Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS
UFGD Editora

IMPACTO DAS PROJEÇÕES CLIMÁTICAS NAS RELAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DE CHUVAS INTENSAS EM PELOTAS/RS

Impact of climate projections on Intensity-Duration-Frequency relationships of heavy rainfall in Pelotas/RS

Impacto de las proyecciones climáticas en las relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia de lluvias intensas en Pelotas/RS

Eduardo Peixoto de Oliveira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Área de Concentração em Recursos Hídricos
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)
eduardo.peixotooliveira01@gmail.com

Tamara Leitzke Caldeira Beskow
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
tamaraleitzkecaldeira@gmail.com

Aryane Araújo Rodrigues
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
aryane_03.2@hotmail.com

André Becker Nunes
Departamento de Meteorologia – Campus Universitário, Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
beckernunes@gmail.com

Tirzah Moreira Siqueira
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
tirzahsiqueira@hotmail.com Orcid:

Samuel Beskow
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
samuelbeskow@gmail.com Orcid:

Hugo Alexandre Soares Guedes
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
hugo.hydro@gmail.com

Resumo: Um dos principais impactos das mudanças climáticas (MC) são as alterações projetadas da intensidade e frequência de ocorrência de eventos hidrológicos extremos. Atualmente a caracterização do regime de precipitações intensas de um local se dá através da relação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) utilizando de séries de dados observados, porém, a fim de desenvolver infraestruturas resilientes e reduzir o risco de falha de estruturas hidráulicas no futuro torna-se estratégica a utilização de projeções climáticas na concepção de medidas de adaptação e mitigação em escala local. É apresentada metodologia para o ajuste de curvas IDF no município de Pelotas/RS utilizando a plataforma Genetic Algorithm Methodology for IDF (GAM-IDF) a fim de comparar as alterações esperadas para eventos com Tempo de Retorno (TR) de 5 e 100 anos sob a ótica das MC. Foram avaliadas projeções futuras de máxima precipitação anual em 1 dia geradas até o fim do século (2006-2099) por 4 modelos de circulação global regionalizados pelo modelo de circulação regional Eta sob os cenários Representative Concentration Pathways- RCP 4.5 e 8.5 assim como dados diários observados de precipitação (1966-2005) representativos do regime atual de precipitações intensas. Em ambos os TRs estudados são sugeridos aumentos nos valores de intensidade de precipitação, especialmente no cenário RCP 4.5 e eventos de menor duração, projetando acréscimos médios de 11,5% e 25,6% para eventos com TR de 5 anos e 100 anos, respectivamente, podendo significar no futuro a sobrecarga ou até falha de estruturas hidráulicas que não levem em consideração as MC no seu dimensionamento.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Eventos hidrológicos extremos. Chuva de projeto. Vazão de projeto. Engenharia hidrológica.

Abstract: One of climate changes (CC) main impacts are the projected increases in intensity and frequency of occurence of extreme hidrologyc events. Currently, the characterization of intense precipitaion patterns is given by the Intensity-Duration-Frequency (IDF) relation using observed data, however, in order to develop resilient infrastructure and reduce the risk of hydraulic structures' failure in the future the use of climate projections is strategic in order to adress adaptation and mitigation measures on a local scale. It is presented a methodology for the adjustment of IDF curves for Pelotas/RS through the platform Genetic Algorithm Methodology for IDF (GAM-IDF) in order to compare the expected changes for events with 5 and 100 years of Return Period (RP) under the perspective of CC. Future projections for maximum anual precipitaion in 1 day generated by 4 global climate models downscaled by the regional climate model Eta under two Representative concentration pathways – RCP 4.5 and 8.5 until the end of the century (2006-2099) as well as daily pretipitation observed data (1966-2005) representative of the present are analysed. An increase in precipitation intensity is suggested on both RPs studied, specially on scenario RCP 4.5 and events of shorter duration, projecting averege increments of 11.5% and 25,6% for events with RP of 5 and 100 years, respectivelly, which may suggest an overload or even failure of future hydraulic structures that do not take CC into account during its design.

Keywords: Climate changes. Extreme hydrological events. Design rainfall. Design streamflow. Hydrological engineering.

Resumen: Uno de los principales impactos del Cambio Climático (CC) son los cambios proyectados en intensidad y frecuencia de ocurrencia de eventos hidrológicos extremos. La caracterización del régimen de lluvias intensas de un lugar se realiza através de la relación Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) utilizando series de datos observados, sin embargo, para desarrollar infraestructuras resilientes

y reducir el riesgo de falla de estructuras hidráulicas en el futuro se vuelve estratégico utilizar las proyecciones climáticas en el diseño de medidas de adaptación y mitigación a escala local. Se presenta una metodología para el ajuste de curvas IDF en la ciudad de Pelotas/RS utilizando la plataforma Genetic Algorithm Methodology for IDF (GAM-IDF) para comparar los cambios esperados para eventos con Tiempo de Retorno (TR) de 5 y 100 años bajo la perspectiva de CC. Las proyecciones futuras de precipitación máxima anual en 1 día generadas hasta finales de siglo (2006-2099) fueron evaluadas por 4 Modelos de Circulación Global regionalizados por el Modelo de Circulación Regional Eta bajo los escenarios Representative concentration pathways - RCP 4.5 y 8.5 así como datos observados de precipitación (1966-2005) representativas del actual régimen de precipitaciones intensas. En los dos TR estudiados se sugieren incrementos en los valores de intensidad, especialmente en el RCP 4.5 y eventos de menor duración, proyectándose incrementos promedio de 11.5% y 25.6% para eventos con TR de 5 años y 100 años, respectivamente, pudiendo significar en el futuro la sobrecarga o fallo de estructuras hidráulicas que no tengan en cuenta el CC en su concepción.

Palabras clave: Cambios climáticos. Eventos hidrológicos extremos. Lluvia de diseño. Caudal de diseño. Ingeniería hidrológica.

Submetido em: 18/01/2023
Aceito para publicação em: 13/12/2023
Publicado em: 19/12/2023

1. INTRODUÇÃO

Alterações no ciclo hidrológico em decorrência das mudanças climáticas já são perceptíveis no presente. Tais alterações podem representar risco a diversas áreas como agricultura, saúde pública, matriz energética e urbanização, especialmente em países em desenvolvimento. Eventos extremos máximos de precipitação tem um caráter desestabilizador na sociedade e, com a alteração da frequência e intensidade, podem provocar o agravamento de enchentes, alagamentos, deslizamentos de encostas e a sobrecarga de sistemas de drenagem existentes. Neste contexto, a compreensão acerca de eventos extremos máximos de precipitação e a relação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) com base em diferentes cenários do clima futuro se mostra indispensável na gestão de recursos hídricos visando o controle de desastres naturais, tal como a melhora do dimensionamento de obras hidráulicas.

Novos resultados disponibilizados pelo Working Group I (WGI) no novo Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental em Mudanças Climáticas (IPCC) atribuem à atividade antrópica o acréscimo aproximado de 1,07 ºC na temperatura média global de 1850 a 2019 (IPCC, 2021). Enquanto aumentos na taxa de precipitação média são fortemente dependentes do balanço energético global e processos atmosféricos mais lentos, tendo acréscimos limitados a aproximadamente 2% a 3% a cada +1 ºC, a ocorrência de eventos extremos de precipitação é regida diretamente pela quantidade de vapor d'água na atmosfera, que por sua vez tem sua capacidade de retenção elevada por volta de 7% para cada +1 ºC (IPCC, 2021).

Segundo Berlato e Cordeiro (2017), já é possível afirmar que houve um aumento de 10% no valor da precipitação anual nas últimas três décadas no estado do Rio Grande do Sul — tanto no verão quanto na primavera e outono. Os autores destacam a tendência de condições mais úmidas nas últimas quatro décadas, levando a um aumento das intensidades médias da precipitação anual e das chuvas diárias intensas no estado. Essa tendência de agravamento de eventos extremos se relaciona com o aumento de prejuízos econômicos, sociais e ambientais, pondo em risco locais que já sofrem com recorrentes eventos extremos de precipitação, como o município de Pelotas, sudeste do Rio Grande do Sul. Em 2004, por exemplo, foi registrada precipitação de 216,5 mm em 24 horas, causando o rompimento de

um trecho do canal Santa Bárbara e levando o município a decretar estado de calamidade pública (DAMÉ *et al.*, 2005). Chama-se a atenção também para o ano de 2009, quando foi registrado um evento de 479 mm de chuva, um dos maiores eventos já registrados no Brasil para durações de 3 horas e possivelmente também para as durações de 12 e 24 horas, com ocorrência de danos materiais e perda de vidas humanas (SALDANHA *et al.*, 2012).

