

## XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO MUNICÍPIO DE SÃO LEOPOLDO/RS: PARTE 1 – RELAÇÕES IDF

*Daniele Feitoza Silva*<sup>1</sup>; *Benício Emanuel Omena Monte*<sup>2</sup>; *Joel Avruch Goldenfum*<sup>3</sup>; *Fernando Dornelles*<sup>4</sup>

**Palavras-Chave** – mudanças climáticas; relações IDF; modelo Eta

#### RESUMO

O Plano Diretor de Drenagem Urbana do município de São Leopoldo (RS) está em desenvolvimento, e deverá incluir elementos que direcionem gestores públicos à tomada de decisões, a exemplo da curva intensidade-duração-frequência (IDF). Face aos efeitos das mudanças climáticas, existe uma preocupação acerca de sua validade. Este trabalho tem como objetivo produzir, analisar e discutir impactos das mudanças climáticas sobre a curva IDF definida para o município. A geração da IDF futura foi baseada no método *Equidistance Quantile Matching*. Foram utilizados dados de série temporal do posto pluviométrico mais próximo à área urbana do município. Dados simulados de precipitação diária do modelo regional climático ETA (INPE/CPTEC) foram utilizados, adotando-se 2070-2099 como período de projeção. As curvas IDF futuras demonstraram que o percentual de aumento é progressivo, aumentando com o tempo de retorno (TR). Apesar da mudança em termos de intensidade ser relativamente pequena, observa-se uma redução na frequência dos eventos no futuro. Eventos com TR estimado em 100 anos a partir do período histórico tendem a se tornar eventos com TR estimado em 48 anos, ao fim do século. Esses resultados apontam para potenciais problemas no funcionamento do sistema de drenagem, alertando sobre a necessidade de desenvolvimento de medidas de adaptação, futuramente.

#### ABSTRACT

The Urban Drainage Master Plan of the town of São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brazil, is under development, and must contain elements which directs stakeholders into the decision-making process, as an example of Intensity-duration-frequency (IDF) curve. Given the climate change effects, there is a concern regard its validity. This paper aims to generate, analyze, and discuss the impacts of climate change in the IDF curve available for this town. Future IDF curves were produced based on the Equidistance Quantile Matching method. We used dataset obtained from the rain gauge closest to the São Leopoldo's urban area. Simulated data were obtained from the ETA model, using 2070-2099 as future period for projections. Results suggest a progressive increase in the rainfall intensity, according to the return period (RP). Although the relative change in intensity is not large, a reduction of the frequency of future events is observed. Events with an estimated return period of 100 years from historical period data tend to become events with an estimated return period of 48 years, until the end of the century. These results point to potential problems to the urban drainage system functioning, warning for a future need in the development of adaptation measures.

1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500. Caixa Postal 15029. E-mail: pariconha@gmail.com

2) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500. Caixa Postal 15029. E-mail: benicio\_monte@hotmail.com

3) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500. Caixa Postal 15029. E-mail: joel@iph.ufrgs.br

4) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500. Caixa Postal 15029. E-mail: fernando.dornelles@ufrgs.br

Relatórios do Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (IPCC) apontam para um aumento na temperatura média do planeta, como consequência das emissões de gases de efeito estufa (IPCC, 2014). Tais consequências produzem efeitos adversos sobre o clima, bem como a precipitação e suas características. Eventos extremos de precipitação são caracterizados por sua intensidade e frequência. Em áreas urbanas, esses eventos são particularmente importantes, pois afetam diretamente a população, causando prejuízos à sociedade e à infraestrutura urbana. Nesse contexto, as mudanças climáticas introduzem preocupações acerca dos seus efeitos em eventos extremos de precipitação.

A curva IDF é uma ferramenta comumente utilizada no dimensionamento de estruturas de água, pois agrega em um único valor características associadas a eventos extremos: intensidade, duração e frequência. Frente aos impactos das mudanças climáticas, metodologias voltadas a sua contabilização e análise têm sido desenvolvidas. Baseando-se em estatísticas de dados históricos, provenientes de observações, e dados simulados, provenientes de modelos climáticos e cenários de emissão de gases de efeito estufa, essas metodologias geralmente são voltadas à correção de viés e *downscaling* temporal dos dados no futuro (Butcher *et al.*, 2021; Cook *et al.*, 2020; Srivastav *et al.*, 2014).

