejuízo material de R$ 32,7 bilhões (Porta, 2026). Por isso é importante a realização de pesquisas sobre os eventos extremos de precipitação, principalmente atualizando dados locais para tornar as previsões e cálculos mais precisos.

O litoral paranaense é um dos menos representativos dentro do cenário brasileiro, com cerca de 100 km, dentro de um total nacional de cerca de 8.000 km. As chuvas estão

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

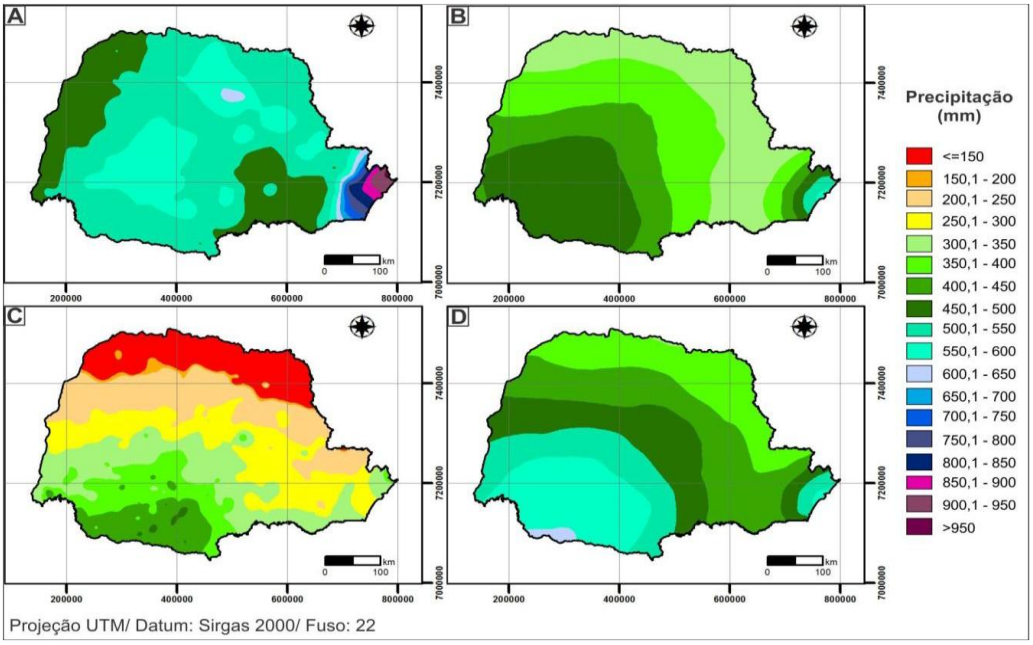
concentradas nos meses de verão e há variabilidade do total médio anual e do sazonal, com diferenças entre as planícies e as áreas de maior cota, sendo nestas últimas que ocorreram os maiores volumes pluviométricos.

Nos anos em que o fenômeno El Niño esteve atuante ocorreram registros acima da média, indicando relação entre o evento climático e as chuvas na região (Vanhoni; Mendonça, 2008). Isso é particularmente preocupante, pois no atual ano de 2026 há a previsão de um intenso El Niño, com previsão de aquecimentos recordes no oceano, então a região litorânea do PR deve sofrer com o evento climático, com riscos para chuvas intensas e alagamentos. As previsões indicam que as cidades litorâneas e as localizadas na faixa a leste da Serra do Mar paranaense serão atingidas por chuvas com maior intensidade do que as da região mais continental do estado. Os pesquisadores sugerem a necessidade de estudos locais nessas cidades para melhor administração de desastres provocados pelo clima (Silva *et al.*, 2022). As mudanças climáticas tendem a acentuar a ocorrência dos eventos climáticos extremos e é necessário que as cidades se preparem para essa mudança, com a adequação dos projetos de engenharia e de drenagem urbana, por exemplo.

