

XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AS INCERTEZAS DAS ESTIMATIVAS DE IDF_s HISTÓRICAS SÃO CAPAZES DE CONTEMPLAR AS ESTIMATIVAS DAS IDF_s FUTURAS?

*Daniele Feitoza Silva¹; Mellinda Gabrielle Nogueira Santos²; João Pedro Tanaka da Silva³;
Jussara Ferreira-Santos⁴; Rafaela de Mauro Tortorelli⁵; Celso Bandeira de Melo Ribeiro⁶ & Joel
Avruch Goldenfum*

Abstract: The intensity-duration-frequency (IDF) relationships are commonly used sizing tools for urban infrastructure planning. Their estimation is based on statistical methods of local frequency analysis applied to observed data and therefore, they have associated uncertainties (historical IDFs). In scenarios of climate change, their effects on IDF relationships and the resulting impacts on cities have raised concerns about quantifying future IDFs. However, for these future conditions, the sources of uncertainty are further increased compared to the climate model and method used. On the other hand, little attention is given to the existing uncertainty bounds in historical IDFs. In this regard, are the uncertainties in the estimates of historical IDFs capable of encompassing the estimates of future IDFs? This study aimed to quantify the uncertainties inherent in the estimates of intense precipitation in both historical and future periods, based on confidence interval estimation using the parametric bootstrap method. This analysis was applied to the 8° DISME rainfall station, located in the urban area of Porto Alegre, RS.

Keywords – IDF relationship; uncertainty analysis; climate change.

Resumo: As relações intensidade-duração-frequência (IDF) são ferramentas de dimensionamento comumente utilizadas para o planejamento da infraestrutura urbana. Sua estimativa é realizada a partir de métodos estatísticos de análise de frequência local aplicada a dados observados e, portanto, possuem incertezas associadas (IDFs históricas). Em cenários de mudança climática, seus efeitos sobre as relações IDF e os impactos decorrentes nas cidades tem alertado para a quantificação das IDFs futuras. No entanto, para estas condições futuras, as fontes de incertezas são ainda acrescidas em relação ao modelo climático e método utilizado. Por outro lado, pouca atenção é dada aos limites de incertezas já existentes nas IDFs históricas. Neste sentido, as incertezas das estimativas de IDFs históricas são capazes de contemplar as estimativas das IDFs futuras? Este trabalho teve como objetivo quantificar as incertezas inerentes às estimativas de precipitações intensas nos períodos histórico e futuro, baseada na estimativa de intervalos de confiança pelo método paramétrico *bootstrap*. Esta análise foi aplicada à estação pluviométrica 8° DISME, localizada na zona urbana de Porto Alegre, RS.

¹) Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, (51) 98210-4261, e-mail: danifeitoza@usp.br

²) Graduanda em Engenharia Hídrica, UNIFEI, Av. BPS, 1303 - Pinheirinho, Itajubá-MG, 37500-903, (11)99845-6552, e-mail: mellindagnogueira@gmail.com

³) Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, UFJF-MG, Juiz de Fora. Rua José Lourenço, 393, São Pedro, CEP 36036-230, (24)98111-1048, e-mail: joao.tanaka@engenharia.ufjf.br

⁴) Aluna de Pós-graduação em Engenharia Civil – PEC, na Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, e-mail: jussara.santos@engenharia.ufjf.br

⁵) Graduanda em Engenharia Civil, UFJF-MG, Juiz de Fora - MG, CEP 36036-900, (32) 99855-4454, e-mail: rafaela.tortorelli@engenharia.ufjf.br

⁶) Professor associado do Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária ESA-UFJF-MG, Juiz de Fora. e-mail: celso.bandeira@ufjf.br

INTRODUÇÃO

As relações de intensidade-duração-frequência (IDF) são instrumentos de planejamento para a estimativa de precipitações máximas com base na duração e frequência de ocorrência do evento. As relações IDF permitem a estimativa de precipitações para durações menores que um dia (24 horas), sendo amplamente utilizadas para o dimensionamento da infraestrutura urbana, como projetos de sistemas de drenagens e estruturas hidráulicas.