Atualmente, o Plano Diretor de Drenagem de São Leopoldo está em fase de elaboração pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS). Contudo, planos diretores municipais geralmente possuem horizonte de planejamento de 25 anos, devendo então ser revisado diante dos futuros desafios apresentados. Dada a expectativa de aumento da intensidade das precipitações sobre a Região Sul do Brasil (Chou *et al.*, 2014; IPCC, 2014), onde o município de São Leopoldo está inserido, este trabalho tem como objetivo avaliar os impactos das mudanças climáticas nas relações IDF no futuro, de modo a subsidiar estudos para adoção de medidas ou estratégias de adaptação da infraestrutura urbana.

Este trabalho faz parte de uma série de 2 artigos que investigam os possíveis impactos das mudanças climáticas sob o projeto e funcionamento do sistema de drenagem urbana do município de São Leopoldo – RS. A Parte 1 analisa os impactos sobre chuva de projeto, mais precisamente em relações intensidade-duração-frequência (IDF), enquanto a Parte 2 investiga os impactos sobre o funcionamento do sistema urbano de águas pluviais.

## **ÁREA DE ESTUDO**

O município de São Leopoldo está localizado no estado do Rio Grande do Sul, na Região Metropolitana de Porto Alegre, e inserido na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. O município possui uma área de 102,313 km<sup>2</sup> e população de 214.087 habitantes (IBGE, 2010). A Figura 1 apresenta o município de São Leopoldo, bem como a estação pluviométrica de Campo Bom, utilizada neste estudo.

## **METODOLOGIA**

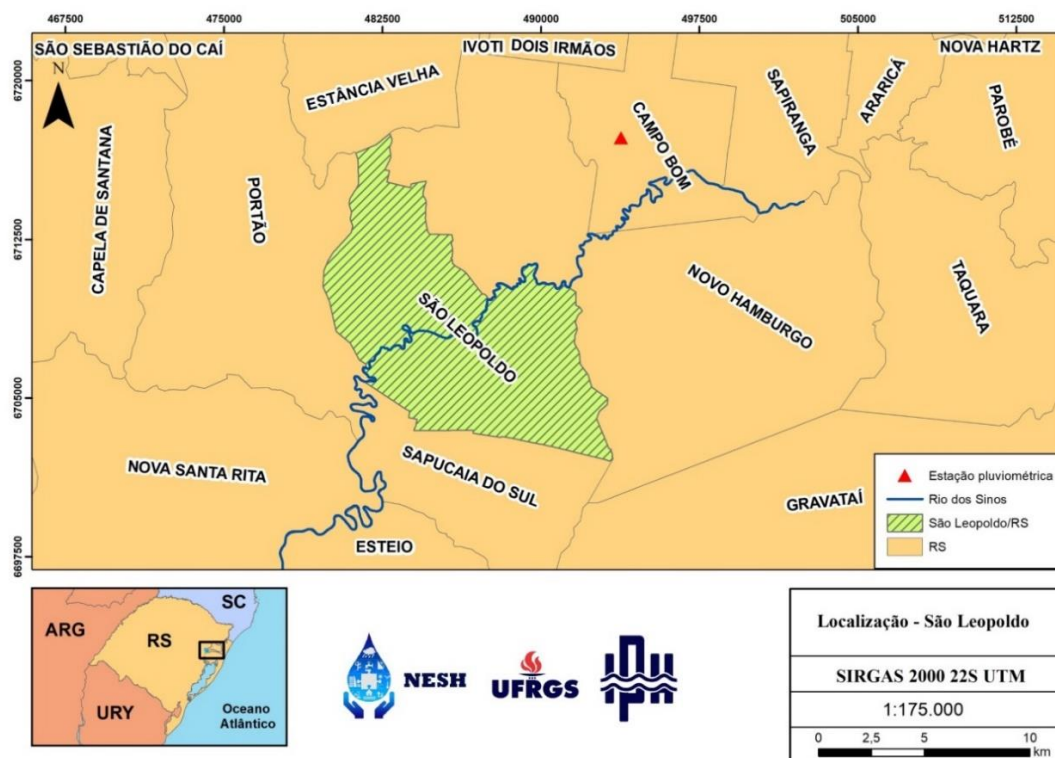
### **Coleta e Processamento dos dados**

