



I CONGRESSO PERNAMBUCANO DE RECURSOS HÍDRICOS

Água para o Desenvolvimento
Recife, 24, 25 e 26 de Março de 2026

ANÁLISE ESTATÍSTICA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO PARA DEFINIÇÃO DA CURVA IDF COMO BASE PARA PROJETOS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEIS EM BELO JARDIM-PE

Taiza Karla Alves Souza¹; Fernando Jeferson de Macêdo Nascimento²; Renan Bezerra Rosa³; Neyliane da Silva França⁴; Vythória Costa Silva dos Santos⁵; & Silvanete Severino da Silva⁶

Palavras-chave: drenagem urbana, curvas IDF, eventos extremos, drenagem sustentável, semiárido.

INTRODUÇÃO

Historicamente, sistemas convencionais de drenagem focam no rápido escoamento, abordagem que tende a transferir picos de cheia para jusante (Lopes e Teixeira, 2021). No Brasil, a urbanização desordenada agrava esse cenário: a impermeabilização do solo altera drasticamente o ciclo hidrológico, reduzindo a infiltração e elevando as vazões de pico (Pessoa Neto et al., 2024). Tal quadro é crítico no Semiárido, onde o regime pluviométrico caracteriza-se pela alta intensidade e concentração temporal (Silva; Gilson; Cruz, 2025). A intensificação de eventos extremos no Nordeste (Costa et al., 2015; Alves et al., 2017) impõe severos desafios à infraestrutura, exigindo inovações técnicas adaptadas à realidade local (Sabourin e Trier, 2003).

Para o dimensionamento dessas obras, as equações de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) são indispensáveis, permitindo a estimativa de eventos extremos para diferentes tempos de retorno. Seu uso torna-se imperativo dada a escassez de monitoramento fluviométrico urbano e a limitação das séries históricas frente às mudanças climáticas e de uso do solo (Oliveira et al., 2020; Costa et al., 2024). Contudo, Belo Jardim-PE carece de uma equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) específica e atualizada (SGB/CPRM, 2026), dependendo hoje de dados regionais genéricos que comprometem a segurança hidráulica dos projetos.

Diante dessa lacuna, este estudo objetivou realizar a modelagem estatística de eventos extremos para formular a equação IDF de Belo Jardim-PE. A pesquisa visa estabelecer parâmetros técnicos locais, servindo como base para a engenharia municipal no dimensionamento de sistemas de drenagem resilientes.

1) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rodovia PE-166, Belo Jardim-PE, (81) 99853-1016, taiza.alvessouza@ufrpe.br.
2) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rodovia PE-166, Belo Jardim-PE, (81) 9988-9416, fernando.jeferson@ufrpe.br.
3) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rodovia PE-166, Belo Jardim-PE, (87) 9163-1072, renan.bezerra@ufrpe.br.
4) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rodovia PE-166, Belo Jardim-PE, (81) 999734819, neyliane.franca@ufrpe.br.
5) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rodovia PE-166, Belo Jardim-PE, (81) 9615-5783, vythoria.santos@ufrpe.br
6) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rodovia PE-166, Belo Jardim-PE, (84) 9840-4854, silvanete.silva@ufrpe.br.

METODOLOGIA

Situado no Agreste Pernambucano (8°20'S; 36°25'O), Belo Jardim possui 647,4 km² e 79.507 habitantes (IBGE, 2022). Seu relevo, com cotas superiores a 1000 m, atua como divisores de águas entre as bacias do Capibaribe e do Ipojuca, e condiciona um clima que varia do semiárido (BSHs') ao mesotérmico (Cs'a) (Mota Filho et al., 2007).

Para a caracterização do regime pluviométrico, utilizaram-se dados diários do posto 260170601V obtidos junto ao Dados Abertos de Pernambuco da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), compreendendo o período de 1990 a 2025. A série foi processada para a obtenção do índice RX1day (precipitação máxima anual diária). O ajuste da equação IDF foi realizado na plataforma Genetic Algorithm Methodology for IDF (GAM-IDF), baseada em inteligência artificial (Oliveira et al., 2020), aplicando-se o modelo de Chow (1962) para determinar as intensidades associadas a Tempos de Retorno de 2 a 100 anos.

$$I = \frac{a \times T^b}{(t+c)^b} \quad (1)$$

Onde: a, b, c e d, são os coeficientes de ajuste da equação.