A determinação da relação IDF é realizada a partir de dados de precipitação histórica máxima anual associada aos métodos estatísticos de análise de frequência local. Deste modo, as IDFs apresentam incertezas associadas. Porém, as mudanças climáticas causadas pela humanidade já afetam diversos extremos climáticos ao redor do planeta (IPCC, 2023) e, portanto, observa-se a necessidade de realizar análises tanto de dados históricos quanto para períodos futuros.

Tendo em vista a necessidade de análises e distribuições estatísticas, as diferentes opções e métodos apresentam diversas incertezas associadas, assim como seus parâmetros. Observa-se que grande parte das discussões a respeito das relações IDF tratam das metodologias para sua definição e resultados finais, e em muitos casos a análise de incertezas nem sempre é considerada na escolha da distribuição de probabilidades que melhor representa os dados (ABREU et al, 2018).

Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo analisar as incertezas associadas ao traçado da IDF no período histórico e futuro da estação pluviométrica 8º DISME (código ANA - 03051011 e INMET - 83967), localizada na zona urbana de Porto Alegre, RS.

MATERIAIS E MÉTODOS

Obtenção dos dados de precipitação máxima anual via observação

Os dados observados para o estudo foram obtidos junto à estação meteorológica 8º DISME (código ANA - 03051011 e INMET - 83967), em Porto Alegre-RS. A estação está localizada nas coordenadas Latitude 30°03'13" S e Longitude 51°10'24" W, no bairro Jardim Botânico. Esta estação está em operação desde 1961. Para este estudo, foram considerados dados de 1975 a 2022. As precipitações máximas anuais adotadas para a referida estação foram obtidas de duas maneiras:

(i) para o período de 1975 a 2014 foram consideradas as precipitações máximas anuais para durações de 5, 10, 15, 30, 45 minutos, e 1, 2, 3, 4, 8, 14 e 24 horas, extraídas do Relatório do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2015); e

(ii) para o período de 2015 a 2022, as precipitações máximas anuais de duração igual ou superior a 1 hora foram obtidas junto aos dados de chuva horária disponíveis na plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A partir da chuva horária foi possível realizar a soma móvel para as diferentes durações e obter a máxima anual. Para a determinação das precipitações máximas anuais sub-horárias, foram utilizadas as relações entre durações dos dados consistidos da CPRM (2015), a partir do qual foram determinadas as relações de 5, 10, 15, 30 e 45 minutos em relação a 1 hora. Tais relações foram estimadas considerando as informações do período de 1975 a 2014 e podem ser observadas no Quadro 1. As precipitações máximas anuais de durações sub-horárias foram então determinadas a partir da multiplicação do valor da mediana à precipitação máxima anual de duração 1 hora, para os anos de 2015 a 2022. Vale ressaltar que, o procedimento da adoção do valor da mediana, está associado a possíveis incertezas, porém promove a melhor estimativa de resultados (RAJCZAK; SCHÄR, 2017).

Obtenção de dados de precipitação via simulação climática

Dados de precipitação via simulação climática foram obtidos junto ao modelo climático regional Eta (CPTEC/INPE). O Eta é um modelo regional que abrange o território brasileiro e inclui os padrões climatológicos e topografia da América do Sul. Os produtos do modelo Eta são

disponibilizados na plataforma PROJETA, através do site <https://projeta.cptec.inpe.br> (CHOU et al., 2014a; LYRA et al., 2017). Os produtos de precipitação disponibilizados para a região sul do Brasil possuem resolução espacial de 20 x 20 km e resolução temporal diária e 3 horas para o período de 1961 a 2099. Para este estudo considerou-se apenas a resolução temporal diária.

Quadro 1 – Média, desvio padrão e mediana das relações entre durações do período de 1975 a 2014.