É possível estabelecer, com o uso de análises estatísticas, uma relação entre a intensidade, duração e probabilidade de recorrência de evento extremos por intermédio de curvas IDF, sendo este estudo de fundamental importância para a estimativa de erosão do solo e determinação de vazões de projeto visando o dimensionamento de obras hidráulicas (p.e. sistemas de drenagem, galerias pluviais, e bueiros) (BERTONI; TUCCI, 2004; DAMÉ *et al*., 2010). A caracterização de eventos extremos de precipitação com base na relação IDF de um determinado local, determinada a partir de curvas ou equações, se dá atualmente pela utilização de séries históricas de dados para relacionar essas grandezas, no entanto, essas curvas ou equações seguem a premissa da estacionariedade, o que pode não se mostrar realista na representação de condições climáticas e hidrológicas futuras uma vez que, como apresentado pelo IPCC (2021), já se percebem alterações em decorrência das mudanças climáticas.

Segundo Blakely (2007), soluções atuais que não levam em consideração os efeitos adversos das alterações climáticas tendem a se mostrar falhas uma vez que não consideram potenciais riscos oferecidos pelas tendências atuais, podendo trazer ainda mais prejuízos no futuro. Um exemplo são as projeções realizadas por Marengo *et al.* (2012), que sugerem acréscimos de 30-50% nos valores de precipitação para a região Sudeste da América Latina e extremo sul do Brasil durante o verão até o fim do século XXI, podendo comprometer sistemas urbanos de drenagem existentes, o dimensionamento de futuras obras hidráulicas, assim como levanta um alerta para a possibilidade de rompimento de barragens (TUCCI, 2002).

As projeções climáticas são geradas a partir de Modelos de Circulação Global (MCG) regionalizados por Modelos de Circulação Regional (MCR), responsáveis pela simulação dos movimentos da superfície terrestre e atmosfera de acordo com as leis da física que os regem. Esses consideram parâmetros de interações entre os inúmeros componentes do sistema climático, levando também em conta as interações entre fontes naturais e antropogênicas de Gases do Efeito Estufa (GEEs) fazendo uso de modelos computacionais (SAMPAIO; SILVA DIAS,

2014; OLIVEIRA; PEDROLLO; CASTRO, 2015). Tendo em vista a complexidade da parametrização dos processos físicos atmosféricos e suas diversas interações, as incertezas se tornam intrínsecas às modelagens, sendo natural que à medida que os modelos forem aprimorados esses também reduzirão as incertezas dos resultados.

Atualmente, diversos autores já vêm incorporando o estudo de projeções climáticas gerados por MCGs à estudos hidrológicos, como o trabalho de Weschenfelder *et al.* (2019). Os autores estudaram os efeitos das mudanças climáticas sobre a equação IDF da cidade de Porto Alegre/RS a partir de séries sintéticas de precipitação do gerador estocástico LARS-WG sob três cenários de emissões do IPCC AR4 (SRES A1B, A2 e B1) projetados por seis MCGs (NCCCSM, MPEH5, IPCM4, GFCM21, HADCM3, INCM3) e dois períodos futuros (2046-2065 e 2080-2099). Se comparados aos valores de intensidade obtidos a partir da IDF do período base, são sugeridos acréscimos de 15% na intensidade de chuvas intensas já para o primeiro período analisado, podendo alcançar elevações de até 17% até o final do século. Apesar de incertezas serem inerentes aos estudos de projeções climáticas, especialmente para períodos futuros distantes, os autores sugerem a utilização da curva IDF atual com uma majoração de 10 a 20% no dimensionamento de obras hidráulicas para melhor adequação desses às demandas futuras do município.

Schardong, Srivastav e Simonovic (2014) utilizaram de projeções geradas pelo MCG CANES2M sob três cenários de emissões do IPCC AR5 (RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP 8.5) para a atualização da equação IDF da cidade de São Paulo/SP, representativa do período de 2006 a 2100. Os autores analisaram os valores obtidos pelas equações IDF com dados projetados para variados tempos de duração (10, 20 e 30 minutos e 1,2,3,6,12,18 e 24 horas) e diferentes Tempos de Retorno (TR) (2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos). Comparando-os à equação obtida com dados históricos, os resultados indicam um possível aumento dos eventos extremos de precipitação em até 4,5% para o RCP 2.6 e eventos de baixa frequência, podendo chegar a valores que superam em 30% a intensidade de precipitação para o RCP 8.5 e TR de 100 anos.

Neste mesmo contexto, Ramos (2010) analisou os efeitos das alterações climáticas sobre o sistema de drenagem de uma microbacia urbana fictícia em Recife/PE através do gerador estocástico LARS-WG, do qual obteve dados diários sintéticos de precipitação para quatro MCGs (HadCM3, IPCM4, MPEH5 e NCCCSM), em três cenários de emissão (A2, A1B e B1), referentes aos períodos de 2011 a 2030, 2046 a 2065 e 2080 a 2099. O estudo foi realizado

comparando as equações IDF ajustadas com dados gerados pelos MCGs em questão e a IDF utilizada atualmente, onde foram previstas sobrecargas que variam de 47% a 60% no sistema de drenagem fictício caso as projeções se mostrem verdadeiras.

Frente ao exposto, o objetivo deste estudo se concentra na análise dos impactos de dois cenários de projeções climáticas — RCP 4.5 e RCP 8.5 — e suas possíveis repercussões sobre a relação entre intensidade, duração e frequência de ocorrência de eventos extremos de precipitação no município de Pelotas/RS durante o século XXI.

2. METODOLOGIA

2.1. Caracterização da área de estudo

Este estudo foi conduzido no sul do Rio Grande do Sul, no município de Pelotas, localizado entre as coordenadas de latitude 31,32° e 31,80° Sul e de longitude 52,61° e 52,05° Oeste. Pelotas possui topografia predominantemente plana e encontra-se, em média, a 7m acima do nível do mar. É a quarta cidade mais populosa do estado, com uma população estimada para 2021 de 343.826 habitantes (IBGE, 2021).

O clima na região é subtropical, úmido e sem período seco, e a precipitação média anual é de 1.382,40 mm, sendo o maior volume de precipitação no mês de fevereiro (141,80 mm) e, o menor, em novembro (99,40 mm) segundo as normais climatológicas relativas a 1991-2020 (INMET, 2021). A região sul do Brasil apresenta alta frequência de ocorrência de eventos extremos de precipitação, tendo seu regime de chuvas afetado por diversos fenômenos atmosféricos, dentre eles o El Niño Oscilação Sul (ENOS), Sistemas Frontais que se deslocam do Pacífico e os Sistemas Convectivos de Mesoescala, que favorecem a formação de grandes eventos de precipitação no estado (TEIXEIRA; SATYAMURTY, 2007; REBOITA *et al*., 2010; CABALLERO *et al*., 2018).

2.2. Base de dados pluviométricos e projeções climáticas

Para representar o regime pluviométrico do município de Pelotas, foram empregados os dados de precipitação total diária monitorados pela estação pluviométrica (EP) 3152008 — Granja São Pedro, obtidos junto ao HidroWeb Sistema de Informações Hidrológicas da Agência

Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Este posto foi escolhido pela sua localização (latitude 31,67 Sul, longitude 52,18 Oeste) e porque apresenta registros no período de interesse, de 1966 a 2005, além de conter poucos períodos sem observações, com apenas uma falha, no ano 2000, quando considerados anos com até 31 dias de falhas. Da série de precipitação total diária foi constituída a série de precipitação diária máxima anual, denominada neste estudo de RX1day.

