

ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE E SUA INFLUÊNCIA EM CURVAS IDF

Gabriela da Luz Lins¹; Cristiano das Neves Almeida²; Filipe Carvalho Lemos³; Eduardo Gonçalves Patriota⁴; Victor Hugo Rabelo Coelho⁵; Emerson da Silva Freitas⁶; José Lindemberg Vida-Barbosa⁷; Gerald Norbert Souza da Silva⁸

RESUMO – Este estudo analisa a variabilidade espacial da Precipitação Máxima Diária Anual (PMDA) no município do Recife e sua influência na aplicação de curvas Intensidade–Duração–Frequência (IDF) no dimensionamento de estruturas hidráulicas. Foram utilizados dados pluviométricos da rede do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, com foco no ano de 2016, selecionado pela maior quantidade de registros. Após triagem e análise de qualidade, identificou-se um evento representativo ocorrido em 30/05/2016, utilizado como base para avaliação espacial da precipitação. Os resultados evidenciaram elevada variabilidade espacial, com diferenças de até 100 mm mesmo em áreas próximas, além da ausência de uma relação entre a distância entre estações e as precipitações. A análise dos tempos de retorno indicou concentração de eventos com baixos valores, mas também a ocorrência de eventos extremos mais frequentes que o previsto pelas equações IDF tradicionais. Constatou-se que a utilização de uma única equação para diferentes municípios pode comprometer a representatividade hidrológica e resultar no subdimensionamento de estruturas. Recomenda-se, portanto, a adoção de intervalos de parâmetros ou abordagens que considerem a variabilidade espacial para maior robustez nos estudos hidrológicos.

Palavras-Chave – Precipitação Máxima Diária; Variabilidade Espacial; Curva IDF

ABSTRACT– This study analyzes the spatial variability of Annual Maximum Daily Precipitation (AMDP) in the municipality of Recife and its influence on the application of Intensity–Duration–Frequency (IDF) curves for the design of hydraulic structures. Rainfall data from the monitoring network of the National Center for Monitoring and Early Warning of Natural Disasters were used, with emphasis on the year 2016, selected due to the highest availability of records. After data screening and quality control procedures, a representative rainfall event that occurred on May 30, 2016, was identified and used as the basis for the spatial assessment of precipitation. The results revealed significant spatial variability, with differences of up to 100 mm even between nearby locations, as well as the absence of a clear relationship between inter-station distance and precipitation values. The analysis of return periods indicated a concentration of events associated with low return periods, alongside the occurrence of extreme events more frequent than those predicted by traditional IDF equations. It was also observed that the use of a single equation across different municipalities may compromise hydrological representativeness and lead to the underdesign of hydraulic structures. Therefore, the adoption of parameter ranges or approaches that explicitly account for spatial variability is recommended to improve the robustness of hydrological studies.

Key-words – maximum precipitation; spatial variability; IDF curves

1) Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental, UFPB, Campus João Pessoa, (83) 99176-9150, gabyylins17@gmail.com

2) Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UFPB, Campus João Pessoa, (83) 99349-0880, almeida74br@yahoo.com.br

3) Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental, UFPB, Campus João Pessoa, (83) 99964-3487, filipe_carvalho_l@hotmail.com

4) Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental, UFPB, Campus João Pessoa, (83) 99655-3877, edugoncalvespatriota@gmail.com

5) Prof. Dr. do Departamento de Geociências, UFPB, Campus João Pessoa, (83) 98886-1663, victor.coelho@academico.ufpb.br

6) Prof. Dr. do Instituto Federal da Paraíba, Campus Picuí, (83) 99405-9283, emerson.freitas@ifpb.edu.br

7) Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental, UFPB, Campus João Pessoa, (85) 99972-9552, lindembergvidal@gmail.com

8) Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UFPB, Campus João Pessoa, (83) 99992-9405, gerald.silva@academico.ufpb.br

INTRODUÇÃO

A crescente urbanização dos municípios brasileiros tem intensificado a ocorrência de problemáticas associadas à drenagem urbana. Nesse contexto, destaca-se o município de Recife, capital do estado de Pernambuco. Este grande centro urbano apresenta historicamente grande suscetibilidade a alagamentos, deslizamentos, deslocamento de famílias e outros impactos socioambientais associados principalmente a eventos extremos de precipitação (WANDERLEY et al., 2021; ANJOS et al., 2024).