Estatísticas descritivas	R 5min/1h	R 10min/1h	R 15min/1h	R 30min/1h	R 45min/1h
Média	30%	44%	56%	81%	93%
Desvio padrão	7%	8%	10%	10%	6%
Mediana	28%	43%	57%	82%	95%

Os dados de precipitação do modelo Eta consideram dois tipos de cenários de emissão de gases de efeito estufa do IPCC (2014), sendo que compreendem projeções de níveis de forçante radiativa estimada, como o RCP 4.5 e o RCP 8.5, do *Coupled Model Intercomparison Project 5* (CMIP5 – Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados 5). O modelo Eta apresenta como condição de contorno os seguintes *General Circulation Models* (GCMs – Modelos de Circulação Geral ou Modelos Climáticos Globais): MIROC5, HADGEM2-ES, CANESM2 e BESM. Atualmente já existem novos modelos climáticos do CMIP6, contudo, estes ainda não estão disponíveis regionalmente na plataforma PROJETA.

Para este estudo, foram extraídas as precipitações de resolução temporal diária proveniente dos quatro modelos acima mencionados considerando ambos os cenários disponíveis, para o período de 1961 a 2005 (período de base). Projeções futuras foram conduzidas para o período de 2020 e 2099.

De maneira geral, modelos climáticos possuem limitações por dois fatores: (i) parametrização dos processos climáticos; e (ii) complexidade dos processos climáticos. De (i), cada modelo tem sua maneira de representar os processos do clima, enquanto de (ii), esses processos são tão complexos que sua representatividade é limitada. Visando a análise conjunta de diferentes modelos climáticos, têm-se que a mediana promove a melhor estimativa de resultados (RAJCZAK; SCHÄR, 2017). Portanto, optou-se por utilizar a mediana dos modelos, que foi calculada para cada ano e com base nos 4 modelos.

Estimativa de relações IDF

Organizadas as precipitações máximas anuais para diferentes durações, as estimativas de relações IDF foram obtidas para os períodos histórico - observado, e de duração diária - advindas de simulações climáticas.

As relações IDF foram determinadas por meio de análises estatísticas das frequências de ocorrência de precipitações máximas de diferentes durações, com base na distribuição teórica de probabilidade GEV (Generalizada de Valores Extremos – *Generalized Extreme Value*), que é amplamente utilizada na literatura (EL ADLOUNI, 2007; KIM et al., 2017) e possui dominância de uso em relação a outros tipos de distribuições de probabilidades, como Log-Pearson e Exponencial.

A distribuição de probabilidades GEV, apresentada na Equação (1), é composta por três distribuições combinadas em uma, sendo Gumbel, Frechét e Weibull. Os parâmetros da distribuição de GEV foram obtidos pelo método da Máxima Verossimilhança (COLES, 2001).

$$F(X; \mu, \sigma, \xi) = \begin{cases} \exp \left\{ - \left[1 + \frac{\xi(x-\mu)}{\sigma} \right]^{-\frac{1}{\xi}} \right\}, \sigma > 0, 1 + \frac{\xi(x-\mu)}{\sigma} > 0, \xi \neq 0 \\ \exp \left\{ - \exp \left[- \frac{(x-\mu)}{\sigma} \right] \right\}, \sigma > 0, \xi = 0 \end{cases} \quad (1)$$

sendo que: μ é o parâmetro de localização, que descreve a posição da distribuição; σ é o parâmetro de escala, que descreve a dispersão da distribuição; e ξ é o parâmetro de forma, que descreve o comportamento da cauda da distribuição. $\xi > 0$ representa o caso Frechét, em que a função densidade decresce em uma taxa reduzida; $\xi < 0$ representa o caso Weibull, usual para eventos intensos de mínimos; e $\xi = 0$ representa o caso Gumbel, com a cauda ilimitada.

Período histórico

Para a geração da relação IDF no período histórico, aplicou-se diretamente a Equação (1) para diferentes durações e tempos de retorno. Utilizou-se o *software* RStudio (versão 3.5.3) através do pacote “extRemes” (GILLELAND, 2022) para esta finalidade.

Recentemente, Silva (2022) produziu novas relações IDF para a estação do 8º DISME utilizando distribuição de GEV aplicada aos dados de 1975 a 2014. Estas relações serão consideradas para fins de comparação às produzidas no âmbito deste estudo.