As projeções climáticas utilizadas neste estudo foram obtidas na plataforma PROJETA — Projeções de Mudança do Clima para a América do Sul Regionalizadas pelo Modelo Eta, do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (CHOU *et al*., 2014; CHOU *et al*., 2014; LYRA *et al*., 2017). Nesta plataforma obteve-se, em específico, a variável RX1dayc (máxima precipitação anual em 1 dia - corrigida) obtida pontualmente para a região central do município de Pelotas, estimada para o período base, 1961 a 2005, e projetada para o período futuro, 2006 a 2099, com base nos RCPs 4.5 e 8.5, pelos MCGs CANES2M, HADGEM2-E, MIROC5 e BESM regionalizados pelo MCR Eta.

2.3. Ajuste das equações IDF

De posse das séries de RX1day e RX1dayc, foram realizados os ajustes das equações IDF considerando os períodos indicados anteriormente. Esta etapa foi conduzida na Genetic Algorithm Methodology for IDF (GAM-IDF), uma plataforma web (https://gphidro.shinyapps.io/gam-idf/) que emprega técnicas de inteligência artificial para ajuste de equações IDF a partir de dados diários de precipitação e da técnica de desagregação de chuvas. Na GAM-IDF foram realizados os seguintes procedimentos para cada série de RX1day e RX1dayc:

i) a análise de tendência temporal através do teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall (MK) (MANN, 1945; KENDALL, 1975) ao nível de significância de 5%. O teste MK é considerado o método mais adequado para analisar tendências em séries meteorológicas, considerando que a sucessão de valores ocorre de forma independente e a distribuição de probabilidade deve se manter a mesma seguindo a premissa da estacionariedade (BACK, 2001; ZILLI *et al*., 2017);

ii) a escolha da melhor Função Densidade de Probabilidade (FDP), dentre 12 disponíveis, mediante o teste de aderência de Anderson-Darling (AD) (ANDERSON; DARLING, 1954). As FDPs permitem modelagem probabilística dos dados buscando a representação da frequência teórica de ocorrência dos mesmos, sendo utilizado neste estudo o método dos Momentos-L para estimativa dos parâmetros das FDPs avaliadas. O teste de aderência AD compara as frequências teóricas com as frequências observadas, sendo frequentemente usado na análise de séries históricas caracterizadas por valores extremos mínimos e máximos, uma vez que verifica e analisa as distribuições de frequência de dados caudais de forma mais específica se comparado a outros testes de aderência (MELLO; SILVA; BESKOW, 2020);

iii) a estimativa dos quantis para os Tempos de Retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos;

iv) a desagregação de chuvas diárias para durações inferiores a 1 dia, através do método da Relação das Durações empregando as constantes de desagregação da CETESB (1979). Estas constantes foram escolhidas com base no estudo de Caldeira *et al*. (2015), onde foi avaliada a influência de três diferentes conjuntos de constantes na desagregação de chuvas para 15 municípios do Rio Grande do Sul, concluindo-se que as constantes CETESB (1979) foram as que melhor ajustaram as curvas IDF em 60,8% das EP estudadas; e

v) o ajuste do modelo matemático (Equação 1), com base no algoritmo genético Shuffled Complex Evolution/University of Arizona (SCE-UA) (DUAN; SOROOSHIAN; GUPTA, 1992). O algoritmo é considerado como uma ferramenta de otimização global e probabilística que leva em consideração a combinação de abordagens determinísticas e aleatórias, o conceito de evolução competitiva, o conceito de agrupamento e a evolução de certa população de pontos convergindo ao ótimo global pela aplicação de diversas iterações e análises da função objetivo (BESKOW *et al*., 2011). O algoritmo SCE-UA foi testado e comparado por diversos autores a outros métodos de calibração automática, sempre se apresentando mais vantajoso, com os menores valores da função objetivo, maior rapidez e eficiência na calibração do modelo matemático se comparado aos outros métodos (DUAN; SOROOSHIAN; GUPTA, 1992; GAN; BIFTU, 1996; ABDULLA; LETTENMAIER; LIANG, 1999; THYER; KUCZERA; BATES, 1999)

O modelo matemático proposto por Chow (1962) (Equação 1), amplamente empregado, foi escolhido para relacionar a intensidade da precipitação (I, $mm.h^{-1}$) com a sua

duração (t, min) e tempo de retorno (TR, anos). Os coeficientes a, b, c e d da Equação 1, por sua vez, são coeficientes locais e refletem o conjunto de dados empregados para o ajuste:

$$I = \frac{a \cdot TR^b}{(c+t)^d} \quad (1)$$

2.4. Impacto das projeções climáticas sobre as chuvas intensas

A partir das equações ajustadas, realizou-se uma análise do erro relativo percentual (ERP) (Equação 2) entre os valores de I observados (Iobs) com a IDF gerada com dados da EP 3152008 e os valores de I estimados (Iest) para o período base, assim com a análise da diferença relativa percentual (DRP) (Equação 3) entre os valores projetado de I (Iproj) para os diferentes cenários do clima futuro, tomando como referência a Iobs.

$$ERP = \frac{Iest - Iobs}{Iobs} * 100 \quad (2)$$

$$DRP = \frac{Iproj - Iobs}{Iobs} * 100 \quad (3)$$

As Equações 2 e 3 quantificam a diferença entre o valor da IDF analisada em questão (Iest e Iproj) e o valor da IDF do período base (Iobs) em percentagem, sendo obtido para cada uma das durações t (5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 480, 840 e 1440 minutos). A fim de melhor analisar os impactos dos dois cenários de projeções climáticas e suas possíveis repercussões sobre a relação IDF, optou-se por explorar os resultados relacionados ao TR de 5 anos, usualmente empregado em projetos de microdrenagem, e ao TR de 100 anos, o qual contempla aqueles eventos de chuvas intensas mais raros.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Ajuste das FDPs às séries de precipitação diária máxima anual

O teste de MK não indicou a existência de tendência temporal estatisticamente significativa nas séries de RX1day e de RX1Dayc analisadas, implicando na possibilidade de modelagem probabilística tradicional dos dados. Através dos resultados obtidos pelo teste de

aderência de AD, o ajuste das diferentes distribuições de probabilidade aos diferentes conjuntos de dados se apresenta na tabela a seguir.

Tabela 1 - Função Densidade de Probabilidade (FDP) melhor ajustada para cada conjunto de dados e período de análise.

Dados	Período	Melhor FDP
EP 3152008	1961-2005	Normal Generalizada
Eta-CANES2M	1961-2005	Logística Generalizada
Eta-HADGEM2-ES	1961-2005	Kappa
Eta-MIROC5	1961-2005	Logística Generalizada
Eta-BESM	1961-2005	Logística Generalizada
RCP 4.5 Eta-CANES2M	2006-2099	Generalizada de Valores Extremos
RCP 4.5 Eta-HADGEM2ES	2006-2099	Pearson Tipo III
RCP 4.5 Eta-MIROC5	2006-2099	Generalizada de Valores Extremos
RCP 8.5 Eta-BESM	2006-2099	Generalizada de Valores Extremos
RCP 8.5 Eta-CANES2M	2006-2099	Logística Generalizada
RCP 8.5 Eta-HADGEM2ES	2006-2099	Kappa
RCP 8.5 Eta-MIROC5	2006-2099	Normal Generalizada
RCP 8.5 Eta-BESM	2006-2099	Pearson Tipo III

Fonte: os autores.

É possível verificar a clara tendência de melhor ajuste das distribuições Logística Generalizada e Generalizada de Valores Extremos (GEV), tendo, respectivamente, 30,77% e 23,08% das séries ajustadas dentre as 13 analisadas. Ainda assim, de modo geral, nota-se que todas as distribuições probabilísticas melhor representativas dos dados são multiparâmetros.

Ainda que não exista uma fundamentação teórica capaz de indicar o uso de uma FDP específica para a melhor modelagem probabilística da precipitação máxima diária anual, no Brasil, atualmente, são frequentemente utilizados modelos como Gumbel, Log-Normal de 2 e 3 parâmetros, porém, estudos recentes têm indicado um melhor desempenho de modelos multiparâmetros nessa representação (BESKOW *et al*., 2015). Esses resultados demonstram que a maior robustez dos modelos teóricos multiparamétricos podem garantir confiabilidade

superior aos resultados, possibilitando a busca por outros caminhos dentro da modelagem probabilística (BEN-ZVI, 2009; BESKOW *et al*., 2015).