RESULTADOS

A análise do comportamento hidrológico de Belo Jardim no período de 1990 a 2025 demonstrou que não houve aumento nem diminuição sistemática significativa na amostra de 35 anos. A aplicação do teste não paramétrico de Mann-Kendall, ao nível de significância de 5%, indicou a ausência de tendência monotônica relevante na amostra (H inferior à linha 0 não rejeitada). Tal resultado valida a premissa de estacionariedade no horizonte temporal avaliado, permitindo a utilização de modelos probabilísticos tradicionais para a determinação de eventos extremos.

Na modelagem IDF, a Distribuição de Pareto Generalizada (GP) demonstrou a melhor aderência, superando modelos tradicionais como Gumbel e Log-Normal. A robustez do ajuste foi confirmada pelo teste de Anderson-Darling (p-valor=0,9933) e corroborada pelos coeficientes Nash-Sutcliffe (NS=0,9718) e RMSE de 9,2781 mm/h. Essas métricas evidenciam a elevada precisão do modelo, indicando que o regime local possui uma probabilidade não desprezível de eventos extremos (caudas pesadas), frequentemente subestimados por abordagens convencionais (Tabela 1).

Tabela 1- Resumo dos parâmetros estatísticos de validação e coeficientes da equação IDF obtidos via GAMOIDF para Belo Jardim-PE (1990-20).

Teste	Parâmetro	Valor
Análise de Tendência	Teste de Mann-Kendall (5%)	Não há tendência
Distribuição Probabilística	Função Densidade (FDP)	Pareto Generalizada
	Parâmetro de Forma (ξ)	16,0411
	Parâmetro de Escala (α)	74,3127
	Parâmetro de Localização (k)	0,5617
Testes de Aderência e Erro	Anderson-Darling (p-valor)	0,9933
	Estatística A-D	0,1894
	Nash-Sutcliffe (NS)	0,9718
	RMSE (Erro Quadrático Médio)	9,2781 mm/h
Parâmetros da Equação IDF	Coeficiente a (Escala)	650,492

Expoente b (Tempo de Retorno)	0,165
Parâmetro c (Duração)	9,222
Expoente d (Decaimento)	0,707

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados do software GAMOIDF (2025).

A partir dos parâmetros otimizados, definiu-se a equação de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para o município, expressa pela Equação 2:

$$I = \frac{650,492 \times TR^{0,165}}{(9,222 + t)^{0,707}} \quad (2)$$

A análise física dos coeficientes da equação revela um padrão de tempestades de alta energia e rápida dissipação. O parâmetro de escala ($a = 650,492$) é expressivamente elevado quando comparado a equações de regiões de clima temperado, refletindo a agressividade das chuvas convectivas típicas do semiárido. Esse comportamento é consistente com o parâmetro de decaimento ($d = 0,707$), que indica uma redução abrupta da quantidade de energia à medida que a duração aumenta. Tais resultados alinham-se às observações de Lima Neto et al. (2021) para o estado de Pernambuco, cujo estudo identificou expoentes de frequência (b) na ordem de 0,158, valor bastante próximo ao de 0,165 obtido nesta pesquisa, reforçando a consistência regional do modelo.

Sob a ótica da engenharia, a combinação de um alto fator de escala (a) com um decaimento acentuado (d) indica um risco elevado de enxurradas rápidas (*flash floods*), capazes de saturar instantaneamente sistemas de drenagem subdimensionados. Assim, os resultados demonstram que os projetos de drenagem em Belo Jardim, fundamentados em equações antiquadas ou de outras regiões, tendem a fracassar por subestimar o pico inicial.

Consequentemente, a equação proposta fundamenta a necessidade de implementar técnicas compensatórias, LID (Low Impact Development) e SuDS (Sustainable Drainage Systems) no município de Belo Jardim. Dispositivos de controle na fonte, como bacias de retenção e pavimentos permeáveis, tornam-se imperativos para amortecer o pico de vazão gerado pela alta intensidade inicial ($a = 650,492$) identificada, garantindo a resiliência da infraestrutura diante da realidade climática modelada.