Período futuro

Para a geração das relações IDF futura (adaptada às mudanças climáticas), utilizou-se a metodologia *Equidistance Quantile Matching* (EQM - Correspondência de Quantis de Equidistância). Esta metodologia de geração de IDFs futuras foi originalmente proposta por Srivastav, Schardong e Simonovic (2014) para uso da distribuição estatística de Gumbel, e atualizada por Schardong et al. (2018) para aplicação à distribuição estatística de GEV. Comparado a outros métodos de geração de IDFs futuras, o método EQM tende a reduzir os erros associados ao uso de séries contínuas de precipitação, pois se baseia no uso direto de precipitações máximas anuais e distribuição de probabilidade associadas (HASSANZADEH et al., 2019).

Utilizando dados de simulações climáticas, o método EQM é subdividido em duas etapas principais, baseadas na teoria do mapeamento de quantis (CANNON et al., 2015): (i) *downscaling* espacial, em que há remoção de viés dos dados climáticos a partir dos dados observados; e (ii) *downscaling* temporal, que considera as mudanças relativas dos dados climáticos, entre o tempo presente (histórico) e futuro. Com base nas etapas é possível gerar séries temporais de máximas no período futuro e, na sequência, futuras relações IDF.

Recentemente o método EQM evoluiu para EQMNS, desenvolvido por Silva et al. (2021), a partir do qual é possível considerar os efeitos da não-estacionariedade das séries de precipitações máximas anuais na geração das relações IDF. Entretanto, ressalta-se que neste trabalho adotou-se o princípio da estacionariedade na análise estatística das séries.

Análise de incertezas nas estimativas de precipitações intensas

O uso de modelos de distribuição de probabilidade na estimativa de precipitações intensas carrega consigo uma série de incertezas que vão desde a amostra de chuvas utilizadas até a estimativa da precipitação máxima para uma certa duração e frequência. Essas incertezas surgem devido à natureza estatística dos dados e à variabilidade dos eventos climáticos. Ao aplicar esses modelos, é importante considerar as limitações e a precisão das estimativas resultantes, levando em conta a adequação dos parâmetros escolhidos e os pressupostos subjacentes.

A ideia central deste artigo é avaliar as incertezas associadas às estimativas de relações IDF, nos períodos histórico e futuro, comparando-os. Para tal, as incertezas nas estimativas foram analisadas com base nos intervalos de confiança calculados pelo método paramétrico *bootstrap* (EFRON; TIBSHIRANI, 1993), no qual são realizadas amostragens aleatórias e realizados modelos paramétricos para cálculo das estatísticas. O método *bootstrap* foi aplicado para um nível de confiança de 95%, cujos cálculos foram realizados em ambiente *RStudio* através do pacote “extRemes”.

RESULTADOS

Relações IDF no período histórico

A partir dos dados históricos foi possível estimar as intensidades máximas a partir da distribuição GEV. Os valores das relações IDFs, de intensidade (mm/h) para os tempos de retorno: 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, para a estação 8° DISME de Porto Alegre, do período de 1975 a 2022, são apresentados no Quadro 2 e representados graficamente na Figura 1.

Comparando os resultados de Silva (2022) aos produzidos neste trabalho, nota-se que não há um padrão de aumento ou redução. Para chuvas de 24h e maior frequência – TR 2 a 10 anos, observa-se que houve um aumento nas precipitações máximas de até 14%, ao passo que para eventos de menor frequência – TR 100 anos – houve redução na precipitação máxima. Para chuvas de super curta duração, entre 5 e 15 minutos, observou-se decréscimo comparado ao período até 2014, enquanto para chuvas de duração entre 30 minutos e 1h, houve aumento de até 12% para todos os TRs.

O comportamento das precipitações intensas mostrou-se não haver um único padrão em relação à duração e probabilidade de ocorrência, e, em consequência, o incremento de dados para a produção da relação IDF no município de Porto Alegre – de 2015 a 2022 – se mostrou insuficiente para indicar qualquer variação no padrão das precipitações intensas do município.

Relações IDF no período futuro

Os resultados das estimativas de precipitação do período futuro, quando comparados ao histórico, podem ser observados no Quadro 4, cenário RCP 4.5, e Quadro 5, cenário RCP 8.5, obtidos em termos de mudança relativa no futuro em relação ao presente. Observa-se para o cenário RCP 4.5, que as mudanças são sempre positivas, embora de baixa magnitude. Maiores mudanças são observadas para as durações de 45 minutos e 1 hora, e tempo de retorno de 100 anos, aumentando em até 6%. Para os eventos de maior duração, a diferença é menor, reduzindo ao passo que a duração da precipitação aumenta. Para durações iguais a 24 horas, a máxima diferença é de até 1%.