Para a mitigação das consequências negativas desses eventos extremos, torna-se indispensável a implantação de sistemas eficientes de drenagem urbana, capazes de captar, conduzir e dispor adequadamente as águas pluviais, reduzindo os riscos de inundação, por exemplo. O dimensionamento dessas estruturas baseia-se na utilização de curvas IDF (Intensidade–Duração–Frequência). As curvas IDF são geradas a partir de dados sub-diários de precipitação ou através de desagregação dos dados diários de precipitação.

Entretanto, observa-se que muitos municípios brasileiros enfrentam limitações quanto à disponibilidade de dados pluviométricos em escala subdiária, devido à escassez de equipamentos de medição automática (pluviômetros automáticos). Como consequência, é comum a adoção de dados provenientes de estações localizadas em regiões adjacentes (Calado et al., 2023; Centella-Artola et al., 2023). Tal prática pode comprometer a representatividade hidrológica do local de estudo, resultando no dimensionamento inadequado de estruturas hidráulicas, que não refletem as condições reais da localidade. Um exemplo clássico pode ser observado nos Atlas de Curvas IDF elaborados pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), nos quais é utilizada uma única estação pluviométrica localizada em Recife para a determinação das curvas IDF dos municípios de Jaboatão dos Guararapes, Paulista e Olinda.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo analisar a variabilidade espacial da Precipitação Máxima Diária Anual (PMDA) no município de Recife, bem como sua relação e distribuição em comparação com os municípios adjacentes.

METODOLOGIA

Área de Estudo

O município do Recife, capital do estado de Pernambuco, possui área territorial de 218,843 km² e população de 1.488.920 habitantes, conforme o Censo Demográfico de 2022 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Localizado na região litorânea do Nordeste Brasileiro (NEB), o município apresenta elevada densidade populacional e intenso processo de urbanização,

fatores que contribuem para a intensificação dos impactos associados a eventos hidrometeorológicos extremos, tais como inundações, deslizamentos de terra e enchentes repentinas.

De acordo com Marengo et al. (2023), no início de 2022 aproximadamente 130 pessoas perderam a vida em decorrência das fortes chuvas que atingiram a cidade, com acumulados pluviométricos que alcançaram cerca de 551 mm em um período de seis dias. A figura 1 ilustra o local estudado.

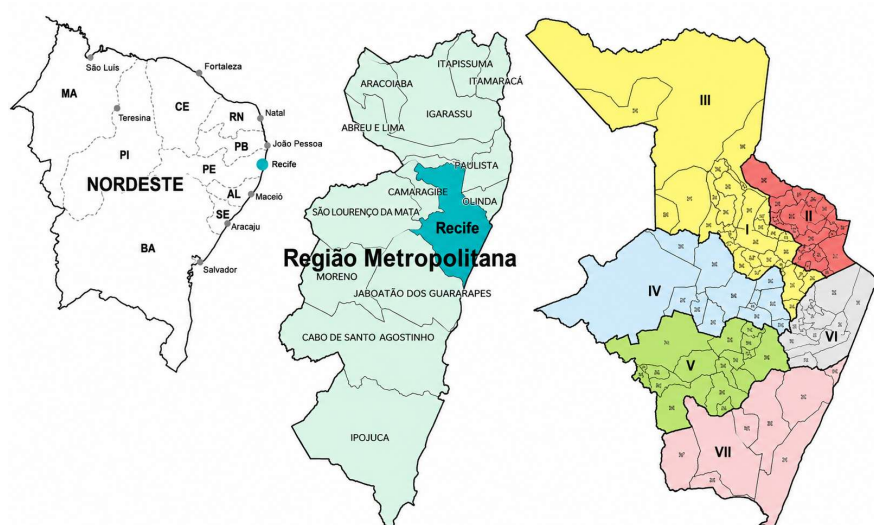


Figura 1 – Caracterização da Área Estudada (Fonte: Prefeitura do Recife, 2026).