#### ***Dados Observados***

Dados observados de precipitação foram obtidos junto ao Instituto Nacional De Meteorologia (INMET) (<https://bdmep.inmet.gov.br/>) para a estação mais próxima à área urbana de São Leopoldo: a estação Campo Bom (código 83961), que contém dados diários de agosto de 1984 a novembro de 2013. Em complemento, uma estação de monitoramento de precipitação horária, na mesma localização em Campo Bom (código A884) foi ativada desde novembro de 2013 (Figura 1). Para esta nova estação, estimou-se a precipitação diária como a soma das precipitações observadas nas últimas

24 h sempre às 12h00min do horário local. De posse destes dados, construiu-se uma série de precipitações máximas anuais diárias que compreende o período de 1985 a 2020 (33 anos completos).

Figura 1 – Localização do município de São Leopoldo/RS e da estação pluviométrica utilizada no estudo



Uma vez que a construção de curvas IDF requer séries de dados sub-diários, utilizou-se de coeficientes desagregadores de chuva. A conversão de chuvas diárias para chuvas de 24 h foi obtida multiplicando-se a precipitação diária por 1,14, sugerida em CETESB (1979). Os subsequentes desagregadores das precipitações de 24 horas para durações inferiores foram calculados usando a equação de Robaina e Peiter (1992). Para fins deste trabalho, optou-se por utilizar séries temporais de precipitações de duração: 5 min, 10min, 15min, 20min, 30min, 45min, 1h, 2h, 4h, 6h, 12h, 24h.

$$f_d = 0,00006596t + 0,1573 \ln(1 + 0,2293t) \quad (1)$$

onde  $f_d$  é o fator desagregador da chuva de 24 h para chuva de duração  $t$ , em minutos, inferior.

### Dados Simulados

Dados simulados de precipitação foram provenientes do modelo climático regional ETA, do INPE – CPTEC, obtidos na plataforma Projeta (<https://projeta.cptec.inpe.br/>). O modelo ETA simula as condições climáticas históricas e futuras para América do Sul, sendo forçados por 4 modelos climáticos globais como condições de contorno: MIROC5, CANESM2, HADGEM2-ES e BESM (Brazil, 2016; Chou et al., 2014a, 2014b; Lyra *et al.*, 2017). Para o ponto de interesse, foram extraídas as precipitações de resolução temporal diária proveniente dos quatro modelos acima mencionados (resolução espacial de 20 km x 20 km), considerando o cenário mais extremo, RCP 8.5, para o período de 1960 a 2005 (período de base). Projeções futuras foram conduzidas para o período de 2070 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. Dessa forma, e de maneira a abordar o conjunto dos modelos

climáticos disponíveis, optou-se por utilizar a mediana dos modelos. A mediana foi calculada para cada ano e com base nos 4 modelos.

## Distribuição Teórica de Probabilidades

A geração de curvas IDF envolve o ajuste de uma distribuição teórica de probabilidade aos dados. Esse ajuste é necessário para que se obtenha os quantis de precipitação para probabilidades de excedência de interesse, ou seja, tempos de retorno. Neste trabalho, adotou-se a distribuição de GEV (*Generalized Extreme Value*), que se destaca por englobar toda uma família de distribuições de Valor Extremo (EV – *Extreme value*), além de utilizar 3 parâmetros (posição, escala e forma), proporcionando melhor representatividade aos eventos mais extremos (Coles, 2001).

## Relações IDF no Período Futuro

Para a geração de curvas IDF no futuro, utilizou-se o método *Equidistance Quantile Matching* (EQM), metodologia proposta por Srivastav *et al.* (2014) baseada na distribuição de Gumbel e atualizada por Schardong *et al.* (2018) para uso da distribuição de GEV. Utilizando projeções climáticas, o método EQM baseia-se em duas premissas: (i) remoção de viés dos dados climáticos a partir dos dados observados; e (ii) consideração das mudanças relativas dos dados climáticos, entre o tempo presente (histórico) e futuro. Tais premissas são abordadas com base na teoria do mapeamento de quantis (Cannon *et al.*, 2015). Com base na adoção conjunta das duas premissas é possível gerar séries temporais de máximas no período futuro e, na sequência, futuras relações IDF.