Para o cenário RCP 8.5, o padrão é de aumento para todas as durações e tempos de retorno, inclusive superiores àqueles estimados para o RCP 4.5. De fato, este era o resultado esperado, tendo em vista que o cenário RCP 8.5 indica condição climática mais crítica. Observa-se que, até o tempo de retorno de 10 anos, para todas as durações, a diferença é menor que 8%. A maior diferença obtida entre os valores de histórico e futuro foram para as durações de 45 min e 1 hora, sendo de 20% para o tempo de retorno de 100 anos. Apesar dos valores aqui apresentados em mudança relativa, estas diferenças estão intrínsecas às estimativas de precipitações máximas e não ponderam as incertezas associadas às mesmas. Para esta verificação, foram construídos gráficos que contemplam as estimativas de precipitações máximas para diferentes durações e tempos de retorno, nos períodos histórico e futuro (Figura 2).

Na Figura 2 é possível observar que existe um comportamento similar entre o período histórico e futuro, para o cenário RCP 4.5, conforme já observado nos resultados do Quadro 4. Para estes resultados, o intervalo de incertezas produzido no período histórico sempre se sobrepõe aos intervalos de incertezas produzidos no período futuro, independente da duração da precipitação, visto que a curva de distribuição futura apresenta semelhança com a curva histórica. Para o cenário RCP 8.5, nota-se comportamento superior ao do período histórico. Observa-se, no entanto, que as incertezas associadas às estimativas se apresentam bem próximas até o tempo de retorno de 5 anos, ao passo que exista uma tendência de aumento para TRs maiores. Para duração igual a 24 horas, por exemplo, observa-se que a curva de estimativa no futuro se aproxima da curva de limite máximo de estimativa no período histórico, mas não a excede. Este comportamento foi observado para todas as durações e tempos de retorno, em ambos os cenários de mudança do clima. Sendo assim, é possível afirmar que as incertezas associadas às estimativas de precipitação são capazes de contemplar as estimativas de precipitações intensas no período futuro.

Quadro 2 – Relações IDF's para a estação 8° DISME de Porto Alegre, para diferentes durações e tempos de retorno.

Tempo de Retorno	Duração											
	5min	10min	15min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	8h	14h	24h
2 anos	115,1	88	76	53,9	41,5	33,3	19,9	14,8	12	7,5	5,2	3,5
5 anos	141,4	109,7	94,6	67,6	52,4	42,4	24,6	17,8	14,5	8,9	6,3	4,3
10 anos	161	124,3	106,3	77,2	60,5	49,1	27,8	19,9	16,1	9,8	7	4,8
25 anos	188,7	143,1	120,5	89,7	71,8	58,5	32	22,6	18,2	10,9	7,8	5,3
50 anos	211,6	157,2	130,7	99,4	81,1	66,3	35,3	24,6	19,7	11,7	8,4	5,6
100 anos	236,4	171,5	140,3	109,4	91	74,6	38,7	26,6	21,2	12,5	8,9	5,9

Quadro 3 – Relações entre estimativas de precipitações máximas para a estação 8° DISME de Porto Alegre, considerando as produzidas neste trabalho e àquelas de Silva (2002).

Tempo de Retorno	Relação											
	5min	10min	15min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	8h	14h	24h
2 anos	-7%	-8%	-4%	0%	0%	-3%	-5%	-5%	-5%	0%	7%	8%
5 anos	-3%	-2%	2%	8%	8%	6%	0%	-2%	-2%	2%	10%	14%
10 anos	-2%	-2%	2%	9%	11%	9%	1%	-3%	-3%	-1%	9%	13%
25 anos	-1%	-4%	-2%	8%	12%	11%	-1%	-6%	-6%	-6%	3%	6%
50 anos	-2%	-6%	-5%	6%	12%	11%	-3%	-9%	-10%	-10%	-1%	0%
100 anos	-3%	-9%	-10%	4%	12%	11%	-6%	-13%	-14%	-15%	-7%	-7%