Coleta e Análise dos Dados

Os dados do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) foram considerados para a avaliação preliminar da dispersão espacial da chuva máxima. Essa rede iniciou sua operação em 2014 e é composta por pluviômetros automáticos com monitoramento em escala sub-horária. Para o presente estudo, selecionou-se o ano de 2016, por apresentar maior quantidade e consistência de registros. Preliminarmente, foi realizada uma etapa de análise e triagem dos dados, por meio de inspeção visual, considerando a identificação de falhas nas séries temporais das estações com base nas 5 estações vizinhas. As 5 estações e a avaliada foram visualmente comparadas com base na precipitação diária, totais mensais e anuais. Este processo de análise tornou possível a seleção de estações que não apresentaram falhas durante o ano inteiro. Estas estações foram classificadas como de alta qualidade (*High Quality* – HQ). Em seguida identificou-se a chuva máxima anual para cada uma das estações classificadas como HQ. Ao todo, 13 estações pluviométricas estavam inseridas na área de estudo.

A partir dessas estações, identificaram-se três eventos chuvosos relevantes, ocorridos em 16/04/2016, 17/04/2016 e 30/05/2016. Dentre esses, o evento de 30/05/2016 foi registrado em 9

estações, apresentando maior abrangência espacial, motivo pelo qual foi adotado como referência para o presente estudo. A figura 2 apresenta a espacialização das estações analisadas.