## Análise de Impactos

A análise dos impactos das mudanças climáticas foi realizada com base nas equações IDF ajustadas. De posse das relações IDF, é possível estimar os parâmetros das curvas IDFs no presente e futuro. A equação adotada foi do tipo apresentado na Eq. 2, abaixo:

$$I = \frac{aT^b}{(c + t)^d} \quad (2)$$

onde  $I$  é a intensidade de precipitação (mm/h),  $T$  é o tempo de retorno (anos),  $t$  é a duração da precipitação (min) e  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  são os parâmetros adimensionais.

Os parâmetros da equação IDF foram estimados usando o suplemento *Solver* do *Microsoft Excel*, admitindo-se o método Evolucionário como solução de equações. O desvio percentual médio absoluto (DPMA) foi utilizado como métrica a ser minimizada para otimização da solução.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos neste estudo, acrescidos de comentários e discussões.

### Equações IDF

A partir das relações IDF estimadas para os períodos histórico e futuro, curvas foram ajustadas no formato da Eq. 2, de modo que os coeficientes fossem obtidos. As equações 3 e 4 apresentam as equações IDF ajustadas para São Leopoldo, H para o período histórico e F para o período futuro.

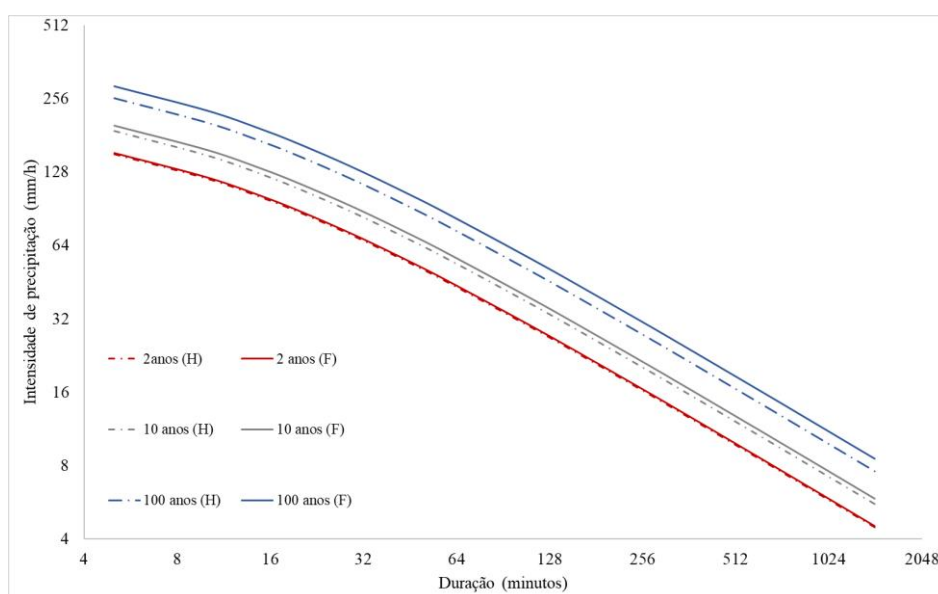
$$I(H) = \frac{1022,44T^{0,135}}{(8,988+t)^{0,7596}}, \text{ DPMA} = 5,10\% \quad (3)$$

$$I(F) = \frac{1018,69T^{0,162}}{(9,078+t)^{0,7601}}, \text{ DPMA} = 4,69\% \quad (4)$$

Os resultados para os tempos de retorno de 2, 10, e 100 anos são apresentados no formato de curvas IDF, na Figura 2. Os resultados para tempos de retorno de 5, 25 e 50 anos seguem o mesmo padrão de variação. Visualmente, é possível perceber que as curvas futuras posicionam acima das curvas históricas para todos os tempos de retorno, indicando aumento na intensidade da precipitação para o período de 2070-2099, em relação ao período histórico. Tais resultados justificam a necessidade de atualização das curvas IDF periodicamente.

Em termos de variação de intensidade entre os tempos de retorno, observa-se um padrão similar, justificado pelo uso das chuvas diárias na geração de sub-diárias. Idealmente, o uso de pluviógrafos com registros de dados sub-diários melhor representaria a real magnitude dos eventos para os diferentes tempos de retorno evitando possíveis influências da adoção das relações de desagregação obtidas para outras estações pluviométricas. De fato, a estação utilizada possui dados horários desde 2013, entretanto, a amostra possui poucos anos, podendo não ser representativa para todo o período analisado.