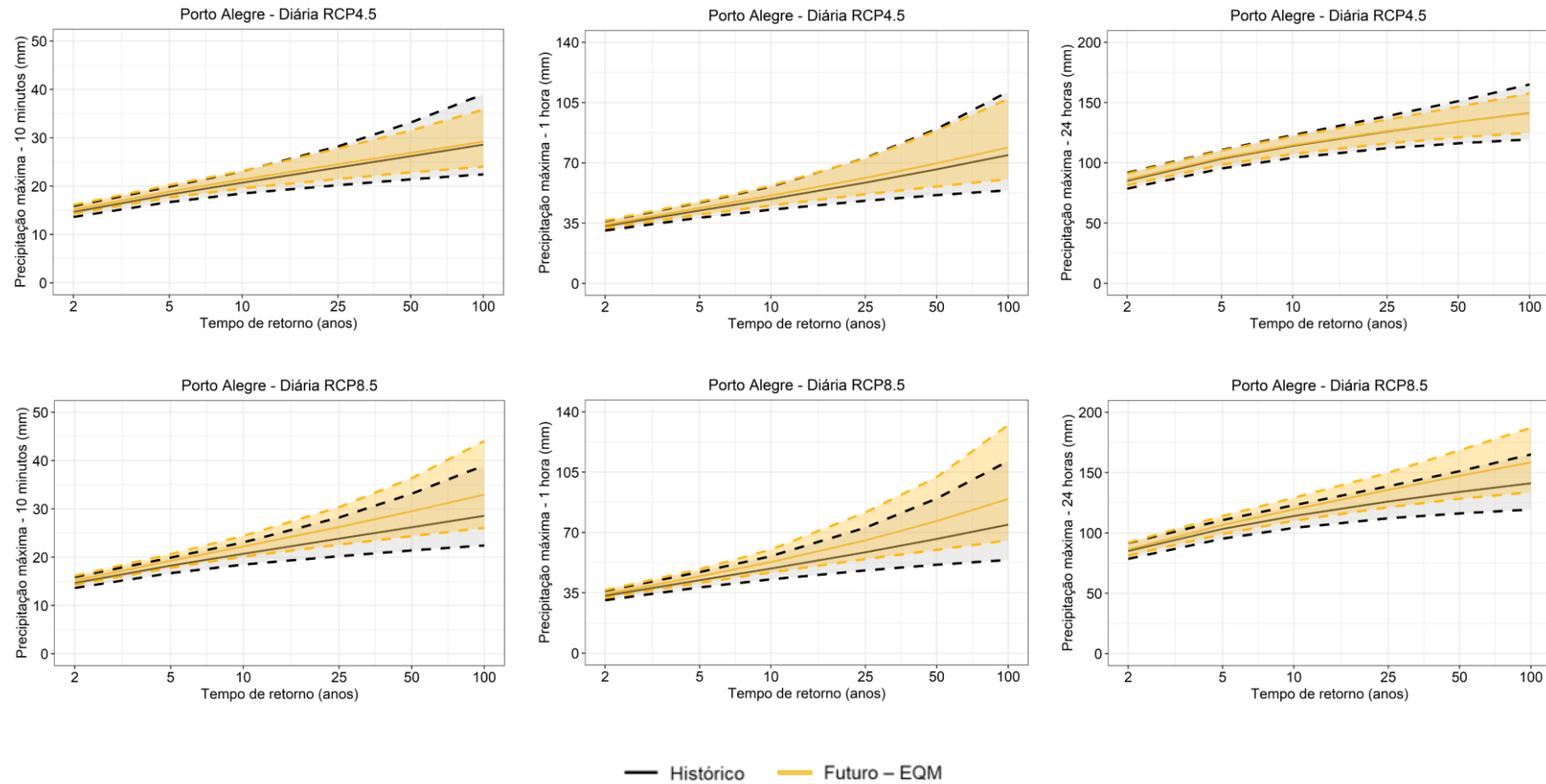
Quadro 4 – Relações entre estimativas de precipitações máximas para a estação 8° DISME de Porto Alegre, considerando período futuro (RCP 4.5) e período histórico.