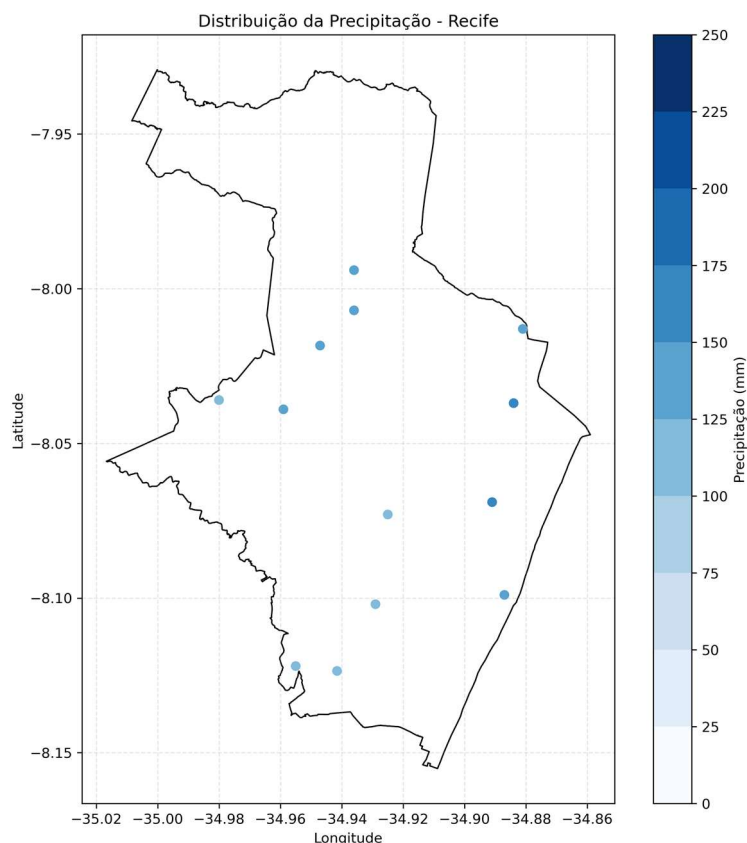


Figura 2 – Distribuição espacial da precipitação no Recife-PE

Após a seleção do evento de maior abrangência espacial, procedeu-se ao cálculo da precipitação média entre as estações, sendo identificada a estação 261160612A como estação de referência para o estudo, pois o seu valor de 129,20 mm encontrava-se mais próximo da média da precipitação das estações. Com o objetivo de ampliar a cobertura espacial, foram incorporadas as demais estações do estado de Pernambuco. Este conjunto de dados, anteriormente foram descartados na avaliação visual por terem apresentado algum tipo de falha. Entretanto, mesmo com falhas, elas podem ter operado durante a ocorrência do evento em análise. Assim, tomando as estações HQ como referência de magnitude das chuvas máximas, sobretudo a estação 261160612A, as estações com dados brutos