Figura 2 – Curvas IDF (Estação Campo Bom) para diferentes tempos de retorno. Linhas contínuas são IDF futuras (F), linhas tracejadas são IDF históricas (H)



### Mudança Relativa (intensidade)

Diferentes resultados podem ser obtidos da comparação entre relações IDF, dentre as quais se tem a mudança relativa. Mudança relativa é a variação calculada no período futuro em relação ao período histórico. A Tabela 1 apresenta a mudança relativa em intensidade de precipitação para o município de São Leopoldo.

Os resultados demonstram que a mudança relativa é proporcional ao aumento do TR considerado, de modo que as mudanças relativas a eventos raros são superiores àquelas relativas a eventos frequentes. Entre as durações, o padrão de mudança relativa é similar. Essa similaridade se deve ao fato de que séries de precipitações sub-diárias foram construídas a partir da série de precipitação diária, tanto no presente como no futuro. De modo geral, esses valores indicam um aumento médio de 5,5% para o TR 10, usualmente utilizado para obras de microdrenagem. Para o dimensionamento de obras de macrodrenagem, estima-se um aumento em torno de 11% (TRs 50 e 100 anos). Os valores aqui apresentados sugerem uma pressão extra para a qual o sistema de drenagem atualmente não foi dimensionado. Teoricamente, essas mudanças podem ser acrescentadas, no futuro, como um coeficiente de mudança à IDF histórica.

Tabela 1 – Mudança relativa das IDF's futuras em relação às IDF's históricas

Mudança Relativa (%)	Duração (minutos)	TR (anos)					
		2	5	10	25	50	100
	5	0,9	3,4	5,3	8,0	10,0	12,1
	10	1,0	3,5	5,5	8,1	10,1	12,2
	15	1,1	3,6	5,5	8,2	10,2	12,3
	20	1,1	3,6	5,6	8,2	10,2	12,3
	30	1,1	3,7	5,6	8,2	10,3	12,4
	45	1,2	3,7	5,6	8,3	10,3	12,4
	60	1,2	3,7	5,7	8,3	10,3	12,4
	120	1,2	3,7	5,7	8,3	10,3	12,4
	240	1,2	3,7	5,7	8,3	10,3	12,4
	360	1,2	3,7	5,6	8,3	10,3	12,4
	720	1,1	3,7	5,6	8,3	10,3	12,4
	1440	1,1	3,6	5,6	8,2	10,3	12,3

### Tempo de Retorno (frequência)

Embora a intensidade dos eventos extremos seja importante para a sua caracterização, a frequência dos eventos também deve ser analisada, pois facilita o entendimento de sua recorrência média ao decorrer dos anos. A Tabela 2 apresenta o ajuste dos tempos de retorno no período futuro quando da manutenção da precipitação de projeto de 24h. A relação presente e futuro sugere que, quanto mais raro for o evento de precipitação, atualmente, mais frequente será no futuro. Para eventos mais raros, como por exemplo de TR 100 anos, uma frequência de, em média, pelo menos 1 vez a cada 48 anos, é projetada. Teoricamente, essa nova frequência pode ser considerada, no futuro, ajustando-se os TR associados às obras de engenharia.

O Plano Diretor de Drenagem Urbana do Município de São Leopoldo prevê o funcionamento do sistema de drenagem para um TR 25 anos; deste modo, que as estruturas sejam dimensionadas a esta frequência. A um tempo de duração igual a 24h, a intensidade de precipitação associada é de 6,27 mm/h. Considerando as curvas IDF's ajustadas, obteve-se que, no período futuro, esta mesma intensidade está associada ao TR 15 anos. Estes valores mostram uma redução de 10 anos no risco associado. Em tese, eventos que se espera que ocorra, em média, 1 vez a cada 25 anos, acontecerão em média, 1 vez a cada 15 anos, no futuro.

Tabela 2 – Tempos de retorno no futuro ajustados aos eventos de intensidade de precipitação de 24h, no presente

TR presente	TR ajustado
2	2
5	4
10	7
25	15
50	28
100	48

## CONCLUSÕES

Quantificar e entender os impactos das mudanças climáticas em áreas urbanas é importante na identificação de áreas vulneráveis e elaboração de estratégias de adaptação. Para a drenagem urbana, aumentos na magnitude e frequência de precipitações afetam diretamente a geração de escoamento superficial e, por conseguinte, no funcionamento dos elementos estruturais, bem como na sua eficiência.