Tempo de Retorno	Relação											
	5min	10min	15min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	8h	14h	24h
2 anos	4%	3%	3%	2%	2%	3%	3%	3%	2%	2%	1%	1%
5 anos	4%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	2%	2%	2%	1%	1%
10 anos	3%	3%	2%	3%	3%	4%	3%	2%	2%	2%	1%	1%
25 anos	3%	3%	2%	3%	4%	5%	3%	2%	2%	2%	2%	0%
50 anos	3%	3%	2%	3%	5%	5%	3%	2%	2%	2%	2%	0%
100 anos	2%	2%	1%	4%	6%	6%	3%	2%	3%	2%	2%	0%

Quadro 5 – Relações entre estimativas de precipitações máximas para a estação 8° DISME de Porto Alegre, considerando período futuro (RCP 8.5) e período histórico.

Tempo de Retorno	Relação											
	5min	10min	15min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	8h	14h	24h
2 anos	4%	4%	3%	3%	2%	3%	3%	3%	2%	2%	1%	2%
5 anos	5%	5%	5%	5%	4%	5%	5%	4%	4%	4%	3%	3%
10 anos	7%	7%	7%	7%	7%	8%	7%	6%	6%	6%	5%	5%
25 anos	11%	10%	9%	11%	11%	12%	10%	9%	10%	9%	9%	8%
50 anos	14%	13%	12%	14%	15%	16%	13%	12%	13%	13%	12%	10%
100 anos	18%	15%	14%	17%	20%	20%	17%	16%	17%	16%	16%	12%

Figura 2 – Intervalos de confiança de 95% para a estimativa de precipitação de duração de 10 min, 1 h e 24 horas, para diferentes tempos de retorno.



CONCLUSÕES

O estudo empregou análises quanto à estimativa das incertezas associadas às estimativas de IDFs históricas e futuras, considerando cenários de mudanças climáticas para a estação 8° DISME, no município de Porto Alegre. A distribuição probabilística aplicada para o estudo foi o método GEV. As mudanças climáticas foram estimadas considerando os valores do modelo Eta, que apresenta dois tipos de cenários de emissão de gases de efeito estufa o RCP 4.5 e o RCP 8.5.

Os resultados decorrentes da geração das relações IDFs para ambos os períodos históricos e futuros (considerando mudanças climáticas) apresentaram um intervalo de incertezas no período histórico que se sobrepõe aos intervalos de incertezas produzidos no período futuro para o RCP 4.5, além de apresentar tendências semelhantes entre os períodos. Já para o cenário RCP 8.5, as curvas de distribuição do cenário histórico e futuro se apresentaram bem próximas até o TR de 5 anos, ao passo que existe uma tendência de aumento para TRs maiores. Porém, ressalta-se que a curva de estimativa no futuro se aproxima da curva de limite máximo de estimativa no período histórico e não a excede. Deste modo, a curva de estimativa futura está dentro do limite de incertezas da curva histórica.