foram selecionadas com os seguintes filtros: (i) ocorrência do evento na data de 30/05/2016; (ii) distância em relação à estação de referência inferior ou igual a 30 km; e (iii) valores de precipitação iguais ou superiores à média das estações classificadas como High Quality (HQ), subtraída de duas vezes o desvio padrão da amostra. A partir de um total de 66.977 registros, apenas 48 atenderam simultaneamente aos critérios estabelecidos, sendo, portanto, selecionados para análise.

RESULTADOS

Ao adotar os filtros estabelecidos pela metodologia foi possível identificar as seguintes estações demonstradas na figura 3.

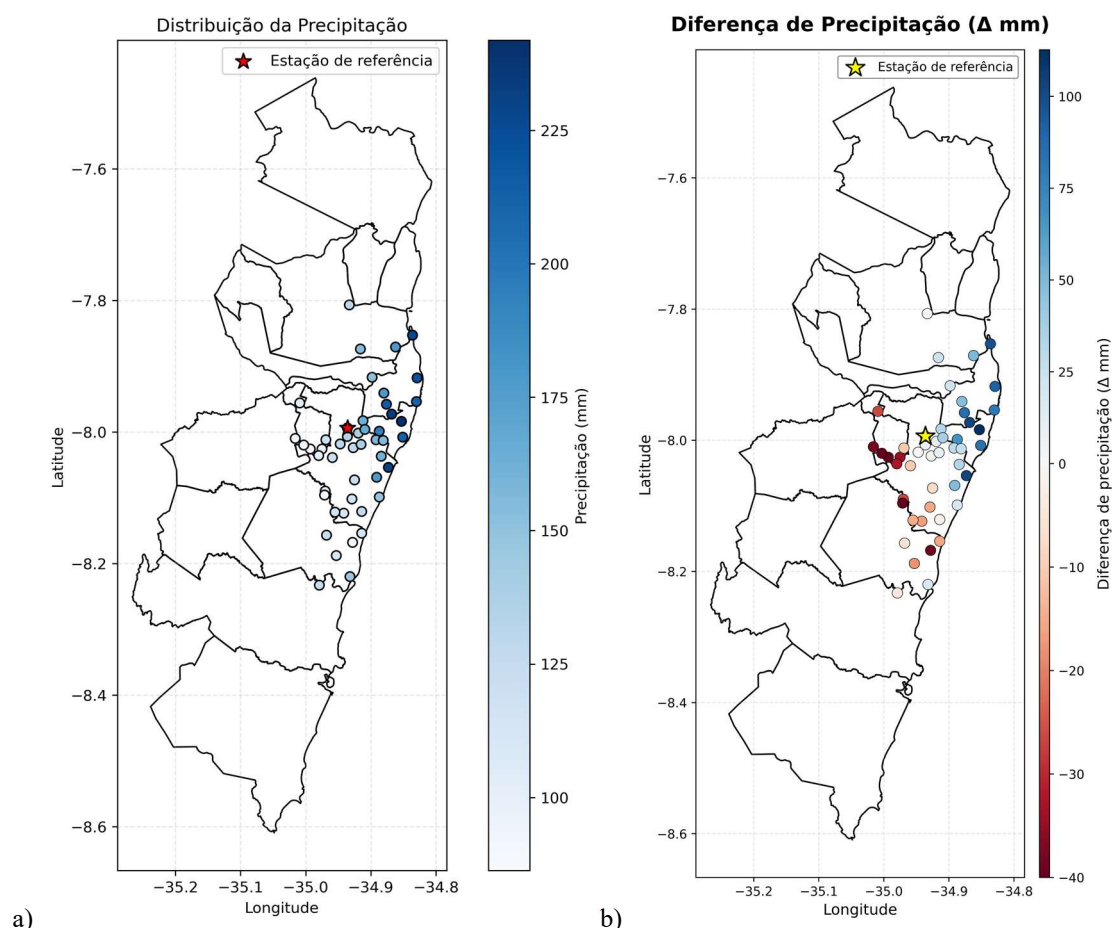


Figura 3 – Distribuição espacial da chuva na região a 30 km da estação referência. A figura *a* tem o valor da precipitação por estação e a figura *b* a variação em relação da estação referência.