3.2. Ajuste das equações IDF

No ajuste das equações IDF, cujos coeficientes *a, b, c* e *d* podem ser visualizados na Tabela 2, é possível verificar que os coeficientes "a" das equações ajustadas para o período base de 1961-2005, ou seja, com dados estimados pelos modelos climáticos, apresentaram valores inferiores àquele da equação IDF ajustada para o período de 1966-2005, com dados da EP 3152008. Enquanto o coeficiente "a" da IDF ajustada com dados da EP apresentou valor de 771,5, os demais variaram entre 590,833 e 644,616.

Tabela 2 - Coeficientes *a*, *b*, *c* e *d* da equação IDF ajustados para cada conjunto de dados e período de análise.

Dados	Período	Coeficientes ajustados			
		a	b	c	d
EP 3152008	1961-2005	771,500	0,178	9,213	0,707
Eta-CANES2M	1961-2005	590,833	0,240	9,229	0,707
Eta-HADGEM2-ES	1961-2005	623,492	0,226	9,231	0,707
Eta-MIROC5	1961-2005	593,451	0,232	9,205	0,706
Eta-BESM	1961-2005	644,616	0,197	9,216	0,707
RCP 4.5 Eta-CANES2M	2006-2099	762,115	0,222	9,208	0,707
RCP 4.5 Eta-HADGEM2ES	2006-2099	757,881	0,168	9,161	0,705
RCP 4.5 Eta-MIROC5	2006-2099	689,164	0,250	9,215	0,706
RCP 8.5 Eta-BESM	2006-2099	761,230	0,224	9,209	0,706
RCP 8.5 Eta-CANES2M	2006-2099	724,250	0,234	9,206	0,706
RCP 8.5 Eta-HADGEM2ES	2006-2099	783,060	0,150	9,229	0,707
RCP 8.5 Eta-MIROC5	2006-2099	736,181	0,233	9,232	0,707
RCP 8.5 Eta-BESM	2006-2099	744,657	0,203	9,220	0,707

Fonte: os autores.

Para as equações IDF ajustadas com base em dados dos modelos climáticos projetados para o clima futuro, período de 2006 a 2099, sob o cenário relativamente otimista (RCP 4.5), embora perceba-se 3 coeficientes “a” com valores bastante próximos, é possível identificar a maior amplitude (689,164 a 762,115), estando o limiar mínimo inferior associado ao Eta-MIROC5. Já para o cenário pessimista (RCP 8.5), a variação nos valores de “a” mostrou-se bastante semelhante àquelas observadas no período base, estando novamente os menores valores associados ao Eta-MIROC5 e ao Eta-CANES2M e, os maiores, ao Eta-HADGEM2-ES e Eta-BESM. Destaca-se ainda que apenas o coeficiente “a” ajustado com base nos dados do Eta-HADGEM2-ES para o clima futuro e cenário pessimista supera, em termos de magnitude, o coeficiente “a” ajustado com base nos dados da EP 3152008.

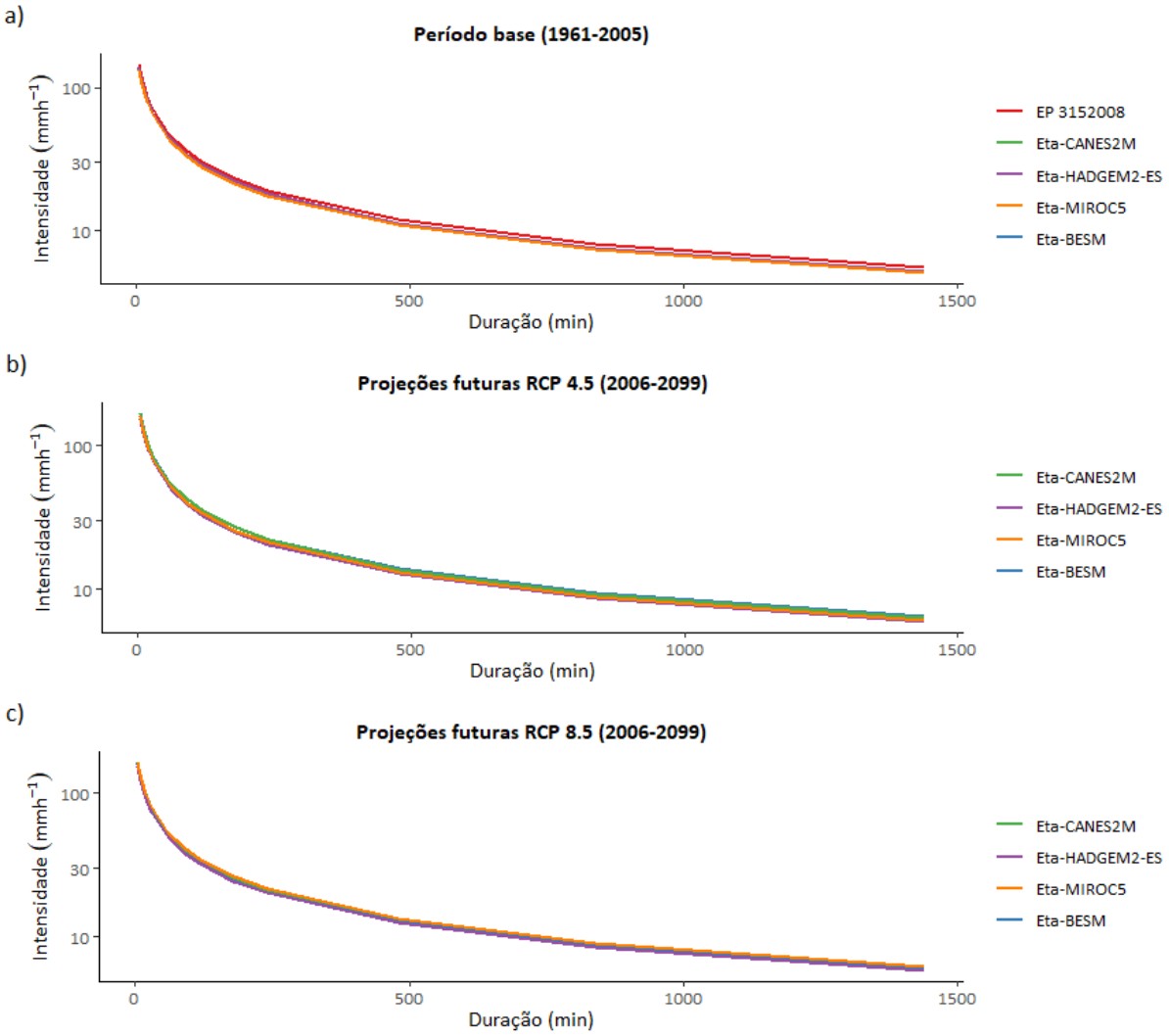
Quanto ao coeficiente “b”, a menor variação nos valores ajustados é verificada (Tabela 2) para o período base; para o clima futuro, as variações em ambos os cenários são bastante semelhantes, embora de modo geral sejam observadas maiores magnitudes para o cenário relativamente otimista (RCP 4.5). Analisando os coeficientes “c” e “d”, pode-se notar pouca variação e comportamento constante.

3.3. Impacto das projeções climáticas sobre as chuvas intensas

3.3.1 Tempo de Retorno de 5 anos

Normalmente utilizado no dimensionamento de sistemas hidráulicos de microdrenagem, os resultados obtidos para o TR de 5 anos são dispostos na Figura 1. Apresentam-se as curvas IDF obtidas para a EP 3152008 (1966 – 2005), simuladas pelos MCGs para o período base (1961-2005) e projetadas para o clima futuro (2006 – 2099) sob dois cenários climáticos (RCP 4.5 e RCP 8.5).

Figura 1 - Curvas IDF obtidas a partir de simulações dos MCGs para o período de referência (1961-2005) e curva gerada para EP 3152008 (1966-2005) para o TR de 5 anos (a); Curvas geradas pelos MCGs para cenário RCP 4.5 (2006-2099) e curva gerada para EP 3152008 (1966-2005) para o TR de 5 anos (b). Curvas geradas pelos MCGs para cenário RCP 8.5 (2006-2099) e curva gerada para EP 3152008 (1966-2005) para o TR de 5 anos (c).