Neste trabalho, equações IDF foram produzidas a partir de séries temporais de precipitações no período histórico e futuro, a partir de metodologias pré-existentes, como o método EQM. Os resultados obtidos para o período de 2070 e 2099 evidenciam crescimento da intensidade (ao fixar determinada frequência de ocorrência) ou frequência média (ao fixar determinada intensidade) da precipitação dos eventos intensos. Para a estação de estudo, os resultados foram mais expressivos para eventos mais raros; contudo, evidenciam que estes eventos podem não ser tão raros, no futuro.

Os resultados aqui apresentados compreendem um período futuro de aproximadamente 70 anos à frente; deste modo, sugere-se que análises futuras sejam realizadas, validando a IDF futura. Além disso, enfatiza-se as incertezas atreladas aos cenários de emissões de gases de efeito estufa, adoção de métodos de geração de futuras IDF e estruturação de chuvas de projeto. De fato, eventos de precipitação são aleatórios e sua ocorrência está associada a um conjunto de fatores, de características locais a atmosféricas. De qualquer modo, enfatiza-se o presente estudo como uma avaliação prévia dos efeitos de mudanças climáticas locais, corroborando investigações periódicas sobre o objeto de estudo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), *grant number* 88882.345767/2019-01.

## REFERÊNCIAS

- BRAZIL. Ministry of Science, Technology and Innovation. Secretariat of Policies and Programs of Research and Development. General Coordination of Global Climate Change. (2016). “*Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change – Executive Summary.*” Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016. 42p. Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/branc3es.pdf>.
- BUTCHER, J. B.; ZI, T.; PICKARD, B. R.; JOB, S. C.; JOHNSON, T. E.; GROZA, B. A. (2021). “*Efficient statistical approach to develop intensity-duration-frequency curves for precipitation and runoff under climate change*”. *Climatic Change*, 164:3. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-02963-y>.
- CANNON, A. J.; SOBIE, S. R.; MURDOCK, T. Q. (2015). “*Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: how well do method preserve changes in quantiles and extremes?*”. *Journal of Climate*, 28(17), pp. 6938-6959. DOI: 10.1175/JCLI-D-14-00754.1.
- CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. (1979). “*Drenagem urbana: manual de projeto*”. São Paulo, 1979. 476p.
- CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMENTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; MARENGO, J. (2014a). “*Assessment of climate change over South America under RCP4.5 and 8.5 downscaling scenarios*”. *American Journal of Climate Change*, pp. 515-525. <http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2014.35043>.
- CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMENTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; NOBRE, P.; MARENGO, J. (2014b). “*Evaluation of the Eta simulation nested in three Global Climate Models*”. *American Journal of Climate Change*, pp. 438-454. <http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2014.35039>.
- COLES, S. (2001). “*An introduction to statistical modeling of extreme values*”. Springer: London, United Kingdom, 2001.

- COOK, L. M.; MCGINNIS, S.; SAMARAS, C. (2020). “*The effect of modeling choices on updating intensity-duration-frequency curves and stormwater infrastructure designs for climate change*”. *Climatic Change*, 159:289-308. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02649-6>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). “*Cidades*”. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=421870&search=santacatarina|tubarao|ins:-informacoes-completas>.
- 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*”. [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- 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 non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution*”. *Theoretical and Applied Climatology*, 132, pp. 663-682. DOI:10.1007/s00704-017-2067-z.
- ROBAINA, A.D.; PEITER, M.X. (1992). “*Modelo de desagregação e de geração de chuvas intensas no RS.*” In *Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, Santa Maria, 1992, pp. 746-753.
- SCHARDONG, A.; SIMONOVIC, S. P.; SANDING, D. (2018). “*Computerized tool for the development of intensity-duration-frequency curves under a changing climate: user’s manual v.3.*” Water Resources Research Report no. 104, Facility for Intelligent Decision Support, Department of Civil and Environmental Engineering, London, Ontario, Canada, 80 p. 2018. ISBN: 978-0-7714-3108. Disponível em: <https://www.eng.uwo.ca/research/iclr/fids/publications/products/104.pdf>.
- SRIVASTAV, R. K.; SCHARDONG, A.; SIMONOVIC, S. P. (2014). “*Equidistance quantile matching method for updating IDF curves under climate change.*” *Water Resources Management*, 28(9), 2539-2562. DOI: 10.1007/s11269-014-0626-y.