Vale ressaltar que este estudo realizou a análise para apenas uma estação, utilizando a distribuição de probabilidade de GEV, modelos climáticos do CMIP5, e comportamento estacionário. Recentemente, foram lançados novos conjuntos de modelos climáticos, no CMIP6. Deste modo, recomenda-se para futuros estudos a aplicação desta análise para outras estações, bem como a aplicação dos mais recentes modelos climáticos, para avaliar se seguem a mesma tendência aqui observada. Outra aplicação que pode ser realizada é a variação do comportamento estacionário para o não-estacionário, visando a melhor representação quanto às mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. C.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SANTOS, G. R.; ALMEIDA, L. T.; ZANETTI, S. S. (2018). “*Critérios para Escolha de Distribuições de Probabilidades em Estudos de Eventos Extremos de Precipitação*”. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 33, pp. 601-613. DOI: 10.1590/0102-7786334004.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. (2013). “*Köppen’s climate classification map for Brazil*”. Meteorologische Zeitschrift, 22 (6), pp. 711-728. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- CANNON, A. J.; SOBIE, S. R.; MURDOCK, T. Q. (2015). “*Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: how well do methods preserve changes in quantiles and extremes?*”. Journal of Climate, v. 28, pp. 6938-6959. DOI: 10.1175/JCLI-D-14-00754.1.
- CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANETE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; NOBRE, P.; MARENGO, J. (2014a). “*Evaluation of the Eta simulations nested in three global climate models*”. American Journal of Climate Change, v. 3, pp. 438-454. DOI: 10.4236/ajcc.2014.35039.
- COLES, S. (2001). “*An introduction to statistical modeling of extreme values*”. Springer, 221f.
- CPRM. (2015). Serviço Geológico do Brasil. “*Atlas Pluviométrico do Brasil – Equações Intensidade-Duração-Frequência*”. Município: Porto Alegre. Estação Pluviográfica: Porto Alegre, Códigos 03051011 (ANA) e 83967 (OMM).
- EFRON, B.; TIBSHIRANI, R.J. (1993). “*An Introduction to the Bootstrap*”. New York: Chapman & Hall/CRC, p. 456.

- EL ADLOUNI, S. E.; OUARDA, T. B. M. J.; ZHANG, X.; ROY, R.; BOBÉE, B. (2007). “Generalized maximum likelihood estimators for the nonstationarity generalized extreme value model”. *Water Resources Research*, v. 43, W03410. DOI: 10.1029/2005WR004545.
- GILLELAND, E. (2022). “Package ‘extRemes’, version 2.1-3”. Extreme value analysis. Disponível em: <<https://www.rdocumentation.org/packages/extRemes/versions/2.1-3>>. Acesso em 11 jun 2023.
- HASSANZADEH, E.; NAZEMI, A.; ADAMOWSKI, J.; NGUYEN, T-H; VAN-NGUYEN, V-T. (2019). “Quantile-based downscaling of rainfall extremes: notes on methodological functionality, associated uncertainty and application in practice”. *Advances in Water Resources*, 131, 103371. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.07.001>.
- IPCC. (2014). “Climate change 2014: Synthesis report”. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Pachauri, R. K.; and Meyer, L. A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151p.
- IPCC. (2023). “Climate Change 2023: Synthesis Report”. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, (in press).
- KIM, H.; KIM, S.; SHIN, H.; HEO, J-H. (2017). “Appropriate models selection methods for nonstationarity generalized extreme value models”. *Journal of Hydrology*.
- LYRA, A.; TAVARES, P.; CHOU, S. C.; SUEIRO, G.; DERECZYNSKI, C. P.; SONDERMANN, M.; SILVA, A.; MARENGO, J.; GIAROLLA, A. (2017). “Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the nonhydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution”. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 132, 1-2, pp. 663-682.
- RAJCZAK, J.; SCHÄR, C. (2017). “Projections of future precipitation extremes over Europe: A multimodel assessment of climate simulations”. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 122, pp.10773-10800. DOI: 10.1002/2017JD02716.
- SCHARDONG, A.; SRIVASTAV, R. K.; SIMONOVIC, S. P. (2014). “Atualização das curvas intensidade-duração-frequência para a cidade de São Paulo sob efeito de mudanças climáticas”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 4, pp. 176-185.
- SCHARDONG, A.; GAUR, A.; SIMONOVIC, S. P.; SANDISK, D. (2018). “Computadorized tool for the development of intensity-duration-frequency curves under a changing climate”. Technical Manual v.3. Water Resources Research Report no. 103, Facility for Intelligent Decision Support, Department of Civil and Environmental Engineering, London, Canada, 63p. ISSN: 1913-3219. ISBN: 978-0-7114-3107-4.
- SILVA, D. F.; SIMONOVIC, S. P.; SCHARDONG, A.; GOLDENFUM, J. A. (2021). “Introducing non-stationarity in the intensity-duration-frequency curves under a changing climate”. *Water*, 13(8), 1008. <https://doi.org/10.3390/w13081008>.
- SILVA, D. F. (2022). Curvas idf não-estacionárias na avaliação do efeito de mudanças climáticas em precipitações intensas. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS. <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/247573>.