Fonte: os autores.

Enquanto examinando os resultados obtidos para o período base (Figura 1a), é possível constatar que as Iest pelos MCGs tendem, em geral, a subestimar os valores de intensidade gerados a partir da IDF ajustada com dados da EP 3152008. Tomando como verdadeiros os resultados da IDF obtidos a partir de dados históricos, o ERP alcança valores de -8,57%, -8,27% e -6,59% quando analisados com os resultados obtidos pelos modelos Eta-MIROC5, Eta-CANES2M e Eta-BESM, respectivamente (Tabela 3). Nota-se ainda que para precipitações intensas com TR de 5 anos, o modelo climático que gerou melhores simulações do período base (1966-2005), ou seja, obteve resultados mais próximos às Iobs, representativas aqui do

regime atual de chuvas intensas, foi o Eta-HADGEM2-ES, com um ERP médio calculado em -5,35%.

Nota-se que, com as projeções geradas para o RCP 4.5 (Figura 1b), são sugeridos acréscimos nos valores de intensidade das precipitações intensas com o referido TR na cidade de Pelotas, podendo chegar a uma DRP de 15.54% para precipitações de menor duração a até 16,07% para chuvas de 24 horas, ambos projetados pelo Eta-BESM (Tabela 4). As diferenças entre as Iobs e Iproj se apresentam com resultados diversos, porém, positivos sem exceção. Com uma DRP média que varia de 15,77% (Eta-BESM) a 5,90% (Eta-HADGEM2-ES), todos os casos sugerem que, possivelmente, as atuais obras de drenagem sofrerão sobrecarga no futuro, chamando a atenção para o indicativo de falhas e não atendimento de suas demandas caso não sejam levados em consideração os possíveis efeitos das mudanças climáticas globais.

Observando as projeções geradas para o cenário RCP 8.5 (Figura 1c), fica clara a indicação de uma possível piora do cenário climático por todos os modelos estudados, se comparados aos resultados de Iobs, especialmente pelo Eta-MIROC5. A DRP média das Iproj pelo MCG ultrapassa 13%, podendo significar acréscimos de até 18,77 $mm.h^{-1}$ para chuvas de 5 minutos e 0,72 $mm.h^{-1}$ para chuvas de 24 horas. Neste caso, o modelo supracitado acaba por ser o único dentre os quatro que sugere um aumento das Iproj com a piora do cenário climático (Tabela 5). Por sua vez, os modelos Eta-CANES2M, Eta-BESM e Eta-HADGEM2-ES indicam valores de Iproj com uma DRP média calculada em 11,94%, 8,95% e 5,19%, respectivamente, sendo assim, se comparadas ao período base, projetadas chuvas mais intensas no futuro para o mesmo TR, indicando em todos os casos possível falha de infraestrutura civil e hidráulica na cidade.

Tabela 3 - Erro relativo percentual (ERP) entre simulações (Iest) e período base (Iobs) nas diferentes durações considerando TR de 5 anos.

Período (1961-2005)													
	5 min	**10 min**	**20 min**	**30 min**	**1h**	**1,5h**	**2h**	**3h**	**4h**	**8h**	**14h**	**1d**	**Médio**
Eta-HADGEM2-ES	-5,42	-5,39	-5,37	-5,36	-5,35	-5,34	-5,34	-5,34	-5,34	-5,33	-5,33	-5,33	-5,35
Eta-CANES2M	-8,32	-8,30	-8,28	-8,27	-8,26	-8,26	-8,25	-8,25	-8,25	-8,25	-8,25	-8,25	-8,27
Eta-MIROC5	-8,74	-8,72	-8,69	-8,67	-8,62	-8,59	-8,57	-8,54	-8,51	-8,45	-8,40	-8,35	-8,57
Eta-BESM	-6,60	-6,60	-6,59	-6,59	-6,59	-6,59	-6,59	-6,59	-6,59	-6,59	-6,59	-6,59	-6,59

Fonte: os autores.

Tabela 4 - Diferença relativa percentual (DRP) entre cenário RCP 4.5 (Iproj) e período base (Iobs) nas diferentes durações considerando TR de 5 anos.

Período (2006-2099) RCP 4.5													
	5 min	**10 min**	**20 min**	**30min**	**1h**	**1,5h**	**2h**	**3h**	**4h**	**8h**	**14h**	**1d**	**Médio**
Eta-HADGEM2-ES	5,65	5,64	5,66	5,69	5,77	5,83	5,87	5,94	6,00	6,13	6,25	6,36	5,90
Eta-CANES2M	15,00	15,00	14,99	14,98	14,98	14,98	14,98	14,98	14,98	14,98	14,97	14,97	14,98
Eta-MIROC5	9,04	9,07	9,12	9,16	9,22	9,26	9,29	9,33	9,36	9,44	9,50	9,56	9,28
Eta-BESM	15,54	15,57	15,61	15,64	15,70	15,75	15,77	15,82	15,85	15,93	15,99	16,05	15,77

Fonte: os autores.

Tabela 5 - Diferença relativa percentual (DRP) entre cenário RCP 8.5 (Iproj) e período base (Iobs) nas diferentes durações considerando TR de 5 anos.

	Período (2006-2099) RCP 8.5												
	5 min	**10 min**	**20 min**	**30 min**	**1h**	**1,5h**	**2h**	**3h**	**4h**	**8h**	**14h**	**1d**	**Médio**
Eta-HADGEM2-ES	5,12	5,15	5,17	5,18	5,19	5,20	5,20	5,20	5,20	5,21	5,21	5,21	5,19
Eta-CANES2M	11,73	11,75	11,79	11,82	11,87	11,91	11,94	11,98	12,01	12,09	12,15	12,21	11,94
Eta-MIROC5	12,94	12,97	12,99	13,01	13,02	13,03	13,03	13,04	13,04	13,04	13,04	13,04	13,02
Eta-BESM	8,92	8,93	8,94	8,94	8,95	8,95	8,95	8,95	8,95	8,96	8,96	8,96	8,95

Fonte: os autores.

É possível observar nas Tabelas 3 a 5 que, ainda que com algumas diferenças nos valores simulados para o período base, todos os modelos estudados projetam uma diferença positiva no regime de chuvas extremas com TR de 5 anos na cidade com a piora do cenário climático, especialmente para o cenário RCP 4.5. Se calculada uma média geral entre os resultados dos quatro MCGs, são propostos acréscimos na DRP de 11,48% no cenário mais otimista (RCP 4.5) e 9,77% para o RCP 8.5 para chuvas com TR de 5 anos.