Verifica-se que, mesmo em regiões próximas à estação de referência, ocorre elevada variabilidade espacial dos totais de precipitação, com discrepâncias que atingem aproximadamente 100 mm no raio de até 30 km, inclusive dentro do próprio município do Recife. Esse comportamento é consistente com os resultados apresentados por Calado et al. (2023), que, ao analisarem um evento extremo ocorrido em 2022, identificaram diferenças superiores a 100 mm nos acumulados pluviométricos em escala municipal no Recife. Os resultados obtidos neste estudo corroboram essas observações, evidenciando a significativa heterogeneidade espacial da precipitação na região. Ressalta-se, entretanto, que parte das diferenças observadas pode estar associada a incertezas decorrentes de erros de medição, uma vez que os dados empregados correspondem a registros brutos, sem a aplicação prévia de procedimentos de controle de qualidade. A figura 4 apresenta um gráfico com os dados das precipitações das estações utilizadas.

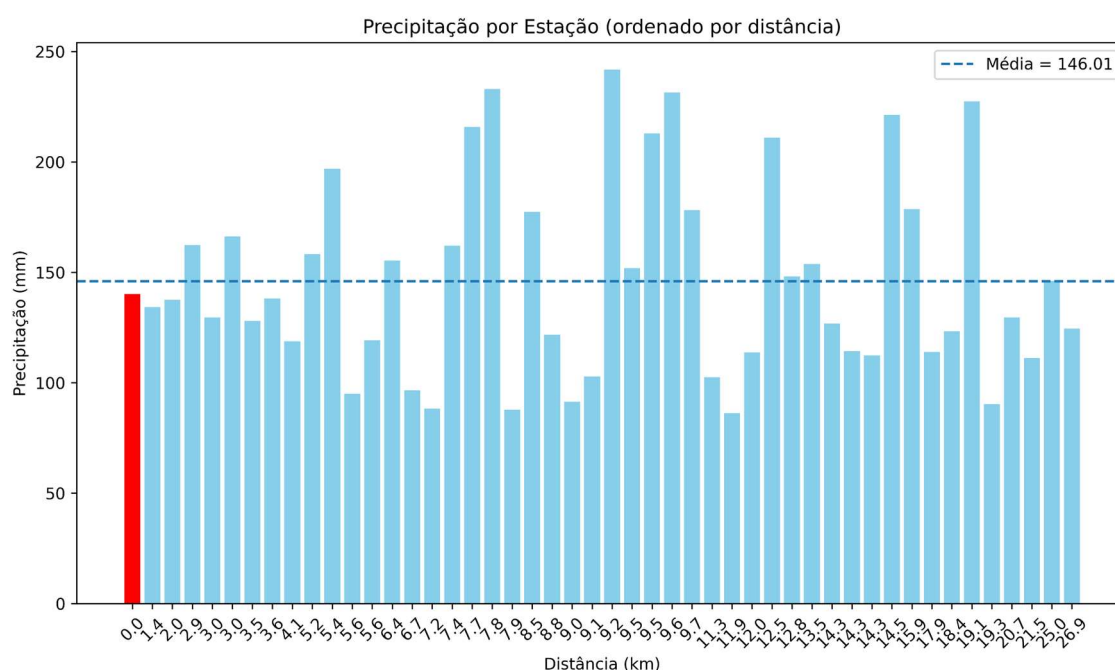


Figura 4 – Gráfico das precipitações ordenados pela distância

Entretanto, observa-se que tais variações não se configuram como discrepâncias pontuais isoladas, mas apresentam um padrão espacial consistente, especialmente na porção nordeste em relação à estação analisada, o que indica a possível influência de fatores locais na distribuição da precipitação. A Figura 3 evidenciou que há considerável consistência espacial entre os dados das estações, onde a chuva cresce do Centro-Oeste para o Nordeste. De forma semelhante, Ferreira e Mendes (2022) analisaram a distribuição espacial da precipitação média anual no município do Recife. A partir de dados de 19 estações pluviométricas distribuídas no território municipal, os autores verificaram um padrão espacial heterogêneo da precipitação, com maiores acumulados concentrados nas porções Norte e Nordeste do município.

Ainda assim, uma explicação plausível para a ocorrência de valores de precipitação inferiores aos registrados na estação de referência é que o evento analisado não tenha representado a precipitação máxima anual nas demais estações, resultando em acumulados inferiores aos observados na estação de referência. A figura 5 exemplifica esse caso, demonstrando a data do registro da precipitação máxima de cada estação. Ainda assim, nota-se que o maior número de amostras está situado na data analisada nesse estudo.

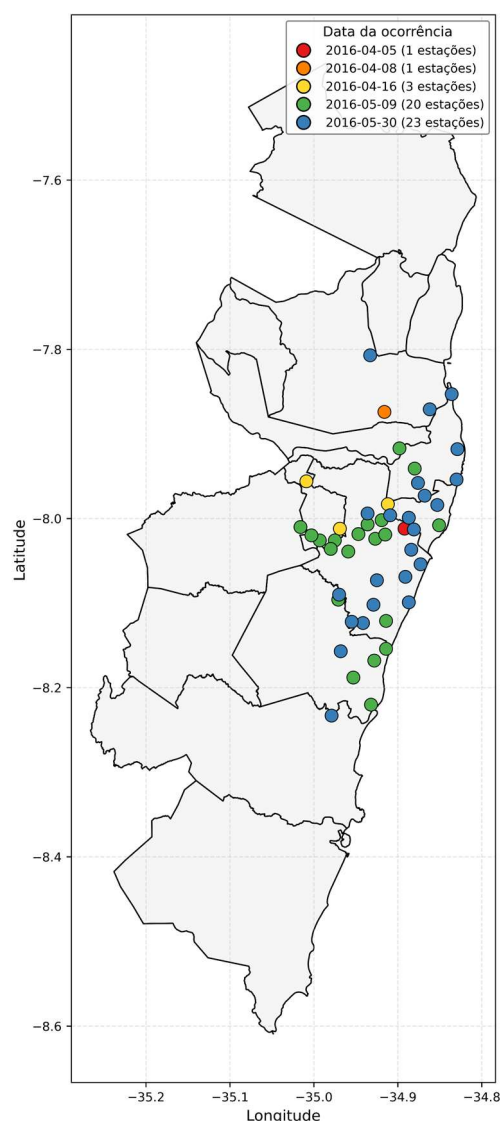


Figura 5 – Data da ocorrência da precipitação máxima por estação

No que se refere ao raio de distância adotado para a análise dos dados amostrais, embora observe-se a ausência de um padrão único de comportamento, de modo geral, verifica-se que, quanto menor a distância entre as estações, menor é a variabilidade dos valores de precipitação em relação à estação de referência. A Figura 6 ilustra essa relação, evidenciando a tendência de aumento da dispersão à medida que a distância se amplia.