CONCLUSÕES

Este estudo estabeleceu a equação de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para Belo Jardim-PE, suprimindo uma lacuna hidrológica crítica na região. A modelagem confirmou a estacionariedade da série histórica (1990-2025) e a superioridade estatística da Distribuição de Pareto Generalizada, evidenciando que métodos simplificados tendem a subestimar a magnitude dos eventos extremos locais.

A calibração dos parâmetros ($a=650,492$; $d=0,707$) revela um regime pluviométrico de alta agressividade e rápida dissipação, suscetível a enxurradas súbitas (*flash floods*) capazes de colapsar sistemas de microdrenagem convencionais. Portanto, a adoção da nova equação torna-se obrigatória para a segurança hidráulica municipal, o que fundamenta a necessidade urgente de implementar técnicas compensatórias (LID/SuDS) para amortecer os picos de vazão na fonte.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. M. B.; SILVA, E. M.; SOMBRA, S. S.; BARBOSA, A. C.; SANTOS, A. C. S.; LIRA, M. A. T. Eventos extremos diários de chuva no Nordeste do Brasil e características atmosféricas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Rio de Janeiro, v. 32, n. 2, p. 227–233, 2017.
- COSTA, F. F.; ARAGÃO, R.; RUFINO, I. A. A.; RAMOS FILHO, R. S.; SRINIVASAN, V. S. Atualização das equações de chuvas intensas para o Estado da Paraíba. In: XV Encontro Nacional de Águas Urbanas e V Simpósio de Revitalização de Rios Urbanos, 15., 2024, Recife. *Anais...* Recife: ABRHidro, 2024. p. 1–8.
- COSTA, I. R.; ALVES, E. M.; RABELO, A. E. C. G.; COSTA, L. F.; RIBAS, L. V. S.; BEZERRA, S. T. M.; COUTINHO, A. P. Desempenho de equações de chuvas intensas para a Região Metropolitana do Recife. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20., 2015, João Pessoa. *Anais...* São Paulo: ABRHidro, 2015. p. 1–8.
- COSTA, M. S.; LIMA, K. C.; ANDRADE, M. M.; GONÇALVES, W. A. Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 8, n. 5, p. 1321–1334, 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Belo Jardim (PE) – Cidades e Estados*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/belo-jardim.html>. Acesso em: 2 jan. 2026.
- LIMA NETO, V. S.; TAVARES, P. R. L.; BATISTA, T. L. Ajuste e validação de equações IDF a partir de dados pluviométricos para cidades do estado de Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v. 36, n. 4, p. 713–721, 2021.
- LOPES, B. L. V; TEIXEIRA, B. A. N. Proposição de variáveis para avaliação do uso do solo urbano. In: Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana (SINGEURB), 3., 2021, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 202–208.
- MOTA-FILHO, F. O.; PEREIRA, E. C. G.; LIMA, E. S.; SILVA, N. H.; FIGUEIREDO, R. C. B. Influência de poluentes atmosféricos em Belo Jardim (PE) utilizando *Cladonia verticillaris* (líquen) como biomonitor. *Química Nova*, São Paulo, v. 30, n. 5, p. 1072–1076, 2007.
- OLIVEIRA, E. P.; RODRIGUES, A. A.; CALDEIRA, T. L.; SIQUEIRA, T. M.; NUNES, A. B. Impacto das projeções climáticas sobre a relação Intensidade–Duração–Frequência (IDF) na cidade de Pelotas/RS. In: II Encontro Nacional de Desastres da ABRHidro, 2020, Virtual. *Anais...* Virtual: ABRHidro, 2020.
- PESSOA NETO, A. G.; SILVA, E. M. B.; SILVA, L. C. L.; SILVA, S. R.; LAFAYETTE, K. P. V. Proposta de implantação de técnica sustentável para manejo de águas pluviais urbanas em ponto crítico de alagamento do município de Jaboatão dos Guararapes/PE. *Sociedade e Território*, [S. l.], v. 35, n. 3, 2024.
- SABOURIN, E.; TRIER, R. Manejo da água em sistema pluvial de sequeiro. In: CARON, P.; SABOURIN, E. (Ed.). *Camponeses do Sertão: mutação das agriculturas familiares no Nordeste do Brasil*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; CIRAD, 2003. p. 123–144.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB/CPRM. Chuvas intensas e equações Intensidade–Duração–Frequência (equações IDF) – Pernambuco. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/chuvas-intensas-e-equacoes-idf-pernambuco>. Acesso em: 2 jan. 2026.