3.3.2 Tempo de Retorno de 100 anos

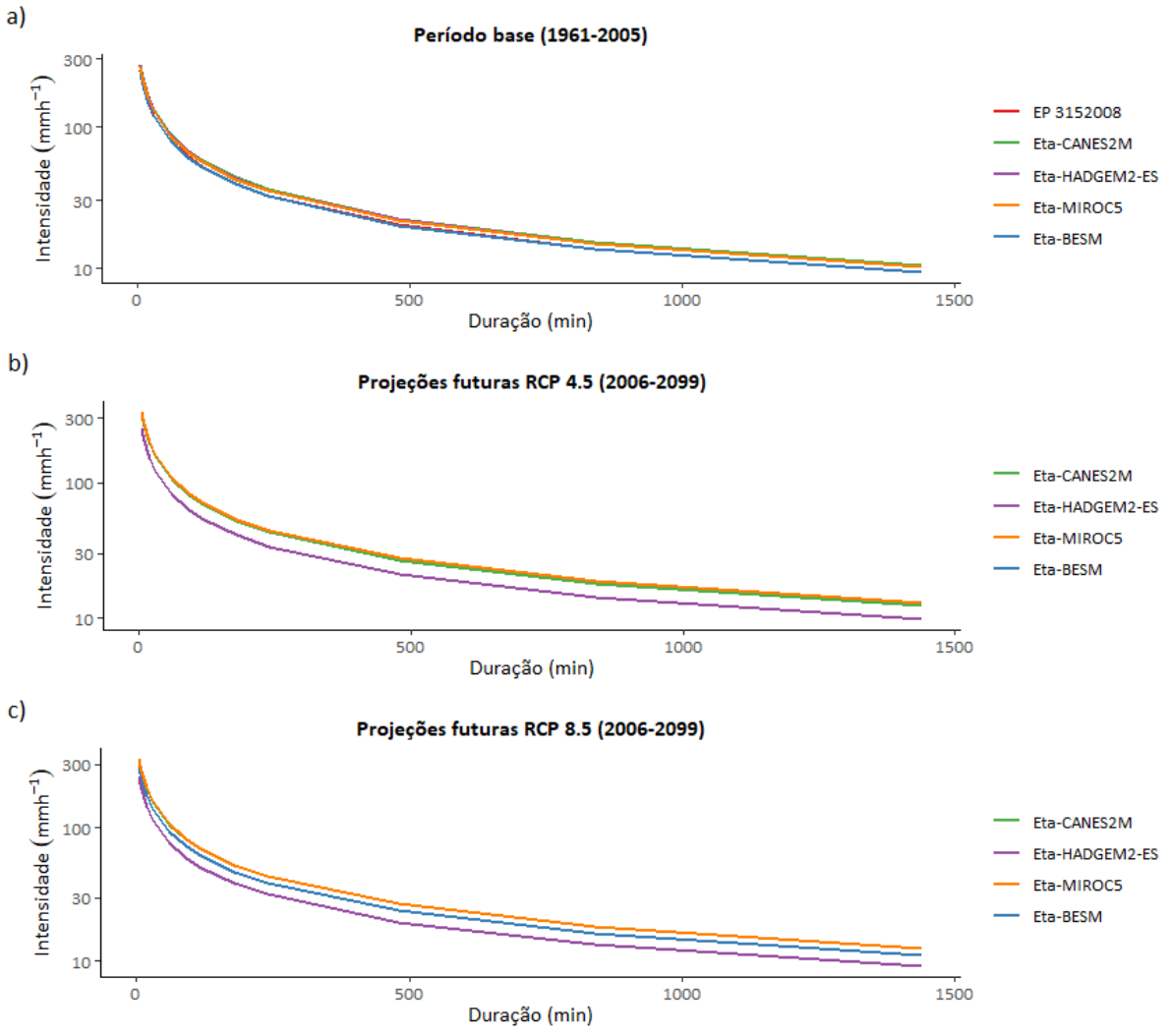
Considerando um TR de 100 anos, pode-se visualizar na Figura 2 as curvas IDF obtidas a partir dos dados da EP 3152008 (1966 – 2005), dos modelos climáticos para o período base (1961-2005) e para o clima futuro (2006 – 2099) sob os RCP 4.5 e RCP 8.5. Analisando os valores de Iobs e comparando-os aos valores de Iest para o período base (Figura 2a), nota-se que as curvas geradas pelos MCGs apresentam semelhança ao mesmo passo que evidenciam algumas das incertezas inerentes à modelagem climática.

Tomando como verdadeiras as intensidades calculadas pela equação IDF ajustada com base nos dados da EP 3152008, ou seja, os valores de Iobs, verificam-se ERP de 10,46%, 9,28% e 7,48% com relação àquelas calculadas pelas IDFs ajustadas com base nos dados dos modelos

Eta-CANES2M, Eta-HADGEM2-ES e Eta-MIROC5, respectivamente (Tabela 6). Em contrapartida, a curva IDF obtida com dados do Eta-BESM apresentou maior proximidade com a curva obtida com dados da EP, com ERP de apenas -1,12%, evidenciando a melhor representação da relação IDF atual, para o período base e um TR de 100 anos, pelo modelo climático brasileiro.

Os valores de Iproj para o cenário RCP 4.5 (Figura 2b) sugerem que, no decorrer do século XXI, as chuvas com TR de 100 anos serão mais intensas que no passado, com acréscimos sugeridos de até 35,93% (Eta-MIROC5), exceto para aquelas estimadas pelo Eta-HADGEM2-ES.

Figura 2 - Curvas IDF obtidas a partir de simulações dos MCGs para o período de referência (1961-2005) e curva gerada para EP 3152008 (1966-2005) (a). Curvas geradas pelos MCGs para cenário RCP 4.5 (2006-2099) e curva gerada para EP 3152008 (1966-2005) (b). Curvas geradas pelos MCGs para cenário RCP 8.5 (2006-2099) e curva gerada para EP 3152008 (1966-2005) (c).



Fonte: os autores.

Os maiores valores do DRP das intensidades projetadas pelos três modelos regionalizados superam os valores de Iobs, em média, entre 35,58% e 31,18% (Tabela 7), indicando a possibilidade de sobrecarga nos sistemas de drenagem existentes e do subdimensionamento de obras hidráulicas que utilizem apenas de séries históricas para obtenção de parâmetros de projeto. No entanto, enquanto analisando o modelo Eta-HADGEM2-ES, os valores de Iproj têm DRP de apenas 2,77% acima das geradas pela IDF da EP 3152008, sugerindo poucas alterações no regime de chuvas intensas para o município durante o cenário climático RCP 4.5.

Os resultados supracitados vão de encontro com os resultados obtidos por Chou *et al*. (2014), onde é evidenciado que as projeções geradas pelo Eta-HadGEM2-ES tendem a subestimar as precipitações se comparado ao período base, assim como sugere a menor ocorrência de eventos extremos de precipitação se comparado com o modelo Eta-MIROC5. Enquanto analisando o cenário RCP 8.5 (Figura 2c), o modelo Eta-CANES2M apresenta acréscimos nos valores de Iproj que ficaram abaixo de 32,70% (DRP) se comparado aos valores de Iobs para precipitações com o mesmo TR, sendo também o único a projetar um acréscimo nos valores de intensidade esperados de acordo com a piora do cenário climático (Tabela 8).

Os MCGs Eta-MIROC5 e Eta-BESM, ainda que estimem intensidades menores do que no cenário RCP 4.5, têm valores de Iproj com DRP de 33,26% a 17,42% maiores se comparado ao período base, respectivamente, com diferenças de intensidade que podem chegar a mais de 82 $mm.h^{-1}$ para chuvas de menor duração à 1,64 $mm.h^{-1}$ para precipitações de 24 horas. Propostos a compreender as possíveis repercussões das alterações climática na produtividade agrícola na Turquia, Yesilköy e Saylan (2020) obtiveram resultados similarmente surpreendentes, onde através de modelagem foi possível identificar, se comparado com o período base, a possibilidade de períodos mais úmidos na região estudada no cenário mais otimista. Segundo os autores, é apontada a tendência de aumento de até 15% na precipitação efetiva na região estudada sob o cenário RCP 4.5, enquanto uma diminuição de até 17% é sugerida na mesma região se analisado o cenário RCP 8.5.

Estes resultados corroboram também com os resultados obtidos por Schardong, Srivastav e Simonovic (2014) e Weschenfelder *et al*. (2019), os quais indicam um possível aumento dos eventos extremos de precipitação que podem variar de aproximadamente 20%

a 30% a intensidade de precipitação sob o cenário mais pessimista (RCP 8.5) e TR de 100 anos. Vale salientar também que, na generalidade, as variações entre as curvas geradas através de projeções climáticas e simulações do período base diminuem enquanto o tempo de duração da chuva se eleva, se aproximando da equação gerada para a EP 3152008 - Granja São Pedro.

Tabela 6 - Erro relativo percentual (ERP) entre simulações (Iest) e período base (Iobs) nas diferentes durações considerando TR de 100 anos.

Período (1961-2005)													
	5 min	**10 min**	**20 min**	**30 min**	**1 h**	**1,5 h**	**2 h**	**3 h**	**4 h**	**8 h**	**14 h**	**1 d**	**Médio**
Eta-HADGEM2-ES	9,21	9,24	9,26	9,27	9,29	9,29	9,30	9,30	9,30	9,31	9,31	9,31	9,28
Eta-CANES2M	10,39	10,42	10,44	10,45	10,46	10,47	10,47	10,47	10,48	10,48	10,48	10,48	10,46
Eta-MIROC5	7,28	7,31	7,34	7,37	7,42	7,46	7,48	7,52	7,55	7,62	7,68	7,74	7,48
Eta-BESM	-1,13	-1,13	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12

Fonte: os autores.