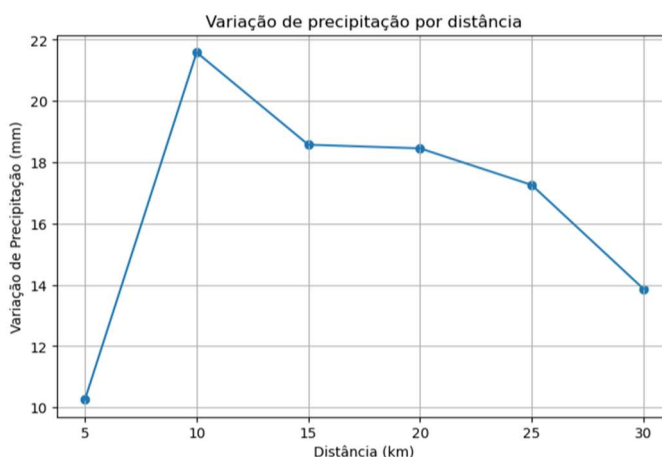


Figura 6 – Distribuição espacial da precipitação no Recife-PE

Para a região metropolitana de Recife há a IDF calculada pelo Serviço Geológico do Brasil, em 2014, com base na tese de Ramos (2010) (Equação 1)

$$i = \frac{1423,97 * T^{0,1124}}{(t+21)^{0,7721}} \quad (1)$$

De forma generalizada, essa mesma relação foi adotada para municípios vizinhos, como Jaboatão dos Guararapes, Paulista e Olinda. Ao analisar os dados provenientes de outras estações e comparar os tempos de retorno estimados para cada evento analisado, observa-se uma variabilidade dos tempos de retornos calculados pela equação proposta por Ramos (2010), conforme ilustrado na Figura 7.

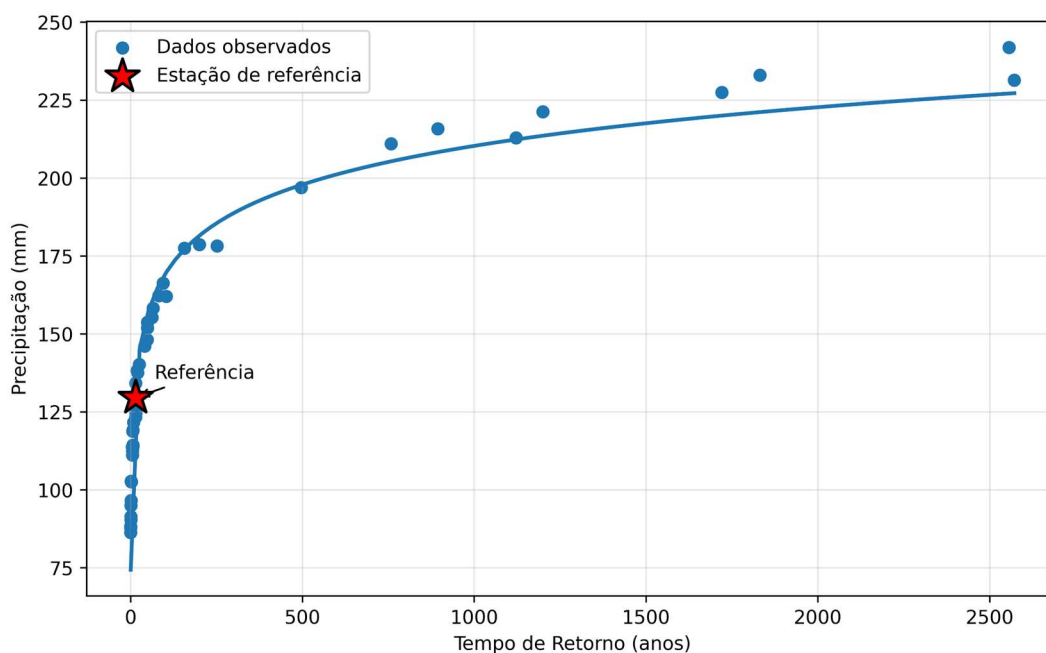


Figura 7- Precipitação das estações e tempo de retorno correspondente

Observa-se uma elevada concentração de eventos associados a baixos tempos de retorno (TR), sendo que aproximadamente 50% dos dados apresentam TR inferiores a 20 anos. Por outro lado, verificam-se ocorrências com TR superiores a 100 anos, o que indica limitações na aplicabilidade da equação adotada para representar adequadamente toda a variabilidade dos dados.

Esse comportamento evidencia que eventos classificados como de baixa probabilidade (altos valores de TR) podem ocorrer com maior frequência do que o previsto para a região em estudo, sugerindo possível inconsistência entre o modelo teórico e as condições observadas.