Sobre a precipitação média anual, Pontal do Paraná (2.189,5 mm) é indicado como um dos municípios mais chuvosos do Estado, considerando que a precipitação média estadual é de 1.682,7 mm. Entre as demais localidades do litoral, o município supera Paranaguá (2.180,2 mm) e Matinhos (2.131,3 mm). Sendo assim, ações no sentido de tornar mais precisos os cálculos para as infraestruturas urbanas de drenagem são importantes (Mello; Sampaio, 2019), e as curvas de Intensidade–Duração–Frequência (IDF) são essenciais para estes cálculos. A Figura 1 ilustra a precipitação média em mm para o Estado, nota-se que a região litorânea concentra os valores mais elevados para o verão.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 1. Precipitação média no estado do Paraná



Fonte: Mello e Sampaio (2019).

O conhecimento sobre as chuvas extremas com relação à intensidade, à duração e à frequência é essencial para o controle do escoamento superficial. Aplica-se em diversos projetos de engenharia, como os de drenagem urbana, entre eles galerias, bocas de lobo e drenagem subsuperficial de pavimentação, além de outros de contenção, como reservatórios de detenção e canalização de rios (Petrucci; Oliveira, 2019). Estes projetos necessitam de informações sobre a probabilidade de ocorrência de chuvas máximas anuais com durações de minuto a 24 horas ou mais (Gonzaga *et al.*, 2024). Outras obras de porte da engenharia também necessitam das curvas IDF, como o cálculo de barragens e reservatórios de água; nesse caso, elas são usadas para calcular a intensidade da chuva para longos períodos de retorno, como 1.000 anos e verificação para 10.000 anos no caso de barragens. Ultimamente, técnicas que utilizam a natureza como recurso e estratégia para complementar os sistemas tradicionais de drenagem urbana têm sido estudadas e aplicadas, ainda de forma inicial, em algumas localidades brasileiras. Essas técnicas são denominadas Soluções Baseadas na Natureza (SbN). Por exemplo, em São Paulo/SP tipologias como jardins de chuva e biovaletas vêm sendo adotadas (Barbosa; Tornello, 2025). Mas as SbN também necessitam de dados das curvas IDF para seu cálculo e dimensionamento.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

As mudanças climáticas trazem desafios à gestão de riscos e dimensionamentos hídricos, estudos mostram que elas tendem a aumentar as chuvas de projeto. Uma pesquisa desenvolvida na Grécia indica que até o ano de 2100 há a projeção de uma elevação na intensidade na precipitação com duração de 1 hora no cenário climático médio, para todos os períodos de retorno analisados. O escoamento superficial urbano previsto indicou variabilidade elevada, de 22,2 mm a 73,8 mm, conforme o cenário analisado, com diferenças percentuais de 0,02%, 86% e 232% para os cenários inferior, médio e superior, respectivamente (Kourtis *et al.*, 2022). Essa elevação na precipitação implicará a necessidade de ajuste dos projetos para manejo das águas da chuva no meio urbano e os projetistas deverão escolher as melhores alternativas do ponto de vista técnico e financeiro, sem deixar de considerar a segurança da obra. Tais dados também são essenciais para a gestão de riscos hidroclimáticos, como demonstram os desastres provocados pelas cheias ocorridas no Rio Grande do Sul entre 2023 e 2024, que impactaram ao menos 5,5 milhões de pessoas (Albuquerque, 2026).

Algumas dificuldades enfrentadas na determinação dos modelos que descrevem a relação IDF se encontram na disponibilidade de registros pluviográficos e na escassez desses dados no Brasil de forma geral. Outra questão é que a metodologia para sua obtenção requer um trabalho amplo de tabulação, análise e interpretação de elevada quantidade de pluviogramas. Entretanto, no setor de energia elétrica é onde existe a maior quantidade de rede pluviométrica instalada (Santos *et al.*, 2009).

Destaca-se também que normalmente os dados disponíveis das estações pluviométricas são os diários. É importante a instalação de estações capazes de medir os dados da chuva para tempos menores que 24 horas, com a intenção de confirmar os resultados verificados, pois neste caso as informações para chuvas inferiores a 24 horas são obtidas de forma sintética, o que pode diminuir a precisão dos eventos estimados (Gonzaga *et al.*, 2024). Estudos recentes sugerem outras alternativas para a verificação e análise do regime das chuvas para a elaboração da curva IDF, como o sensoriamento remoto com o uso de radares de alta resolução e posteriormente o ajuste das distribuições estatísticas para representar os eventos extremos (Ghebreyesus; Sharif, 2021).

Para a determinação da relação IDF e da frequência de ocorrência de eventos extremos de precipitação, é amplamente utilizada a distribuição do Tipo I, conhecida como distribuição de Gumbel, que permite estimar a frequência de ocorrência de chuvas máximas em determinado local (Cardoso; Ulmann; Bertol, 1998). A análise de dados extremos de precipitação tem sido adotada na construção de curvas IDF, sendo empregada em estudos recentes por meio da distribuição de Gumbel (Soto-Escobar *et al.*, 2026; Gomes Júnior *et al.*, 2021). De maneira geral,

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

as distribuições *Generalized Extreme Value* (GEV) e de Gumbel são as duas formas teóricas mais adotadas para a análise de valores extremos em hidrologia. A GEV usa três parâmetros para realizar os cálculos. Quando há poucos dados disponíveis, tais parâmetros podem ser estimados com pouca precisão, fazendo com que os resultados variem bastante (Kourtis *et al.*, 2012). Assim, levando em consideração a restrita quantidade de dados disponível, adotou-se a distribuição de Gumbel. A determinação do tipo de probabilidade para a geração da curva IDF deve levar em conta os ajustes de dados e as características da série disponível.

2. METODOLOGIA

Foram utilizadas séries de precipitação máxima diária anual provenientes de três estações localizadas em Pontal do Paraná–PR, com diferentes períodos e extensões de observação, aspecto considerado na interpretação dos resultados. Dessa forma, as comparações entre as estações foram utilizadas para avaliar diferenças entre as estimativas obtidas, não sendo possível atribuí-las exclusivamente à variabilidade espacial da precipitação, uma vez que também podem refletir diferenças temporais e amostrais entre as séries (Tabela 1). Os dados das Estações 2 e 3 foram obtidos do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA/HidroWeb), adotando-se registros com Nível de Consistência = 2 (dados consistidos) quando disponíveis, e Nível de Consistência = 1 (dados brutos) nos demais casos. Os dados da Estação 1 foram obtidos da estação meteorológica localizada na Universidade Federal do Paraná, Campus Pontal do Paraná - CPP-CEM - Mirassol.

Tabela 1. Estações pluviométricas avaliadas

Estação	Local	Período	N° de anos
Est. 1	Pontal do Paraná (Mirassol)	2022 – 2025	4
Est. 2 – Praia de Leste (Cód. ANA 2548061)	Praia de Leste	1948 – 1953	6
Est. 3 – Ipanema (Cód. ANA 2548037)	Ipanema	1971 – 2016 (lacuna 1984–1998)	30

Fonte: Autores (2026).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

2.1. Seleção da chuva máxima anual

A variável hidrológica de interesse é a precipitação máxima diária anual (Pmáx), definida como o maior valor de chuva registrado em um único dia dentro de cada ano civil. Para as estações ANA, a coluna "Maxima" do arquivo HidroWeb já fornece diretamente esse valor mensal. O máximo anual foi obtido pelo maior valor entre todos os meses de cada ano. A série resultante constitui a série de máximos anuais, base estatística dos métodos de frequência.

2.2. Desagregação temporal (DAEE/CETESB)

Como as estações são do tipo pluviômetro (medição diária acumulada), não há registro contínuo de intensidade subdiária. Para obter precipitações em durações menores que 24 horas, aplicou-se o método de desagregação desenvolvido pela CETESB (1986) e consolidado pelo DAEE (1994), amplamente adotado em projetos de drenagem urbana no Brasil.

O método parte da conversão do total pluviométrico diário (pluviômetro) para o equivalente pluviográfico de 24 horas, mediante o coeficiente 1,14 (relação empírica que compensa a defasagem do horário de leitura). A partir de P24h, aplica-se a cadeia de coeficientes de desagregação apresentados na Tabela 2:

Tabela 2. Coeficientes de desagregação temporal (DAEE/CETESB, 1986/1994)

Duração (min)	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**60**	**360**	**480**	**600**	**720**	**1440**
Referência	30 min	30 min	30 min	30 min	30 min	1 h	24 h	24 h	24 h	24 h	24 h	Pluviôm.
Coeficiente	0,34	0,54	0,70	0,81	0,91	0,74	0,42	0,72	0,78	0,82	0,85	1,14

Fonte: Autores (2026)

As precipitações de referência seguem a hierarquia: P5min = P30min × 0,34; P30min = P1h × 0,74; P1h = P24h × 0,42; e assim sucessivamente. As intensidades foram então obtidas dividindo-se cada precipitação pela respectiva duração em horas: i = P / th (mm/h).

2.3. Distribuição de Valores Extremos de Gumbel

A análise de frequência das precipitações máximas anuais foi realizada mediante a distribuição de Valores Extremos Tipo I (Gumbel), reconhecida como a mais apropriada para

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

séries de máximos hidrológicos segundo Chow *et al.* (1988) e adotada como referência pelo DAEE (1994) e pela maioria dos manuais de drenagem urbana brasileiros.

Os parâmetros da distribuição foram estimados pelo Método dos Momentos (Villela; Mattos, 1975), conforme as expressões:

$$\beta = \sigma \times \frac{\sqrt{6}}{\pi}$$

$$\mu = \bar{x} - 0{,}5772 \times \beta \quad (1)$$

Onde x̄ é a média amostral, σ é o desvio padrão amostral (com n−1 graus de liberdade), μ o parâmetro de localização e β o parâmetro de escala da distribuição de Gumbel. O quantil associado ao período de retorno T é calculado por:

$$PT = \mu + \beta \times yT$$

$$yT = -\ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (2)$$

Onde yT é a variável reduzida de Gumbel. O cálculo foi aplicado para cada duração, gerando a tabela de intensidades IDF para os períodos de retorno T = 2, 5, 10 e 20 anos.

2.4. Ajuste da Equação IDF

As intensidades obtidas pela análise de Gumbel foram ajustadas à equação paramétrica IDF de Bernardes-Chen, na forma adimensional mais comum em projetos brasileiros (Tucci, 2004):

$$i = \frac{K \times T^a}{(t + b)^c} \quad (3)$$

Onde i é a intensidade máxima média (mm/h), T o período de retorno (anos), t a duração da chuva (min) e K, a, b, c são os coeficientes regionais a determinar. O ajuste foi realizado em duas etapas:

(i) Estimativa inicial via linearização logarítmica: tomando o logaritmo natural da equação, obtém-se ln(i) = ln(K) + a·ln(T) − c·ln(t + b). Para cada valor de b testado em uma grade de 400 pontos no intervalo [0,5;150] minutos, os coeficientes ln(K), a e c foram determinados por mínimos quadrados ordinários (regressão linear múltipla com numpy.linalg.lstsq). O valor de b

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

que minimizou a soma dos quadrados dos resíduos no espaço original foi adotado como estimativa inicial.

(ii) Refinamento via algoritmo de Nelder-Mead (simplex) diretamente no espaço original das intensidades, minimizando a função objetivo SS = Σ(iobs − icalc)². O algoritmo de Nelder-Mead, descrito em Nelder e Mead (1965), é um método de otimização sem gradiente, robusto para funções não-lineares. O processo iterativo foi encerrado após convergência ou ao atingir o limite máximo de 25.000 iterações por estação, com ponto inicial fornecido pela etapa (i).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Coeficientes da equação IDF

A Tabela 3 apresenta os coeficientes da equação IDF ajustados para cada estação, juntamente com o coeficiente de determinação R² do ajuste, calculado em relação às intensidades observadas pelo método de Gumbel.

Tabela 3. Coeficientes da equação IDF ajustada para as três estações avaliadas

Estação	K	a	b	c	R²
Est. 1 – UFPR	1052,2	0,266	9,791	0,7244	99,8%
Est. 2 – Praia de Leste	912,38	0,2944	9,791	0,7244	99,68%
Est. 3 – Ipanema	847,05	0,2639	9,791	0,7244	99,77%

Fonte: Autores (2026)

Os valores de R² superiores a 99,6% indicam elevada aderência da equação paramétrica às intensidades derivadas da análise de frequência. Esse indicador, entretanto, representa a qualidade do ajuste da função IDF aos pontos estimados e não deve ser interpretado isoladamente como medida da incerteza hidrológica associada aos quantis de precipitação.

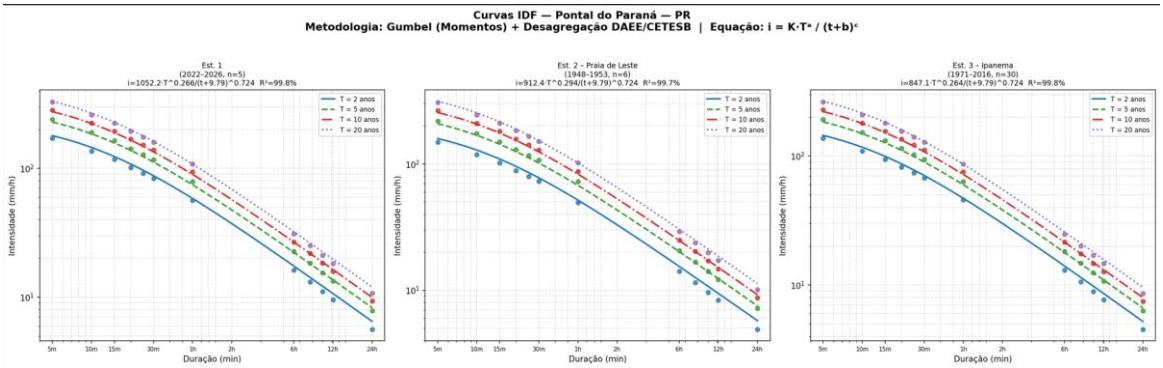
3.2. Curvas IDF

A Figura 2 apresenta as curvas IDF das três estações em escala log-log, com os pontos discretos gerados pelo método de Gumbel e as curvas contínuas obtidas pela equação

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

paramétrica ajustada. Os quatro períodos de retorno (T = 2, 5, 10 e 20 anos) estão diferenciados por cor e estilo de linha.

Figura 2. Curvas IDF das três estações de Pontal do Paraná-PR



Fonte: Autores (2026).

Aplicando-se as equações das três estações avaliadas, para T de 5 anos e duração de 10 minutos, obtêm-se diferenças de 9% e 20% para as estações de Praia de Leste e Ipanema, respectivamente. Já para T de 2 anos, essa variação fica em 12% e 20%, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Intensidade da chuva (mm/h) para as 3 equações da chuva referentes às estações avaliadas

Estação	Intensidade (mm/h) (T = 5 anos t = 10 minutos)	Intensidade (mm/h) (T = 2 anos t = 10 minutos)
Est. 1 – UFPR	185,72	145,55
Est. 2 – Praia de Leste	168,57	128,72
Est. 3 – Ipanema	149,01	117,00

Fonte: Autores (2026).

A comparação entre as três estações mostrou diferenças relevantes nas intensidades estimadas para uma mesma duração e período de retorno. Para duração de 10 minutos e período de retorno de 5 anos, por exemplo, as intensidades estimadas nas estações Praia de Leste e

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Ipanema foram inferiores àquelas obtidas para a estação UFPR, com diferenças da ordem de 9% e 20%, respectivamente. Para o período de retorno de 2 anos, essas diferenças foram de 12% e 20%. Esses resultados sugerem variabilidade espacial do regime de chuvas intensas dentro do próprio município de Pontal do Paraná, ainda que as estações estejam inseridas em uma mesma faixa litorânea e que parte das diferenças possa decorrer da extensão e dos períodos distintos das séries analisadas. Do ponto de vista prático, essa variabilidade reforça a inadequação do uso de equações IDF de outros municípios, como Antonina, para o dimensionamento de obras de drenagem urbana em Pontal do Paraná.

Na Paraíba, os parâmetros IDF variaram muito no espaço e os autores concluíram que equações anteriores precisavam ser atualizadas por produzirem diferenças relevantes de intensidade (De Aragão et al., 2024). Em regiões costeiras e topograficamente complexas do Rio de Janeiro, a variabilidade espacial dos extremos também foi marcante, com maiores valores concentrados próximos ao litoral, o que sustenta a ideia de forte controle local sobre a chuva extrema (Lima et al., 2020).

A Estação 3 – Ipanema apresenta a base mais robusta, com 30 anos de observação, ainda que com lacuna temporal intermediária, sendo a mais adequada para aplicação direta em projetos de drenagem urbana com períodos de retorno de até 20 anos. Em contraste, as Estações 1 e 2 possuem séries muito curtas, com apenas 4 e 6 anos, respectivamente, o que limita fortemente a robustez da análise de frequência. Nesses casos, a extrapolação para tempos de retorno superiores ao tamanho da amostra deve ser vista com cautela, pois pequenas variações nos dados observados podem provocar alterações significativas nos parâmetros ajustados e, consequentemente, nas intensidades estimadas.

Além disso, deve-se considerar que as intensidades subdiárias foram obtidas por desagregação da chuva diária máxima anual, e não por registros pluviográficos observados. Embora o método DAEE/CETESB seja amplamente utilizado em estudos hidrológicos e em projetos de drenagem no Brasil, trata-se de um procedimento indireto, baseado em coeficientes empíricos generalizados. Dessa forma, parte das diferenças observadas nas durações menores pode refletir não apenas a variabilidade natural das chuvas intensas, mas também as limitações inerentes ao método de desagregação, sobretudo para durações muito curtas, como 5 e 10 minutos.

Mesmo com essas restrições, o estudo representa um avanço importante para a caracterização hidrológica de Pontal do Paraná, por fornecer equações IDF obtidas a partir de dados locais. Esse aspecto é particularmente relevante em municípios litorâneos sujeitos a eventos intensos de precipitação e com crescente pressão sobre os sistemas de drenagem

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

urbana. A disponibilidade de relações IDF locais permite maior coerência entre o comportamento hidrológico real da área e os critérios adotados no dimensionamento de galerias pluviais, sarjetas, dispositivos de retenção e demais estruturas de manejo de águas pluviais.

Dessa forma, os resultados indicam que a utilização de equações locais tende a representar de maneira mais adequada as condições de chuva intensa no município do que a adoção de equações de localidades vizinhas. Entre as equações ajustadas, a da Estação 3 – Ipanema apresenta maior confiabilidade estatística e maior potencial de aplicação imediata. Para as demais estações, recomenda-se que os resultados sejam interpretados como estimativas preliminares, úteis para indicar a variabilidade espacial das chuvas intensas no município, mas ainda dependentes de séries mais longas e de futuras atualizações para consolidação definitiva.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostraram que as equações IDF ajustadas para as três estações apresentaram elevado coeficiente de determinação, indicando boa aderência entre a formulação paramétrica e as intensidades estimadas pela distribuição de Gumbel, o que sustenta a consistência interna do ajuste (De Aragão et al., 2024).

As diferenças de intensidade observadas entre as estações para a mesma duração e período de retorno sugerem variabilidade espacial relevante mesmo dentro do município, o que reforça a inadequação do uso de equações de chuva de localidades vizinhas como substitutas diretas. Esse comportamento é coerente com estudos que mostram forte variação espacial dos parâmetros IDF, necessidade de atualização de equações antigas e influência de condicionantes locais, sobretudo em áreas costeiras e com relevo complexo (Creaco, 2024).

Como limitações do estudo, as Estações 1 – UFPR (n = 4 anos) e 2 – Praia de Leste (n = 6 anos) possuem séries históricas muito curtas para uma análise de frequência robusta. A literatura técnica (Tucci, 2004; DAEE, 1994) recomenda séries mínimas de 15 a 20 anos para estimativas confiáveis até T = 10 anos. Com amostras de 4–6 observações, os parâmetros de Gumbel têm elevado erro padrão, e as extrapolações para T = 10 e T = 20 anos devem ser interpretadas com cautela. Séries curtas ainda podem gerar curvas IDF úteis para uso preliminar ou operacional, mas a literatura converge que elas trazem menor precisão inferencial, sobretudo para durações curtas e períodos de retorno longos (Hu *et al.*, 2020; Ibrahim, 2022).

Para a Estação 1, recomenda-se a aplicação de análise regional (método do índice de cheia), utilizando a curva de crescimento de Gumbel da Estação 3 – Ipanema (n = 30 anos) como distribuição regional, escalada pela razão entre as médias das máximas anuais das duas

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

estações. Essa abordagem permite estimar períodos de retorno maiores com maior segurança estatística.

Para trabalhos futuros sugere-se a aplicação das curvas IDF em um programa de modelagem hidrológica para bacias urbanas como o Storm Water Management Model (SWMM), desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA), que pode ser utilizado para projetos e análises hidrológicas no aspecto quali-quantitativo em bacias hidrográficas urbanas. É possível, por exemplo, avaliar os impactos das mudanças climáticas e a adaptação a elas na escala da bacia, além de simular a adoção de medidas tradicionais ou aplicando as Soluções Baseadas na Natureza para a mitigação de cheias (Kourtis *et al.*, 2022).

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, G. IBGE aponta que 5,5 milhões de pessoas no RS sofreram impactos causados pelas enchentes. Jornal da USP, São Paulo, 15 jul. 2026. Disponível em: https://jornal.usp.br/atualidades/ibge-aponta-que-55-milhoes-de-pessoas-no-rs-sofreram-impactos-causados-pelas-enchentes/. Acesso em: 25 ago. 2026.

BARBOSA, C.; TORNELLO, V. T. Soluções baseadas na natureza em três escalas: do urbano à paisagem. WRI Brasil, 5 ago. 2025. Disponível em: https://www.wribrasil.org.br/noticias/solucoes-baseadas-na-natureza-em-tres-escalas-do-urbano-paisagem. Acesso em: 8 ago. 2026.

CARDOSO, C. O.; ULMANN, M. N.; BERTOL, I. Análise de chuvas intensas a partir da desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 22, n. 1, p. 131–140, 1998. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000100018.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Drenagem urbana: manual de projeto*. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. *Applied hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1988.
CNM – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS. *Panorama dos desastres no Brasil: 2013 a 2023*. Brasília, DF: CNM, 2024. (Estudo Técnico). Disponível em: https://cnm.org.br/storage/biblioteca/2024/Estudos_tecnicos/202405_ET_Panorama_Desastres_Brasil_2013_a_2023.pdf. Acesso em: 30 jul. 2026.

CORAPI, P.; NEIRA, N. S. N. Regionalización de las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) en las provincias de Santa Elena y Manabí. Revista Tecnológica - ESPOL, v. 34, n. 4, 2022. DOI: https://doi.org/10.37815/rte.v34n4.974.

CREACO, E. Scaling models of intensity-duration-frequency (IDF) curves based on adjusted design event durations. Journal of Hydrology, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130847.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. *Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas*. São Paulo: DAEE, 1994.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

DE ARAGÃO, R.; COSTA, F. F. D.; RUFINO, I.; FILHO, R. R. D. S.; SRINIVASAN, V.; NETO, J. D. T. B. Intensity-duration-frequency equations (IDF) for the state of Paraíba, Brazil, and regionalization of its parameters. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 28, n. 10, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n10e283679.

GHEBREYESUS, D. T.; SHARIF, H. O. Development and assessment of high-resolution radar-based precipitation intensity-duration-curve (IDF) curves for the State of Texas. Remote Sensing, v. 13, n. 15, p. 2890, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/rs13152890.

GOMES JÚNIOR, M. N.; BRAGA, P. H. A.; MENDIONDO, E. M.; REIS, L. F. R. Análises estatísticas, visuais e não paramétricas para a otimização do ajuste de curvas IDF e construção de ábacos de projeto de obras hidráulicas: estudo de caso em São Carlos - SP. Revista DAE, v. 69, n. 228, p. 171–189, 2021. DOI: https://doi.org/10.36659/dae.2021.013.

GONZAGA, V. N. B.; ALVES, J.; PANSERA, W. A.; GOMES, B. M. Estimativas de curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para municípios do Estado do Paraná, Brasil, usando a distribuição GEV e técnica de desagregação de chuvas. Observatorio de la Economía Latinoamericana, v. 22, n. 12, p. 1–17, 2024. DOI: https://doi.org/10.55905/oelv22n12-096.

HU, L.; NIKOLOPOULOS, E.; MARRA, F.; ANAGNOSTOU, E. Sensitivity of flood frequency analysis to data record, statistical model, and parameter estimation methods: an evaluation over the contiguous United States. Journal of Flood Risk Management, v. 13, 2020. DOI: https://doi.org/10.1111/jfr3.12580.

IBRAHIM, M. Assessment of the uncertainty associated with statistical modeling of precipitation extremes for hydrologic engineering applications in Amman, Jordan. Sustainability, v. 14, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/su142417052.

KAREEM, D. A.; AMEN, A. R. M.; MUSTAFA, A.; YÜCE, M. I.; SZYDŁOWSKI, M. Comparative analysis of developed rainfall intensity-duration-frequency curves for Erbil with other Iraqi urban areas. Water, v. 14, n. 3, p. 419, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/w14030419.

KOURTIS, I. M.; NALBANTIS, I.; TSAKIRIS, G.; PSILOGLOU, B. E.; TSIHRINTZIS, V. A. Updating IDF curves under climate change: impact on rainfall-induced runoff in urban basins. Water Resources Management, v. 37, n. 6, p. 2403–2428, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s11269-022-03252-8.

LIMA, A. O.; LYRA, G.; ABREU, M.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; ZERI, M.; CUNHA-ZERI, G. Extreme rainfall events over Rio de Janeiro State, Brazil: characterization using probability distribution functions and clustering analysis. Atmospheric Research, v. 247, p. 105221, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105221.

MELLO, Y. R.; SAMPAIO, T. V. M. Análise geoestatística da precipitação média para o Estado do Paraná. Revista Brasileira de Climatologia, v. 25, 2019. DOI: https://doi.org/10.5380/abclima.v25i0.64468.

NELDER, J. A.; MEAD, R. A simplex method for function minimization. The Computer Journal, v. 7, n. 4, p. 308–313, 1965.

PETRUCCI, E.; OLIVEIRA, L. A. de. Relações entre intensidade, duração e frequência das precipitações máximas de 24 horas e equação de chuvas intensas para a cidade de Uberlândia-

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

MG. Revista Brasileira de Climatologia, v. 25, 2019. DOI: https://doi.org/10.5380/abclima.v25i0.57767.

PORTA, G. Paraná registra quase 6 mil desastres naturais em 10 anos e prejuízo supera R$ 32 bilhões. Gazeta do Paraná, 29 jun. 2026. Disponível em: https://gazetadoparana.com.br/artigo/parana-desastres-naturais-10-anos-prejuizos-r-32-bilhoes. Acesso em: 30 jul. 2026.

SANTOS, G. G.; FIGUEIREDO, C. C. de; OLIVEIRA, L. F. C. de; GRIEBELER, N. P. Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 13, p. 899–905, 2009. Suplemento. DOI: https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000700012.

SILVA, E. L. P.; SILVA, M. H. C. R.; MENDONÇA, F. Histórico e projeção de inundações repentinas em Morretes–Paraná–Brasil. Revista Brasileira de Climatologia, v. 31, n. 18, p. 362–383, 2022. DOI: https://doi.org/10.55761/abclima.v31i18.15780.

SOTO-ESCOBAR, C.; ZAMBRANO-BIGIARINI, M.; TOLORZA, V.; GARRAUD, R. Developing intensity-duration-frequency (IDF) curves using sub-daily gridded and in situ datasets: characterising precipitation extremes in a drying climate. Hydrology and Earth System Sciences, v. 30, n. 1, p. 91–117, 2026. DOI: https://doi.org/10.5194/hess-30-91-2026.

TUCCI, C. E. M. (Org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 4. ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2004.

VANHONI, F.; MENDONÇA, F. O clima do litoral do Estado do Paraná. Revista Brasileira de Climatologia, v. 3, p. 49–63, 2008. DOI: https://doi.org/10.5380/abclima.v3i0.25423.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.