Tabela 7 - Diferença relativa percentual (DRP) entre cenário RCP 4.5 (Iproj) e período base (Iobs) nas diferentes durações considerando TR de 100 anos.

Período (2006-2099) RCP 4.5													
	5 min	**10 min**	**20 min**	**30 min**	**1 h**	**1,5 h**	**2 h**	**3 h**	**4 h**	**8 h**	**14 h**	**1 d**	**Médio**
Eta-HADGEM2-ES	2,53	2,52	2,54	2,57	2,64	2,70	2,75	2,82	2,87	3,00	3,11	3,22	2,77
Eta-CANES2M	31,21	31,20	31,19	31,19	31,18	31,18	31,18	31,18	31,18	31,17	31,17	31,17	31,18
Eta-MIROC5	35,29	35,33	35,39	35,43	35,51	35,56	35,60	35,65	35,69	35,78	35,86	35,93	35,58
Eta-BESM	32,61	32,64	32,69	32,73	32,80	32,85	32,88	32,93	32,97	33,06	33,13	33,20	32,87

Fonte: os autores.

Tabela 8 - Diferença relativa percentual (DRP) entre cenário RCP 8.5 (Iproj) e período base (Iobs) nas diferentes durações considerando TR de 100 anos.

	Período (2006-2099) RCP 8.5												
	5 min	**10 min**	**20 min**	**30 min**	**1 h**	**1,5 h**	**2 h**	**3 h**	**4 h**	**8 h**	**14 h**	**1 d**	**Médio**
Eta-HADGEM2-ES	-3,33	-3,31	-3,29	-3,28	-3,27	-3,27	-3,27	-3,26	-3,26	-3,26	-3,26	-3,26	-3,28
Eta-CANES2M	32,13	32,16	32,21	32,24	32,31	32,35	32,39	32,43	32,47	32,56	32,63	32,70	32,38
Eta-MIROC5	33,17	33,20	33,23	33,25	33,27	33,28	33,28	33,28	33,29	33,29	33,29	33,29	33,26
Eta-BESM	17,39	17,40	17,41	17,42	17,42	17,42	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,43	17,42

Fonte: os autores.

Observa-se ao analisar os resultados das Tabelas 6 a 8 que, em sua maioria, os modelos apresentaram certa variabilidade nos resultados, entretanto, a maioria apontou para indicações de aumento na intensidade das precipitações na cidade de Pelotas, especialmente para o cenário RCP 4.5. Se calculada uma média geral entre os resultados dos quatro MCGs, são propostos acréscimos na DRP de 25,6% no cenário mais otimista (RCP 4.5) e 20,19% para o RCP 8.5 para chuvas com TR de 100 anos.

A fim de melhor compreender o comportamento dos quatro modelos regionalizados utilizados neste estudo, foram traçados paralelos para cada MCG entre suas estimativas do período base (Iest) e respectivas projeções durante o século XXI (Iproj) sob os dois cenários climáticos supracitados utilizando da Equação 3. Os resultados podem ser observados nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 - Diferença relativa percentual (DRP) entre cenário RCP 4.5 (Iproj) e estimativas para o período base (Iest) nas diferentes durações.

Período (2006-2099) RCP 4.5													
	5 min	**10 min**	**20 min**	**30 min**	**1h**	**1,5h**	**2h**	**3h**	**4h**	**8h**	**14h**	**1d**	**Médio**
Eta-HADGEM2-ES	-6,12	-6,15	-6,15	-6,13	-6,08	-6,03	-5,99	-5,93	-5,89	-5,77	-5,67	-5,57	-5,96
Eta-CANES2M	18,85	18,82	18,79	18,77	18,75	18,75	18,74	18,74	18,74	18,73	18,73	18,73	18,76
Eta-MIROC5	26,10	26,12	26,13	26,14	26,15	26,16	26,16	26,16	26,16	26,16	26,16	26,16	26,15
Eta-BESM	34,13	34,16	34,20	34,23	34,30	34,35	34,38	34,43	34,47	34,56	34,63	34,70	34,38

Fonte: os autores.

Tabela 10 - Diferença relativa percentual (DRP) entre cenário RCP 8.5 (Iproj) e estimativas para o período base (Iest) nas diferentes durações.

Período (2006-2099) RCP 8.5													
	5 min	**10 min**	**20 min**	**30 min**	**1h**	**1,5h**	**2h**	**3h**	**4h**	**8h**	**14h**	**1d**	**Médio**
Eta-HADGEM2-ES	-11.49	-11,49	-11,49	-11,49	-11,49	-11,49	-11,49	-11,50	-11,50	-11,50	-11,50	-11,50	-11,49
Eta-CANES2M	19.69	19,69	19,71	19,73	19,77	19,81	19,84	19,88	19,91	19,99	20,05	20,11	19,85
Eta-MIROC5	24.13	24,13	24,12	24,11	24,06	24,03	24,00	23,96	23,93	23,85	23,78	23,72	23,98
Eta-BESM	18.73	18,74	18,74	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,76	18,76	18,76	18,75

Fonte: os autores.

É possível observar, através das Tabelas 9 e 10, que o modelo climático Eta-HADGEM2-ES projeta menores intensidades com a piora do cenário climático. Os valores médios obtidos para a DRP chegam a quase dobrar negativamente enquanto analisamos o RCP 8.5. Ainda

analisando os resultados obtidos pelo Eta-HADGEM2-ES, nesse mesmo cenário é notável também o comportamento quase constante do valor da DRP durante o cenário pessimista. Paralelamente, pode-se notar que todos os MCGs utilizados projetam variação praticamente constante da DRP em função das durações da chuva analisada.

O MCG Eta-CANES2M, como citado anteriormente, é o único MCG que projeta aumentos nos valores das intensidades de acordo com a piora do cenário climático, porém, pouco expressivos entre os mesmos, chegando a aumentos de aproximadamente 1% no valor da DRP entre o cenário RCP 4.5 e RCP 8.5. Por outro lado, os MCGs regionalizados Eta-MIROC5 e Eta-BESM sugerem o aumento significativo das intensidades das precipitações extremas especialmente no cenário RCP 4.5, indicando menores valores da DRP durante o cenário RCP 8.5, ainda que positivos. Enquanto analisando o comportamento do Eta-BESM, o MCG que apresentou maior proximidade com a curva obtida com dados da EP, com ERP de apenas -1,12%, esse sugere no cenário pessimista um decréscimo no valor da DRP de quase metade da DRP projetadas para o RCP 4.5.

Ainda que aponte para um possível decréscimo das intensidades de precipitações extremas no local de estudo com a piora do cenário climático global, de modo geral, os resultados obtidos sugerem que as intensidades das precipitações intensas tendem a ser maiores do que as intensidades observadas e estimadas para o período base em ambos os cenários climáticos. Se calculada uma média geral entre os resultados dos quatro MCGs, são propostos acréscimos na DRP de 18,33% no cenário mais otimista (RCP 4.5) e 12,78% para o RCP 8.5 para chuvas com TR de 100 anos quando comparados aos resultados simulados.

Os resultados reforçam a importância da análise multimodelo climático uma vez que os MCGs podem indicar tendências diferentes, evidenciando as diferenças e incertezas inerentes às modelagens matemática e climática, especialmente no que tange as emissões de GEE que são dependentes dos cenários socioeconômicos e político no futuro. Vale ressaltar que, o objetivo da modelagem climática de cenários de aquecimento global não é a perfeita previsão das condições futuras, uma vez que isto seria impossível, mas sim a análise das incertezas e probabilidades que cercam as mudanças climáticas, permitindo o estudo e abordagem de vulnerabilidades como forma de gestão antecipada de riscos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar das variabilidades e incertezas envolvidas nas projeções climáticas, o estudo multimodelo climático auxilia na melhor compreensão das mudanças no regime de chuvas intensas, seus efeitos no meio ambiente urbano e rural e no controle de desastres naturais, auxiliando na estruturação de planos de mitigação e adaptação, uma melhor gestão de riscos, melhores diagnósticos de impactos e solidez nas tomadas de decisão reforçando a importância deste tipo de análise frente às mudanças climáticas.

Avaliando as possíveis interferências dos cenários climáticos futuros estabelecidos pelo IPCC sobre a relação IDF da cidade de Pelotas/RS pode-se concluir que as projeções, tanto no cenário relativamente otimista (RCP 4.5) quanto no cenário pessimista (RCP 8.5), sugerem um aumento da intensidade da chuva associada aos TRs de 5 e de 100 anos. Os aumentos se tornam mais evidentes para o cenário relativamente otimista e quando analisados eventos de menor duração.

Através da análise multimodelo apresentada neste estudo, recomenda-se levar em consideração uma majoração de 11,5% no valor da chuva de projeto para o dimensionamento de estruturas de hidráulicas no município de Pelotas que levem em consideração o TR de 5 anos. Para o TR de 100 anos, a recomendação é de uma majoração de 25,6%.

REFERÊNCIAS

ABDULLA, F. A.; LETTENMAIER, D. P.; LIANG, Xu. Estimation of the ARNO model baseflow parameters using daily streamflow data. **Journal of Hydrology**, v. 222, n. 1-4, p. 37-54, 1999.

ANDERSON, T. W.; DARLING, D. A. A test of goodness of fit. **Journal of the American statistical association**, v. 49, n. 268, p. 765-769, 1954.

BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação, 3. Ed. In: TUCCI et al. (Orgs). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed UFRGS/ABRH, 2004. p. 177-241.

BERLATO, M. A.; CORDEIRO, A. P. A. Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século XXI e as tendências observadas no Rio Grande do Sul: uma revisão. **Agrometeoros**, v. 25, n. 2, p. 273-302, 2017.

BESKOW, S.; MELLO, C. R.; NORTON, L. D.; DA SILVA, A. M. Performance of a distributed semi-conceptual hydrological model under tropical watershed conditions. **Catena**, v. 86, n. 3, p. 160-171, 2011.

BESKOW, S.; CALDEIRA, T. L.; DE MELLO, C. R.; FARIA, L. C.; GUEDES, H. A. S. Multiparameter probability distributions for heavy rainfall modeling in extreme southern Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 4, p. 123-133, 2015.

BLAKELY, E.J. **Urban Planning for Climate Change**. Lincoln Institute of Land Policy Working Paper, 25p, 2007.

BEN-ZVI, A. Rainfall intensity–duration–frequency relationships derived from large partial duration series. **Journal of Hydrology**, v. 367, n. 1-2, p. 104-114, 2009.

CABALLERO, C. B.; OGASSAWARA, J. F.; DORNELES, V. R.; NUNES, A. B. A precipitação pluviométrica em Pelotas/RS: tendência, sistemas sinóticos associados e influência da ODP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n.4, p. 1429-1441, 2018.

CALDEIRA, T. L.; BESKOW, S.; MELLO, C. R.; VARGAS, M. M.; GUEDES, H. A. S.; FARIA, L. C. Daily rainfall disaggregation: an analysis for the Rio Grande do Sul State. **Scientia Agraria** (Online), v. 16, p. 1-21, 2015.

CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Drenagem urbana: manual de projeto**. São Paulo, 476 p, 1979.

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DERECZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; NOBRE, P.; MARENGO, J. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, 3, 438-454. 2014.

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DERECZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; MARENGO, J. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. **American Journal of Climate Change**,3, 512-527. 2014.

CHOW, V. T. **Hydrologic determination of waterway areas for the design of drainage structures in small drainage basins**. University of Illinois at Urbana Champaign, College of Engineering. Engineering Experiment Station., 1962.

DUAN, Q.; SOROOSHIAN, S.; GUPTA, V. K. Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. **Water Resources Research** , v. 28, n. 4, pp. 1015–1031, 1992.

DAMÉ, R. D. C.; TEIXEIRA, C. F. A.; MOURA, C.; MACHADO, R.; BESKOW, S. Análise do impacto de um evento de precipitação ocorrido na cidade de Pelotas/RS. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 3, p. 15-25, 2005.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S.; ROSSKOFF, J. L. Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 46-54, 2010.

GAN, T.Y.; BIFTU, G.F. Automatic calibration of conceptual rainfall-runoff models: optimization algorithms, catchment conditions, and model structure. **Water Resources Research** 32 (12), 3513–3524. 1996.

IBGE. Disponível em: < https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/pelotas/panorama >. Acesso em 10 de Fev. 2021.

INMET. Disponível em: < https://portal.inmet.gov.br/normais >. Acesso em 12 de Fev. 2021.

IPCC, 2021. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 4th ed. London: Charles Griffin, 1975.

LYRA, A.; TAVARES, P.; CHOU, S. C.; SUEIRO, G.; DERECZYNSKI, C.P.; SONDERMANN, M.; SILVA, A.; MARENGO, J.; GIAROLLA, A. 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**, v. 132, n. 1, p. 663-682, 2017.

MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; KAY, G.; ALVES, L. M.; PESQUERO, J. F.; SOARES, W. R.; SANTOS D. C.; LYRA A.´ A.; SUEIRO G.; BETTS R.; CHAGAS D. J.; GOMES J. L.; BUSTAMANTE J. F.; TAVARES P. . Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. **Climate dynamics**, v. 38, n. 9-10, p. 1829-1848, 2012.

MELLO, C.R.; SILVA, A.M.; BESKOW, S. **Hidrologia de superfície: princípios e aplicações**. 2. ed. - Lavras: UFLA, 531p, 2020.

MANN, H. B. Non-parametric test against trend. **Econometrica: Journal of the econometric society**, p. 245-259, 1945.

OLIVEIRA, G. G.; PEDROLLO, O. C.; CASTRO, N. M. R. As incertezas associadas às condições climáticas obtidas pelo modelo ETA CPTEC/HADCM3: Avaliação comparativa entre os dados simulados e observados de precipitação, evapotranspiração e vazão na bacia hidrográfica do rio Ijuí, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 1, 101 - 121, 2015.

RAMOS, A. M. **Influência das mudanças climáticas devido ao efeito estufa na drenagem urbana de uma grande cidade**. 160f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2010.

REBOITA, M.S.; GAN, M.A.; DA ROCHA, R.P.; AMBRIZZI, T. 2010. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 185 - 204, 2010.

SALDANHA, C. B.; COLLISCHONN, W.; MARQUES, M.; STEINMETZ, S.; DE ALMEIDA, I. R.; JÚNIOR, C. R. Evento de chuva intensa de janeiro de 2009 sobre a Região de Pelotas-RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, p. 255-265, 2012.

SAMPAIO, G.; SILVA DIAS, P. L. Evolução dos modelos climáticos e de previsão de tempo e clima. **Revista USP**. v.2, n.103, p.41–54, 2014.

SCHARDONG, A.; SRIVASTAV, R. K.; SIMONOVIC, S. P. Atualização da equação intensidade-duração-frequência para a cidade de São Paulo sob efeito de mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 4, p. 176-185, 2014.

TEIXEIRA, M.S.; SATYAMURTY, P. 2007. Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in southern Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 135, n. 2, p. 598-617, 2007.

THYER, M.; KUCZERA, G.; BATES, B. C. Probabilistic optimization for conceptual rainfall – runoff models: A comparison of the shuffled complex evolution and simulated annealing algorithms. **Water Resources Research**. Vol. 35 No. 3, pp. 767-773. 1999.

TUCCI, C. E. M. Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos. **Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas: Câmara Temática de Recursos Hídricos, Brasília**, 150p, 2002.

WESCHENFELDER, A. B.; KLERING, E. V.; ALVES, R. de C. N.; PINTO, É. J. de A. Geração de Curvas IDFs para Cenários Projetados na Cidade de Porto Alegre/RS. **Revista Brasileira de Meteorologia**. São Paulo, v. 34, n. 2, p. 201-216, 2019.

YESILKÖY, S.; SAYLAN, L. Assessment and modelling of crop yield and water footprint of winter wheat by aquacrop. **Italian Journal of Agrometeorology**, n. 1, p. 3-14, 2020.

ZILLI, M. T.; CARVALHO, L. M.; LIEBMANN, B.; SILVA DIAS, M. A. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 5, p. 2269-2279, 2017.