Adicionalmente, a generalização da equação para outros municípios, considerando que já se observam discrepâncias significativas dentro do próprio município do Recife, pode conduzir ao subdimensionamento de estruturas hidráulicas, comprometendo a segurança e a eficiência dos sistemas projetados.

Diante dos resultados obtidos, recomenda-se, para estudos futuros, a não adoção de uma equação única representativa para todo o município. Em vez disso, sugere-se a utilização de intervalos de valores ou faixas de parâmetros, capazes de incorporar a variabilidade espacial observada nos dados e proporcionar maior robustez às análises e ao dimensionamento de estruturas hidráulicas. Incorporando assim um grau de incerteza com relação a equação adotada para o objeto a ser desenvolvido.

CONCLUSÕES

O presente estudo mostrou que a precipitação máxima diária anual no município do Recife apresenta grande variabilidade espacial, mesmo em áreas geograficamente próximas. Foram observadas discrepâncias expressivas nos acumulados pluviométricos, indicando que a distribuição da chuva não segue um padrão uniforme e pode ser influenciada por fatores locais.

Os resultados demonstraram ainda que a variabilidade tende a aumentar com a distância entre as estações, embora não haja uma relação linear claramente definida. A análise dos tempos de retorno revelou concentração de eventos associados a baixos valores de TR, mas também a ocorrência de eventos extremos com maior frequência do que a prevista pelas equações IDF tradicionalmente utilizadas.

Nesse contexto, verificou-se que a adoção de uma única equação IDF para representar diferentes municípios — prática observada em estudos como os do Serviço Geológico do Brasil — pode não refletir adequadamente as condições hidrológicas locais. Tal generalização pode conduzir ao subdimensionamento de estruturas hidráulicas, comprometendo sua eficiência e segurança frente a eventos extremos.

Dessa forma, recomenda-se que estudos futuros considerem a variabilidade espacial da precipitação no desenvolvimento de curvas IDF, evitando a utilização de modelos únicos e adotando abordagens que incorporem intervalos de parâmetros ou regionalizações mais detalhadas. Essa estratégia tende a proporcionar maior robustez às análises e contribuir para o planejamento mais seguro e eficiente de sistemas de drenagem urbana.

REFERÊNCIAS

- ANJOS, L. S. dos *et al.* (2024). “Resgate histórico dos eventos extremos de precipitação e seus impactos no município do Recife-PE”. *Revista Brasileira de Climatologia* 34(20), pp. 335-359.
- CALADO, G. M. C. *et al.* (2023). “Variabilidade de resposta nas equações IDF da região metropolitana do recife: eventos influenciados pelo fenômeno de ondas de leste” in *Anais do III Encontro Nacional de Desastres*, Niterói, Mar. 2023, pp. 1-4.
- CENTELLA-ARTOLA, A. *et al.* (2023). “A new long term gridded daily precipitation dataset at high-resolution for Cuba (CubaPrec1)”. *Data in Brief*, 48, pp. 109294–109294.
- MARENGO, J.A. (2023). “Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25–28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness”. *Weather and Climate Extremes* 39, pp. 1-17.
- Ferreira, R.; Mendes, T. (2022). “Espacialização média da precipitação pluviométrica no município de Recife e avaliação dos episódios intensos de chuva por meio da geoestatística”. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*. 12. (12), pp. 225-231.
- PREFEITURA DO RECIFE, Caracterização do território. Recife-PE, 2024. Disponível em: <https://www2.recife.pe.gov.br/pagina/caracterizacao-do-territorio>. Acesso em: 29 abr. 2026
- RAMOS, A. M. (2010). “Influência das mudanças climáticas devido ao efeito estufa na drenagem urbana de uma grande cidade”. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pernambuco, Recife-PE.
- WANDERLEY, L. S. de A. *et al.* (2021). “As chuvas na cidade do recife: uma climatologia de extremos”. *Revista Brasileira de Climatologia* 22, pp. 149-164.

AGRADECIMENTOS - O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil