

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

EDUARDO PEIXOTO DE OLIVEIRA

**PROJEÇÕES CLIMÁTICAS E AS RELAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-
FREQUÊNCIA DE CHUVAS INTENSAS NO ESPÍRITO SANTO**

VITÓRIA
2024

EDUARDO PEIXOTO DE OLIVEIRA

**PROJEÇÕES CLIMÁTICAS E AS RELAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-
FREQUÊNCIA DE CHUVAS INTENSAS NO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de concentração Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Ph. D. Antonio Sérgio Ferreira Mendonça

Co-Orientador: Prof. Ph. D. José Antonio Tosta dos Reis

**VITÓRIA
2024**

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

O48p Oliveira, Eduardo, 1992-
Projeções climáticas e as relações Intensidade-Duração
Frequência de chuvas intensas no Espírito Santo / Eduardo
Oliveira. - 2024.
103 f. : il.

Orientador: Antônio Sérgio Mendonça.
Coorientador: José Antônio Reis.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) -
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Gestão de Águas Interiores e Costeiras. 2. Recursos hídricos.
3. Mudanças climáticas. 4. Eventos hidrológicos extremos. I.
Mendonça, Antônio Sérgio. II. Reis, José Antônio. III.
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. IV.
Título.

CDU: 628



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

PROJEÇÕES CLIMÁTICAS E AS RELAÇÕES INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA DE CHUVAS INTENSAS NO ESPÍRITO SANTO

Eduardo Peixoto de Oliveira

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br ANTONIO SERGIO FERREIRA MENDONÇA
Data: 25/09/2024 16:14:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Antônio Sérgio Ferreira Mendonça
Orientador - PPGEA/CT/UFES

Documento assinado digitalmente
gov.br JOSE ANTONIO TOSTA DOS REIS
Data: 25/09/2024 13:45:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Antônio Sérgio Tosta dos Reis
Coorientador - PPGEA/CT/UFES

Documento assinado digitalmente
gov.br DIOGO COSTA BUARQUE
Data: 27/09/2024 11:12:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Diogo Costa Buarque
Examinador Interno – PPGEA/CT/UFES

Documento assinado digitalmente
gov.br ANDRE BECKER NUNES
Data: 26/09/2024 22:26:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. André Becker Nunes
Examinador Externo – UFPel

ELISA VALENTIM GOULART
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Vitória/ES, 25 de setembro de 2024

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, pela educação, apoio incondicional, e por sempre acreditarem no meu potencial. As minha irmãs Julia e Rubia, por estarem ao meu lado nos momentos de alegria e dificuldades, me incentivando a seguir em frente.

Ao tio Helder e tia Jane, por me acolherem sempre com carinho e compreensão.

À tia Verônica e tio Chico, pelo apoio e pelos conselhos valiosos ao longo da minha jornada.

À Yasmine, Bernardo, Crystian, Thayz, Adeline, Marina, Gominho, Nicolie, Gabi Manso, Caio, Bertoldi e Delai por serem amigos verdadeiros, que sei que posso contar em todos os momentos mesmo nos meus períodos mais isolado.

Ao meu namorado Arlindo, pela paciência, ajuda e leveza necessária para seguir adiante com a pesquisa.

A Antônio Sérgio e José Antônio, por suas orientações e apoio acadêmico, que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

À Tamara, por me ajudar a enxergar a pesquisa sob diferentes perspectivas.

À banca examinadora, pelo tempo dedicado e pelas valiosas contribuições que enriqueceram este trabalho.

E, finalmente, ao Sci-Hub, por fornecer acesso a uma vasta gama de artigos científicos, sem os quais este trabalho não seria possível.

A todos vocês, meu muito obrigado.

RESUMO

A crescente influência das atividades humanas nas mudanças climáticas têm alterado significativamente o ciclo hidrológico e os padrões climáticos globais. Este estudo explorou os impactos das mudanças climáticas no regime de precipitações intensas no estado do Espírito Santo, com foco nas mesorregiões sul e central, visando avaliar como modelos climáticos podem replicar os regimes históricos de precipitação e como projetam as mudanças futuras no *timeslice* 2041-2071 sob dois cenários climáticos (RCP 4.5 e RCP 8.5). Foram utilizadas simulações e projeções climáticas de quatro modelos de circulação global regionalizados (Eta-BESM, Eta-MIROC5, Eta-HadGEM2-ES e Eta-CanES2M) no ajuste de equações Intensidade-Duração-Frequência a fim de avaliar quais funções densidade de probabilidade — Kappa, Generalizada de Valores Extremos (GEV) e Gumbel — apresentam melhor aderência às séries analisadas e estimar, por meio do *ensemble* dos resultados de intensidade de precipitação, o quanto as simulações se aproximam dos valores de intensidade de precipitação proposto pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (APB) e quais as alterações projetadas nos padrões de precipitações intensas com diferentes tempos de retorno. Os resultados indicam inicialmente que as funções densidade de probabilidade Kappa e GEV apresentam melhor aderência em 50,5% e 44% das séries analisadas, respectivamente. O *ensemble* das simulações de intensidades de precipitação representativos do período base (1965-2005), em sua maioria, subestima os valores de intensidade propostos pelo APB em ambas as mesorregiões, com exceção de eventos com TR de 2 anos em alguns dos municípios da área de estudo. Os resultados do *ensemble* das projeções de intensidades de precipitação obtidos para o *timeslice* de 2041-2071, por sua vez, indicam um aumento nas intensidades de precipitações extremas na mesorregião central, especialmente sob o cenário RCP 4.5. Na mesorregião sul, os valores projetados apresentaram-se subestimados quando comparados aos valores de intensidade de precipitação apropriados a partir do APB. Os aumentos na intensidade de precipitação podem levar a uma maior ocorrência de desastres naturais, como enchentes e deslizamentos, colocando em risco a infraestrutura existente e a população, especialmente em áreas já vulneráveis e altamente populadas. O estudo sublinha a importância de se incorporar projeções climáticas futuras no planejamento de obras hidráulicas, buscando evitar subdimensionamentos que possam resultar em falhas estruturais diante de eventos extremos.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, Eventos hidrológicos extremos, Chuva de projeto

ABSTRACT

The increasing influence of human activities on climate change has significantly altered the hydrological cycle and global climate. This study investigated the impacts of climate change on intense precipitation pattern in the state of Espírito Santo, focusing on the southern and central mesoregions, aiming to assess how climate models replicate historical precipitation and project future changes for the 2041-2071 timeslice under two climate scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5). Climate simulations and projections from four regionalized global circulation models (Eta-BESM, Eta-MIROC5, Eta-HadGEM2-ES, and Eta-CanES2M) were used to adjust Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves to evaluate which probability density functions — Kappa, Generalized Extreme Value (GEV), or Gumbel — best fits the analyzed series. The ensemble of precipitation intensity results was used to estimate how closely the simulations match the intensity values proposed by the Atlas Pluviométrico do Brasil (APB) and what are the projected changes in intense precipitation patterns with different return periods. The results initially indicate that the Kappa and GEV probability density functions showed the best fit for 50.5% and 44% of the analyzed series, respectively. The ensemble of precipitation intensity simulations for the baseline period (1965-2005) mostly underestimates the intensity values proposed by the APB in both mesoregions, except for events with a 2-year return period in some municipalities of the study area. The ensemble of precipitation intensity projections for the 2041-2071 timeslice, in turn, indicates an increase in extreme precipitation intensities in the central mesoregion, especially under the RCP 4.5 scenario. In the southern mesoregion, the projected values were underestimated when compared to the intensity values derived from the APB. Increased precipitation intensity may lead to a higher occurrence of natural disasters such as floods and landslides, posing a risk to existing infrastructure and populations, particularly in already vulnerable and densely populated areas. The study highlights the importance of incorporating future climate projections into hydraulic infrastructure planning to avoid underestimations that could result in structural failures during extreme events.

Keywords: Climate change, Extreme hydrological events, Design rainfall.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Contribuições para o aquecimento global observado em 2010-2019 relativo a 1850-1900. Fonte: Adaptado de IPCC (2021).	21
Figura 2: Representação esquemática da grade horizontal dos modelos numéricos globais e detalhamento dos níveis na vertical. Fonte: Sampaio e Silva Dias (2014).	24
Figura 3: Divisão municipal do estado do Espírito Santo. Fonte: Ribeiro (2022).	32
Figura 4: Mapa de localização das mesorregiões geográficas de interesse no estado do Espírito Santo. Fonte: Autoria própria.	35
Figura 5: Mapa de localização das Estações Pluviométricas de interesse localizadas nas Mesorregiões Central e Sul. Fonte: Autoria própria.	36
Figura 6: Fluxograma metodológico para cada ponto de estudo. Fonte: Autoria própria.	49
Figura 7: Porcentagem de séries que apresentam tendência . Fonte: Autoria própria.	51
Figura 8: Relação comparativas das Funções Densidade de Probabilidade. Fonte: Autoria própria.	53
Figura 9: Mapa da Mesorregião Central do estado do Espírito Santo. Fonte: Autoria própria.	54
Figura 10: Mapa da Mesorregião Sul do estado do Espírito Santo. Fonte: Autoria própria.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação das Estações Pluviométricas contidas Atlas Pluviométrico do Brasil, extensão das séries de dados, funções densidade de probabilidade utilizadas para ajustes e referências de autores das constantes de desagregação e de referência no Atlas Pluviométrico do Brasil (continua). Fonte: Autoria própria.....	37
Tabela 1: Relação das Estações Pluviométricas contidas Atlas Pluviométrico do Brasil, extensão das séries de dados, funções densidade de probabilidade utilizadas para ajustes e referências de autores das constantes de desagregação e de referência no Atlas Pluviométrico do Brasil (conclusão). Fonte: Autoria própria.....	38
Tabela 2: Coordenadas geográficas das estações pluviométricas de interesse contidas no Atlas Pluviométrico do Brasil, utilizados para a obtenção do Índice climático extremos RX1dayc junto à plataforma PROJETA. Fonte: Autoria própria.	41
Tabela 3: Constantes de desagregação para diferentes relações de durações disponibilizadas por CETESB (1979).	47
Tabela 4: Séries analisadas e os respectivos resultados das modelagens probabilísticas melhor aderidas de acordo com o teste de Anderson-Darling e do teste de tendência de Mann-Kendall ao nível de significância de 5% (continua).Fonte: Autoria própria.....	50
Tabela 4: Séries analisadas e os respectivos resultados das modelagens probabilísticas melhor aderidas de acordo com o teste de Anderson-Darling e do teste de tendência de Mann-Kendall ao nível de significância de 5% (conclusão).Fonte: Autoria própria.....	51
Tabela 5: Coeficientes a, b, c e d da equação IDF ajustados para cada conjunto de dados e período de análise (continua).Fonte: Autoria própria.	54
Tabela 5: Coeficientes a, b, c e d da equação IDF ajustados para cada conjunto de dados e período de análise (continua).Fonte: Autoria própria.	55
Tabela 5: Coeficientes a, b, c e d da equação IDF ajustados para cada conjunto de dados e período de análise (conclusão).Fonte: Autoria própria.	56
Tabela 6: Coeficientes a, b, c, d e δ da equação IDF disponibilizadas no Atlas Pluviométrico do Brasil para o conjunto de dados das EPs localizadas na mesorregião central do estado do Espírito Santo (continua). Fonte: Autoria própria.	56
Tabela 6: Coeficientes a, b, c, d e δ da equação IDF disponibilizadas no Atlas Pluviométrico do Brasil para o conjunto de dados das EPs localizadas na mesorregião central do estado do Espírito Santo (conclusão). Fonte: Autoria própria.	57
Tabela 7: ERP e ERPM calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo ensemble dos resultados das equações IDF ajustadas com dados simulados provenientes de modelos climáticos (Isim) para o período base (1965-2005) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF disponibilizadas no Atlas Pluviométrico do Brasil (IAt) para os municípios localizados na mesorregião central do estado do Espírito Santo (continua). Fonte: Autoria própria.	57
Tabela 7: ERP e ERPM calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo ensemble dos resultados das equações IDF ajustadas com dados simulados provenientes de modelos climáticos (Isim) para o período base (1965-2005) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF disponibilizadas no Atlas Pluviométrico do Brasil (IAt) para os municípios localizados na mesorregião central do estado do Espírito Santo (conclusão). Fonte: Autoria própria.	58

Tabela 8: DP (%) e DPM (%) calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo ensemble RCP 4.5 dos resultados das equações IDF ajustadas com dados provenientes de modelos climáticos projetados (Iproj) para o período futuro (2041-2071) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF sugeridas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (IAt) localizadas na mesorregião central do estado do Espírito Santo (continua). Fonte: Autoria própria.	59
Tabela 8: DP (%) e DPM (%) calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo ensemble RCP 4.5 dos resultados das equações IDF ajustadas com dados provenientes de modelos climáticos projetados (Iproj) para o período futuro (2041-2071) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF sugeridas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (IAt) localizadas na mesorregião central do estado do Espírito Santo (continua). Fonte: Autoria própria.	60
Tabela 8: DP (%) e DPM (%) calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo ensemble RCP 4.5 dos resultados das equações IDF ajustadas com dados provenientes de modelos climáticos projetados (Iproj) para o período futuro (2041-2071) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF sugeridas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (IAt) localizadas na mesorregião central do estado do Espírito Santo (conclusão). Fonte: Autoria própria.	61
Tabela 9: DP (%) e DPM (%) calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo ensemble RCP 8.5 dos resultados das equações IDF ajustadas com dados provenientes de modelos climáticos projetados (Iproj) para o período futuro (2041-2071) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF sugeridas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (IAt) localizadas na mesorregião central do estado do Espírito Santo (continua). Fonte: Autoria própria.	61
Tabela 9: DP (%) e DPM (%) calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo ensemble RCP 8.5 dos resultados das equações IDF ajustadas com dados provenientes de modelos climáticos projetados (Iproj) para o período futuro (2041-2071) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF sugeridas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (IAt) localizadas na mesorregião central do estado do Espírito Santo (conclusão). Fonte: Autoria própria.	62
Tabela 10: Coeficientes a, b, c e d da equação IDF ajustados para cada conjunto de dados e período de análise (continua). Fonte: Autoria própria.	67
Tabela 10: Coeficientes a, b, c e d da equação IDF ajustados para cada conjunto de dados e período de análise (conclusão). Fonte: Autoria própria.	68
Tabela 11: Coeficientes a, b, c, d e δ da equação IDF disponibilizadas no Atlas Pluviométrico do Brasil para o conjunto de dados das EPs localizadas na mesorregião sul do estado do Espírito Santo. Fonte: Autoria própria.	68
Tabela 12: ERP e ERPM calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo ensemble dos resultados das equações IDF ajustadas com dados simulados provenientes de modelos climáticos (Isim) para o período base (1965-2005) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF disponibilizadas no Atlas Pluviométrico do Brasil (IAt) para os municípios localizados na mesorregião sul do estado do Espírito Santo (continua). Fonte: Autoria própria.	69
Tabela 12: ERP e ERPM calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo ensemble dos resultados das equações IDF ajustadas com dados simulados provenientes de modelos climáticos (Isim) para o período base (1965-2005) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF disponibilizadas no Atlas Pluviométrico do Brasil (IAt) para os municípios localizados na mesorregião sul do estado do Espírito Santo (conclusão). Fonte: Autoria própria.	70
Tabela 13: DP (%) e DPM (%) calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo ensemble RCP 4.5 dos resultados das equações IDF ajustadas com dados provenientes de modelos	

climáticos projetados (Iproj) para o período futuro (2041-2071) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF sugeridas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (IAt) localizadas na mesorregião sul do estado do Espírito Santo (continua). Fonte: Autoria própria.	71
Tabela 13: DP (%) e DPM (%) calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo ensemble RCP 4.5 dos resultados das equações IDF ajustadas com dados provenientes de modelos climáticos projetados (Iproj) para o período futuro (2041-2071) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF sugeridas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (IAt) localizadas na mesorregião sul do estado do Espírito Santo (conclusão). Fonte: Autoria própria.	72
Tabela 14: DP (%) e DPM (%) calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo ensemble RCP 8.5 dos resultados das equações IDF ajustadas com dados provenientes de modelos climáticos projetados (Iproj) para o período futuro (2041-2071) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF sugeridas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (IAt) localizadas na mesorregião sul do estado do Espírito Santo (continua). Fonte: Autoria própria.	73
Tabela A.1 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Venda Nova do Imigrante EP 02041020. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência. (continua). Fonte: Autoria própria.	91
Tabela A.1 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Venda Nova do Imigrante EP 02041020. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência. (conclusão). Fonte: Autoria própria.	92
Tabela A.2 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Cariacica EP 02040014. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.....	92
Tabela A.3 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Vitória EP 02040035. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.....	93
Tabela A.4 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Rio Novo do Sul EP 02040013. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.	94
Tabela A.5 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Santa Leopoldina EP 02040010. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.	95
Tabela A.6 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Laranja da Terra EP 01941008. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.	97
Tabela A.8 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Mimoso do Sul EP 2141015. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.	98
Tabela A.9 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Alegre EP 2041003. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.....	99
Tabela A.10 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Cachoeiro de Itapemirim EP 2041021. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.	101

Tabela A.11 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Ibitirama EP 2041016. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.....	101
Tabela A.12 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Vargem Alta EP 2041010. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.....	103

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVOS	19
2.1. OBJETIVO GERAL	19
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E TENDÊNCIAS	20
3.2. MODELAGEM CLIMÁTICA E PROJEÇÕES FUTURAS	24
3.3. RELAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	28
4. METODOLOGIA	31
4.1. ÁREA DE ESTUDO.....	31
4.2. OBTENÇÃO DE DADOS HIDROLÓGICOS	35
4.2.1. Atlas Pluviométrico do Brasil	36
4.2.2. Projeções Climáticas	39
4.3. GAM-IDF	41
4.3.1. Análise de Tendência Temporal	41
4.3.2. Modelagem probabilística e teste de aderência	43
4.3.2.1. Generalizada de Valores Extremos	43
4.3.2.2. Kappa	44
4.3.2.3. Assintótica De Valores Extremos Tipo I (Gumbel)	45
4.3.2.4. Teste de Aderência de Anderson-Darling.....	45
4.3.3. Estimativa de Quantis e Desagregação de Chuva Diária.....	46
4.3.4. Ajuste do Modelo Matemático.....	47
4.4. ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS MODELOS CLIMÁTICOS	47
4.5. ANÁLISE COMPARATIVA DE CENÁRIOS FUTUROS.....	48
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1. ANÁLISE DE TENDÊNCIA E MODELAGEM PROBABILÍSTICA	50
5.2. ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS MODELOS CLIMÁTICOS E POSSÍVEIS ALTERAÇÕES NO CLIMA FUTURO	53
5.2.1. Mesorregião Central.....	54
5.2.2. Mesorregião Sul	66
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
APÊNDICE	90

APÊNDICE A – Ajuste das Funções Densidade de Probabilidade segundo os testes de aderência de Anderson-Darling nos municípios de interesse no estado do Espírito Santo	91
---	----

LISTA DE ABREVIACES E SIGLAS

AD	Anderson-Darling
ASAS	Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
APB	Atlas Pluviométrico do Brasil
BESM	<i>Brazilian Earth System Model</i>
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CMIP6	<i>Coupled Model Intercomparison Project Phase 6</i>
DP	Desvios Percentuais
DPM	Desvios Percentuais Médios
CO₂	Dióxido de Carbono
EN	El Nio
ENOS	El Nio Oscilao Sul
<i>I_{proj}</i>	<i>Ensemble</i> das intensidades simuladas pelos modelos climáticos
ERP	Erros Percentuais
ERPM	Erros Percentuais Médios
ES	Espírito Santo
EP	Estaes Pluviométricos
FDP	Funes Densidade de Probabilidade
GEE	Gases do Efeito Estufa
GFDL-ESM2M	<i>Geophysical Fluid Dynamics Laboratory global model</i>
HadGEM2-ES	<i>Hadley Centre Global Environmental Model</i>
HEC-HMS	Hydrologic Modeling System
ISR	ndice de Setorizao de Risco
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IDF	Intensidade-Durao-Frequência
<i>I_{sim}</i>	intensidades simuladas pelos modelos climáticos
<i>I_{At}</i>	intensidades sugeridas
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanas Climáticas
LN	La Nia
LARS-WG	<i>Long Ashton Research Station – Weather Generator</i>
MK	Mann-Kendall
MPI-ESM-MR	<i>Max Planck Institute for Meteorology—Earth system model</i>
RX1day	Máxima Precipitao Anual em 1 Dia
RX5day	Máxima precipitao anual em 5 dias consecutivos
CH₄	Metano
MRD	Método das Relaes de Duraes

MIROC5	<i>Model for Interdisciplinary Research on Climate</i>
MCG	Modelos de Circulação Global
MC	Mudanças Climáticas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
N₂O	Óxido Nitroso
ppb	Partes por bilhão
ppm	Partes por milhão
P95	Percentil 95
AR4	Quarto Relatório de Avaliação
AR5	Quinto Relatório de Avaliação
RegCM4	<i>Regional Climate Model version 4</i>
AR6	Relatório de Avaliação
RCP	<i>Representative Concentration Pathways</i>
CanES2M	<i>Second Generation Climate Model Analysis</i>
CPRM	Serviço Geológico do Brasil

1. INTRODUÇÃO

A influência humana sobre o sistema global tem alcançado proporções cada vez maiores nos últimos anos. As crescentes taxas de desmatamento, atividades industriais que visam suprir demandas elevadas, alterações do uso e ocupação do solo, elevada frota de veículos circulando diariamente, dentre outras diversas atividades antrópicas, têm contribuído para a elevação das concentrações de gases do efeito estufa atmosférico a níveis não precedentes nos últimos milênios (IPCC, 2021). Tais alterações agem sobre o sistema energético global, alterando o ciclo hidrológico e os padrões climáticos atuais tornando as mudanças climáticas cada vez mais perceptíveis, mostrando-se não mais como uma possibilidade mas sim uma realidade, atingindo diversas camadas da sociedade e do meio ambiente (Dias *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 2020; Ellwanger *et al.*, 2020; Monteiro *et al.*, 2021; O'Neill *et al.*, 2022).

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas -- IPCC (2021), desde a revolução industrial a temperatura média global aumentou mais de 1°C, atingido sistemas naturais e humanos de formas ainda não compreendidas na sua total extensão. O aumento da temperatura média global relaciona-se com a alteração da frequência de ocorrência de eventos extremos de seca e precipitação (Allen; Ingram, 2002; Held; Soden, 2006), eventos esses com grande efeito desestabilizador na sociedade e que podem afetar o acesso a água em quantidade e qualidade suficiente, limitar o acesso a serviços básicos como saúde e transporte, aumentar a insegurança alimentar e ampliar a exposição de populações à riscos associados a desastres naturais, em especial pela parcela mais carente da sociedade (Lira; Cardoso, 2018; Helmrich; Chester, 2020; Hosseinzadehtalaei *et al.*, 2020; IPCC, 2021).

Diversos são os autores que comprovaram a existência de tendência estatisticamente significativa em séries históricas de índices climáticos extremos no Brasil (Regoto *et al.*, 2018; Lira; Cardoso, 2018; Nunes *et al.*, 2021; Neto; Santos, 2021). Regoto *et al.* (2018), por exemplo, averiguaram tendências positivas em índices de precipitação extrema e o aumento da frequência de ocorrência de eventos extremos em todo o estado do Espírito Santo, em especial nas mesorregiões Sul e Central do estado. Lira e Cardoso (2018) encontraram tendências estatisticamente significativas em séries de vazão de estações fluviométricas localizadas nas principais bacias hidrográficas do Brasil, enquanto Nunes *et al.* (2021) reportam tendências estatisticamente positivas nos valores de intensidade de precipitação com durações entre 10 minutos e 1 hora na cidade de Belo Horizonte, especialmente após os anos 2000. Já no estado do Rio de Janeiro, por sua vez, Neto e Santos (2021) concluíram que regiões como a baixada litorânea, parte do litoral norte fluminense e a região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro já apresentam precipitações consideravelmente mais intensas do que outras regiões no interior do estado.

Alterações dos índices de precipitação extrema indicam também alterações das intensidades de tais eventos, assim como a alteração da frequência de ocorrência dos mesmos, podendo aumentar a probabilidade de ocorrência de eventos de cheia, enchentes, inundações e deslizamentos. Atualmente, a caracterização do regime de precipitações intensas de um local se dá a partir da relação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) por meio de modelos matemáticos e gráficos que se utilizam de séries históricas de precipitação para obtenção dessa relação entre as grandezas, partindo da premissa da estacionariedade. Tal premissa pode não se mostrar realista na representação do regime hidrometeorológico futuro, levando-se em consideração que alterações em decorrência das mudanças climáticas já são perceptíveis no presente, agindo e impactando de formas diferentes cada região (IPCC, 2021), e que tendem a se agravar ao depender do cenário climático que se estabelecerá, como demonstrado amplamente por diversos estudos de projeções climáticas (Reboita *et al.*, 2018; Dias *et al.*, 2018; Nobre; Marengo; Soares, 2019; Medeiros *et al.*, 2022; Ferreira; Valverde, 2022).

As equações IDF são utilizadas para estimativa de picos de vazão, hietogramas e hidrogramas de projeto utilizados no dimensionamento de obras de macro e microdrenagem, vertedores de barragens, em estudos sobre a erosão do solo e é vital para a gestão de recursos hídricos (Tucci, 1995; Bertoni; Tucci, 2007; Melo; Silva; Beskow, 2020). Tendo em vista que muitas das alterações hoje causadas pelas emissões de gases do efeito estufa são irreversíveis por milênios (IPCC, 2021), não considerar as possíveis implicações das mudanças climáticas no dimensionamento de obras hidráulicas pode sugerir, no futuro, a possibilidade de subdimensionamento ou falha de obras que levem em consideração apenas séries históricas para obtenção de seus parâmetros de projeto (Sabóia *et al.*, 2017; Hosseinzadehtalaei *et al.*, 2018; Weschenfelder *et al.*, 2019; Ganguli; Coulibaly, 2019; Andimuthu *et al.*, 2019; Kim *et al.*, 2020; Gebru, 2020; Hosseinzadehtalaei *et al.*, 2020; Cook *et al.*, 2020; Butcher *et al.*, 2021; Raquena *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2021; Martel *et al.*, 2021; Tabari *et al.*, 2021; Kourtis *et al.*, 2021; IPCC, 2021; Kourtis; Tsihrintzis, 2022).

Sendo assim, o estudo multimodelo climático para a estimativa de curvas IDF sob a ótica das mudanças climáticas mostra-se como uma importante estratégia para compreender as respostas propostas pelos modelos climáticos e suas projeções, assim como para auxiliar na construção de medidas de adaptação e mitigação dos possíveis efeitos das alterações no regime de precipitações intensas, auxiliando no planejamento e gestão antecipada de riscos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo é avaliar o desempenho da associação de modelos climáticos em replicar o regime de precipitações intensas observado no passado e estimar o impacto das condições climáticas projetadas sobre as relações Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de chuvas intensas nas mesorregiões Sul e Central do estado do Espírito Santo sob dois cenários climáticos futuros.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do presente estudo são foram:

- Verificar qual a distribuição de probabilidade melhor se ajusta às séries de máxima precipitação anual em 1 dia simuladas e projetadas por modelos climáticos;
- Avaliar a capacidade do *ensemble* dos modelos climáticos em simular o regime histórico de precipitações intensas nos locais de estudo; e
- Avaliar se ocorrem diferenças entre os valores de intensidade de precipitação obtidas a partir de relações IDF disponíveis na literatura, comparando-os aos valores de intensidade obtidas a partir do *ensemble* das equações IDF que utilizam como base as projeções futuras de modelos climáticos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E TENDÊNCIAS

É inequívoco que, atualmente, um dos maiores desafios da humanidade é a compreensão dos reais efeitos das Mudanças Climáticas (MC) sobre o sistema global, seus possíveis impactos, formas de adaptação e também de mitigação à eventuais danos e perdas. O estudo das mudanças do clima tem se mostrado de grande interesse no âmbito nacional e internacional devido à extensão das consequências associadas às alterações climáticas que, de diversas formas, ainda não são compreendidas na sua real extensão, já vem atingindo diversas camadas da sociedade e do meio ambiente, com perdas humanas e econômicas (Dias *et al.*, 2018; Ellwanger *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2020; O'Neill *et al.*, 2022).

Em recentes resultados publicados pelo Working Group I (WGI) do sexto Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021), responsável pelos estudos das ciências físicas associadas às MC, foram apresentadas novas evidências científicas acerca do atual estado do clima, tornando possível concluir que não há dúvidas sobre a influência de forçantes antrópicas nas alterações do sistema climático. A influência antropogênica se estende às atividades humanas que geram perturbações sobre o sistema climático, tais como emissões de aerossóis, alteração do uso do solo, urbanização e, em especial, as emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), alterando as propriedades radiativas da atmosfera e consequentemente o balanço energético global. Forçantes são perturbações de ordem natural ou antropogênicas que atuam sobre o sistema energético, sendo consideradas positivas se induzem o aumento da temperatura média, e negativas se induzem o resfriamento do sistema (Monteiro *et al.*, 2021).

Ainda segundo o WGI do IPCC (2021), pode-se afirmar que desde 1750 — início da revolução industrial — as principais forçantes antrópicas agindo sobre o aquecimento global são geridas positivamente pelas concentrações atmosféricas de GEE. De acordo com o relatório, as concentrações atmosféricas de GEE tem mantido um aumento crescente desde o início de suas medições, alcançando em 2019 uma média anual de 410 partes por milhão (ppm) de Dióxido de Carbono (CO₂), 1866 partes por bilhão (ppb) de Metano (CH₄), e 332 ppb de Óxido Nitroso (N₂O), sendo essas as maiores concentrações de CO₂ atmosférico em pelo menos 2 milhões de anos, e as concentrações de CH₄ e N₂O mais elevadas dos últimos 800.000 anos.

A temperatura média da superfície terrestre aumentou de 1850-1900 a 2010-2019

aproximadamente 1,07°C segundo o IPCC (2021) e, ainda que variações naturais apresentem influência nos índices climáticos, na Figura 1 fica clara a forte influência das atividades humanas no aquecimento do sistema climático e em especial pela contribuição nas emissões de GEE.

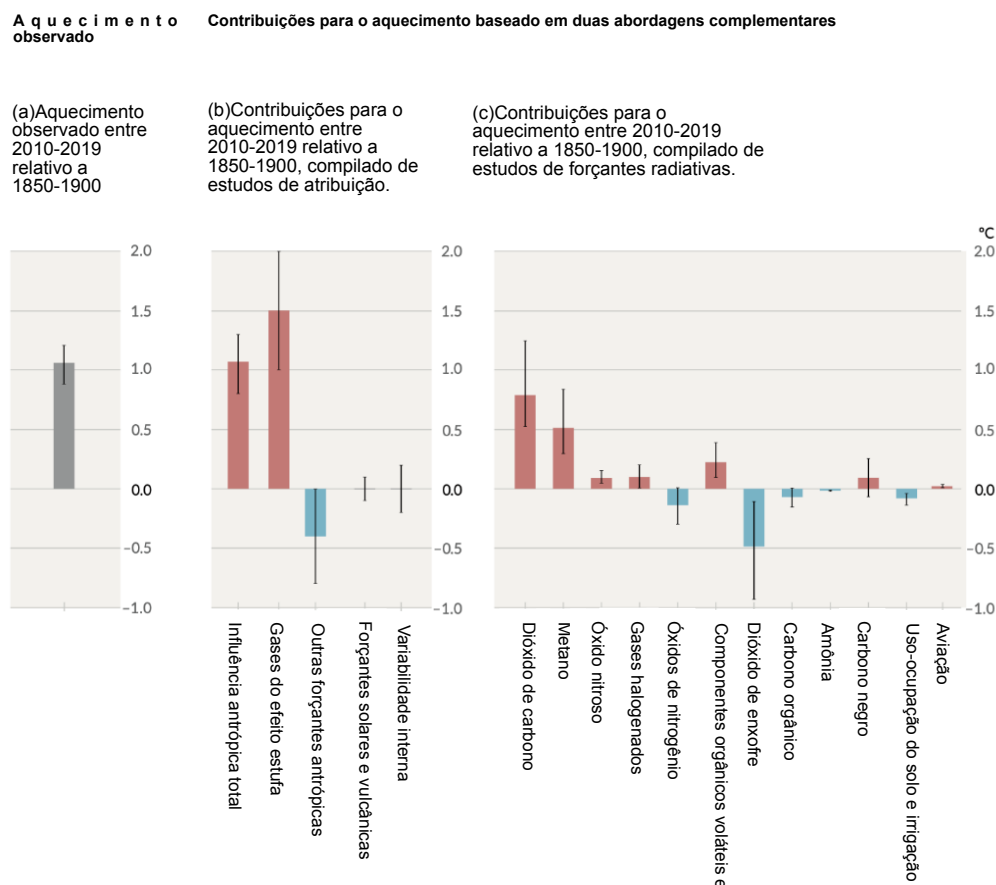


Figura 1: Contribuições para o aquecimento global observado em 2010-2019 relativo a 1850-1900. Fonte: Adaptado de IPCC (2021).

Um acréscimo de energia no balanço energético global é capaz de acarretar mudanças no ciclo hidrológico, podendo impactar, por exemplo, o acesso à água, a qualidade dos corpos hídricos e a exposição de populações vivendo em áreas de risco, colocando em perigo a parcela mais vulnerável da sociedade que, de forma geral, tende a sofrer mais gravemente com os possíveis efeitos das MC.

Desde 1950 a precipitação média global tem se elevando gradativamente ao mesmo passo em que a quantidade de vapor de água também apresenta constantes elevações em toda troposfera, sendo possível detectar a alteração da frequência e intensidade de precipitações extremas com o mesmo Tempo de Retorno (TR) desde os anos 50 (IPCC, 2021). É importante considerar que os acréscimos dos índices de precipitação média e os

de precipitação extrema não se relacionam diretamente e de forma tão clara. Enquanto acréscimos nas taxas de precipitação média são diretamente dependentes do balanço energético global e de processos atmosféricos mais lentos, apresentando acréscimos por volta de 2% a 3% a cada +1 °C, a ocorrência de eventos extremos de precipitação, por sua vez, é regida principalmente pela quantidade de vapor d'água na atmosfera, tendo sua capacidade de retenção elevada por volta de 7% para cada +1 °C (Allen; Ingram, 2002; Held; Soden, 2006, IPCC, 2021), conhecida como a relação Clausius-Clapeyron.

Tendo em vista que muitas das alterações causadas pelas emissões de GEE são irreversíveis por séculos ou até milênios, é levantado um alerta para as possíveis alterações no atual regime de precipitações intensas no Brasil e no mundo, demandando estudos e a melhor compreensão de seus efeitos para desenvolvimento de ações de adaptação e mitigação e na construção de infraestruturas mais resilientes (Hosseinzadehtalaei *et al.*, 2020; IPCC, 2021).

Atualmente, já é possível detectar tendências estatisticamente significativas em séries de vazões, como disposto por Lira e Cardoso (2018). Por meio do teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall os autores analisaram tendências nas séries de vazão de 16 estações fluviométricas entre 1931 e 2014 nas principais bacias hidrográficas brasileiras. Os resultados apontam que em 75% dos postos estudados na região Sul e faixa sul do Sudeste já são claras as tendências positivas nas vazões médias anuais, além do aumento nas vazões extremas, o que pode culminar no aumento da frequência de ocorrência de desastres naturais. Por outro lado, na porção norte da região Sudeste e nas regiões Nordeste e Norte do País, a tendência nas vazões anuais é negativa - em aproximadamente 50% dos postos estudados, o que pode intensificar ainda mais os conflitos pré-existentes pelo uso da água nas regiões e impactar até mesmo a geração energética nacional (Lira; Cardoso, 2018).

Já no Espírito Santo, com o intuito de analisar as tendências em cinco indicadores de extremos de precipitação, Regoto *et al.* (2018) estudaram séries de 80 Estações Pluviométricas (EP) no período entre 1971 e 2010 no Estado através do teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). Os autores indicam a clara predominância positiva de tendência estatisticamente significativa em índices como a precipitação anual total dos dias em que a precipitação é maior que o percentil 95 (P95) e a máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos (RX5day), além do aumento da frequência de ocorrência de chuvas extremas (número de dias do ano em que a precipitação diária é maior ou igual a 30mm) em todo o Estado, em especial nas mesorregiões Sul e Central.

As mesorregiões supracitadas são as que apresentam a maior quantidade de séries pluviométricas com tendência significativa, sendo que na porção Sul 11 dentre as 16 EPs analisadas apresentam tendência em algum índice, enquanto na mesorregião Central 12

dentre os 28 apontaram mudanças estatisticamente significativa em algum indicador de extremos (Regoto *et al.*, 2018). Um ponto importante é que essas são as duas mesorregiões mais chuvosas do estado, havendo o indicativo de que estão se tornando ainda mais úmidas, o que pode agravar a situação de vulnerabilidade das populações em riscos nos municípios localizados nestas porções do Estado, assim como pôr em risco a integridade e a vida útil de algumas estruturas hidráulicas existentes.

Já Neto e Santos (2021) estudaram as intensidades e tendências de precipitações extremas no Estado do Rio de Janeiro a partir de dados diários de 53 EPs com séries entre 1968 e 2017. Através da análise de quatro indicadores de extremos pluviométricos no Estado pelo teste de Mann-Kendall, os autores conseguiram aferir que parte da Baixada Litorânea, parte da região Metropolitana do Rio de Janeiro e a faixa sul do Norte Fluminense apresentam precipitações consideravelmente mais intensas do que outras regiões no interior do estado. Essas mesmas regiões são também as que, de modo geral, apresentam o maior número de EPs com tendência estatisticamente significativa nos índices climáticos extremos estudados, indicando, em sua maioria, o aumento da frequência de ocorrência de tais eventos em algumas das regiões mais densamente populosas do Estado.

Nunes *et al.* (2021), por sua vez, sob a perspectiva de um clima não estacionário, se propuseram a analisar as possíveis tendências observadas em séries sub-diária de precipitação (1996-2015) obtida de um pluviógrafo localizado na cidade de Belo Horizonte/MG por meio de diferentes métodos estatísticos. Apesar de encontrar variações cíclicas no decorrer das séries, os autores puderam concluir que as tendências encontradas se iniciam a partir do ano 2000 e estão associadas a chuvas com durações de 10, 15, 30 e 45 minutos e 1 hora de duração, que naturalmente tendem a ser mais intensas do que precipitações mais duradouras. Foi possível aferir também que, dependendo da duração analisada, as intensidades de precipitações extremas na cidades aumentaram de 15% a 30% a partir do ano 2000, caracterizando eventos de precipitação que os atuais sistemas de drenagem na cidades podem não suportar tendo em vista que foram dimensionados partindo do princípio da estacionariedade (Nunes *et al.*, 2021).

Tais modificações no regime de precipitações extremas acarretará na alteração de suas intensidades, podendo alterar também a frequência de ocorrência de eventos como inundações, enchentes, deslizamentos e diversos outros desastres naturais, colocando em risco o funcionamento de obras hidráulicas já existentes que podem vir a falhar ou até mesmo alterar os parâmetros de dimensionamento de futuras obras, evidenciando a importância do conhecimento acerca dos eventos extremos sob a ótica das mudanças climáticas para a gestão de recursos hídricos (Helmrich; Chester, 2020; Hosseinzadehtalaei *et al.*, 2020; Nunes *et al.*, 2021)

3.2. MODELAGEM CLIMÁTICA E PROJEÇÕES FUTURAS

O avanço da tecnologia nas últimas décadas fez com que estudos meteorológicos e climáticos alcançassem maior confiabilidade, permitindo a melhor compreensão dos processos físicos atmosféricos, suas interações e sua modelagem. Como ressaltado por Sampaio e Silva Dias (2014), com modelos matemáticos em constante aperfeiçoamento e dados de alimentação mais precisos, a previsibilidade climáticas e as projeções do clima futuro tem alcançado maior robustez, complexidade e confiabilidade em seus resultados.

Por meio de modelos computacionais, Modelos de Circulação Global (MCG) fazem possível a simulação dos movimentos da superfície terrestre e atmosférica de acordo com as leis físicas que os regem, levando em consideração os parâmetros de interações entre os diversos componentes do sistema climático e, também, as interações entre fontes naturais e antropogênicas de GEEs, possibilitando a criação projeções em diversos cenários futuros de forçantes climáticas (Sampaio; Silva Dias, 2014; Oliveira *et al.*, 2015). Segundo Sampaio e Silva Dias (2014), os MCG apresentam suas previsões em “pontos de grade” e relacionam latitude, longitude, altitude e tempo para as variáveis precipitação, umidade, temperatura, vetores de vento, radiação solar, dentre outras, porém, com resoluções espaciais limitadas a grades de aproximadamente 100 a 200km de resolução (Figura 2).

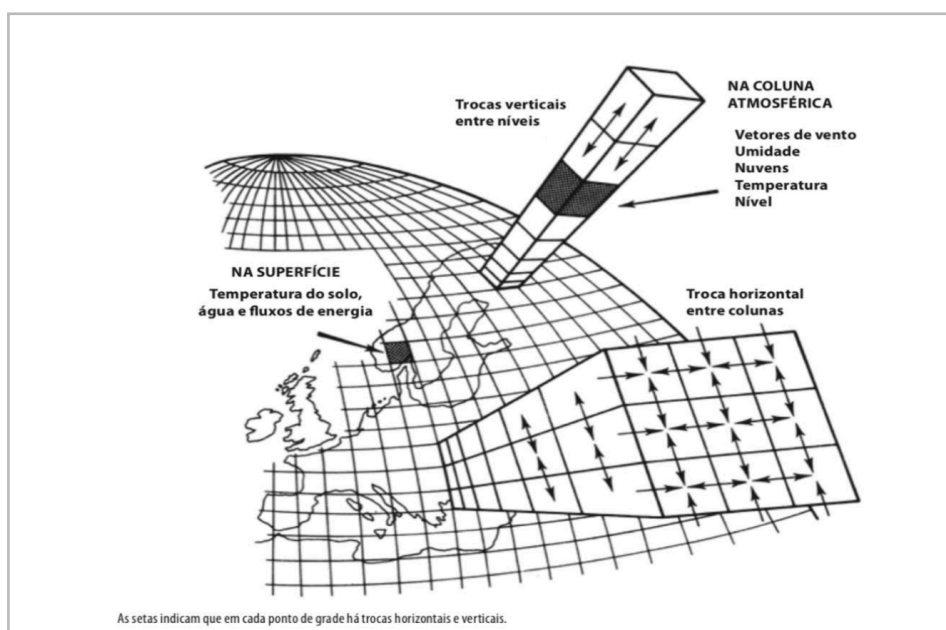


Figura 2: Representação esquemática da grade horizontal dos modelos numéricos globais e detalhamento dos níveis na vertical. Fonte: Sampaio e Silva Dias (2014).

Projeções climáticas futuras realizadas por MCGs regionalizados necessitam de dados de entrada que relacionem os futuros índices de emissões e concentrações atmosféricas de GEE a diferentes aspectos do desenvolvimento socioeconômico, tecnológico, crescimento populacional, padrão de uso e ocupação do solo, a concepção de políticas públicas de adaptação e mitigação, dentre diversos outros fatores. Como proposto pelo IPCC (2007) consecutivamente a partir de seu Quarto Relatório de Avaliação (AR4), essas informações tem sido englobadas dentro de cenários futuros hipotéticos que consideram diferentes possibilidades de desenvolvimento dos referidos aspectos no decorrer do século XXI, se mostrando de grande importância para a avaliação de futuros possíveis e nos estudos de causa-efeito das MC (IPCC, 2021).

Em 2007, o AR4 do IPCC contou inicialmente com os cenários apresentados no IPCC *Special Report on Emission Scenarios* – SRES (IPCC, 2000), onde foram divulgadas quatro famílias, também conhecidas como narrativas — A1, B1, A2 e B2 (Moss *et al.*, 2010; Hamada *et al.*, 2011). Já no seu Quinto Relatório de Avaliação (AR5), com a necessidade de criação de novos cenários mais condizentes com a atualidade, o IPCC (2014) estabeleceu quatro *Representative Concentration Pathways* (RCP): RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5 de forçantes radiativas, correspondendo a cenários futuros com acréscimos de até 1,5°C, 2,5°C, 3°C e 4,5°C, respectivamente (Moss *et al.*, 2010; Chou *et al.* 2014a).

Em seu relatório de avaliação mais recente (GWI AR6), divulgado em 2021, o IPCC apresentou cinco novos cenários denominados *Shared Socioeconomic Pathways* (SSPs): SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, e SSP5-8.5. Esses englobam em sua modelagem um espectro mais amplo de possibilidades de emissão de GEE e outros poluentes atmosféricos, incluindo também cenários com altas emissões de CO₂, produzindo uma melhor avaliação dos impactos, vulnerabilidades e dando mais clareza para processos de adaptação e mitigação.

No tocante às projeções climáticas para o século XXI, Chou *et al.* (2014a) utilizaram dos MCGs *Hadley Centre Global Environmental Model* (HadGEM2-ES) e *Model for Interdisciplinary Research on Climate* (MIROC5), regionalizados pelo MCR brasileiro Eta, na análise das mudanças climáticas projetadas sob dois cenários futuros na América Latina. Os resultados apontam que a região sudeste da América Latina apresenta-se como a região mais suscetível a ocorrência de eventos extremos de precipitação, havendo a indicação do aumento da intensidade e frequência de ocorrência dos mesmos no RCP 8.5 até o fim do século, evidenciando a alta vulnerabilidade das regiões Sudeste e Sul do Brasil, uma vez que apresentam grande densidade populacional e contam com elevada taxa de ocupação e alteração do uso do solo. Chou *et al.* (2014a) sugerem também o aumento dos índices de chuvas extremas em boa parte da região litoral norte do Nordeste,

em especial no cenário mais otimista dentre os estudados (RCP 4.5), enquanto uma considerável diminuição da intensidade e frequência de ocorrência desses eventos são projetadas para a região amazônica e central do Brasil.

Ao mesmo passo, estudos realizados por Medeiros *et al.* (2022) tiveram como intuito avaliar as projeções mais recentes geradas pelo *Coupled Model Intercomparison Project Phase 6* (CMIP6) sobre o Brasil em um cenário futuro pessimista SSP5-8.5. Por meio do estudo de oito índices climáticos extremos de precipitação gerados por mais de 40 MCGs, os autores afirmam que há um consenso nos resultados que apontam para a intensificação de eventos extremos de precipitação no país, sendo esperados eventos mais severos, frequentes e duradouros até o fim do século. Índices como Máxima Precipitação Anual em 1 Dia (RX1day) e Máxima Precipitação Anual em 5 Dias (RX5day) podem vir a aumentar até 20% em todo o Brasil, enquanto é sugerido que a região Nordeste possa vir a sofrer com o aumento de até 37% nos dias com precipitações extremas acima de 20mm (Medeiros *et al.*, 2022). Os autores ainda puderam aferir que são projetados aumentos no número de dias secos consecutivos em todas as regiões brasileiras, podendo variar entre +11,2% e +49,7%, enquanto, por outro lado, os dias chuvosos consecutivos podem diminuir até -28,9%, especialmente na região Norte do Brasil, demonstrando a posição vulnerável do país frente ao possível aumento da frequência de eventos extremos de precipitação em seu território.

Em Minas Gerais, Reboita *et al.* (2018) analisaram as projeções de temperatura e precipitação sobre o estado a fim de estimar as possíveis alterações sob um cenário climático RCP 8.5 entre 2070 e 2095 utilizando os MCGs *Max Planck Institute for Meteorology—Earth system model* (MPI-ESM-MR), *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory global model* (GFDL-ESM2M) e *HadGEM2-ES*, aninhados ao MCR *Regional Climate Model version 4* (RegCM4). Os autores analisaram cinco índices extremos em escala sazonal e estimaram que a temperatura do ar, que está diretamente associada ao aumento do vapor d'água atmosférico (Allen e Ingram, 2002; Held e Soden, 2006, IPCC, 2021), pode aumentar até 5 °C até o fim do século. Para além disso, foram sugeridos aumentos nos volumes de precipitação durante o verão e aumento da intensidade de eventos extremos de chuva em todas as estações, exceto no inverno, o que pode levar à maior frequência de ocorrência de eventos como deslizamentos e enchentes no estado até o fim do século caso medidas mitigatórias e adaptativas não sejam levadas em consideração (Reboita *et al.*, 2018).

Ferreira e Valverde (2022), por sua vez, utilizaram de projeções geradas pelos modelos climáticos regionalizados Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 na bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, estado de São Paulo, com o intuito de analisar tendências nos índices extremos de precipitação entre 2006 e 2099 e sob os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. Ainda

que com comportamentos relativamente distintos entre as projeções dos modelos, os autores afirmam que os resultados apontam para um consenso na tendência do aumento de dias secos consecutivos na bacia estudada entre 2006 e 2040 em um cenário pessimista, enquanto podem ser esperadas diminuições das chuvas acima do percentil 95 à partir de 2041 já no cenário RCP 4.5. Apenas o modelo HadGEM2-ES sugere uma tendência de aumento de RX1day e de precipitação máxima anual em cinco dias consecutivos associada ao futuro mais próximo; porém, chama-se atenção para a indicação de um futuro com eventos extremos mais intensos do que no passado.

Atualmente, são comumente utilizadas ao redor do mundo apenas séries históricas de vazão e precipitação para o dimensionamento de estruturas hidráulicas, muitas vezes sem levar em conta as projeções futuras do clima. Como exposto, alterações nos regimes de precipitação e vazão no futuro possam vir a aumentar a frequência da ocorrência de inundações, alagamentos e deslizamentos, assim como alterar parâmetros de dimensionamento de estruturas hidráulicas como barragens, pequenas centrais hidrelétricas e redes de macro e micro drenagem. Sendo assim, fica evidenciada a importância do estudo de projeções de eventos extremos de precipitação e como se projetam as novas distribuições de frequência desses eventos, uma vez que seus impactos estão diretamente associados a índices de desigualdade social e de vulnerabilidade, afetando o planejamento e uso de recursos hídricos de modo geral; e o desenvolvimento urbano e econômico (Dias *et al.*, 2018; Nobre; Marengo; Soares, 2019; Kourtis *et al.*, 2021).

Vale ressaltar que ainda que com um grande aprimoramento das modelagens nos últimos anos, a compreensão do sistema climático ainda não se dá por inteiro, não sendo possível obter uma representação fiel dos sistemas atmosféricos devido às inúmeras interações e sua grande complexidade (Medeiros *et al.*, 2022). No entanto, levando-se em conta que todo tipo de modelagem jamais reproduziria a realidade, o propósito de se trabalhar com cenários hipotéticos não é prever com acurácia o futuro, mas sim compreender melhor as incertezas que circundam as MC para auxiliar no processo de adaptação e mitigação com estratégias robustas o suficiente que possam ser consolidadas de acordo com a necessidade local ou regional, fornecendo embasamento para a criação de estratégias em diferentes cenários futuros.

Estudos relacionados a projeções futuras de chuvas extremas associadas a alteração nos regimes de vazão são fundamentais para a gestão de recursos hídricos frente às MC, possibilitando o aprimoramento de estudos das curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para geração de vazões de projeto utilizadas no dimensionamento de obras hidráulicas, controle de impactos de enchentes e deslizamentos, estudos hidrossedimentológicos, dentre outros. Atualmente esse assunto vem sendo objeto de

estudo de diversas pesquisas científicas no Brasil e no mundo (Ramos, 2010; Peck *et al.*, 2013; Rodríguez *et al.*, 2013; Schardong *et al.*, 2014; DeGaetano; Castellano, 2017; Sabóia *et al.*, 2017; Paola *et al.* 2018; Hosseinzadehtalaei *et al.* 2018; Ganguli; Coulibaly 2019; Weschenfelder *et al.*, 2019; Andimuthu *et al.* 2019; Binesh *et al.* 2019; Uraba *et al.* 2019; Zhou *et al.* 2019; Kim *et al.* 2020; Gebru 2020; Hosseinzadehtalaei *et al.*, 2020; Cook *et al.* 2020; Butcher *et al.* 2021; Requena *et al.* 2021; Şen; Kahya, 2021; Silva *et al.*, 2021; Martel *et al.*, 2021; Tabari *et al.*, 2021; Kourtis *et al.* 2021; Kourtis; Tsihrintzis, 2022).

3.3. RELAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A intensidade de um evento de precipitação extrema se relaciona com a sua duração e frequência de ocorrência, possibilitando o emprego de modelos probabilísticos com o intuito de estimar valores vinculados a determinados níveis de probabilidade, viabilizando a estimativa das curvas IDF (Mello; Silva; Beskow, 2020). As Funções Densidade de Probabilidade (FDP) são responsáveis pela modelagem probabilística dos dados buscando a representação da frequência teórica de ocorrência dos mesmos, permitindo que essas curvas sejam aplicadas a regiões sem dados históricos de precipitação para estimativa de picos de vazão, projeto de hietogramas e hidrogramas por meio da utilização de métodos hidrológicos consagrados.

Inúmeros modelos de distribuição de probabilidade podem ser utilizados em estudos de variáveis aleatórias contínuas, dentre elas as FDP a dois parâmetros (Normal, Log-Normal a 2 parâmetros, Gumbel ou Gamma) e também as multiparâmetros (Generalizada de Valores Extremos, Kappa, Log-Normal a 3 parâmetros dentre outras). Segundo Beskow *et al.* (2015), o modo de inferência dos parâmetros das distribuições é dependente do método de inferência estatística, sendo os mais utilizados o método dos Momentos, método da Máxima Verossimilhança e o método dos Momentos-L, sendo o último é o mais indicado por produzir estimativas mais assertivas para análises de séries menores de precipitação.

Dados provenientes de estações pluviográficas são os mais indicados para a estimativa das curvas IDF, tendo em vista que permitem a associação de determinadas intensidade de precipitação a diferentes tempos de duração (Nunes *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2021; Manke *et al.*, 2022); no entanto, face à baixa disponibilidade de dados pluviográficos no Brasil são comumente utilizados dados pluviométricos por meio de séries de Máxima Precipitação Anual em 1 Dia (RX1day) (Aragão *et al.*, 2013; Mello; Silva; Beskow, 2020; Kourtis; Tsihrintzis, 2022).

Quando do emprego de registros pluviométricos, as curvas IDF são estabelecidas a partir

da desagregação das séries de RX1day utilizando relações estabelecidas na literatura entre a precipitação de 24 horas e precipitações de durações inferiores. Segundo Bertoni e Tucci (2007), o Método das Relações de Durações (MRD) se destaca pela sua fácil aplicabilidade e por permitir a obtenção de resultados satisfatórios. Esse método utiliza os valores de máxima precipitação anual de 24 horas com uma certa frequência de ocorrência para estimar chuvas de durações subdiárias e mesma frequência de ocorrência por meio da utilização de fatores de multiplicação, também conhecidos como constantes de desagregação (Souza *et al.*, 2012).

Essa caracterização de eventos extremos de precipitação por meio das equações ou curvas IDF de um determinado local se dá atualmente pela utilização de séries históricas de dados. No entanto, essas seguem a premissa da estacionariedade, ou seja, as condições passadas do clima seriam também representativas do futuro, o que pode não se mostrar realista em condições climáticas e hidrológicas futuras, uma vez que alterações já podem ser notadas nos padrões de precipitação em decorrência das MC (Martel *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2021; IPCC, 2021). Neste contexto, uma importante estratégia pode ser a gestão antecipada, tomando como base projeções do clima futuro.

Como exposto por Kourtis e Tsihrintzis (2022) em revisão realizada em mais de 100 artigos publicados sobre o tema, o estudo de cenários futuros por meio da análise multimodelo climático se mostra de extrema relevância e se torna fundamental para o manejo de corpos hídricos, o seu entorno e os centros urbanos sob a ótica das MC. Com este intuito, diversos estudos ao redor do mundo tiveram como objetivo o ajuste de equações IDF a partir de projeções do clima sob diferentes cenários climáticos, relatando diferenças na frequência de ocorrência e de intensidade de eventos extremos de precipitação projetados quando comparados ao clima observado sobre a Europa (Hosseinzadehtalaei *et al.*, 2018, 2020; Kourtis *et al.*, 2021), África (Paola *et al.*, 2018; Gebru, 2020), América do Norte e do Sul (Ganguli; Coulibaly, 2019; Cook *et al.*, 2020; Butcher *et al.*, 2021; Requena *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2021) e Ásia (Andimuthu *et al.*, 2019; Binesh *et al.*, 2019; Uraba *et al.*, 2019; Zhou *et al.*, 2019; Kim *et al.*, 2020).

No Brasil, Sabóia *et al.* (2017) avaliaram os possíveis impactos das MC em um sistema de drenagem existente na cidade de Fortaleza/CE sob dois cenários possíveis de emissão de GEE -- RCP 4.5 e RCP 8.5. Os autores utilizaram os MCGs bcc-CSM1, CanESM2, CCSM4, CESM1-CAM5, inmcm4 e MIROC5 para a geração de séries de precipitação extrema referentes ao *time slice* 2070-2099 utilizadas no ajuste das curvas IDF e, a partir de seus resultados, realizaram a modelagem hidrológica do processo chuva-vazão no Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). Os resultados obtidos a partir das equações IDF ajustadas com dados projetados foram então comparados aos obtidos utilizando da equação atualmente indicada em projetos hidráulicos no município considerando eventos

com TR de 50 anos, parâmetro comumente utilizado para o dimensionamento de sistemas de macrodrenagem em áreas residenciais.

Com o uso do modelo HEC-HMS Sabóia *et al.* (2017) puderam aferir que, mesmo no cenário mais otimista dentre os estudados (RCP 4.5), o aumento médios nos picos de vazão podem chegar a aproximadamente 64%, enquanto no RCP 8.5 esse aumento médio é ainda mais preocupante, podendo alcançar 96,5%. Ao mesmo passo, possíveis alterações no volume drenado são ainda mais alarmantes, sendo indicado um possível aumento médio de até 87,64% no RCP 4.5 e acréscimos médios que chegam a até 134,97% no RCP 8.5. Tais resultados, se verdadeiros, podem se traduzir em uma sobrecarga dos sistemas de drenagem local ou até mesmo falha de outras obras hidráulicas na região, além do aumento da frequência de ocorrência de eventos de alagamentos e enchentes.

Weschenfelder *et al.* (2019) estudaram os efeitos das mudanças climáticas sobre a equação IDF da cidade de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, a partir de séries sintéticas de precipitação do gerador estocástico *Long Ashton Research Station – Weather Generator* -- LARS-WG (SEMENOV; BARROW,1997) acoplado a seis diferente MCGs (NCCCSM, MPEH5, IPCM4, GFCM21, HADCM3, INCM3) sob os cenários SRES A1B, A2 e B1 do IPCC AR4. As análises foram realizadas considerando dois períodos futuros – de 2046 a 2065 e 2080 a 2099. Já para o primeiro período estudado, no cenário mais otimista (B1), avaliou-se um desvio percentual médio de aproximadamente 12% se comparados aos valores encontrados por meio da IDF ajustada com dados observados gerada por Weschenfelder *et al.* (2015).

Para o período de 2080 a 2099, Weschenfelder *et al.* (2019) notaram uma maior variabilidade entre os resultados obtidos a partir das projeções dos modelos, onde os desvios percentuais de cada MCG e também o desvio percentual médio chegam a até 24% nos cenários A1B e A2, enquanto no cenário B1 os desvios alcançam aproximadamente 18%. Em todos os casos são projetados valores que indicam a possibilidade de sobrecarga dos sistemas de drenagem na cidade, assim como o funcionamento de outras obras hidráulicas. Sendo assim, autores sugerem a utilização da curva IDF atual com uma majoração de 10 a 20% no dimensionamento de obras hidráulicas para melhor adequação destas às demandas futuras do município de Porto Alegre.

Costa *et al.* (2020) utilizaram de projeções climáticas de três MCGs (HadGEM2-ES, CanES2M e MIROC5) regionalizados sob os cenários RCP 4.5 e 8.5 para o ajuste de equações IDF representativos do clima futuro até 2100 na bacia hidrográfica do rio Tapajós, uma das regiões brasileiras com maior potência de geração de energia hidroelétrica. Utilizando eventos com TR de 100 anos como parâmetro, as curvas IDF geradas com

dados projetados foram então comparadas às curvas ajustadas com dados históricos na mesma região, sendo observados comportamentos distintos entre os resultados de cada modelo, ressaltando a importância da utilização da maior quantidade de MCGs disponíveis para desenvolvimento de estudos sobre projeções.

Enquanto o MIROC5 e HadGEM2-ES projetam, respectivamente, aumentos nos valores de intensidade de chuvas extremas, podendo chegar a aumentos de até 143% para eventos de 60 min e aproximadamente 35% para eventos até 400 minutos, ambos no cenário mais pessimista, o MCG CanES2M projeta diminuições nos valores de intensidade de precipitação, sugerindo que as precipitações intensas com durações de 24 horas podem ser até 20% menores do que o observado atualmente. Costa et al. (2020) ainda ressaltam que, ainda que com resultados discrepantes, os modelos apontam majoritariamente para um futuro com eventos de precipitação extrema ainda mais intensos na região. É evidenciada mais uma vez a importância do estudo multimodelo climático tendo em vista as diferentes respostas climáticas geradas por cada MCG.

4. METODOLOGIA

Neste capítulo serão descritas as metodologias a serem adotadas no estudo para geração das equações IDF; escolha de equações IDF atualmente disponíveis na literatura e sugeridas para utilização em projetos de obras hidráulicas; simulações e projeções climáticas referentes às áreas de aplicação; e subsequentes estudos comparativos de resultados. Ressalta-se que a metodologia a ser adotada poderá ser aplicada a dados registrados em qualquer EP de interesse que não apresente tendência estatisticamente significativa na série de precipitação extraída, não sendo limitada apenas à área de interesse aqui delimitada.

4.1. ÁREA DE ESTUDO

Este estudo proposto será conduzido no estado do Espírito Santo (ES), localizado na região Sudeste do Brasil entre as coordenadas de -17°52' e -21°17' de latitude e -41°54' e -39°38' de longitude como apresentado na Figura 3. O Estado tem seu território calculado em 46.074,447 Km², sendo o décimo quarto estado mais populoso do país com uma população estimada em 4.108.508 habitantes (IBGE, 2022).

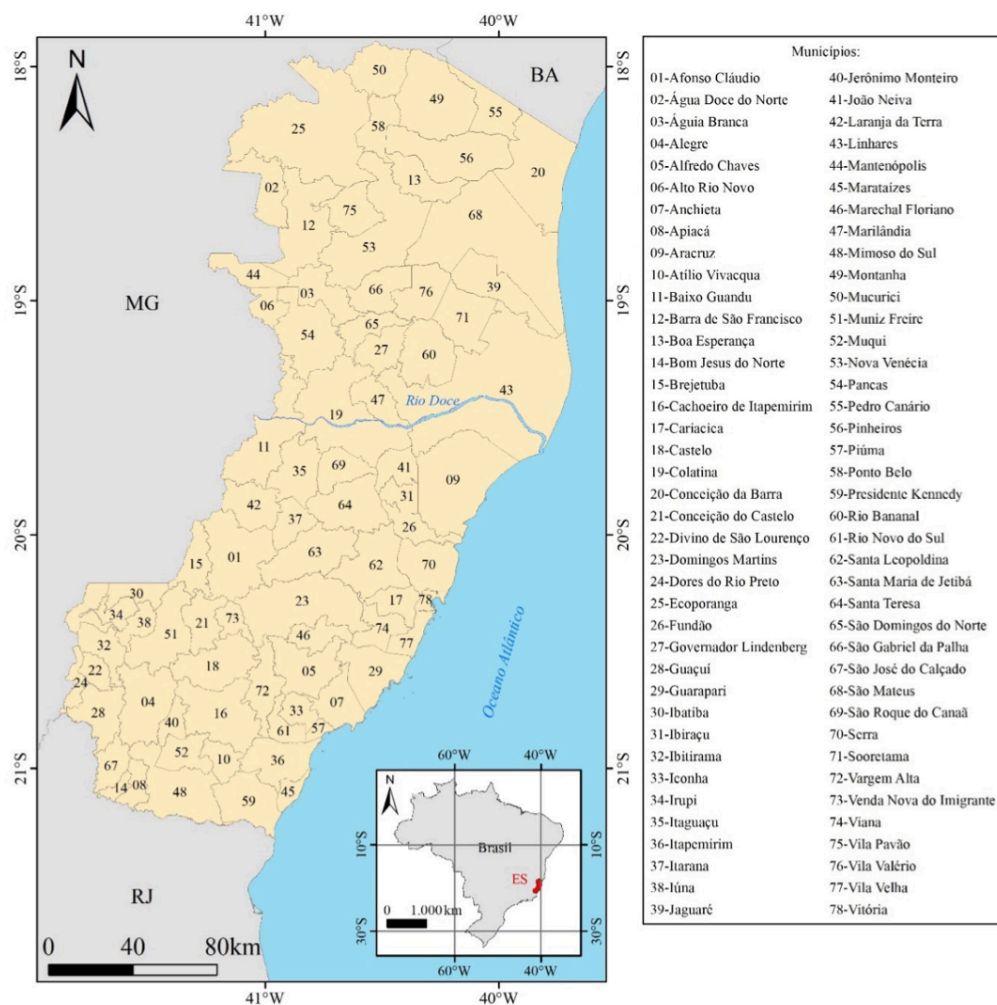


Figura 3: Divisão municipal do estado do Espírito Santo. Fonte: Ribeiro (2022).

O clima da região apresenta alta variabilidade devido a presença de duas regiões naturais distintas: o região litorânea e a região serrana. Enquanto a planície se estende pelo litoral, em direção ao interior do estado as altitudes superam 1.000 m na Serra do Caparaó e Serra do Castelo, chegando a 2.891 m no Pico da Bandeira localizado na divisa com o estado de Minas Gerais. O estado tem o clima considerado tropical úmido com verão muito chuvoso e inverno seco, valores máximos de precipitação total anual média variando de até 2.097 mm em lugares na região serrana a 873 mm na mesorregião Noroeste, sendo a maior taxa de precipitação média mensal no trimestre outubro-novembro-dezembro (248 mm/mês) e as menores taxas no trimestre junho-julho-agosto (13 mm/mês) (Regoto *et al.*, 2018).

O ES tem seu regime de precipitação afetado por diversos fenômenos atmosféricos, dentre eles o El Niño Oscilação Sul (ENOS) nas fases El Niño (EN) e La Niña (LN), as Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), proporcionando a influência de sistemas meteorológicos que se relacionam com os índices de precipitação no estado (Regoto *et al.*, 2018).

O fenômeno ASAS é mais presente durante o inverno no estado, inibindo os movimentos verticais devido à forte subsidência e divergência dos ventos na superfície, favorecendo a criação de condições com baixa umidade e baixa temperatura, conferindo uma maior estabilidade, pouca nebulosidade, e consequentemente uma menor ocorrência de chuvas. (Satyamurty *et al.*, 1998, Regoto *et al.*, 2018). Os maiores valores de precipitação enquanto este sistema está em ação são localizados no litoral, especialmente devido à trajetória características do sistema frontais que se deslocam com maior rapidez e sem adentrar no continente (Nobre *et al.*, 1998).

Já durante o verão, é comum o estabelecimento da ZCAS no estado em decorrência das maiores temperaturas, pressão atmosférica reduzida e convecção tropical intensificada (Kodama, 1992; Regoto *et al.* 2018). A atuação desse fenômeno favorece a formação de nebulosidade e chuvas nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do País em uma banda orientada no sentido noroeste-sudeste, alongando-se desde a região Amazônica até o Oceano Atlântico, sendo parte do sistema de monção da América do Sul (Kousky, 1988; Zhou e Lau, 2001).

Em se tratando do ENOS, este tem duas componentes oceânicas conhecidas como EN e LN, sendo um dos principais modos de variabilidade climática natural atuantes no globo, atuando com uma periodicidade de 2 a 7 anos (Reboita *et al.*, 2021; Pereira *et al.* 2017). O EN é caracterizado pelo aquecimento anômalo das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial, enquanto o comportamento oposto, de resfriamento, caracteriza a formação do LN, sendo chamada também da fase fria do ENOS. O estabelecimento das duas fases afetam a circulação atmosférica do globo em geral, causando anomalias de precipitação e temperatura com influências e consequências ainda não conhecidas na sua totalidade devido à complexidade dos processos físicos envolvidos.

Segundo Reboita *et al.* (2021) e Cai *et al.* (2020), na América do Sul os eventos de EN são responsáveis pelo aumento da precipitação especialmente na região sul do Brasil, enquanto intensifica períodos de estiagem na região amazônica, Norte e Nordeste, favorecendo as condições opostas durante o período de atuação do LN. Contudo, como exposto anteriormente, as influências destes sistemas atmosféricos sobre o regime de precipitação no ES ainda não são claras, podendo-se explicar pela localização do estado em uma região de transição climática (Regoto *et al.*, 2018), sendo importante ressaltar que a frequência, duração e intensidade dos fenômenos acima descritos influenciam fortemente a variabilidade climática no estado.

Os resultados preliminares do Atlas de Riscos Geológicos e Hidrológicos do Estado do Espírito Santo, desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e de autoria de Ribeiro (2022), demonstram com clareza a situação de vulnerabilidade em que alguns municípios do estado se encontram, delimitando um importante recorte para a análise das

regiões mais vulneráveis. O autor analisou a incidência de desastres naturais de origem geológica e hidrológica no estado, totalizando 12 processos, dentre eles inundações, enxurradas e enchentes, delimitando o Índice de Setorização de Risco (ISR) e levantando o número de construções que foram ou podem ser atingidas por tais desastres naturais para, conseqüentemente, traçar o grau de risco de uma população.

Do total de 354 decretos municipais de situação de emergência e estado de calamidade emitidos entre 2012 e 2020, 111 foram relacionados aos três processos hidrológicos supracitados. Segundo Ribeiro (2022), as inundações são os processos com maior impacto sobre a vida dos capixabas, com 16.790 construções já afetadas ou que podem ser afetadas por tais eventos. O autor destaca a vulnerabilidade de municípios como Colatina, Castelo e Cachoeiro de Itapemirim, por exemplo, que contam cada uma com mais de 1000 construções em situação de risco por inundações. Também os municípios de Castelo e Rio Novo do Sul apresentam os maiores percentuais da sua população exposta a risco devido a inundações, com 22% e 14%, respectivamente (Ribeiro, 2022).

Segundo Ribeiro (2022), no Estado são 3.849 construções distribuídas em 18 municípios que foram afetadas ou que podem ser afetadas por enxurradas, eventos hidrológicos com potencial devastador, sendo que cerca de metade da população total exposta ao risco alto ou muito alto por enxurradas está concentrada no município de Castelo. Já no caso de enchentes, 1.390 construções já foram ou podem ser afetadas em nove municípios do estado, sendo seis deles localizados nas mesorregiões Sul e Central do Espírito Santo (Cachoeiro de Itapemirim, Cariacica, Dorcas do Rio Preto, Santa Leopoldina, Domingos Martins e Fundão), sendo que metade de toda a população do Estado exposta ao risco de tais eventos reside no município de Cachoeiro de Itapemirim (Ribeiro, 2022).

Tais resultados expõem com clareza a posição vulnerável em que diversos municípios do estado do Espírito Santo se encontram em relação a eventos hidrológicos, em especial os localizados nas mesorregiões Sul e Central (Figura 4), ressaltando a importância da compreensão das possíveis consequências das alterações climáticas no regime de precipitações intensas nas regiões.

LOCALIZAÇÃO MESORREGIÕES CENTRAL E SUL

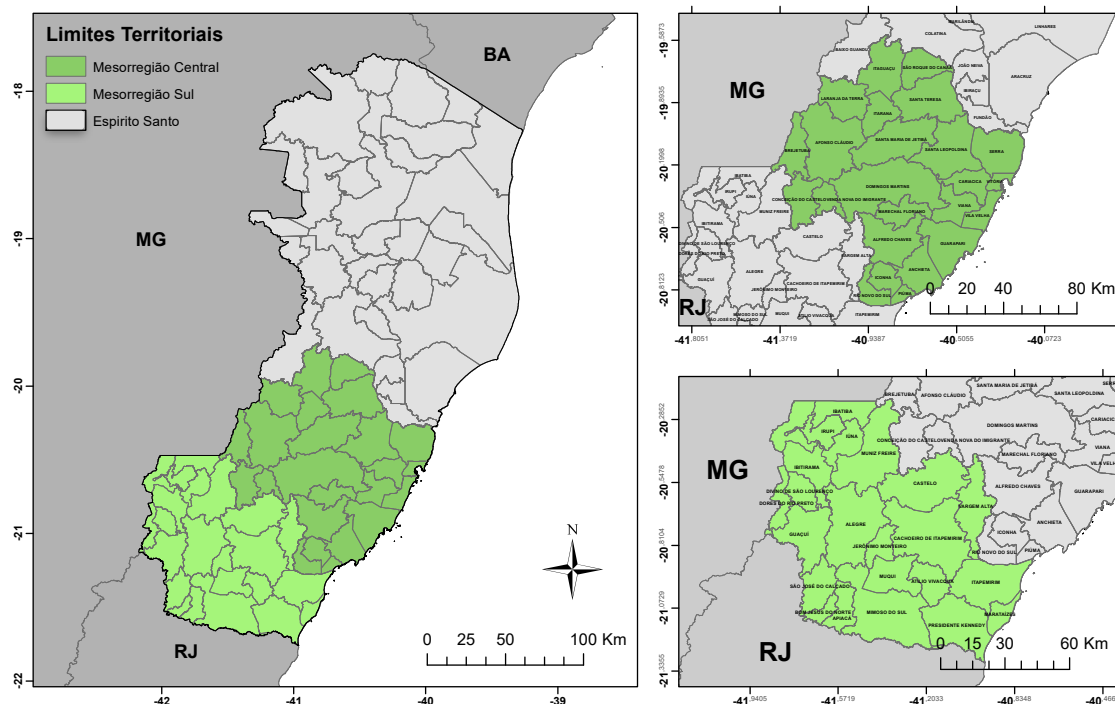


Figura 4: Mapa de localização das mesorregiões geográficas de interesse no estado do Espírito Santo. Fonte: Autoria própria.

4.2. OBTENÇÃO DE DADOS HIDROLÓGICOS

A análise das relações IDF representativas do atual regime de precipitações intensas serão realizadas empregando as equações disponibilizadas no Atlas Pluviométrico do Brasil (APB) para diferentes municípios localizados no estado do Espírito Santo, apontados na Figura 5, representativas do regime atual de precipitações intensas no estado e descritos posteriormente.

Serão empregados também os dados de precipitações intensas gerados por quatro MCGs regionalizados sobre o Brasil obtidos já em escala anual, sendo as simulações de precipitações intensas do período histórico disponíveis entre 1961 e 2005, utilizadas para correlação com o regime atual de chuvas intensas, assim como projeções climáticas sob dois cenários futuros (RCP 4.5 e RCP 8.5) no *time slice* intermediário 2041-2071, sendo melhor descritas a seguir, totalizando até 13 (treze) equações IDF a serem analisadas em cada ponto de estudo.

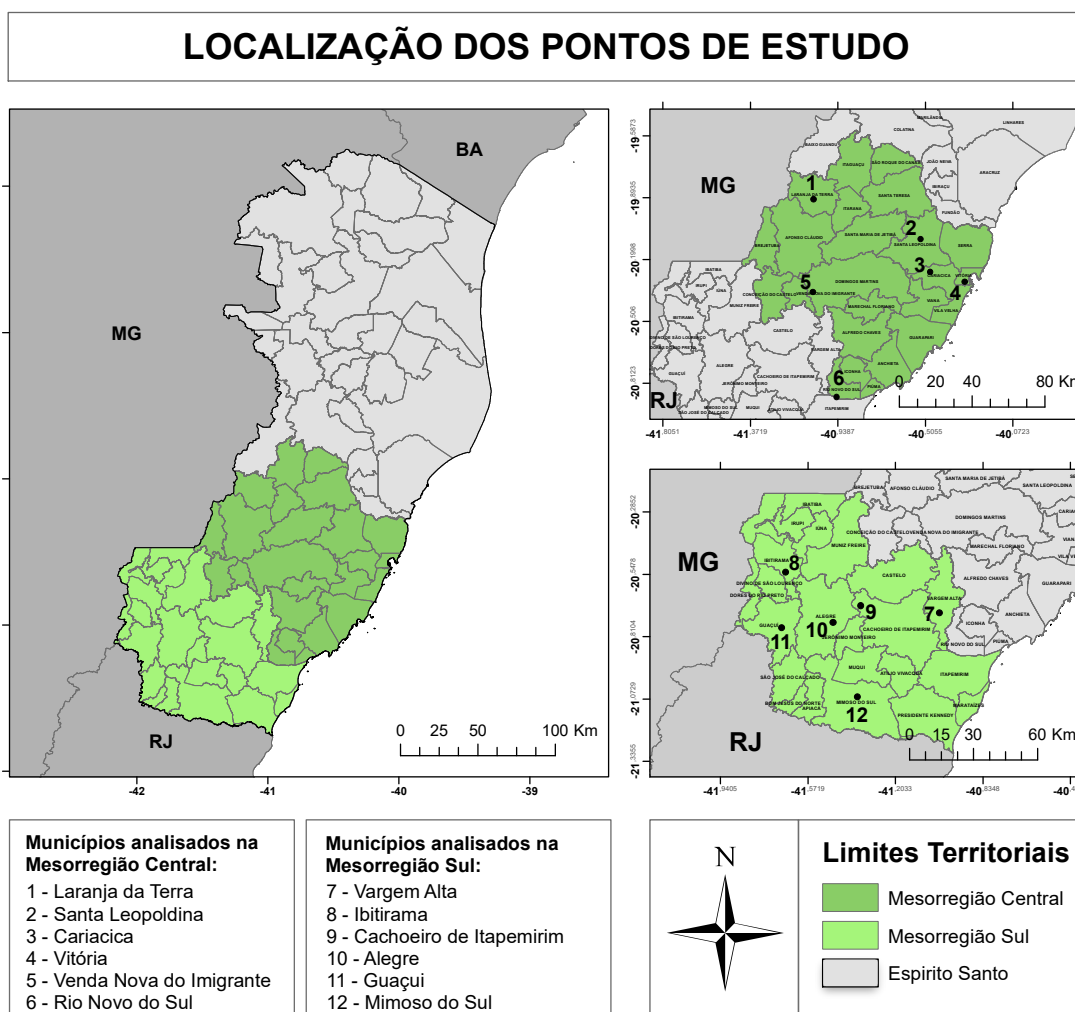


Figura 5: Mapa de localização das Estações Pluviométricas de interesse localizadas nas Mesorregiões Central e Sul. Fonte: Autoria própria.

4.2.1. Atlas Pluviométrico do Brasil

Para representar o regime pluviométrico das regiões de interesse serão empregadas inicialmente as equações IDF ajustadas para as EPs apresentadas no Atlas Pluviométrico do Brasil (http://dspace.cprm.gov.br/simple-search?query=Atlas+Pluviom%C3%A9trico+do+Brasil&sort_by=score&order=desc&rpp=10&etal=0&filtername=subject&filterquery=EQUA%C3%87%C3%95ES+IDF&filtertype=equals) para o estado do Espírito Santo. Segundo seus autores, o APB foi desenvolvido pelo CPRM, com o objetivo de reunir, consolidar e organizar as informações da rede hidrometeorológica brasileira, sendo parte do programa de Levantamentos da Geodiversidade no país (Farias; Pinto, 2017).

O Atlas apresenta equações IDF desenvolvidas com base em dados de séries históricas de máxima precipitação anual em 1 dia (RX1day) de diversas EPs localizadas no território foco deste estudo, exceto no caso do município de Venda Nova do Imigrante onde foram utilizados dados de estação pluviográfica. A distribuição de frequência ajustada a cada série difere dependendo do município; porém, em todos os casos foi utilizado o método dos Momentos-L para ajuste dos parâmetros das FDPs. Nos casos onde utilizaram-se dados de chuva diária de EPs é requerido o uso de constantes de desagregação, responsáveis posteriormente por converter dados de chuvas diárias em chuvas com intervalos sub-diários, sendo utilizadas pelos autores diferentes constantes—disponíveis na literatura, como exemplificado na Tabela 1.

A Tabela 1 compila os dados das EPs contidas nas edições do APB para diferentes municípios do ES, a extensão das séries utilizadas para ajuste das equações, as FDPs utilizadas para a modelagem probabilística, fonte das constantes de desagregação utilizadas e a referência dos respectivos autores. Segundo Farias e Pinto (2017) a estimativa das curvas IDF previstas no APB se deram como parte de um projeto de mapeamento realizado pela CPRM que envolve às áreas suscetíveis a movimentos de massa, enchentes e inundações no Brasil. No Atlas é sugerido o uso de suas equações no dimensionamento de obras hidráulicas e de outras estruturas de aproveitamento de recursos hídricos nos municípios relacionados, tornando-se uma referência em território nacional.

Tabela 1: Relação das Estações Pluviométricas contidas Atlas Pluviométrico do Brasil, extensão das séries de dados, funções densidade de probabilidade utilizadas para ajustes e referências de autores das constantes de desagregação e de referência no Atlas Pluviométrico do Brasil (continua). Fonte: Autoria própria.

Código da EP	Nome da Estação	Município	Início/fim	FDP	Constantes de desagregação	Referência APB
1941008	Laranja da Terra	Laranja da Terra	1950/2012	Exponencial	Taborga (1974)	Farias e Pinto (2017)
2040010	Santa Leopoldina - DNOS	Santa Leopoldina	1949/2012	Exponencial	Pfaffstetter (1982)	Farias e Pinto (2017a)
2040014	Duas Bocas - DNOS	Cariacica	1953/2012	Logística	Pfaffstetter (1982)	Farias e Pinto (2017b)
2040035	Vitória	Vitória	1961/2012	Gumbel	Pfaffstetter (1982)	Farias e Pinto (2017c)
2040013	Rio Novo do Sul	Rio Novo do Sul	1971/2008	Exponencial	CETESB (1986)	Pinto (2017)
2041010	Jacigua - DNOS	Vargem Alta	1947/2013	Exponencial	Germano (2013)	Nascimento, Farias e Pinto (2017a)
2041003	Rive	Alegre	1940/2013	Gumbel	Taborga (1974)	Nascimento, Farias e Pinto (2017)

Tabela 1: Relação das Estações Pluviométricas contidas Atlas Pluviométrico do Brasil, extensão das séries de dados, funções densidade de probabilidade utilizadas para ajustes e referências de autores das constantes de desagregação e de referência no Atlas Pluviométrico do Brasil (conclusão). Fonte: Autoria própria.

Código da EP	Nome da Estação	Município	Início/fim	FDP	Constantes de desagregação	Referência APB
2041016	Ibitirama	Ibitirama	1964/2016	Exponencial	COPASA e UFV (2001)	Martins e Pinto (2017)
2041020	Aracê	Venda Nova do Imigrante	1990/2009	Exponencial	-	Fortunato, Pickbrenner e Pinto (2017)
2041021	Burarama	Cachoeiro de Itapemirim	1964/2012	Gumbel	Pinto (1999)	Weschenfelder, Pickbrenner e Pinto (2017)
2041001	Guaçuí	Guaçuí	1939/2013	Exponencial	Taborga (1974)	Farias e Pinto (2017d)
2141015	Mimoso do Sul	Mimoso do Sul	1964/2013	Gumbel	Taborga (1974)	Farias e Pinto (2017e)

O modelo matemático ajustado por Chow (1962), utilizado por Fortunato, Pickbrenner e Pinto (2017) e Weschenfelder, Pickbrenner e Pinto (2017a) para representar o regime de chuvas intensas nos municípios de Venda Nova do Imigrante e Cachoeiro de Itapemirim, respectivamente, seguem a forma da Equação 1.

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

Na equação (1):

I – Intensidade de precipitação (mm.h^{-1});

TR – Tempo de retorno (anos);

t – duração da precipitação (minutos); e

a , b , c e d - coeficientes da Equação 1.

O modelo matemático proposto pela metodologia de Pinto (2013), utilizado pelos demais autores para representar o regime de chuvas intensas nos municípios de Laranja da Terra, Santa Leopoldina, Rio Novo do Sul, Cariacica, Vitória, Guaçuí, Alegre, Vargem Alta, Mimoso do Sul e Ibitirama, seguem a forma da Equação 2.

$$I = \{[(aLn(TR) + b) \cdot Ln(t + \left(\frac{\delta}{60}\right))] + cLn(TR) + d\}/t \quad (2)$$

Na equação (2):

I – Intensidade de precipitação (mm.h⁻¹);

TR – Tempo de retorno (anos);

t – duração da precipitação (horas); e

a, b, c, d e δ - coeficientes da Equação 2.

4.2.2.Projeções Climáticas

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 (<https://projeta.cptec.inpe.br>), desenvolvido pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Nessa plataforma obtêm-se diretamente as variáveis máxima precipitação anual em 1 dia – corrigida (RX1dayc) simuladas para o período base (1961 a 2005) e projetadas para o período futuro no *time slice* intermediário (2041-2071), com base nos RCPs 4.5 e RCP 8.5 e gerados pelos MCGs *Second Generation Climate Model Analysis* (CanES2M), *Hadley Centre Global Environmental Model* (HadGEM2-ES), *Model for Interdisciplinary Research on Climate* (MIROC5) e o *Brazilian Earth System Model* (BESM), como descritos a seguir.

Segundo Arora *et al.* (2011) o MCG canadense CanES2M é um modelo acoplado de interação terrestre e oceânica que utiliza de componentes do ciclo do carbono, sendo reconhecidos até 9 tipos de vegetações em três sistemas vegetativos e dois de matéria orgânica morta. Os componentes oceânicos e atmosféricos tem resolução e parametrizações aprimoradas, além de incluir os efeitos vulcânicos e a variabilidade solar no período de 1850-2005.

O modelo britânico HadGEM2-ES tem resolução espacial de 1.875° graus em longitude e 1,25° graus em latitude sobre o continente, considerando o ciclo de carbono e 5 possíveis tipos de vegetação, além de interações atmosféricas em 38 níveis, segundo Collins *et al.* (2011). Sobre o oceano o modelo tem resolução espacial variada, utilizando de 1/3° nos

trópicos e 1° em latitudes superiores a 30°, considerando 40 níveis verticais além de possuir modelo de química atmosférica com aerossóis (Collins *et al.*, 2011).

O modelo japonês MIROC5, por sua vez, conta com dinâmica vertical em 40 níveis terrestres e 50 níveis oceânicos além de resolução espacial de cerca de 150 Km sobre o continente e 1° sobre o oceano (Watanabe *et al.*, 2010). O modelo utiliza a microfísica de núvens acoplado a modelos de aerossóis e da representação de dinâmica de gelo oceânico, enquanto na superfície considera a existência de cursos d'água e os efeitos da neve no albedo (Chou *et al.*, 2014a).

O modelo BESM foi desenvolvido pelo INPE e, segundo Chou *et al.* (2014a) e Nobre *et al.* (2013), possui 28 níveis de atmosfera sobre o continente e 50 níveis de atmosfera oceânica, tem a capacidade de diferenciar 12 tipos de vegetação, interações entre os fluxos radiativos de ondas curtas e longas, além de considerar o sistema convectivo de núvens.

Os Modelos de Circulação Global supracitados são acoplados ao MCR Eta e regionalizados sobre a América Central e do Sul. Segundo Chou *et al.* (2014a), o modelo Eta é utilizando desde 1997 para realizar previsões meteorológicas pelo CPTEC/INPE e, a partir de 2010, o modelo regional foi adaptado para o estudo de mudanças climáticas e a realização do *downscaling* de projeções. Os autores observam que o modelo utiliza dinâmica anual do ciclo de vegetação, reconhece até 12 tipos de vegetação e 9 tipos de solo, microfísica de núvens, esquemas convectivos de núvens, interações entre os fluxos radiativos de ondas curtas e longas e considera concentrações constantes de dióxido de carbono.

Um importante passo para diminuir as incertezas inerentes dos dados é a correção de viés. Apesar dos avanços na performance dos modelos climáticos e do aumento da sua resolução espacial, é esperado que os valores extraídos de simulações do clima do passado se desviem dos valores obtidos a partir de dados observados; sendo assim, a fim de diminuir os erros sistemáticos, diversos são os métodos de correção de viés que podem ser aplicado com o intuito de aprimorar os resultados de simulações e projeções obtidos.

O site da plataforma PROJETA disponibiliza dados de índices extremos simulados e projetados de precipitação, já corrigidos pelo método Quantil-Quantil (Bárdossy e Pegram, 2011) para a remoção dos erros sistemáticos de acordo com os dados climatológicos do sistema do Instituto Nacional de Meteorologia (Ferreira; Valverde, 2022; Chou *et al.*, 2014a). Dessa forma, os índices de RX1dayc foram obtidos já corrigidos, com dos modelos daqui em diante denominados Eta-BESM, Eta-HadGEM2-ES, Eta-MIROC5 e Eta-CanESM2 com resolução de 20 km x 20 km diretamente para as coordenadas das EPs dispostas nas Tabelas 2.

Tabela 2: Coordenadas geográficas das estações pluviométricas de interesse contidas no Atlas Pluviométrico do Brasil, utilizados para a obtenção do Índice climático extremos RX1dayc junto à plataforma PROJETA. Fonte: Autoria própria.

Código	Longitude	Latitude	Nome da Estação	Município
1941008	-19.901100	-41.058100	Laranja da Terra	Laranja da Terra
2040010	-20.100227	-40.527777	Santa Leopoldina - DNOS	Santa Leopoldina
2040014	-20.261388	-40.479166	Duas Bocas - DNOS	Cariacica
2040035	-20.310000	-40.310000	Vitória	Vitória
2040013	-20.880833	-40.943333	Rio Novo do Sul	Rio Novo do Sul
2041010	-20.710556	-41.016944	Jacigua - DNOS	Vargem Alta
2041003	-20.751667	-41.465556	Rive	Alegre
2041016	-20.540000	-41.665556	Ibitirama	Ibitirama
2041020	-20.361389	-41.060833	Aracê	Venda Nova do Imigrante
2041021	-20.680556	-41.348333	Burarama	Cachoeiro de Itapemirim
2041001	-20.773600	-41.681700	Guaçuí	Guaçuí
214015	-21.064700	-41.362500	Mimoso do Sul	Mimoso do Sul

4.3. GAM-IDF

De posse das séries de RX1dayc, serão realizados os ajustes das equações IDF considerando os períodos indicados anteriormente. Esta etapa é conduzida na plataforma *GAM-IDF* (<https://gphidro.shinyapps.io/gam-idf/>), uma plataforma web que emprega técnicas de inteligência artificial para ajuste de equações IDF a partir de dados diários de precipitação. Na *GAM-IDF*, também utilizado por Oliveira *et al.* (2023), serão realizados os seguintes procedimentos para cada série de RX1dayc.

4.3.1. Análise de Tendência Temporal

O primeiro passo para o ajuste das equações parte da premissa da estacionariedade, ou seja, a séries não devem apresentar tendência estatisticamente significativa. Isso se dá pois a modelagem probabilística, próximo passo metodológico, pressupõe que a distribuição de probabilidade de ocorrência dos eventos extremos de chuva se mantém a mesma durante os anos, ocorrendo de forma aleatória. De modo geral, séries de precipitação com uma boa capacidade de representação dos padrões de precipitações intensas são de, no mínimo, 30 a 40 anos (Silva, 2022).

A análise de tendência temporal foi conduzida por meio 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 mudanças climáticas em séries meteorológicas, considerando que a sucessão de valores ocorre de forma independente e a distribuição de probabilidade deve se manter a mesma ([Back, 2001](#); Zilli *et al.*, 2017).

O teste de MK (Mann, 1945; Kendall, 1975) considera uma série temporal de X_i de N termos ($1 \leq i \leq N$). O teste consiste na soma t_n do número de termos m_i da série, relativo ao valor X_i cujos termos precedentes ($j < i$) são inferiores ao mesmo ($X_j > X_i$), isto é:

$$t_n = \sum_{i=1}^n m_i \quad (3)$$

Para séries com grande número de termos, (N) sob a hipótese nula H_0 de ausência de tendência, t_n apresentará uma distribuição Normal com média ($E(t_n)$) e variância ($Var(t_n)$), apropriados por meio das equações (4) e (5), respectivamente.:

$$E(t_n) = \frac{N(N-1)}{4} \quad (4)$$

$$Var(t_n) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{72} \quad (5)$$

Testando a significância estatística de t_n para a hipótese nula usando em teste bilateral, esta pode ser rejeitada para grandes valores da estatística $u(t)$ apropriada por meio da equação (6).

$$u(t) = \frac{(t_n - E(t_n))}{\sqrt{Var(t_n)}} \quad (6)$$

O valor da probabilidade α_1 é calculado por meio de uma tabela da distribuição Normal Reduzida tal que:

$$\alpha_1 = \text{prob}(|u|) > |u(t)| \quad (7)$$

A hipótese nula é rejeitada, ou não, a um nível de significância α_1 se $\alpha_1 > \alpha_0$ ou $\alpha_1 < \alpha_0$, respectivamente. A hipótese nula é rejeitada quando existe uma tendência significativa na série temporal.

O p-valor indica o erro em assumir que há tendência de aumento ou diminuição da chuva diária máxima anual ao longo do século. No caso, será considerado o nível de significância do teste de 0,05, e se o resultado obtido for menor que esse valor, pode-se então rejeitar a hipótese de não haver tendência, logo, há tendência. O valor 0 indica que a hipótese nula será aceita enquanto o valor 1 indicará que a hipótese nula será rejeitada

4.3.2. Modelagem probabilística e teste de aderência

As FDP são responsáveis pela 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 de distribuição de probabilidade. A plataforma GAM-IDF dispõe da possibilidade de ajuste entre 12 diferentes FDPs mediante o teste de aderência de Anderson-Darling (AD) (Anderson; Darling, 1954).

Ainda que não exista fundamentação teórica robusta o suficiente para indicar a utilização de uma FDP específica para a modelagem probabilística de séries de precipitação máxima diária anual, no Brasil são frequentemente utilizados e sugeridos na literatura a utilização de modelos como Gumbel e Log-Normal 2 parâmetros; contudo, estudos mostram que a utilização de modelos probabilísticos mais simples podem não gerar resultados tão satisfatórios na representação da distribuição de frequência de eventos extremos de precipitação (Ben-Zvi, 2009; Beskow *et al.*, 2015). Tendo em vista o exposto, optou-se pela análise do melhor ajuste entre as FDPs multiparâmetro Generalizada de Valores Extremos (GEV) e Kappa, e a FDP Gumbel, largamente utilizada na literatura.

4.3.2.1. Generalizada de Valores Extremos

Segundo Hosking (2022), a FDP da distribuição GEV é conformada por meio da combinação das equações (8) e (9):

$$F(x) = e^{\{-e^{(-y)}\}} \quad (8)$$

$$y = -k^{-1} \log \left\{ 1 - \frac{k(x - \varepsilon)}{\alpha} \right\} \quad (9)$$

Nas duas últimas expressões:

x – precipitação máxima diária anual;

ξ – Parâmetro de posição da distribuição;

α – Parâmetro de escala da distribuição;

k – Parâmetro de forma da distribuição.

No caso, x é limitado por $(\xi + \alpha/k)$ inferiormente se $k < 0$ e no limite superior se $k > 0$. Segundo o autor, a função dos quantis se dá ainda por auxílio da equação (10):

$$x(F) = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \{ 1 - (-\log F)^k \} \quad (10)$$

As distribuições de valores extremos tipo I, II e III (Gumbel, Frechet e Weibull) correspondem aos parâmetros de forma da distribuição $k = 0$, $k < 0$ e $k > 0$, respectivamente.

4.3.2.2. Kappa

A FDP da distribuição Kappa é descrita a seguir como proposto por Hosking (2022) na Equação (11) e a função dos quantis como disposta na Equação (12).

$$F(x) = \left\{ 1 - h \left[1 - \frac{k(x - \varepsilon)}{\alpha} \right]^{1/k} \right\}^{\frac{1}{h}} \quad (11)$$

$$x(F) = \xi + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - ((1 - F(x)^h)/h)^k \right\} \quad (12)$$

Nas expressões (11) e (12):

x - Precipitação máxima diária anual;

α - Parâmetro de escala da distribuição;

k e h - Parâmetros de forma da distribuição;

ξ - Parâmetro de posição da distribuição.

Segundo Hosking (2022), seus casos especiais incluem as distribuições Logística Generalizada ($h = -1$), GEV ($h = 0$), Generalizada de Pareto ($h = 1$), Logística ($k = 0, h = -1$), Gumbel ($k = 0, h = 0$), Exponencial ($k = 0, h = 1$) e uniforme ($k = 1, h = 1$).

4.3.2.3. Assintótica De Valores Extremos Tipo I (Gumbel)

A Função Densidade de Probabilidade da distribuição Gumbel é apresentada por Hosking (2022) com-auxílio da equação 13 e a função dos quantis como na equação 14.

$$F(x) = e^{\left[-e^{\left\{-\frac{x-\xi}{\alpha}\right\}}\right]} \quad (13)$$

$$x(F) = \xi - \alpha \log(-\log F(x)) \quad (14)$$

Nas equações (13) e (14):

x - Precipitação máxima diária anual;

α - Parâmetro de escala da distribuição;

ξ - Parâmetro de posição da distribuição.

4.3.2.4. Teste de Aderência de Anderson-Darling

Para checar a adequação de cada modelo probabilístico às séries de precipitações máximas diárias anuais, comparando as frequências teóricas com as frequências observadas, foi empregado o teste de aderência de AD. Segundo Mello, Silva e Beskow (2020), este teste é frequentemente usado 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 e,

consequentemente, analisa a precisão das FDP comparando duas ou mais distribuições. A função é estabelecida por meio da equação (15).

$$AD^2 = -N - \left(\frac{1}{N}\right) \cdot \sum_{i=1}^N [(2.i - 1)(LN(P1) + LN(P2))] \quad (15)$$

Na última expressão:

N – Tamanho da amostra.

i – Posição de cada um dos dados da series posicionados em ordem crescente;

P1 – Probabilidade de não excedência;

P2 – Probabilidade de excedência.

Neste caso, o teste de aderência analisará qual das distribuições de probabilidade melhor se adequa para cada uma das séries de dados, comparando o valor de AD^2 a um valor crítico p e considerando um nível de significância α , sendo que para $AD^2 > p(\alpha)$ a hipótese H_0 de ajuste da série aos dados de frequência é rejeitada (Mello, Silva e Beskow, 2020).

4.3.3. Estimativa de Quantis e Desagregação de Chuva Diária

Após a modelagem probabilística foi realizada a estimativa dos quantis para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos de acordo com a FDP melhor ajustada para cada uma das séries, procedendo posteriormente para a desagregação de chuvas diárias para durações inferiores à 1 dia por meio do MRD e do uso das constantes de desagregação sugeridas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e apresentadas na Tabela 3.

A técnica de desagregação mais utilizada na engenharia brasileira atualmente se baseia nos coeficientes de desagregação sumarizados por CETESB (1979), avaliando-se totais diários de precipitação associados a certa frequência de ocorrência para se obter, na sequência, chuvas de menor duração com a mesma frequência, conforme descrito por diferentes estudos brasileiros (Oliveira *et al.*, 2015; Souza *et al.*, 2012; Teodoro *et al.*, 2014; Caldeira *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2023).

Tabela 3: Constantes de desagregação para diferentes relações de durações disponibilizadas por CETESB (1979).

24 h / 1 dia	6 h / 24 h	1 h / 24 h	30 min / 1 h	20 min / 30 min	15 min / 30 min	10 min / 30 min	5 min / 30 min
1,14	0,72	0,42	0,74	0,81	0,7	0,54	0,34

Fonte: CETESB (1979).

4.3.4. Ajuste do Modelo Matemático

O ajuste do modelo matemático utilizado para as equações IDF foi conduzido com auxílio terá como base o algoritmo genético *Shuffled Complex Evolution/University of Arizona* (SCE-UA) (Duan *et al.*, 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 que convergem ao ótimo global por meio da aplicação de diversas iterações e análise da função objetivo (Beskow *et al.*, 2011).

O algoritmo SCA-UA foi testado e comparado por diversos autores com outros métodos de calibração automática, sempre se apresentando mais vantajoso, com os menores valores para a função objetivo, maior rapidez e eficiência na calibração do modelo matemático se comparado aos outros métodos (Duan *et al.*, 1992; Gan; Biftu, 1996; Abdulla *et al.*, 1999; Thyer *et al.*, 1999). O modelo matemático ajustado no *GAM-IDF* foi o proposto por Chow (1962), conforme equação 1, relacionando a intensidade da precipitação com a sua duração e tempo de retorno.

4.4. ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS MODELOS CLIMÁTICOS

A partir das equações ajustadas, foi realizada uma análise dos Erros Percentuais (ERP) e Erros Percentuais Médios (ERPM) (Weschenfelder *et al.*, 2019; Medeiros *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2023) entre o *ensemble* das intensidades simuladas pelos modelos climáticos (I_{sim}) para o período de referência em relação às intensidades sugeridas (I_{At}) pelas equações IDF propostas no Atlas Pluviométrico do Brasil para as EPs contidas nesse estudo (equação 16).

Esse é um passo importante pois estudos relacionados às MC são fortemente dependentes dos dados de saída dos modelos climáticos e, conseqüentemente, a confiabilidade acerca de suas projeções se relaciona diretamente com a capacidade dos mesmos em replicar as

condições climáticas já observadas no passado na região de estudo. Sendo assim, os cálculos de ERP e ERPM visam aferir a confiabilidade e desempenhos dos MCGs.

$$ERP = \frac{(I_{Sim} - I_{At})}{I_{At}} \cdot 100 \quad (16)$$

Os valores de ERP foram obtidos para cada uma das durações t (10, 20 e 30 minutos e 1,2,3,6,12,18 e 24 horas) e diferentes TR (2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos). Os valores calculados de ERP e ERPM traduzem numericamente se os modelos subestimam ou superestimam suas simulações e projeções em relação aos valores observados de intensidade, onde os valores negativos refletem dados subestimados e os valores positivos refletem valores superestimados.

De acordo com [Tebaldi e Knutti \(2007\)](#), um outro passo importante a fim de se considerar a maior gama de incertezas é o emprego do estudo multimodelo climático como forma de analisar as diferentes respostas obtidas pelos modelos climáticos. Nesse contexto, é frequente na literatura a utilização de “*ensembles*”, ou conjunto de dados, que representam a média entre os resultados obtidos pelos MCGs utilizados em questão (IPCC, 2001; Doblas-Reyes *et al.*, 2003; Yun *et al.*, 2003; Hagedorn *et al.*, 2005; Tebaldi; Knutti, 2007; Kharin *et al.*, 2013).

Optou-se nesse estudo pelo método de média simples entre os resultados de intensidade obtidos através das curvas IDF ajustadas com dados simulados e projetados pelos quatro MCGs (Eta-BESM, Eta-HadGEM2-ES, Eta-MIROC5 e Eta-CanESM2) devido a sua prática aplicação, conferindo o mesmo peso a todos os modelos analisados na criação do *ensemble* (IPCC, 2001).

4.5. ANÁLISE COMPARATIVA DE CENÁRIOS FUTUROS

Foram analisados também os Desvios Percentuais (DP) e Desvios Percentuais Médios (DPM) (Weschenfelder *et al.*, 2019, Medeiros *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2023) entre os *ensemble* das intensidades simuladas pelos modelos climáticos (I_{proj}) para os dois cenários climáticos futuros aqui estudados em relação às I_{At} obtidas pelas equações IDF propostas no Atlas Pluviométrico do Brasil (equação 17).

$$DP = \frac{(I_{proj} - I_{At})}{I_{At}} \cdot 100 \quad (17)$$

Os valores de DP foram obtidos para cada uma das durações t (10, 20 e 30 minutos e 1,2,3,6,12,18 e 24 horas) e diferentes TR (2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos).

Assim como anteriormente descrito, optou-se pela utilização do *ensemble* dos quatro MCGs utilizados. É apresentado a seguir o fluxograma metodológico deste estudo (Figura 6) a fim de demonstrar graficamente cada um dos passos seguidos para a obtenção dos resultados.

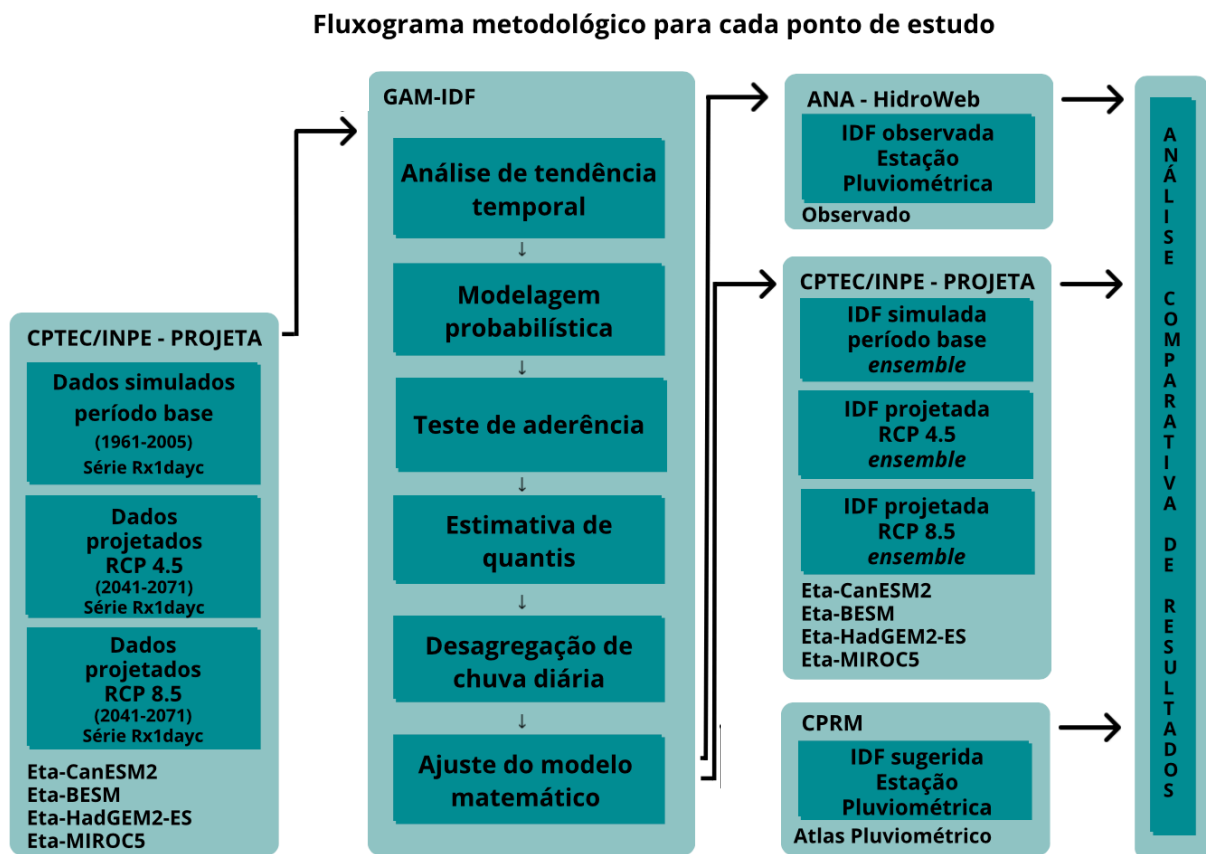


Figura 6: Fluxograma metodológico para cada ponto de estudo. Fonte: Autoria própria.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados à seguir os resultados dos estudos realizados nos 12 (doze) municípios anteriormente indicados, sendo inicialmente analisada a estacionariedade das séries com a utilização do teste de MK e, na sequência, quando possível, o ajuste das mesmas às melhores FDPs dentre as utilizadas de acordo com o teste de aderência de AD.

Posteriormente são apresentados os resultados dos ajuste dos modelos matemáticos, o desempenho do *Ensemble* dos modelos climáticos e seus desempenhos individuais, assim como as possíveis alterações no clima futuro para cada município de acordo com a mesorregião em que se encontram. Vale lembrar que a metodologia supracitada pode ser aplicada à qualquer EP de interesse que não apresente tendência estatisticamente significativa na série de RX1dayc extraída, não sendo limitada apenas à área de interesse aqui delimitada.

5.1. ANÁLISE DE TENDÊNCIA E MODELAGEM PROBABILÍSTICA

O primeiro passo para o ajuste da equação IDF parte da premissa da estacionariedade das séries, ou seja, que a distribuição de probabilidade de ocorrência dos eventos extremos de chuva se mantem a mesma durante os anos. Este passo precede a modelagem probabilística dos dados—que, por sua vez, visa representar a frequência de ocorrência teórica da série de extremos de precipitação, impossibilitando o ajuste das séries de dados à uma FDP caso apresente tendência estatisticamente significativa através do teste de MK ao nível de significância de 5%. Na Tabela 4 são apresentadas as séries analisadas nos respectivos municípios e o resultado dos dois primeiros passos do estudo de forma gráfica.

Tabela 4: Séries analisadas e os respectivos resultados das modelagens probabilísticas melhor aderidas de acordo com o teste de Anderson-Darling e do teste de tendência de Mann-Kendall ao nível de significância de 5% (continua).Fonte: Autoria própria.

Mesorregião		Central						Sul					
P er í o do	Modelos	Lar anja da Terra	St ^a Leo pold ina	Cari acica	Vitória	Ven da Nova do Imig rante	Rio Novo do Sul	Var gem Alta	Ale gre	Ibitir ama	Cac hoei ro de Itap emir im	Gua çuí	Mim oso do Sul
B A S E	Eta-CanES2M												
	Eta-HadGEM2-ES												
	Eta-MIROC5												
	Eta-BESM												
R C P 4. 5	Eta-CanES2M												
	Eta-HadGEM2-ES												
	Eta-MIROC5												
	Eta-BESM												

 Gumbel
 Kappa
 GEV
 Tendência

Mesorregião		Central						Sul					
P er í o d o	Modelos	Lar anja da Terra	St ^a Leo pold ina	Cari acica	Vitória	Venda Nova do Imigrante	Rio Novo do Sul	Var gem Alta	Ale gre	Ibitirama	Cachoeira de Itapemirim	Guaçu	Mimoso do Sul
R C P 8. 5	Eta-CanES2M	Tendência						Gumbel	Tendência	Gumbel	Kappa	Tendência	
	Eta-HadGEM2-ES	GEV	Kappa	GEV	Kappa	GEV	GEV	Kappa	Kappa	Tendência	Kappa	Kappa	
	Eta-MIROC5	Tendência	Kappa	Kappa	Kappa	GEV	GEV	Kappa	GEV	Kappa	GEV	GEV	
	Eta-BESM	GEV	Kappa	Kappa	GEV	Kappa	GEV	GEV	Kappa	GEV	Kappa	Kappa	

Porcentagem de séries que apresentam
tendência

Modelo	Porcentagem
Eta-BESM P. Base	4.35%
Eta-CanES2M RCP 4.5	4.35%
Eta-HadGEM2-ES RCP 4.5	43.48%
Eta-CanES2M RCP 8.5	39.13%
Eta-HadGEM2-ES RCP 8.5	4.35%
Eta-MIROC5 RCP 8.5	4.35%

51

Analisando inicialmente o período histórico deste estudo, nota-se que apenas uma série apresenta tendência pelo teste de MK— a série de RX1dayc simulada pelo modelo climático Eta-BESM para o município de Rio Novo do Sul, localizada na mesorregião central do estado. Autores como Regoto *et al.* (2018) já conseguiram constatar uma tendência estatisticamente significativa enquanto analisando índices climáticos extremos no município de Rio Novo do Sul, onde foi aferida tendência negativa no índice climático extremo.

Nota-se também que os modelos Eta-HadGEM2-ES no RCP 4.5 e Eta-CanES2M no RCP 8.5 sugerem tendência significativa do regime de precipitações intensas no estado entre 2041 e 2071 (ainda que não seja possível identificar se positiva ou negativa), especificamente para o índice RX1dayc; porém, tal aferição impossibilita a utilização das séries neste estudo por meio da metodologia proposta. De qualquer forma, em sua maioria as séries de RX1dayc não apresentaram tendência temporal quando avaliado o período futuro de análises, possibilitando a modelagem probabilística tradicional.

Os resultados obtidos no teste de tendência podem ser explicados pelo recorte temporal utilizado, onde foi analisado apenas um *time slice* intermediário que vai de 2041 a 2071, e pela própria concepção de cenários futuros que consideram a piora do clima no decorrer do século XXI. Além disso, a resolução de cada modelo, os parâmetros de modelagem utilizados e as suas diferentes indicações de futuros (cenários) possíveis interferem nos resultados extraídos e, conseqüentemente, podem gerar resultados discrepantes entre si, o que reforça a importância do estudo de multimodelos climáticos, onde são considerados o maior número de MCGs possível.

No que tange ao ajuste das FDPs, os resultados dos testes de aderência de AD aplicado às diferentes ajustes de distribuições de probabilidade são apresentados, para cada um dos conjuntos de dados, no Apêndice A. Optou-se pelas distribuições de probabilidade que apresentaram os menores valores calculados de AD ao nível de significância de 5%, sendo essas as funções melhor ajustadas às séries analisadas de RX1dayc. Na Figura 8 são apresentados os somatórios das vezes em que cada uma das FDPs estudadas foram melhor ajustadas dentre as 121 séries passíveis de modelagem probabilística, assim como o percentual representativo dos mesmos.

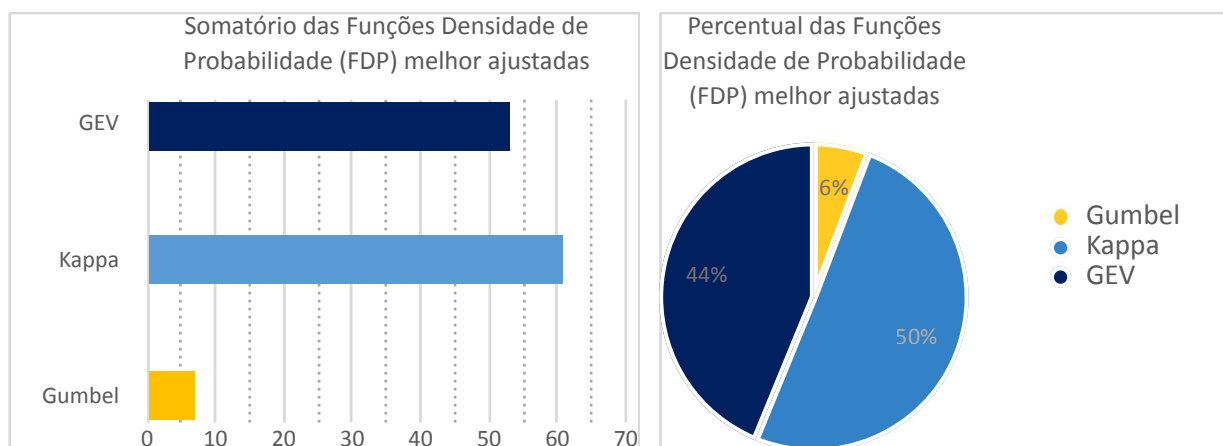


Figura 8: Relação comparativas das Funções Densidade de Probabilidade. Fonte: Autoria própria.

É relevante observar a melhor aderência da FDP Kappa aos dados estudados no estado do ES, sendo essa a que melhor se ajustou em quase metade das séries analisadas (61 séries). Na sequência notou-se o melhor ajuste da função GEV para a modelagem probabilística em aproximadamente 44% das séries de RX1dayc, seguido da FDP Gumbel com apenas 7 melhores ajustes. Os resultados divergem, em certa medida, da literatura técnica corrente no que tange as distribuições de probabilidade mais recomendadas para a modelagem de series de extremos.

Naghetini e Pinto (2007), por exemplo, sugerem a FDP Gumbel como a mais indicada e utilizada para o ajuste de equações IDF e o estudo de suas relações. Por outro lado, Ben-Zvi (2009) e Beskow *et al.* (2015) aferiram que a modelagem utilizando de FDPs multiparamétricas, como Kappa e GEV, garantem maior confiabilidade e tendem a gerar melhores ajustes às séries. Analisando as melhores distribuições entre as 12 FDPs disponíveis no GAM-IDF para o ajuste da equação IDF da cidade de Pelotas no Rio Grande do Sul, Oliveira *et al.* (2023) confirmaram que, de modo geral, as funções multiparâmetros se aderem melhor às séries de precipitações extremas, sendo neste estudo as funções Logística Generalizada e GEV as que geraram os melhores ajustes.

5.2. ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS MODELOS CLIMÁTICOS E POSSÍVEIS ALTERAÇÕES NO CLIMA FUTURO

Como parte importante da metodologia, é fundamental relacionar os resultados obtidos anteriormente e representativos do período histórico, aqui estabelecidos pelos valores propostos e disponibilizadas no APB, com as simulações produzidas pelos MCGs referentes ao período base entre 1961 e 2005. Esse passo é fundamental, uma vez que a proposta da pesquisa é relacionar, ainda que indiretamente, as séries de RX1dayc geradas pelos MCGs e as séries de precipitações intensas observadas.

5.2.1. Mesorregião Central

A seguir é apresentado o mapa da mesorregião central do estado do Espírito Santo (Figura 9), indicando os locais das EP de interesse e os respectivos municípios em que se localizam.

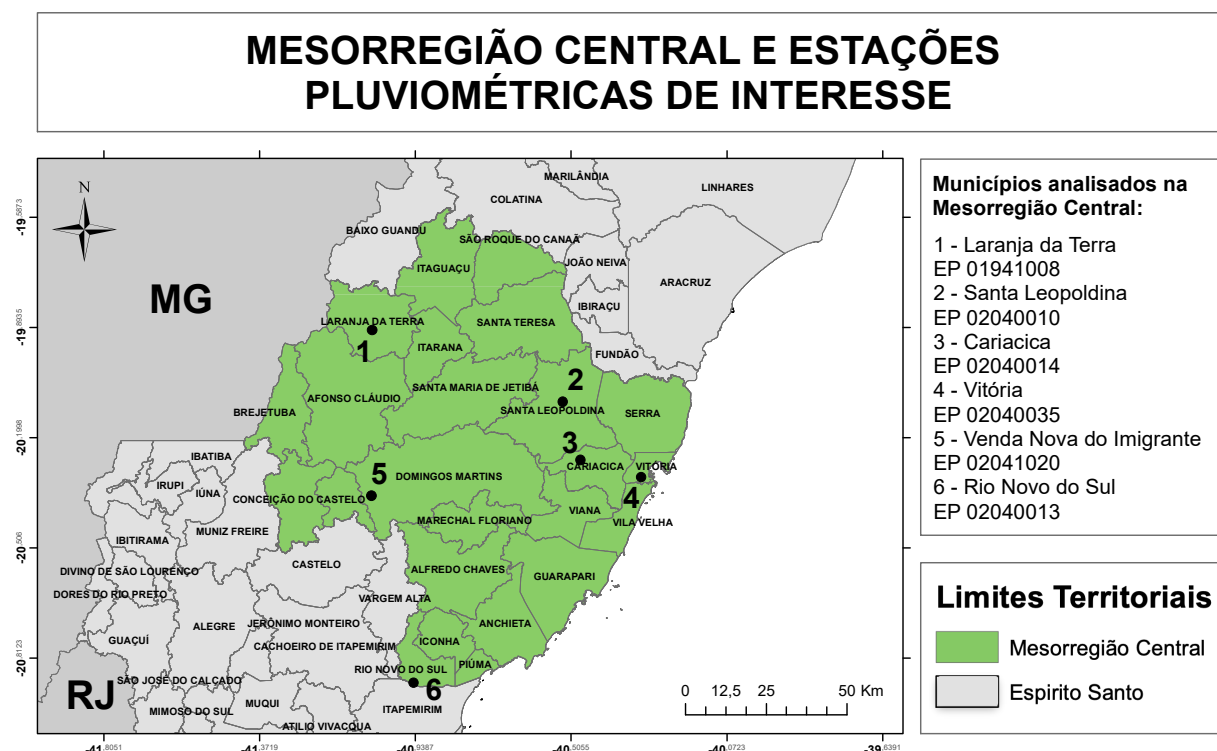


Figura 9: Mapa da Mesorregião Central do estado do Espírito Santo. Fonte: Autoria própria

Os coeficiente a , b , c e d ajustados para as equações IDF das EPs presentes na mesorregião central podem estão sumarizados na Tabela 5. Os dados em branco são referentes às séries que apresentaram tendência estatisticamente significativa segundo o teste de MK.

Tabela 5: Coeficientes a , b , c e d da equação IDF ajustados para cada conjunto de dados e período de análise (continua). Fonte: Autoria própria.

Venda Nova do Imigrante 02041020						Cariacica 02040014				
Dados	Período	Coeficientes obtidos				Período	Coeficientes obtidos			
		a	b	c	d		a	b	c	d
Eta-CanES2M	1961-2005	498,46	0,107	9,247	0,708	1961-2005	624,012	0,152	9,471	0,711
Eta-HadGEM2-ES	1961-2005	473,204	0,12	9,227	0,707	1961-2005	682,821	0,179	10,667	0,742
Eta-MIROC5	1961-2005	490,414	0,106	9,219	0,707	1961-2005	562,483	0,182	9,225	0,707

Tabela 5: Coeficientes *a*, *b*, *c* e *d* da equação IDF ajustados para cada conjunto de dados e período de análise (continua). Fonte: Autoria própria.

Venda Nova do Imigrante 02041020						Cariacica 02040014					
Dados	Período	Coeficientes obtidos				Período	Coeficientes obtidos				
		a	b	c	d		a	b	c	d	
Eta-CanES2M	1961-2005	498,46	0,107	9,247	0,708	1961-2005	624,012	0,152	9,471	0,711	
Eta-HadGEM2-ES	1961-2005	473,204	0,12	9,227	0,707	1961-2005	682,821	0,179	10,667	0,742	
Eta-MIROC5	1961-2005	490,414	0,106	9,219	0,707	1961-2005	562,483	0,182	9,225	0,707	
Eta-BESM	1961-2005	471,448	0,131	9,23	0,707	1961-2005	643,444	0,163	9,566	0,716	
RCP 4.5 Eta-CanES2M	2041-2071	517,762	0,122	9,258	0,707	2041-2071	702,682	0,172	9,228	0,707	
RCP 4.5 Eta-HadGEM2-ES	2041-2071	494,535	0,15	9,207	0,706	2041-2071	-	-	-	-	
RCP 4.5 Eta-MIROC5	2041-2071	666,523	0,122	11,791	0,773	2041-2071	774,768	0,176	9,228	0,707	
RCP 4.5 Eta-BESM	2041-2071	480,908	0,179	9,241	0,707	2041-2071	638,151	0,308	9,188	0,706	
RCP 8.5 Eta-CanES2M	2041-2071	-	-	-	-	2041-2071	-	-	-	-	
RCP 8.5 Eta-HadGEM2-ES	2041-2071	516,807	0,156	9,237	0,707	2041-2071	574,746	0,264	9,403	0,711	
RCP 8.5 Eta-MIROC5	2041-2071	495,771	0,119	9,235	0,707	2041-2071	789,773	0,198	9,219	0,707	
RCP 8.5 Eta-BESM	2041-2071	514,765	0,128	9,301	0,709	2041-2071	673,36	0,176	9,226	0,707	
Vitória 02040035						Rio Novo do Sul 02040013					
Dados	Período	Coeficientes obtidos				Período	Coeficientes obtidos				
		a	b	c	d		a	b	c	d	
Eta-CanES2M	1961-2005	697,369	0,135	10,05	0,729	1961-2005	573,809	0,144	9,218	0,706	
Eta-HadGEM2-ES	1961-2005	682,821	0,179	10,667	0,742	1961-2005	609,485	0,14	9,423	0,714	
Eta-MIROC5	1961-2005	562,483	0,182	9,225	0,707	1961-2005	581,114	0,143	9,245	0,707	
Eta-BESM	1961-2005	643,444	0,163	9,566	0,716	1961-2005	-	-	-	-	
RCP 4.5 Eta-CanES2M	2041-2071	702,682	0,172	9,228	0,707	2041-2071	671,126	0,202	9,546	0,714	
RCP 4.5 Eta-HadGEM2-ES	2041-2071	-	-	-	-	2041-2072	-	-	-	-	
RCP 4.5 Eta-MIROC5	2041-2071	774,768	0,176	9,228	0,707	2041-2073	674,57	0,13	9,319	0,71	
RCP 4.5 Eta-BESM	2041-2071	638,151	0,308	9,188	0,706	2041-2074	708,232	0,257	9,266	0,708	
RCP 8.5 Eta-CanES2M	2041-2071	-	-	-	-	2041-2075	-	-	-	-	
RCP 8.5 Eta-HadGEM2-ES	2041-2071	574,746	0,264	9,403	0,711	2041-2071	596,841	0,192	9,14	0,703	

Tabela 5: Coeficientes *a*, *b*, *c* e *d* da equação IDF ajustados para cada conjunto de dados e período de análise (conclusão). Fonte: Autoria própria.

RCP 8.5 Eta-HadGEM2-ES	2041-2071	574,746	0,264	9,403	0,711	2041-2071	596,841	0,192	9,14	0,703
RCP 8.5 Eta-MIROC5	2041-2071	789,773	0,198	9,219	0,707	2041-2071	624,491	0,209	9,257	0,708
RCP 8.5 Eta-BESM	2041-2071	676,625	0,175	9,228	0,707	2041-2071	603,28	0,202	9,416	0,712
Santa Leopoldina 02040010						Laranja da Terra 01941008				
Dados	Período	Coeficientes obtidos				Período	Coeficientes obtidos			
		a	b	c	d		a	b	c	d
Eta-CanES2M	1961-2005	669,249	0,107	9,214	0,706	1961-2005	461,682	0,109	9,149	0,706
Eta-HadGEM2-ES	1961-2005	714,666	0,088	9,23	0,707	1961-2005	434,945	0,126	9,229	0,707
Eta-MIROC5	1961-2005	569,695	0,18	9,217	0,707	1961-2005	469,701	0,13	9,462	0,718
Eta-BESM	1961-2005	638,855	0,144	9,517	0,717	1961-2005	471,149	0,106	9,214	0,707
RCP 4.5 Eta-CanES2M	2041-2071	630,139	0,178	9,26	0,707	2041-2071	-	-	-	-
RCP 4.5 Eta-HadGEM2-ES	2041-2071	-	-	-	-	2041-2072	-	-	-	-
RCP 4.5 Eta-MIROC5	2041-2071	863,518	0,124	9,212	0,706	2041-2071	524,579	0,134	10,138	0,735
RCP 4.5 Eta-BESM	2041-2071	687,241	0,303	9,847	0,725	2041-2071	477,368	0,188	9,233	0,707
RCP 8.5 Eta-CanES2M	2041-2071	-	-	-	-	2041-2072	-	-	-	-
RCP 8.5 Eta-HadGEM2-ES	2041-2071	636,716	0,219	9,229	0,707	2041-2071	461,418	0,171	10,428	0,74
RCP 8.5 Eta-MIROC5	2041-2071	855,339	0,154	9,232	0,707	2041-2071	-	-	-	-
RCP 8.5 Eta-BESM	2041-2071	642,616	0,181	9,247	0,707	2041-2071	469,179	0,14	9,241	0,707

Os coeficientes ajustados para as equações IDF disponibilizadas no APB são apresentados na Tabela 6, sendo a equação IDF referente ao município de Venda Nova do Imigrante ajustada de acordo com a equação (2) e para os demais municípios segundo a equação (1).

Tabela 6: Coeficientes *a*, *b*, *c*, *d* e δ da equação IDF disponibilizadas no Atlas Pluviométrico do Brasil para o conjunto de dados das EPs localizadas na mesorregião central do estado do Espírito Santo (continua). Fonte: Autoria própria.

Nome da Estação	Duração de 5 min a 1 hora					Duração de 1 hora a 24 horas				
	a	b	c	d	δ	a	b	c	d	δ
Santa Leopoldina	8,3374	14,5331	13,1802	22,915	13	7,7409	13,5185	13,7934	24,0119	8,5

Tabela 6: Coeficientes *a*, *b*, *c*, *d* e δ da equação IDF disponibilizadas no Atlas Pluviométrico do Brasil para o conjunto de dados das EPs localizadas na mesorregião central do estado do Espírito Santo (conclusão). Fonte: Autoria própria.

Nome da Estação	Duração de 5 min a 1 hora					Duração de 1 hora a 24 horas				
	a	b	c	d	δ	a	b	c	d	δ
Cariacica	8,4869	16,619	13,9588	27,326	12	8,0778	15,7942	14,6191	28,6212	7
Vitória	6,6056	18,801	10,8568	30,9441	12	6,3127	17,956	11,2954	32,1643	8
Venda Nova do Imigrante	283,7	0,1529	3,6	0,4815	-	1266,3	0,1541	14	0,8123	-
Rio Novo do Sul	6,2511	12,9336	13,6492	28,2604	7	7,0631	14,6428	11,4563	23,7109	30
Laranja da Terra	2,7732	9,2653	8,6858	27,9349	0	4,6948	12,2925	8,6885	27,9291	0

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 7, comparando agora estabelecida com o propósito de permitir a comparação entre as I_{sim} e as I_{At} disponibilizadas no APB, pode-se notar um comportamento semelhante no que tange os eventos extremos com menor TR, onde concentram-se os menos valores de ERP e ERPM calculados; porém, pode-se observar maior amplitude entre os resultados ou, eventualmente, similaridade com as I_{At} em alguns casos.

Tabela 7: ERP e ERPM calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo ensemble dos resultados das equações IDF ajustadas com dados simulados provenientes de modelos climáticos (I_{sim}) para o período base (1965-2005) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF disponibilizadas no Atlas Pluviométrico do Brasil (I_{At}) para os municípios localizados na mesorregião central do estado do Espírito Santo (continua). Fonte: Autoria própria.

t (min)	Ensemble período base vs. APB Venda Nova do Imigrante 02041020						Ensemble período base vs. APB Cariacica 02040014					
	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
10	-27,90	-30,30	-32,06	-34,31	-35,97	-37,57	-4,60	-17,26	-22,12	-25,17	-25,80	-25,38
20	-30,08	-32,41	-34,12	-36,30	-37,90	-39,46	-10,33	-22,22	-26,79	-29,66	-30,25	-29,85
30	-32,69	-34,93	-36,57	-38,68	-40,22	-41,72	-13,86	-25,28	-29,67	-32,43	-32,99	-32,61
60	-38,76	-40,80	-42,29	-44,21	-45,61	-46,97	-18,95	-29,70	-33,83	-36,42	-36,95	-36,59
120	-36,20	-38,40	-40,00	-42,06	-43,56	-45,02	-22,18	-32,50	-36,47	-38,96	-39,48	-39,14
180	-34,20	-36,47	-38,12	-40,24	-41,79	-43,30	-22,84	-33,08	-37,01	-39,48	-40,00	-39,66
360	-30,11	-32,51	-34,27	-36,52	-38,17	-39,77	-22,24	-32,57	-36,53	-39,03	-39,55	-39,21
720	-25,31	-27,88	-29,76	-32,16	-33,92	-35,63	-19,74	-30,40	-34,50	-37,07	-37,61	-37,26

Tabela 7: ERP e ERPM calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo ensemble dos resultados das equações IDF ajustadas com dados simulados provenientes de modelos climáticos (I_{sim}) para o período base (1965-2005) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF disponibilizadas no Atlas Pluviométrico do Brasil (I_{At}) para os municípios localizados na mesorregião central do estado do Espírito Santo (conclusão). Fonte: Autoria própria.

Ensemble período base vs. APB Venda Nova do Imigrante 02041020							Ensemble período base vs. APB Cariacica 02040014					
1080	-22,23	-24,91	-26,86	-29,37	-31,20	-32,98	-17,46	-28,43	-32,64	-35,29	-35,84	-35,49
1440	-19,93	-22,69	-24,70	-27,28	-29,17	-31,00	-15,49	-26,72	-31,03	-33,75	-34,32	-33,95
ERPM	-29,74	-32,13	-33,88	-36,11	-37,75	-39,34	-16,77	-27,81	-32,06	-34,73	-35,28	-34,91
Ensemble período base vs. APB Vitória 02040035							Ensemble período base vs. APB Rio Novo do Sul 02040013					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
10	-7,75	-14,76	-17,29	-18,31	-17,78	-16,36	-16,82	-28,82	-33,89	-37,72	-39,22	-39,89
20	-13,24	-19,85	-22,24	-23,21	-22,72	-21,38	-17,57	-29,46	-34,49	-38,29	-39,78	-40,44
30	-16,68	-23,03	-25,33	-26,26	-25,79	-24,51	-18,19	-30,00	-34,99	-38,76	-40,24	-40,89
60	-21,70	-27,67	-29,84	-30,71	-30,27	-29,07	-18,88	-30,59	-35,54	-39,28	-40,75	-41,40
120	-24,91	-30,65	-32,73	-33,58	-33,15	-32,00	-16,63	-28,66	-33,74	-37,59	-39,10	-39,76
180	-25,64	-31,33	-33,39	-34,22	-33,80	-32,67	-15,74	-27,90	-33,04	-36,92	-38,45	-39,12
360	-25,30	-31,01	-33,08	-33,92	-33,50	-32,35	-13,68	-26,13	-31,39	-35,37	-36,94	-37,62
720	-23,16	-29,04	-31,16	-32,03	-31,59	-30,41	-10,24	-23,19	-28,66	-32,80	-34,42	-35,14
1080	-21,15	-27,18	-29,36	-30,24	-29,79	-28,58	-7,45	-20,80	-26,44	-30,71	-32,38	-33,11
1440	-19,38	-25,55	-27,78	-28,68	-28,22	-26,99	-5,09	-18,78	-24,56	-28,94	-30,65	-31,41
ERPM	-19,89	-26,01	-28,22	-29,12	-28,66	-27,43	-14,03	-26,43	-31,67	-35,64	-37,19	-37,88
Ensemble período base vs. APB Santa Leopoldina 02040010							Ensemble período base vs. APB Laranja da Terra 01941008					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
10	15,01	-6,13	-14,98	-21,94	-25,01	-26,81	-26,80	-34,51	-38,14	-41,17	-42,52	-43,27
20	8,05	-11,77	-20,07	-26,60	-29,48	-31,17	-30,13	-37,17	-40,50	-43,25	-44,47	-45,12
30	3,61	-15,38	-23,33	-29,59	-32,35	-33,97	-29,65	-36,64	-39,94	-42,68	-43,88	-44,52
60	-2,76	-20,57	-28,03	-33,90	-36,49	-38,00	-27,43	-34,52	-37,88	-40,65	-41,86	-42,50
120	-6,10	-23,27	-30,46	-36,13	-38,62	-40,09	-29,22	-36,67	-40,18	-43,10	-44,41	-45,13
180	-6,60	-23,68	-30,83	-36,47	-38,95	-40,41	-29,00	-36,67	-40,29	-43,30	-44,65	-45,42
360	-5,41	-22,70	-29,94	-35,65	-38,16	-39,64	-27,03	-35,17	-39,00	-42,19	-43,63	-44,47
720	-1,85	-19,79	-27,31	-33,23	-35,84	-37,37	-23,32	-32,06	-36,16	-39,59	-41,15	-42,06
1080	1,26	-17,25	-25,01	-31,11	-33,81	-35,39	-20,38	-29,55	-33,85	-37,44	-39,08	-40,04
1440	3,92	-15,08	-23,04	-29,31	-32,07	-33,69	-17,96	-27,46	-31,92	-35,64	-37,34	-38,34
ERPM	0,91	-17,56	-25,30	-31,39	-34,08	-35,65	-26,09	-34,04	-37,78	-40,90	-42,30	-43,09

De modo geral, os MCGs apresentam simulações mais próximas ao regime observado para eventos com TR de 2 e 5 anos. Dentre os municípios que conformam a área de estudo, o de Santa Leopoldina se destaca por apresentar os melhores ajustes quando são comparados as I_{sim} aos valores de I_{At} ; em eventos com maior frequência de ocorrência dentre os analisados (TR de 2 anos), os valores de ERP variam entre -6,6% e 15 %, com ERPM de apenas 0,91%. Dentre os demais municípios analisados apenas Rio Novo do Sul apresentou ERPM acima de -15% (TR de 2 anos). Observa-se também que os menores valores calculados de ERP são referentes a eventos com TR de 2 anos, em especial para os municípios de Cariacica (10 minutos), Vitória (10 minutos) e Rio Novo do Sul (1080 e 1440 minutos). Os municípios de Venda Nova do Imigrante quanto o de Laranja da Terra apresentaram valores de ERP e ERPM altamente subestimados em todos em TRs e tempos de durações estudados.

Nota-se grande amplitude entre os valores de ERP e ERPM quando I_{sim} e I_{At} são comparados; contudo, quando analisados eventos com TR de 2 anos e, em alguns casos, 5 anos, percebe-se que os valores de erros calculados se aproximam mais do regime de precipitações intensas sugerido pelo APB. De todo modo, os valores de intensidade de precipitação estimados a partir do *ensemble* dos de modelos climáticos se mostram na maioria dos casos distantes dos valores de intensidade de chuvas extremas decorrentes do emprego das equações reunidas no Atlas Pluviométrico do Brasil, com valores simulados invariavelmente subestimados.

Na Tabela 8 e 9, por sua vez, são apresentados os valores de DP e DPM calculados para os seis municípios localizados na mesorregião central, estabelecidos a partir dos valores do *ensemble* (I_{proj}) em comparação aos valores de intensidade de precipitação sugeridos pelo APB (I_{At}).

Tabela 8: DP (%) e DPM (%) calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo *ensemble RCP 4.5* dos resultados das equações IDF ajustadas com dados provenientes de modelos climáticos projetados (I_{proj}) para o período futuro (2041-2071) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF sugeridas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (I_{At}) localizadas na mesorregião central do estado do Espírito Santo (continua). Fonte: Autoria própria.

Ensemble RCP 4.5 vs. APB Venda Nova do Imigrante 02041020							Ensemble RCP 4.5 vs. APB Cariacica 02040014					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
10	-24.24	-24.90	-25.37	-25.96	-26.38	-26.77	17.19	6.44	3.97	5.22	8.77	14.27
20	-26.44	-27.08	-27.54	-28.11	-28.52	-28.90	10.01	-0.08	-2.39	-1.21	2.12	7.29
30	-29.23	-29.85	-30.29	-30.84	-31.23	-31.60	5.72	-3.97	-6.20	-5.06	-1.85	3.11
60	-35.85	-36.41	-36.80	-37.29	-37.64	-37.98	-0.24	-9.38	-11.48	-10.41	-7.38	-2.69

Tabela 8: DP (%) e DPM (%) calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo *ensemble RCP 4.5* dos resultados das equações IDF ajustadas com dados provenientes de modelos climáticos projetados (I_{proj}) para o período futuro (2041-2071) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF sugeridas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (I_{At}) localizadas na mesorregião central do estado do Espírito Santo (continua). Fonte: Autoria própria.

Ensemble RCP 4.5 vs. APB Venda Nova do Imigrante 02041020							Ensemble RCP 4.5 vs. APB Cariacica 02040014					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
120	-33.61	-34.25	-34.70	-35.27	-35.68	-36.07	-3.72	-12.55	-14.57	-13.54	-10.62	-6.10
180	-31.85	-32.49	-32.96	-33.54	-33.95	-34.35	-4.18	-12.96	-14.98	-13.95	-11.04	-6.54
360	-28.23	-28.89	-29.37	-29.97	-30.40	-30.81	-2.75	-11.67	-13.71	-12.67	-9.72	-5.15
720	-24.00	-24.69	-25.19	-25.81	-26.25	-26.67	1.15	-8.12	-10.25	-9.16	-6.09	-1.34
1080	-21.29	-22.00	-22.50	-23.14	-23.59	-24.02	4.51	-5.08	-7.28	-6.15	-2.98	1.93
1440	-19.27	-19.99	-20.50	-21.15	-21.61	-22.04	7.36	-2.49	-4.75	-3.59	-0.33	4.71
DPM	-27.40	-28.05	-28.52	-29.11	-29.52	-29.92	3.51	-5.99	-8.16	-7.05	-3.91	0.95
Ensemble RCP 4.5 vs. APB Vitória 2040035							Ensemble RCP 4.5 vs. APB Rio Novo do Sul 02040013					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
10	12.60	9.40	10.48	15.38	21.40	29.35	-0.07	-9.80	-12.63	-12.84	-11.05	-7.87
20	5.77	2.74	3.74	8.33	13.97	21.44	-0.94	-10.59	-13.40	-13.61	-11.84	-8.69
30	1.67	-1.25	-0.29	4.11	9.53	16.70	-1.68	-11.26	-14.06	-14.27	-12.51	-9.39
60	-4.04	-6.80	-5.90	-1.75	3.37	10.13	-2.54	-12.03	-14.81	-15.02	-13.27	-10.18
120	-7.30	-9.99	-9.12	-5.12	-0.19	6.34	0.11	-9.64	-12.49	-12.70	-10.91	-7.72
180	-7.72	-10.40	-9.54	-5.55	-0.64	5.86	1.13	-8.72	-11.59	-11.80	-9.99	-6.77
360	-6.37	-9.09	-8.21	-4.17	0.81	7.41	3.51	-6.56	-9.50	-9.71	-7.85	-4.56
720	-2.66	-5.48	-4.57	-0.37	4.81	11.67	7.52	-2.93	-5.98	-6.20	-4.27	-0.84
1080	0.54	-2.38	-1.44	2.91	8.26	15.34	10.81	0.03	-3.11	-3.33	-1.34	2.20
1440	3.26	0.26	1.23	5.69	11.19	18.47	13.58	2.54	-0.68	-0.91	1.14	4.76
DPM	-0.43	-3.30	-2.36	1.95	7.25	14.27	3.14	-6.90	-9.82	-10.04	-8.19	-4.90
Ensemble RCP 4.5 vs. APB Santa Leopoldina 02040010							Ensemble RCP 4.5 vs. APB Laranja da Terra 1941008					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
10	33.43	16.31	11.02	9.64	11.60	15.68	-21.77	-27.09	-28.96	-29.55	-28.93	-27.57
20	25.40	9.37	4.41	3.13	4.99	8.84	-25.29	-30.02	-31.62	-32.01	-31.31	-29.90
30	20.24	4.88	0.14	-1.09	0.69	4.38	-24.84	-29.48	-31.03	-31.37	-30.62	-29.17
60	12.77	-1.64	-6.10	-7.26	-5.60	-2.15	-22.69	-27.33	-28.86	-29.13	-28.32	-26.78
120	8.75	-5.14	-9.44	-10.57	-8.98	-5.67	-24.97	-30.04	-31.81	-32.36	-31.75	-30.42

Tabela 8: DP (%) e DPM (%) calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo *ensemble RCP 4.5* dos resultados das equações IDF ajustadas com dados provenientes de modelos climáticos projetados (I_{proj}) para o período futuro (2041-2071) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF sugeridas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (I_{At}) localizadas na mesorregião central do estado do Espírito Santo (conclusão). Fonte: Autoria própria.

Ensemble RCP 4.5 vs. APB Santa Leopoldina 02040010							Ensemble RCP 4.5 vs. APB Laranja da Terra 1941008					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
180	8.06	-5.75	-10.04	-11.18	-9.61	-6.34	-25.00	-30.28	-32.15	-32.80	-32.25	-30.98
360	9.24	-4.75	-9.10	-10.29	-8.73	-5.46	-23.41	-29.07	-31.11	-31.88	-31.40	-30.17
720	13.12	-1.40	-5.93	-7.19	-5.61	-2.26	-20.07	-26.16	-28.37	-29.26	-28.80	-27.56
1080	16.56	1.58	-3.10	-4.43	-2.82	0.62	-17.35	-23.74	-26.06	-27.02	-26.56	-25.30
1440	19.51	4.14	-0.68	-2.05	-0.41	3.10	-15.09	-21.70	-24.11	-25.12	-24.66	-23.37
DPM	16.71	1.76	-2.88	-4.13	-2.45	1.07	-22.05	-27.49	-29.41	-30.05	-29.46	-28.12

Tabela 9: DP (%) e DPM (%) calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo *ensemble RCP 8.5* dos resultados das equações IDF ajustadas com dados provenientes de modelos climáticos projetados (I_{proj}) para o período futuro (2041-2071) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF sugeridas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (I_{At}) localizadas na mesorregião central do estado do Espírito Santo (continua). Fonte: Autoria própria.

Ensemble RCP 8.5 vs. APB Venda Nova do Imigrante 02041020							Ensemble RCP 8.5 vs. APB Cariacica 02040014					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
10	-23.23	-24.49	-25.42	-26.61	-27.49	-28.36	11.67	0.63	-2.44	-2.44	-0.22	3.56
20	-25.54	-26.76	-27.66	-28.82	-29.68	-30.51	4.85	-5.51	-8.39	-8.39	-6.31	-2.76
30	-28.32	-29.49	-30.36	-31.47	-32.30	-33.10	0.75	-9.20	-11.97	-11.96	-9.96	-6.55
60	-34.78	-35.85	-36.64	-37.65	-38.40	-39.13	-4.96	-14.35	-16.96	-16.96	-15.07	-11.85
120	-32.07	-33.26	-34.13	-35.26	-36.09	-36.90	-8.34	-17.40	-19.92	-19.92	-18.10	-15.00
180	-29.95	-31.17	-32.08	-33.24	-34.09	-34.93	-8.81	-17.83	-20.34	-20.34	-18.54	-15.46
360	-25.60	-26.90	-27.86	-29.10	-30.00	-30.89	-7.54	-16.68	-19.23	-19.24	-17.41	-14.29
720	-20.52	-21.91	-22.93	-24.25	-25.22	-26.17	-3.92	-13.43	-16.08	-16.09	-14.19	-10.95
1080	-17.26	-18.70	-19.77	-21.14	-22.15	-23.14	-0.79	-10.61	-13.35	-13.37	-11.41	-8.07
1440	-14.82	-16.31	-17.41	-18.82	-19.86	-20.88	1.87	-8.22	-11.03	-11.05	-9.04	-5.61
DPM	-25.21	-26.49	-27.43	-28.64	-29.53	-30.40	-1.52	-11.26	-13.97	-13.97	-12.02	-8.70

Fonte: Autoria própria.

Tabela 9: DP (%) e DPM (%) calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo *ensemble RCP 8.5* dos resultados das equações IDF ajustadas com dados provenientes de modelos climáticos projetados (I_{proj}) para o período futuro (2041-2071) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF sugeridas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (I_{At}) localizadas na mesorregião central do estado do Espírito Santo (conclusão). Fonte: Autoria própria.

Ensemble RCP 8.5 vs. APB Vitória 2040035							Ensemble RCP 8.5 vs. APB Rio Novo do Sul 02040013					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
10	7.45	3.54	3.76	7.03	11.39	17.23	-9.94	-18.67	-21.31	-21.77	-20.47	-18.06
20	0.94	-2.75	-2.56	0.51	4.59	10.07	-10.73	-19.38	-22.01	-22.46	-21.19	-18.79
30	-2.98	-6.54	-6.35	-3.41	0.51	5.77	-11.38	-19.98	-22.58	-23.04	-21.77	-19.39
60	-8.46	-11.83	-11.66	-8.89	-5.19	-0.23	-12.08	-20.61	-23.20	-23.65	-22.39	-20.04
120	-11.63	-14.90	-14.74	-12.08	-8.52	-3.74	-9.57	-18.34	-21.00	-21.47	-20.17	-17.75
180	-12.07	-15.32	-15.17	-12.53	-8.99	-4.23	-8.56	-17.43	-20.12	-20.59	-19.28	-16.83
360	-10.86	-14.16	-14.01	-11.34	-7.75	-2.93	-6.24	-15.33	-18.09	-18.57	-17.23	-14.72
720	-7.42	-10.85	-10.70	-7.92	-4.20	0.80	-2.42	-11.88	-14.75	-15.25	-13.85	-11.24
1080	-4.43	-7.98	-7.82	-4.96	-1.12	4.04	0.67	-9.09	-12.05	-12.56	-11.12	-8.43
1440	-1.88	-5.53	-5.37	-2.43	1.51	6.80	3.28	-6.74	-9.77	-10.30	-8.82	-6.06
DPM	-5.13	-8.63	-8.46	-5.60	-1.78	3.36	-6.70	-15.75	-18.49	-18.97	-17.63	-15.13

Ensemble RCP 8.5 vs. APB Santa Leopoldina 02040010							Ensemble RCP 8.5 vs. APB Laranja da Terra 1941008					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
10	32.26	13.44	6.65	2.83	2.48	3.73	-28.33	-33.67	-35.73	-36.75	-36.58	-35.77
20	24.28	6.65	0.29	-3.29	-3.61	-2.42	-31.51	-36.29	-38.09	-38.92	-38.66	-37.79
30	19.21	2.32	-3.78	-7.20	-7.50	-6.36	-31.08	-35.78	-37.55	-38.33	-38.04	-37.14
60	11.97	-3.88	-9.60	-12.81	-13.09	-12.01	-29.11	-33.84	-35.61	-36.36	-36.03	-35.07
120	8.24	-7.05	-12.56	-15.65	-15.92	-14.87	-31.24	-36.36	-38.34	-39.33	-39.17	-38.40
180	7.73	-7.48	-12.96	-16.04	-16.30	-15.26	-31.29	-36.62	-38.69	-39.78	-39.68	-38.97
360	9.26	-6.16	-11.72	-14.84	-15.10	-14.05	-29.91	-35.60	-37.84	-39.07	-39.06	-38.40
720	13.52	-2.49	-8.27	-11.51	-11.78	-10.68	-26.92	-33.05	-35.48	-36.86	-36.90	-36.27
1080	17.21	0.68	-5.28	-8.63	-8.91	-7.77	-24.48	-30.91	-33.47	-34.93	-35.00	-34.38
1440	20.36	3.38	-2.74	-6.17	-6.46	-5.29	-22.45	-29.11	-31.76	-33.30	-33.39	-32.76
DPM	16.40	-0.06	-6.00	-9.33	-9.62	-8.50	-28.63	-34.12	-36.25	-37.36	-37.25	-36.50

Ao analisar as projeções futuras, tanto o município de Venda Nova do Imigrante (Fortunato; Pickbrenner;; Pinto, 2017) quanto o de Laranja da Terra (Farias; Pinto, 2017) sugerem um período com precipitações intensas com valores muito próximos aos simulados

anteriormente pelos MCGs para o período base nos respectivos municípios, mantendo-se amplamente subestimados quando comparadas as I_{At} .

Para o município de Santa Leopoldina (Farias; Pinto, 2017a), já no cenário RCP 4.5 (Tabela 8) temos valores calculados de DPM que alcançam 16,71% (TR = 2 anos), e valores de DP que sugerem os maiores aumentos de 33,43% para eventos com duração de 10 minutos e TR de 2 anos, equivalente a aumentos de 25,22 mm/h⁻¹, a 8,06% (1,48 mm/h⁻¹) para eventos com duração de 180 minutos. As projeções também sugerem um aumento de intensidade para eventos com os demais TRs analisados com duração entre 10 e 30 minutos, assim como para eventos de maior duração (1080 e 1440 minutos) e TRs de 5 e 100 anos. Os maiores aumentos percentuais se concentram em eventos de duração de 10 minutos com DP de 16,31%, equivalentes a 16,96 mm/h⁻¹, para eventos TR 5 anos e duração de 10 minutos, assim como acréscimos projetados de 15,68% para eventos com TR de 100 anos de mesma duração, representativo de aumentos de 30,92 mm/h⁻¹. Além disso, os resultados das análises das projeções para o cenário RCP 4.5 sugerem aumentos percentuais para eventos com 1440 minutos, ou 24 horas, que vão de 4,14% (0,22 mm/h⁻¹) para eventos com TR de 5 anos a até 3,10% (0,31 mm/h⁻¹) para eventos com TR de 100 anos.

Para o cenário RCP 8.5 (Tabela 9) esses acréscimos podem variar entre 24,34 mm/h⁻¹ e 1,42 mm/h⁻¹ para eventos com TR de 2 anos e duração de 10 e 180 minutos, respectivamente, porém, para eventos com duração de 720, 1080 e 1440 minutos, estes acréscimos são ainda mais expressivos do que os propostos no cenário RCP 4.5, com DP de 13,52% (0,91 mm/h⁻¹), 17,21% (0,84 mm/h⁻¹) e 20,63% (0,79 mm/h⁻¹), respectivamente. Ainda no cenário RCP 8.5, os aumentos sugeridos se limitam a incrementos de 13,97 mm/h⁻¹ para eventos com TR de 5 anos e 7,36 mm/h⁻¹ para eventos com TR de 100 anos, ambos com 10 minutos de duração. Por sua vez, as chuvas com TR de 5 anos não apresentam aumentos percentuais tão expressivos quanto no cenário mais otimista dentre os dois, com valores de DP positivos apenas, variando entre 0,68% (0,05 mm/h⁻¹) e 3,38% (0,18 mm/h⁻¹) para eventos com duração de 1080 e 1440 minutos, respectivamente.

No que se referente ao município de Vitória (Farias; Pinto, 2017c), já no cenário RCP 4.5 os resultados apontam para aumentos percentual de 12,60%, ou 11,35 mm/h⁻¹, para os eventos com TR de 2 anos e duração de 10 minutos, assim como acréscimos, ainda que não tão expressivos, na precipitação projetada para eventos com o mesmo tempo de recorrência e durações de 20, 30, 1080 e 1440 minutos, que variam de aumentos de 0,54% (0,03 mm/h⁻¹) para durações de 1080 minutos a 5,77% (4,12 mm/h⁻¹) para durações de 20 minutos. Ainda no cenário mais otimista dentre os estudados na capital do estado as projeções sugerem um aumento considerável da intensidade dos eventos de precipitação quanto maior o TR analisado, como podemos perceber nas Tabela 8. Os maiores acréscimos percentuais

obtidos à partir dos valores de DP e DPM no cenário RCP 4.5 se concentram nos eventos com TR de 25, 50 e 100 anos, uma vez que o valor de DPM calculado para tais eventos alcança 1,95%, 7,25% e 14,27%, respectivamente. Os aumentos percentuais sugeridos são especialmente altos para as chuvas com TR de 100 anos, onde, por exemplo, são propostos valores de DP de 29,35% (55,28 mm/h⁻¹), 21,44% (32,15 mm/h⁻¹), 16,7% (21,17 mm/h⁻¹) e 18,47% (1,80 mm/h⁻¹) para chuvas intensas com duração de 10, 20, 30 e 1440 minutos, respectivamente.

Já no cenário RCP 8.5, os eventos com TR de 2 anos não apresentam aumentos tão significativos como anteriormente, contudo ainda são sugeridos aumentos percentuais de 7,45% (6,71 mm/h⁻¹) e 0,94% (0,67 mm/h⁻¹) para eventos com duração de 10 e 20 minutos, respectivamente. O mesmo ocorre com os demais TRs estudados, com aumentos percentuais de intensidade de precipitações projetadas, porém, não tão expressivos quanto o RCP 4.5. Os aumentos mais expressivos, caso este cenário climático torne-se verdadeiro, seriam os eventos com TR de 50 e 100 anos, quando é sugerido através dos valores calculados de DP que eventos climáticos extremos com TR de 50 anos podem aumentar sua intensidade entre 0,51% (0,59 mm/h⁻¹) e 11,39% (19,56 mm/h⁻¹) e eventos extremos de precipitação com TR de 100 anos podem aumentar sua intensidade de 0,80% (0,13 mm/h⁻¹) a 17,23% (32,62 mm/h⁻¹), a depender do tempo de duração de interesse, como apresentado na Tabela 9.

Nas análises representativas do município de Cariacica (Farias e Pinto, 2017b), as projeções para eventos extremos com TR de 2 anos e 10 minutos de duração sugerem um aumento de 17,19% já no cenário RCP 4.5, o que equivale a um acréscimo de 14,87 mm/h⁻¹. Assim como outros dos municípios analisados anteriormente, ainda que nas análises de ERP e ERPM dos demais TRs e durações estudados no município de Cariacica demonstrem que o *Ensemble* dos MCGs tende a subestimar os valores de intensidade de precipitação quando comparados aos dados obtidos no APB, as projeções já para o cenário mais otimista dentre os estudados propõe um aumento da intensidade de precipitação para eventos com 10 minutos de duração em todos os TRs estudados, variando entre aumentos sugeridos de 3,97% (5,52 mm/h⁻¹) para eventos com TR de 10 anos, a até 14,27% (30,6 mm/h⁻¹) para eventos com TR de 100 anos. Além disso, outros aumentos expressivos se concentram em eventos com TR de 2 e 100 anos e duração de 20, 30, 1080 e 1440 minutos, com DP projetados que variam de 1,15% (0,09 mm/h⁻¹) e 10,01% (6,86 mm/h⁻¹) para eventos com TR de 2 anos, e entre 1,93% (0,27 mm/h⁻¹) e 7,29% (12,38 mm/h⁻¹) para eventos com TR de 100 anos.

No cenário climático mais extremo os aumentos propostos para precipitações com TR de 2 anos e 10 minutos de duração são valores menos expressivos do que no cenário RCP 4.5, com DP de 11,67% (10,10 mm/h⁻¹), porém, ainda com grande capacidade desestabilizadora

na sociedade. Também no cenário RCP 8.5 são projetados aumentos mais modestos, com DP positivos para eventos com TR de 2 anos e duração “t” de 20 e 1440 minutos equivalentes a 4,85% (3,32 mm/h⁻¹) e 1,87% (0,08 mm/h⁻¹), respectivamente, além de eventos extremos com TR de 100 anos e duração de 10 minutos que, quando são sugeridos aumentos de 7,62 mm/h⁻¹, o que ainda podem resultar em eventos devastadores caso as projeções venham a se concretizar.

Comparando a equação gerada por Pinto (2017) para o município de Rio Novo do Sul e o *Ensemble* das intensidades projetadas para os cenários futuros, os dois cenários climáticos aqui estudados sugerem um futuro com precipitações mais intensas para os eventos com TR = 2 anos, sendo o cenário mais crítico o RCP 4.5, onde são projetados aumentos de 10,81% para eventos com “t” de 1080 minutos e aumentos de 13,58% para eventos com 1440 minutos, ou 24 horas, ambos equivalentes a aumentos de 0,53 mm/h⁻¹. Como observado anteriormente na análise dos demais municípios, as projeções para o cenário RCP 4.5 apontam para a possibilidade de ocorrência de eventos mais intensos quanto maior o seu tempo de duração. Nota-se na Tabela 8 que, para além dos eventos com TR de 2 anos, os eventos com TR de 5, 50 e 100 anos e duração de 24 horas (1440 minutos) podem vir a aumentar a sua intensidade de precipitação em 2,54% (0,13 mm/h⁻¹), 1,14% (0,10 mm/h⁻¹) e 4,76% (0,45 mm/h⁻¹), respectivamente, caso as projeções se mostrem verdadeiras.

Já no RCP 8.5 as demais projeções sugerem um futuro com precipitações menos intensas, sendo todos os valores de DP e DPM negativos, exceto os de TR de 2 anos. No cenário mais pessimista essas alterações para eventos extremos com TR de 2 anos são mais moderadas, sendo projetado um aumento percentual de 0,67% para eventos com “t” de 1080 minutos e aumentos de 3,28% para eventos com 1440 minutos, equivalentes a acréscimos na intensidades de precipitação de 0,03 mm/h⁻¹ e 0,13 mm/h⁻¹, respectivamente.

Tendo isso em vista, podemos concluir alguns pontos referentes às análises da mesorregião central do estado do ES quando comparamos os resultados das simulações e projeções climáticas gerados pelos MCGs e os dados propostos pelo APB para os municípios de interesse, como apresentados nas Tabelas 7, 8 e 9. Em todas as situações onde o valor de ERP na Tabela 7 foi considerado como baixo, entre aproximadamente -10% e 10%, indicando uma boa conformidade entre as I_{sim} do *Ensemble* dos modelos climáticos e as I_{At} , notamos que as projeções sugerem um futuro com eventos extremos de precipitação mais intensos. Ainda assim, em sua maioria os valores do *Ensemble* das intensidades de precipitação simulados pelos MCGs são altamente subestimados.

Os maiores aumentos percentuais de intensidade de precipitação projetados pelo *Ensemble* dos MCGs aqui estudados, dispostos nas Tabelas 8 e 9, são para os eventos com TR de 2 e 100 anos e duração “t” de 10, 20 30, 720, 1080 e 1440 minutos no municípios de Santa Leopoldina, Cariacica, Vitória e Rio Novo do Sul. Em algumas situações são sugerindo

aumentos também para os demais TR (5, 10, 25 e 50 anos), em especial para eventos com duração entre 10 e 30 minutos em Santa Leopoldina, Vitória e Cariacica. Ao contrário do que se espera com a piora do cenário climático, as projeções para o cenário mais otimista dentre os analisados (RCP 4.5) é o que sugere em sua maioria uma piora mais significativa do clima, com mais precipitações intensas, assim como aferido por Yesilkoy e Saylan (2020) e Oliveira *et al.* (2023). Tais acréscimos podem significar uma sobrecarga em sistemas de micro e macrodrenagem nas regiões, caso as projeções se concretizem.

5.2.2.Mesorregião Sul

Na Figura 16 a seguir é apresentado o mapa da mesorregião sul apontando os locais das EP de interesse e os respectivos municípios em que se localizam.

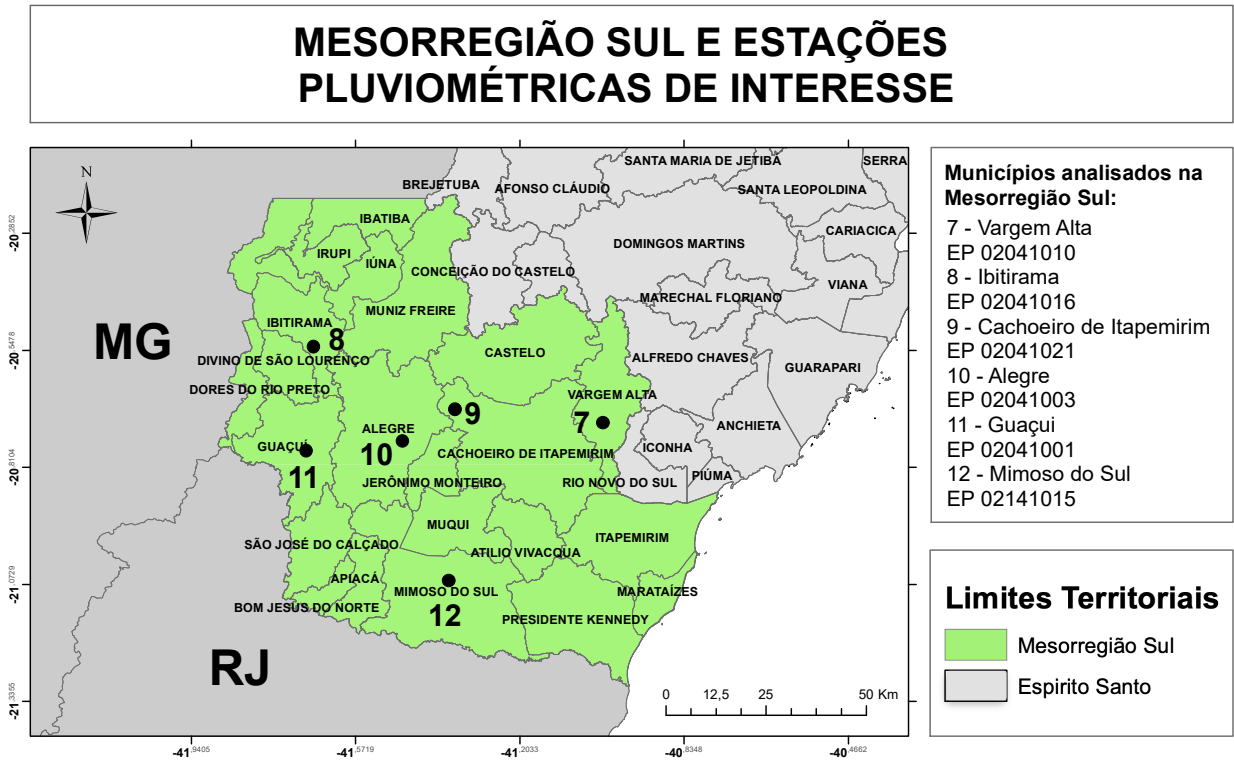


Figura 10: Mapa da Mesorregião Sul do estado do Espírito Santo. Fonte: Autoria própria.

Os coeficiente *a*, *b*, *c* e *d* ajustados para as equações IDF das EPs presentes na mesorregião sul podem ser visualizados na **Tabela 10**. Os dados em branco são referentes às séries que apresentaram tendência estatisticamente significativa segundo o teste de MK.

Tabela 10: Coeficientes *a*, *b*, *c* e *d* da equação IDF ajustados para cada conjunto de dados e período de análise (continua). Fonte: Autoria própria.

Alegre 2041003						Cachoeiro de Itapemirim 2041021				
Dados	Período	Coeficientes obtidos				Período	Coeficientes obtidos			
		a	b	c	d		a	b	c	d
Eta-CanES2M	1961-2005	541.79	0.137	9.229	0.707	1961-2005	534.421	0.128	9.226	0.707
Eta-HadGEM2-ES	1961-2005	533.841	0.165	9.555	0.717	1961-2005	535.612	0.146	9.228	0.707
Eta-MIROC5	1961-2005	540.411	0.128	9.232	0.707	1961-2005	523.065	0.14	9.226	0.707
Eta-BESM	1961-2005	556.801	0.136	9.233	0.707	1961-2005	485.853	0.182	9.208	0.706
RCP 4.5 Eta-CanES2M	2041-2071	580.996	0.138	9.23	0.707	2041-2071	514.16	0.188	9.228	0.707
RCP 4.5 Eta-HadGEM2-ES	2041-2072	-	-	-	-	2041-2072	-	-	-	-
RCP 4.5 Eta-MIROC5	2041-2073	614.23	0.128	9.214	0.707	2041-2073	598.178	0.139	9.287	0.709
RCP 4.5 Eta-BESM	2041-2074	622.054	0.131	9.222	0.707	2041-2074	552.202	0.2	9.219	0.707
RCP 8.5 Eta-CanES2M	2041-2075	-	-	-	-	2041-2075	586.584	0.116	9.237	0.707
RCP 8.5 Eta-HadGEM2-ES	2041-2071	548.933	0.17	9.299	0.71	2041-2071	514.621	0.156	9.231	0.707
RCP 8.5 Eta-MIROC5	2041-2071	588.97	0.141	9.246	0.708	2041-2071	514.776	0.189	9.216	0.707
RCP 8.5 Eta-BESM	2041-2071	563.556	0.135	9.22	0.708	2041-2071	566.754	0.111	9.31	0.709
Guaçuí 2041001						Ibitirama 2041016				
Dados	Período	Coeficientes obtidos				Período	Coeficientes obtidos			
		a	b	c	d		a	b	c	d
Eta-CanES2M	1961-2005	541.79	0.137	9.229	0.707	1961-2005	474.27	0.138	9.299	0.708
Eta-HadGEM2-ES	1961-2005	533.841	0.165	9.555	0.717	1961-2005	566.929	0.168	11.391	0.765
Eta-MIROC5	1961-2005	540.411	0.128	9.232	0.707	1961-2005	577.497	0.159	11.707	0.771
Eta-BESM	1961-2005	556.801	0.136	9.233	0.707	1961-2005	445.453	0.165	9.244	0.708
RCP 4.5 Eta-CanES2M	2041-2071	580.996	0.138	9.23	0.707	2041-2071	444.255	0.169	9.264	0.708
RCP 4.5 Eta-HadGEM2-ES	2041-2072	-	-	-	-	2041-2072	-	-	-	-
RCP 4.5 Eta-MIROC5	2041-2073	624.542	0.124	9.205	0.706	2041-2073	509.344	0.133	9.256	0.707
RCP 4.5 Eta-BESM	2041-2074	622.054	0.131	9.222	0.707	2041-2074	713.809	0.176	13.406	0.824
RCP 8.5 Eta-CanES2M	2041-2075	-	-	-	-	2041-2075	457.052	0.157	9.402	0.711
RCP 8.5 Eta-HadGEM2-ES	2041-2071	539.555	0.17	9.252	0.707	2041-2071	-	-	-	-
RCP 8.5 Eta-MIROC5	2041-2071	588.97	0.141	9.246	0.708	2041-2071	490.47	0.183	9.225	0.707
RCP 8.5 Eta-BESM	2041-2071	563.556	0.135	9.22	0.708	2041-2071	428.568	0.218	9.253	0.708

Tabela 10: Coeficientes *a*, *b*, *c* e *d* da equação IDF ajustados para cada conjunto de dados e período de análise (conclusão). Fonte: Autoria própria.

Dados	Mimoso do Sul 2141015					Vargem Alta 2041010				
	Período	Coeficientes obtidos				Período	Coeficientes obtidos			
		a	b	c	d		a	b	c	d
Eta-CanES2M	1961-2005	614.182	0.156	12.413	0.803	1961-2005	563.783	0.122	9.221	0.707
Eta-HadGEM2-ES	1961-2005	435.255	0.14	9.337	0.711	1961-2005	592.554	0.111	9.28	0.708
Eta-MIROC5	1961-2005	424.056	0.138	9.224	0.707	1961-2005	578.916	0.112	9.212	0.706
Eta-BESM	1961-2005	592.716	0.141	11.629	0.779	1961-2005	640.047	0.106	9.766	0.725
RCP 4.5 Eta-CanES2M	2041-2071	446.626	0.15	9.23	0.707	2041-2071	543.401	0.133	9.206	0.706
RCP 4.5 Eta-HadGEM2-ES	2041-2072	-	-	-	-	2041-2072	667.235	0.075	9.223	0.707
RCP 4.5 Eta-MIROC5	2041-2071	510.685	0.135	9.232	0.707	2041-2071	651.683	0.129	9.207	0.706
RCP 4.5 Eta-BESM	2041-2071	446.372	0.227	9.192	0.706	2041-2071	543.702	0.298	9.211	0.707
RCP 8.5 Eta-CanES2M	2041-2075	-	-	-	-	2041-2072	513.606	0.166	9.215	0.706
RCP 8.5 Eta-HadGEM2-ES	2041-2071	432.435	0.157	9.24	0.707	2041-2071	605.321	0.111	9.223	0.707
RCP 8.5 Eta-MIROC5	2041-2071	494.362	0.166	9.233	0.707	2041-2071	627.841	0.171	9.216	0.706
RCP 8.5 Eta-BESM	2041-2071	511.424	0.183	10.947	0.756	2041-2071	552.972	0.16	9.219	0.707

Os coeficientes ajustados para as equações IDF disponibilizadas no APB são apresentados na **Tabela 11**, sendo a equação IDF referente ao município de Cachoeiro de Itapemirim ajustada de acordo com a Equação 2 e os demais municípios segundo a Equação 1 supracitada.

Tabela 11: Coeficientes *a*, *b*, *c*, *d* e δ da equação IDF disponibilizadas no Atlas Pluviométrico do Brasil para o conjunto de dados das EPs localizadas na mesorregião sul do estado do Espírito Santo. Fonte: Autoria própria.

Nome da Estação	Duração de 5 min a 1 hora					Duração de 1 hora a 24 horas				
	a	b	c	d	δ	a	b	c	d	δ
Alegre	2.529	10.930	8.224	33.919	0	4.161	13.935	8.229	33.919	0
Cachoeiro de Itapemirim	2263.8	0.143	19.300	0.854	-	2263.8	0.143	19.300	0.854	-
Guaçuí	3.195	9.669	10.341	29.913	0	5.136	12.091	10.339	29.918	0
Ibitirama	7.980	20.500	17.386	44.600	4.8	2.232	5.550	22.402	57.500	-52
Mimoso do Sul	3.890	10.957	12.591	33.847	0	6.219	13.659	12.600	33.821	0
Vargem Alta	7.382	13.343	17.663	31.947	5	6.473	11.681	17.206	31.126	11

Na **Tabela 12** a seguir, comparando as I_{sim} a I_{At} disponibilizadas no APB, podemos notar um comportamento semelhante à mesorregião sul no que tange os eventos extremos com menor TR, onde concentram-se os menos valores de ERP e ERPM calculados.

Tabela 12: ERP e ERPM calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo ensemble dos resultados das equações IDF ajustadas com dados simulados provenientes de modelos climáticos (I_{sim}) para o período base (1965-2005) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF disponibilizadas no Atlas Pluviométrico do Brasil (I_{At}) para os municípios localizados na mesorregião sul do estado do Espírito Santo (continua). Fonte: Autoria própria.

Ensemble período base vs. APB Alegre 2041003							Ensemble período base vs. APB Cachoeiro de Itapemirim 2041021					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
10	-27.66	-31.39	-32.80	-33.36	-33.02	-32.12	-49.01	-48.72	-48.49	-48.17	-47.91	-47.64
20	-29.22	-32.53	-33.74	-34.10	-33.64	-32.66	-51.27	-51.00	-50.78	-50.47	-50.22	-49.97
30	-28.17	-31.42	-32.58	-32.89	-32.38	-31.35	-51.98	-51.70	-51.49	-51.18	-50.94	-50.69
60	-25.24	-28.50	-29.64	-29.88	-29.31	-28.20	-51.77	-51.50	-51.28	-50.97	-50.73	-50.48
120	-25.78	-29.51	-30.91	-31.43	-31.04	-30.10	-49.82	-49.53	-49.30	-48.99	-48.73	-48.47
180	-25.02	-28.99	-30.50	-31.14	-30.81	-29.92	-47.97	-47.67	-47.44	-47.11	-46.84	-46.57
360	-22.25	-26.62	-28.33	-29.12	-28.88	-28.03	-43.81	-43.49	-43.24	-42.88	-42.60	-42.30
720	-17.78	-22.60	-24.50	-25.44	-25.25	-24.41	-38.60	-38.25	-37.97	-37.58	-37.27	-36.95
1080	-14.39	-19.50	-21.53	-22.56	-22.38	-21.54	-35.12	-34.76	-34.46	-34.05	-33.72	-33.38
1440	-11.63	-16.96	-19.09	-20.18	-20.02	-19.17	-32.48	-32.09	-31.79	-31.36	-31.02	-30.66
ERPM	-22.71	-26.80	-28.36	-29.01	-28.67	-27.75	-45.18	-44.87	-44.62	-44.28	-44.00	-43.71

Ensemble período base vs. APB Guaçuí 2041001							Ensemble período base vs. APB Ibitirama 2041016					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
10	-22.58	-30.50	-33.90	-36.34	-37.09	-37.15	-49.09	-54.12	-56.13	-57.35	-57.52	-57.20
20	-24.32	-31.66	-34.81	-37.03	-37.67	-37.65	-54.43	-58.93	-60.72	-61.81	-61.96	-61.67
30	-23.22	-30.54	-33.68	-35.87	-36.49	-36.44	-56.09	-60.42	-62.14	-63.19	-63.34	-63.05
60	-20.12	-27.58	-30.78	-33.00	-33.61	-33.52	-57.78	-61.93	-63.59	-64.60	-64.74	-64.47
120	-20.60	-28.59	-32.03	-34.48	-35.23	-35.26	-57.45	-61.64	-63.32	-64.34	-64.48	-64.21
180	-19.74	-28.06	-31.63	-34.21	-35.02	-35.10	-54.47	-58.98	-60.77	-61.87	-62.02	-61.74
360	-16.72	-25.66	-29.50	-32.29	-33.20	-33.35	-48.33	-53.46	-55.50	-56.76	-56.95	-56.63
720	-11.90	-21.57	-25.74	-28.78	-29.80	-30.00	-41.11	-46.98	-49.33	-50.77	-50.99	-50.63
1080	-8.24	-18.43	-22.82	-26.03	-27.11	-27.35	-36.37	-42.72	-45.26	-46.83	-47.07	-46.69
1440	-5.27	-15.86	-20.42	-23.76	-24.90	-25.15	-32.75	-39.47	-42.16	-43.82	-44.08	-43.68
ERPM	-17.27	-25.85	-29.53	-32.18	-33.01	-33.10	-48.79	-53.86	-55.89	-57.13	-57.31	-57.00

Tabela 12: ERP e ERPM calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo ensemble dos resultados das equações IDF ajustadas com dados simulados provenientes de modelos climáticos (I_{sim}) para o período base (1965-2005) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF disponibilizadas no Atlas Pluviométrico do Brasil (I_{At}) para os municípios localizados na mesorregião sul do estado do Espírito Santo (conclusão). Fonte: Autoria própria.

Ensemble período base vs. APB Mimoso do Sul 2141015							Ensemble período base vs. APB Vargem Alta 2041010					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
10	-46.61	-52.59	-55.14	-56.98	-57.59	-57.69	-30.22	-43.36	-49.08	-53.83	-56.12	-57.54
20	-47.85	-53.39	-55.76	-57.45	-57.98	-58.02	-31.13	-44.11	-49.75	-54.44	-56.70	-58.10
30	-47.28	-52.79	-55.14	-56.81	-57.32	-57.35	-31.35	-44.29	-49.92	-54.59	-56.84	-58.21
60	-45.80	-51.36	-53.73	-55.41	-55.91	-55.92	-31.21	-44.17	-49.81	-54.49	-56.76	-58.07
120	-47.05	-52.88	-55.38	-57.17	-57.76	-57.85	-27.57	-41.22	-47.16	-52.09	-54.47	-55.76
180	-47.14	-53.12	-55.67	-57.52	-58.14	-58.27	-25.33	-39.41	-45.53	-50.61	-53.07	-54.33
360	-46.39	-52.65	-55.33	-57.28	-57.96	-58.12	-20.90	-35.82	-42.30	-47.69	-50.29	-51.49
720	-44.62	-51.24	-54.06	-56.14	-56.87	-57.07	-15.31	-31.28	-38.23	-43.99	-46.78	-47.92
1080	-43.13	-49.99	-52.92	-55.08	-55.85	-56.07	-11.38	-28.09	-35.36	-41.39	-44.30	-45.41
1440	-41.87	-48.93	-51.94	-54.17	-54.96	-55.19	-8.27	-25.56	-33.09	-39.33	-42.35	-43.42
ERPM	-45.77	-51.89	-54.51	-56.40	-57.03	-57.15	-23.27	-37.73	-44.02	-49.24	-51.77	-53.02

Como podemos perceber rapidamente através dos valores calculados de ERP e ERPM, as intensidades de precipitação obtidas através do *ensemble* dos resultados das equações IDF ajustadas com dados gerados pelos MCGs são majoritariamente subestimados, com ERPM calculados que alcançam aproximadamente -17% no caso menos extremo dentre os aqui analisados, como em Guaçuí (TR = 2 anos), podendo chegar a valores como -57,15% no município de Mimoso do Sul (TR = 100 anos). Apenas Guaçuí e Vargem Alta apresentaram valores de ERP entre -10% e 10%, ambos para eventos com TR de 2 anos e maiores durações.

Em Guaçuí fica clara a tendência de diminuição do ERP quanto maior a duração dos eventos em todos os TR estudados, contudo, os resultados demonstram que os valores de intensidade de precipitação simulados são amplamente subestimados. Os dois únicos eventos no município onde as simulações das intensidades de precipitação geradas pelo *ensemble* dos MCGs alcançam valores similares aos observados são os eventos com TR de 2 anos e duração “t” de 1080 e 1440 minutos, com ERP calculado de -8,24% e -5,27%, respectivamente. Estes dois valores de ERP calculados são representativos de uma boa adequação entre os eventos simulados os sugeridos pelo APB no município, mostrando que

até certa extensão o *Ensemble* dos MCGs se aproxima do regime de precipitações intensas proposto por (Farias e Pinto, 2017d) no município.

Já em Vargem Alta essa maior proximidade dentre os valores simulados pelo *ensemble* dos MCGs e os valores obtidos a partir da equação IDF indicada pelo APB se concentra apenas em eventos com TR de 2 anos e duração de 1440 minutos, ou 24 horas, alcançando ERP de -8,27%. Quanto ao comportamento do *ensemble* das simulações em geral, os valores de ERP mais uma vez tendem a diminuir quanto maior a duração “t” do evento em todos os TR estudados. De todo modo, as Intensidades de precipitação simuladas pelo *ensemble* dos MCGs foram amplamente subestimadas quando comparadas aos valores obtidos a partir da equação IDF ajustada com dados sugeridos pelo APB (Nascimento; Farias; Pinto, 2017a), sendo os menores erros analisamos em eventos com menor TR e maiores durações, ainda que não seja indicativo de uma boa adequação entre os dados.

Na Tabela 13 e 14, por sua vez, são apresentados os valores de DP e DPM calculados para os seis municípios localizados na mesorregião central enquanto analisando os valores do *Ensemble* das I_{proj} em comparação aos valores de intensidade de precipitação sugeridos pelo APB (I_{At}) a fim de compreender como se alterará o regime de precipitações intensas na mesorregião de acordo com o *Ensemble* dos modelos climáticos aqui estudados.

Tabela 13: DP (%) e DPM (%) calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo *ensemble RCP 4.5* dos resultados das equações IDF ajustadas com dados provenientes de modelos climáticos projetados (I_{proj}) para o período futuro (2041-2071) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF sugeridas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (I_{At}) localizadas na mesorregião sul do estado do Espírito Santo (continua). Fonte: Autoria própria.

Ensemble RCP 4.5 vs. APB Alegre 2041003							Ensemble RCP 4.5 vs. APB Cachoeiro de Itapemirim 2041021					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
10	-18.99	-23.81	-25.86	-27.10	-27.21	-26.74	-44.77	-43.09	-41.76	-39.93	-38.48	-36.98
20	-20.74	-25.09	-26.89	-27.91	-27.89	-27.32	-47.23	-45.62	-44.35	-42.60	-41.22	-39.78
30	-19.56	-23.84	-25.61	-26.58	-26.51	-25.89	-47.99	-46.41	-45.16	-43.43	-42.07	-40.65
60	-16.22	-20.54	-22.30	-23.24	-23.12	-22.43	-47.79	-46.20	-44.95	-43.21	-41.84	-40.42
120	-16.73	-21.58	-23.62	-24.84	-24.92	-24.40	-45.70	-44.05	-42.74	-40.94	-39.51	-38.03
180	-15.82	-20.93	-23.11	-24.46	-24.60	-24.14	-43.72	-42.00	-40.65	-38.78	-37.30	-35.76
360	-12.58	-18.18	-20.58	-22.13	-22.37	-21.97	-39.26	-37.40	-35.94	-33.92	-32.33	-30.67
720	-7.41	-13.55	-16.21	-17.95	-18.27	-17.91	-33.66	-31.64	-30.04	-27.84	-26.09	-24.28
1080	-3.51	-10.00	-12.83	-14.69	-15.06	-14.71	-29.93	-27.80	-26.11	-23.78	-21.94	-20.02
1440	-0.33	-7.11	-10.05	-12.02	-12.41	-12.06	-27.10	-24.87	-23.12	-20.69	-18.77	-16.78
DPM	-13.19	-18.46	-20.71	-22.09	-22.24	-21.76	-40.71	-38.91	-37.48	-35.51	-33.95	-32.34

Tabela 13: DP (%) e DPM (%) calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo *ensemble RCP 4.5* dos resultados das equações IDF ajustadas com dados provenientes de modelos climáticos projetados (I_{proj}) para o período futuro (2041-2071) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF sugeridas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (I_{At}) localizadas na mesorregião sul do estado do Espírito Santo (conclusão). Fonte: Autoria própria.

Ensemble RCP 4.5 vs. APB Guaçuí 2041001							EnsembleRCP 4.5 vs. APB Ibitirama 2041016					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
10	-12.80	-22.47	-26.80	-30.19	-31.54	-32.13	-47.64	-52.77	-54.80	-56.01	-56.14	-55.75
20	-14.76	-23.77	-27.81	-30.95	-32.17	-32.66	-53.17	-57.74	-59.55	-60.63	-60.74	-60.39
30	-13.50	-22.49	-26.53	-29.67	-30.87	-31.33	-54.90	-59.31	-61.05	-62.08	-62.19	-61.86
60	-9.93	-19.12	-23.26	-26.45	-27.67	-28.11	-56.71	-60.95	-62.62	-63.62	-63.72	-63.41
120	-10.35	-20.15	-24.55	-27.98	-29.33	-29.91	-56.49	-60.75	-62.44	-63.45	-63.57	-63.26
180	-9.30	-19.47	-24.04	-27.61	-29.04	-29.66	-53.52	-58.09	-59.91	-61.00	-61.13	-60.81
360	-5.74	-16.65	-21.53	-25.37	-26.93	-27.64	-47.36	-52.58	-54.65	-55.91	-56.08	-55.72
720	-0.10	-11.91	-17.20	-21.36	-23.06	-23.86	-40.13	-46.10	-48.47	-49.93	-50.13	-49.75
1080	4.16	-8.28	-13.84	-18.23	-20.02	-20.88	-35.36	-41.82	-44.40	-45.99	-46.22	-45.81
1440	7.61	-5.32	-11.10	-15.65	-17.52	-18.42	-31.71	-38.55	-41.28	-42.97	-43.22	-42.80
DPM	-6.47	-16.96	-21.67	-25.35	-26.82	-27.46	-47.70	-52.87	-54.92	-56.16	-56.31	-55.96

Ensemble RCP 4.5 vs. APB Mimoso do Sul 2141015							Ensemble RCP 4.5 vs. APB Vargem Alta 2041010					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
10	-40.03	-45.39	-47.29	-48.04	-47.65	-46.60	-25.61	-36.87	-41.06	-43.50	-43.74	-37.48
20	-41.41	-46.31	-48.01	-48.60	-48.13	-47.01	-26.57	-37.70	-41.84	-44.24	-44.48	-38.31
30	-40.55	-45.41	-47.09	-47.64	-47.13	-45.96	-26.77	-37.87	-42.00	-44.40	-44.64	-38.48
60	-38.11	-43.04	-44.73	-45.25	-44.67	-43.42	-26.49	-37.64	-41.78	-44.19	-44.44	-38.26
120	-38.37	-43.76	-45.66	-46.38	-45.95	-44.83	-22.42	-34.19	-38.57	-41.11	-41.37	-34.85
180	-37.65	-43.29	-45.29	-46.11	-45.71	-44.63	-19.89	-32.05	-36.57	-39.20	-39.47	-32.73
360	-35.21	-41.30	-43.49	-44.44	-44.09	-43.03	-14.89	-27.80	-32.61	-35.41	-35.69	-28.53
720	-31.33	-37.97	-40.36	-41.44	-41.13	-40.04	-8.58	-22.46	-27.62	-30.63	-30.94	-23.24
1080	-28.41	-35.41	-37.95	-39.11	-38.80	-37.69	-4.15	-18.71	-24.12	-27.27	-27.60	-19.53
1440	-26.04	-33.33	-35.97	-37.19	-36.89	-35.75	-0.65	-15.73	-21.35	-24.61	-24.95	-16.59
DPM	-35.71	-41.52	-43.58	-44.42	-44.02	-42.90	-17.60	-30.10	-34.75	-37.45	-37.73	-30.80

Tabela 14: DP (%) e DPM (%) calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo *ensemble RCP 8.5* dos resultados das equações IDF ajustadas com dados provenientes de modelos climáticos projetados (I_{proj}) para o período futuro (2041-2071) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF sugeridas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (I_{At}) localizadas na mesorregião sul do estado do Espírito Santo (continua). Fonte: Autoria própria.

Ensemble RCP 8.5 vs. APB Alegre 2041003							Ensemble RCP 8.5 vs. APB Cachoeiro de Itapemirim 2041021					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
10	-23.76	-27.22	-28.36	-28.48	-27.74	-26.41	-46.88	-46.89	-46.86	-46.78	-46.11	-46.57
20	-25.43	-28.46	-29.38	-29.29	-28.44	-27.01	-49.24	-49.24	-49.21	-49.14	-48.50	-48.94
30	-24.34	-27.29	-28.16	-28.00	-27.09	-25.60	-49.97	-49.97	-49.95	-49.87	-49.25	-49.68
60	-21.25	-24.19	-25.02	-24.78	-23.78	-22.18	-49.77	-49.77	-49.74	-49.67	-49.04	-49.47
120	-21.80	-25.24	-26.36	-26.42	-25.63	-24.22	-47.75	-47.75	-47.72	-47.65	-47.00	-47.44
180	-20.99	-24.67	-25.90	-26.09	-25.36	-24.01	-45.84	-45.84	-45.81	-45.73	-45.06	-45.52
360	-18.04	-22.13	-23.55	-23.89	-23.23	-21.92	-41.54	-41.54	-41.51	-41.42	-40.70	-41.19
720	-13.29	-17.82	-19.43	-19.90	-19.27	-17.95	-36.15	-36.15	-36.11	-36.02	-35.24	-35.76
1080	-9.69	-14.50	-16.23	-16.77	-16.15	-14.81	-32.56	-32.55	-32.52	-32.41	-31.60	-32.14
1440	-6.75	-11.79	-13.61	-14.19	-13.58	-12.21	-29.82	-29.82	-29.78	-29.67	-28.82	-29.39
DPM	-18.53	-22.33	-23.60	-23.78	-23.03	-21.63	-42.95	-42.95	-42.92	-42.83	-42.13	-42.61

Ensemble RCP 8.5 vs. APB Guaçuí 2041001							EnsembleRCP 8.5 vs. APB Ibitirama 2041016					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
10	-18.59	-26.43	-29.68	-31.83	-32.30	-32.02	-47.19	-51.14	-52.32	-52.38	-51.58	-50.18
20	-20.43	-27.68	-30.66	-32.58	-32.93	-32.56	-52.81	-56.33	-57.38	-57.43	-56.71	-55.45
30	-19.27	-26.48	-29.45	-31.33	-31.65	-31.24	-54.45	-57.84	-58.85	-58.90	-58.20	-56.99
60	-15.97	-23.32	-26.33	-28.22	-28.51	-28.05	-55.87	-59.15	-60.13	-60.18	-59.50	-58.32
120	-16.41	-24.33	-27.61	-29.75	-30.20	-29.88	-54.98	-58.33	-59.33	-59.37	-58.68	-57.48
180	-15.46	-23.72	-27.14	-29.41	-29.93	-29.66	-51.41	-55.04	-56.12	-56.17	-55.43	-54.14
360	-12.20	-21.09	-24.79	-27.28	-27.89	-27.68	-43.94	-48.14	-49.40	-49.47	-48.62	-47.13
720	-7.00	-16.66	-20.69	-23.42	-24.12	-23.95	-34.99	-39.88	-41.35	-41.43	-40.45	-38.74
1080	-3.08	-13.26	-17.51	-20.40	-21.16	-21.00	-29.02	-34.37	-35.98	-36.08	-35.01	-33.14
1440	0.11	-10.48	-14.90	-17.91	-18.72	-18.57	-24.43	-30.13	-31.84	-31.95	-30.82	-28.82
DPM	-12.83	-21.34	-24.88	-27.21	-27.74	-27.46	-44.91	-49.03	-50.27	-50.34	-49.50	-48.04

Ensemble RCP 8.5 vs. APB Mimoso do Sul 2141015							Ensemble RCP 8.5 vs. APB Vargem Alta 2041010					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
10	-42.82	-48.05	-49.99	-50.93	-50.78	-50.05	-29.10	-40.33	-44.85	-48.10	-49.27	-48.83
20	-44.11	-48.91	-50.66	-51.44	-51.21	-50.41	-30.01	-41.10	-45.56	-48.78	-49.93	-49.50

Tabela 14: DP (%) e DPM (%) calculados entre valores de intensidade de precipitação obtidos pelo *ensemble RCP 8.5* dos resultados das equações IDF ajustadas com dados provenientes de modelos climáticos projetados (I_{proj}) para o período futuro (2041-2071) e os valores de intensidade obtidos através de equações IDF sugeridas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (I_{At}) localizadas na mesorregião sul do estado do Espírito Santo (conclusão). Fonte: Autoria própria.

Ensemble RCP 8.5 vs. APB Mimoso do Sul 2141015							Ensemble RCP 8.5 vs. APB Vargem Alta 2041010					
t (min)	TR (anos)						TR (anos)					
	2	5	10	25	50	100	2	5	10	25	50	100
30	-43.36	-48.12	-49.84	-50.59	-50.33	-49.49	-30.19	-41.26	-45.71	-48.92	-50.07	-49.64
60	-41.29	-46.10	-47.84	-48.57	-48.26	-47.37	-29.93	-41.04	-45.51	-48.73	-49.88	-49.46
120	-41.94	-47.15	-49.07	-49.99	-49.82	-49.05	-26.04	-37.77	-42.49	-45.89	-47.11	-46.67
180	-41.55	-46.97	-48.98	-49.99	-49.85	-49.13	-23.63	-35.75	-40.62	-44.13	-45.39	-44.94
360	-39.80	-45.60	-47.78	-48.91	-48.84	-48.15	-18.86	-31.73	-36.91	-40.64	-41.98	-41.51
720	-36.80	-43.06	-45.43	-46.69	-46.66	-45.98	-12.84	-26.68	-32.24	-36.25	-37.69	-37.18
1080	-34.47	-41.05	-43.54	-44.89	-44.88	-44.19	-8.62	-23.13	-28.96	-33.16	-34.67	-34.15
1440	-32.57	-39.39	-41.98	-43.39	-43.39	-42.70	-5.28	-20.31	-26.36	-30.72	-32.28	-31.74
DPM	-39.87	-45.44	-47.51	-48.54	-48.40	-47.65	-21.45	-33.91	-38.92	-42.53	-43.83	-43.36

Nas análises das projeções em ambos os cenários climáticos para o período futuro entre 2041-2071 nos municípios de Alegre (Nascimento; Farias; Pinto, 2017), Cachoeiro de Itapemirim (Weschenfelder; Pickbrenner; Pinto, 2017a), Ibitirama (Martins e Pinto, 2017), Mimoso do Sul (Farias; Pinto, 2017e) e Vargem Alta (Nascimento; Farias; Pinto, 2017a) os valores de DP e DPM sugerem um período com precipitações extremas com intensidades muito próximas às simuladas anteriormente pelos MCGs para o período base nos respectivos municípios, mantendo-se subestimados quando comparadas as I_{At} .

No município de Guaçuí (Farias; Pinto, 2017d) há uma indicação para a piora do cenário climático para os eventos com maior duração e TR de 2 anos já no cenário RCP 4.5. As projeções sugerem que as precipitações intensas com TR = 2 anos e duração “t” de 1080 e 1440 minutos podem aumentar 4,16% (0,19 mm.h⁻¹) e 7,61% (0,28 mm.h⁻¹), respectivamente. Já no cenário RCP 8.5 o comportamento do *ensemble* projetar um cenário com precipitações menos intensas do que no cenário RCP 4.5 se repete, com aumentos percentuais apenas para o município de Guaçuí, onde é sugerido que eventos com TR de 2 anos e duração de 1440 minutos (24 horas) podem aumentar até 0,11%, equivalente a um aumento de intensidade em torno de apenas 0,004 mm.h⁻¹. Ainda que os incrementos nos valores de intensidade de precipitação sejam moderados nos dois cenários estudados, estes aumentos podem significar que estruturas hidráulicas dimensionadas para suportar eventos

com os parâmetros de TR e duração descritos acima sem levar em consideração as alterações propostas pelas MC estarão subdimensionadas caso as projeções mostrem-se verdadeiras.

De todo modo, o *ensemble* dos MCGs sugere um futuro com precipitações menos intensas em toda mesorregião quando comparados aos valores obtidos através das equações sugeridas pelo APB para a utilização de dimensionamento de obras hidráulicas na região, exceto no município de Guaçuí onde é sugerido um aumento localizado. Nota-se também que o cenário RCP 4.5 projeta cenários mais intensos do que o cenário mais pessimista dentre os dois (RCP 8.5), um comportamento que se repete amplamente neste estudo e de autores como Oliveira *et al.* (2023).

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo demonstrou que, ao contrário do que a literatura técnica recomenda para a modelagem probabilística de séries de eventos extremos, as FDP multiparamétricas apresentam maior aderência ao analisar as séries nas mesorregiões central e sul do Espírito Santo. A FDP Kappa é a que apresenta maior aderência às séries de RX1dayc, com 61 de 121 séries. Na sequência notou-se o melhor ajuste da função GEV em 44% das séries, seguido por último da FDP Gumbel, amplamente sugerida pela literatura.

O *ensemble* das simulações de intensidades de precipitação (I_{sim}) obtidos a partir de equações IDF ajustadas com dados de modelos climáticos representativos do período base (1965-2005), quando comparadas às intensidades de precipitação sugeridas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (I_{At}), se assemelham especialmente aos eventos com TR de 2 anos e todos os tempos de duração em Santa Leopoldina. Em Vitória, Cariacica os valores de I_{sim} se aproximam a I_{At} quando analisamos eventos com TR de 2 anos e durações entre 10 minutos. Já em Rio Novo do Sul, Guaçuí e Vargem Alta os valores de I_{sim} se aproximam a I_{At} quando analisamos eventos com TR de 2 anos e durações entre 1080 e 1440 minutos. Contudo, os valores de ERP e ERPM demonstram, em sua maioria, resultados subestimados quando comparamos I_{sim} a I_{At} tanto na mesorregião Central quanto na mesorregião Sul do estado do Espírito Santo.

No que diz respeito as projeções climáticas, o *ensemble* das intensidades de precipitação (I_{proj}) obtidos a partir de equações IDF ajustadas com dados de modelos climáticos representativos do *timeslice* futuro (2041-2071), quando comparadas às intensidades de precipitação sugeridas pelo Atlas Pluviométrico do Brasil (I_{At}), sugerem aumentos na intensidade de precipitação em diversos municípios, especialmente no RCP 4.5 e na mesorregião Central do ES. Os municípios de Santa Leopoldina, Vitória e Cariacica são aqueles em que as projeções do clima futuro se mostram mais extremas, com precipitações

ainda mais intensas em todos os TR estudados. Em Santa Leopoldina os aumentos mais expressivos são para eventos com TR de 2 anos, independentemente da duração avaliada, e nos demais TRs para durações entre 10 e 30 minutos. No município de Cariacica, os valores de DP positivos são distribuídos especialmente para eventos com TR de 2 e 100 anos com durações entre 10 e 30 minutos e entre 1080 e 1440 minutos assim como eventos com duração de 10 minutos nos demais TRs. Já em Vitória, os aumentos no DP também são distribuídos em todos os TR; porém, apontam para uma piora significativa no regime de precipitações intensas na capital para eventos com TR entre 25 e 100 anos. Os três municípios são localizados na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, responsável pelo abastecimento da grande Vitória, e o aumento na intensidade de precipitações extremas na região pode acarretar sobrecarga das estruturas hidráulicas existentes, maior número de alagamentos e enchentes, maior transporte sedimentológico e impactar negativamente a população local caso as projeções estudadas mostrem-se verdadeiras.

Um ponto importante ao se analisar os resultados é que o Espírito Santo se encontra em uma zona de transição climática e a modelagem pode gerar resultados com maiores incertezas devido a grande influência de diversos sistemas climáticos sobre o estado. Uma alternativa para futuros estudos e diminuição das incertezas é a utilização de séries diárias de precipitação simuladas e projetadas disponíveis na antiga plataforma PROJETA, agora Portal Projeções Climáticas no Brasil (<http://pclima.inpe.br/>), para assim realizar a retirada de viés com a série observada a ser utilizada no estudo e, sequencialmente, gerar os índices extremos RX1day corrigidos. Essa abordagem poderá dar maior confiabilidade aos resultados uma vez que diminuirá os erros associados à modelagem climática nos locais de estudo e possibilitará o dimensionamento de estruturas hidráulicas mais resilientes às mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- ALLEN, M.; INGRAM, W. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. **Nature** 419, 228–232, 2002. <https://doi.org/10.1038/nature01092>.
- 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.
- ANDIMUTHU, R.; KANDASAMY, P.; MUDGAL, B. V.; JEGANATHAN, A.; BALU, A.; SANKAR, G. Performance of urban storm drainage network under changing climate scenarios: flood mitigation in Indian coastal city. **Sci. Rep.** 9, 1–10, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43859-3>.
- ARAGÃO, R. D.; SANTANA, G. R. D.; DA COSTA, C. E.; CRUZ, M. A.; FIGUEIREDO, E. E. D.; SRINIVASAN, V. S. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 243-252, 2013.
- ARORA, V.; SCINOCCHA, J.; BOER, G.; CHRISTIAN, J.; DENMAN, K.; FLATO, G.; KHARIN, V.; LEE, W.; MERRYFIELD, W. Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases. **Geophysical Research Letters**, v. 38, p. 1-6, 2011.
- BACK, A.J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climática. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.
- BÁRDOSSY, A.; PEGRAM, G. Downscaling precipitation using regional climate models and circulation patterns toward hydrology. **Water Resources Research**, v. 47, n. 4, p. 1-18, 2011. <https://doi.org/10.1029/2010WR009689>
- 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.
- BERTONI J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. Em: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS. P. 177-241, 2007.

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. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.03.010>.

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. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.06.007>.

BINESH, N.; NIKSOKHAN, M. H.; SARANG, A.; RAUCH, W. Improving sustainability of urban drainage systems for climate change adaptation using bestmanagement practices: a case study of Tehran, Iran. **Hydrol. Sci. J.** 64, 381–404, 2019. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1585857>.

BUTCHER, J. B.; ZI, T.; PICKARD, B. R.; JOB, S. C.; JOHNSON, T. E.; GROZA, B. A. Efficient statistical approach to develop intensity-duration-frequency curves for precipitation and runoff under future climate. **Clim. Change** 164, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-02963-y>.

CAI, W.; MCPHADEN, M.J.; GRIMM, A.M.; RODRIGUES, R.R.; TASCHETTO, A.S.; GARREAUD, R.D.; DEWITTE, B.; POVEDA, G.; HAM, Y.-G.; SANTOSO, A.; NG, B.; ANDERSON, W.; WANG, G.; GENG, T.; JO, H.-S.; MARENGO, J.; ALVES, L. M.; OSMAN, M.; LI, S.; WU, L.; KARAMPERIDOU, C.; TAKAHASHI, K.; VERA, C.. Climate impacts of the El Niño-Southern Oscillation on South America. **Nature Reviews Earth & Environment**, 1, 215-231, 2020.

CALDEIRA, T. L.; BESKOW, S.; de MELLO, C. R.; FARIA, L. C.; de SOUZA, M. R.; GUEDES, H. A. Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v.19, n.3, p.197-203, 2015. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p197-203>.

CARNEIRO, B. L. D. S.; SOUZA FILHO, F. D. A. D.; CARVALHO, T. M. N.; RAULINO, J. B. S. Hydrological risk of dam failure under climate change. **RBRH**, v. 27, 2022. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.272220220017>.

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

CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Drenagem Urbana**: Manual de Projeto. 3ª ed., São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986.

CHOU, S. ; LYRA, A. ; MOURÃO, C. ; DEREZYNSKI, 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. [doi: 10.4236/ajcc.2014.35043](https://doi.org/10.4236/ajcc.2014.35043).

CHOU, S.C, LYRA, A. ; MOURÃO, C. ; DEREZYNSKI, 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. 2014a. [10.4236/ajcc.2014.35039](https://doi.org/10.4236/ajcc.2014.35039).

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.

COLLINS, W. J. *et al.* Development and evaluation of an Earth-System model - ETA-HADGEM2. **Geoscientific Model Development**, v. 4, p. 1051-1075, 2011.

COOK, L. M.; MCGINNIS, S.; SAMARAS, C. The effect of modeling choices on updating intensity-duration-frequency curves and stormwater infrastructure designs for climate change. **Clim. Change** 159, 289–308, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02649-6>.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **Equações de chuvas intensas no Estado de Minas**. Belo Horizonte. 2001.

COSTA, C. E. A. de S.; BLANCO, C. J. C.; DE OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. IDF curves for future climate scenarios in a locality of the Tapajós Basin, Amazon, Brazil. **Journal of Water and Climate Change**, v. 11, n. 3, p. 760-770, 2020. <https://doi.org/10.2166/wcc.2019.202>

DEGAETANO, A. T.; CASTELLANO, C. M. Future projections of extreme precipitation intensity-duration-frequency curves for climate adaptation planning in New York State. **Climate Services**, v. 5, p. 23-35, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2017.03.003>.

DIAS, V. S.; LUZ, M. P.; MEDERO, G. M.; Nascimento, D. T. F. An overview of hydropower reservoirs in Brazil: Current situation, future perspectives and impacts of climate change. **Water**, v. 10, n. 5, p. 592, 2018.

DOBLAS-REYES, F. J.; PAVAN, V.; STEPHENSON, D. B. The skill of multimodel seasonal forecasts of the wintertime North Atlantic Oscillation. **Clim. Dynam.** 21, 501–514, 2003. [doi:10.1007/s00382-003-0350-4](https://doi.org/10.1007/s00382-003-0350-4).

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. <https://doi.org/10.1029/91WR02985>.

DUFEK, A., AMBRIZZI, T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. **Theor Appl Climatol** 93, 167–178 (2008). <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0348-7>.

FARIAS, J. A. M.; PINTO, E. J. de A. **Atlas pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-frequência (desagregação de precipitações diárias), município: Laranja da Terra – ES, estação pluviométrica: Laranja da Terra, código 01941008 (ANA)**. Fortaleza: CPRM, 2017. Programa Geologia do Brasil. Levantamento de Geodiversidade.

FARIAS, J. A. M.; PINTO, E. J. de A. **Atlas pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-frequência (desagregação de precipitações diárias), município: Santa Leopoldina – ES, estação pluviométrica: Santa Leopoldina, código 02040010 (ANA)**. Fortaleza: CPRM, 2017a. Programa Geologia do Brasil. Levantamento de Geodiversidade.

FARIAS, J. A. M.; PINTO, E. J. de A. **Atlas pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-frequência (desagregação de precipitações diárias), município: Cariacica – ES, estação pluviométrica: Duas Bocas, código 02040014 (ANA)**. Fortaleza: CPRM, 2017b. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade.

FARIAS, J. A. M.; PINTO, E. J. de A. **Atlas pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-frequência (desagregação de precipitações diárias), município: Vitória – ES, estação pluviométrica: Vitória, código 02040035 (ANA)**. Fortaleza: CPRM, 2017c. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade.

FARIAS, J. A. M.; PINTO, E. J. de A. **Atlas pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-frequência (desagregação de precipitações diárias), município: Guaçuí – ES, estação pluviométrica: Guaçuí, código 02041001 (ANA)**. Fortaleza: CPRM, 2017d. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade.

FARIAS, J. A. M.; PINTO, E. J. de A. **Atlas pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-frequência (desagregação de precipitações diárias), município: Mimoso do Sul – ES, estação pluviométrica: Mimoso do Sul, código 02041015 (ANA)**. Fortaleza: CPRM, 2017e. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade.

FERREIRA, B. C. C.; VALVERDE, M. C. Análise dos índices de extremos de precipitação em cenários futuros na bacia do rio Ribeira de Iguape-São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, p. 41-55, 2022. <https://doi.org/10.1590/0102-7786370067>

FURTUNATO, O. M.; PICKBRENNER, K.; PINTO, E. J. de A. **Atlas pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-frequência, município: Venda Nova do Imigrante – ES, estação pluviográfica: Aracê, código 02041020**. Salvador, BA: CPRM, 2017. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade.

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.

GANGULI, P.; COULIBALY, P. Assessment of future changes in intensity-duration-frequency curves for Southern Ontario using NorthAmerican (NA)-CORDEX models with nonstationary methods. **J. Hydrol. Reg. Stud.** 22, 100587, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.12.007>.

GEBRU, T. A. Rainfall intensity-duration-frequency relations under changing climate for selected stations in the Tigray Region, Ethiopia. **J. Hydrol. Eng.** 25, 05020041, 2020. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.19435584.0001999](https://doi.org/10.1061/(asce)he.19435584.0001999).

GERMANO, A. O. de. **Atlas Pluviométrico do Brasil. Equações Intensidade-Duração-Frequência. Estação Pluviográfica: Aracê, Código 02041020**. CPRM. Porto Alegre/RS. Maio, 2013.

HAGEDORN, R.; DOBLAS-REYES, F. J.; PALMER, T. N. The rationale behind the success of multimodel ensembles in seasonal forecasting—I. **Basic concept**. **Tellus A** 57, 219–233, 2005. doi:10.1111/j.1600-0870.2005.00103.x.

HAMADA, E; GHINI, R.; MARENGO, J. A.; THOMAZ, M. C. Projeções de Mudanças Climáticas para o Brasil no final do século XXI. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (eds). **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2011. p. 41-73.

HELD, I. M.; SODEN, B. J. “Robust Responses on the Hydrological Cycle to Global Change warming”. **Journal of Climate** 19.21, 2006.

HELMRICH, A. M.; CHESTER, M. V. Reconciling complexity and deep uncertainty in infrastructure design for climate adaptation. **Sustainable and Resilient Infrastructure**, v. 7, n. 2, p. 83-99, 2022. <https://doi.org/10.1080/23789689.2019.1708179>

HOSKING, J. R. M. 2022. “Package ‘lmom’ (version 2.9).” Acessado em 22 de Agosto, 2022. <https://cran.r-project.org/web/packages/lmom/lmom.pdf>.

HOSSEINZADEHTALAEI, P., TABARI, H. & WILLEMS, P. Precipitation intensity–duration–frequency curves for central Belgium with an ensemble of EURO-CORDEX simulations, and associated uncertainties. **Atmos. Res.** 200, 1–12, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.09.015>.

HOSSEINZADEHTALAEI, P., TABARI, H. & WILLEMS, P. Climate change impact on short-duration extreme precipitation and intensity–duration–frequency curves over Europe. **J. Hydrol.** 590, 125249, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125249>.

IBGE. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/panorama> >. Acesso em 22 de Agosto. 2022.

IPCC **Special Report on Emissions Scenarios (SRES)** , Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., 2000: Special Report on Emissions Scenarios, Working Group III, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, 595 pp. 2000. <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm>.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change in **Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** (eds J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, D. XIAOSU, X. DAI, K. MASKELL & C. A. JOHNSON, p. 881, 2001. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: Synthesis Report. Core Writing Team**, PACHAURI, R. K.; REISINGER, A. (eds). Geneva: IPCC, 104 p, 2007.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Core Writing Team**, PACHAURI, R. K.; MEYER, Leo. (eds). Geneva: IPCC, 132 p, 2014.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change in 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. 2021.

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

KHARIN, V. V.; ZWIERS, F. W.; ZHANG, X.; WEHNER, M. Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. **Climatic change**, 2013, 119.2: 345-357.

KIM, K.; CHOI, J.; LEE, O.; CHA, D. H.; KIM, S. Uncertainty quantification of future design rainfall depths in Korea. **Atmosphere (Basel)** 11, 1–23, 2020. <https://doi.org/10.3390/ATMOS11010022>.

KODAMA, Y. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan**. Ser. II, v. 70, n. 4, p. 813-836, 1992. https://doi.org/10.2151/jmsj1965.70.4_813

KOURTIS, I. M.; TSIHRINTZIS, V. A. Update of intensity-duration-frequency (IDF) curves under climate change: a review. **Water Supply**, v. 22, n. 5, p. 4951-4974, 2022. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.152>

KOURTIS, I. M.; BELLOS, V.; KOPSIAFTIS, G.; PSILOGLOU, B. e TSIHRINTZIS, V. A. 2021 Methodology for holistic assessment of grey-green flood mitigation measures for climate change adaptation in urban basins. **Journal of Hydrology**, v. 603, p. 126885, 2021. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2021.126885>.

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 3, n. 1, p. 217-231, 1988.

LIRA, F. A.; CARDOSO, A. de O. Estudo de tendência de vazões de rios das principais bacias hidrográficas brasileiras. **Brazilian Journal of Environmental Sciences** (Online), n. 48, p. 21-37, 2018. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820180273>

LYRA, A.; TAVARES, P.; CHOU, S.C. *et al.* Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. **Theor Appl Climatol** 132, 663–682 (2017). <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2067-z>.

MANKE, E. B.; TEIXEIRA-GANDRA, C. F.; DAMÉ, R. D. C.; NUNES, A. B.; NETA, M. C.; KARSBURG, R. M. Seasonal intensity-duration-frequency relationships for Pelotas, Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 26, p. 85-90, 2022. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n2p85-90>

MANN, H. B. Non-parametric test against trend. **Econometrica**, v.13, p.245-259, 1945.

MARENGO, J. A.; JONES, R.; ALVES, L. M.; VALVERDE, M. C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS

regional climate modeling system. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, v.29, n.15, p.2241-2255, 2009. <https://doi.org/10.1002/joc.1863>.

MARTEL, J. L.; BRISSETTE, F. P.; LUCAS-PICHER, P.; TROIN, M.; ARSENAULT, R. Climate change and rainfall intensity–duration–frequency curves: Overview of science and guidelines for adaptation. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 26, n. 10, p. 03121001, 2021.

MARTINS, L. K. L. A.; PINTO, E. J. de A. **Atlas pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-frequência, município: Ibitirama, estação pluviométrica: Ibitirama, código 02041016 (ANA)**. Belo Horizonte: CPRM, 2017. Programa Geologia do Brasil. Levantamento de Geodiversidade.

MEDEIROS, F. J. de; OLIVEIRA, C. P. de; AVILA-DIAZ, A. Evaluation of extreme precipitation climate indices and their projected changes for Brazil: From CMIP3 to CMIP6. *Weather and Climate Extremes*, v. 38, p. 100511, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100511>

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

MONTEIRO, A. F. M.; YAMAMOTO, A. L. C.; SILVA, P. N.; REBOITA, M. S. Conhecer a complexidade do sistema climático para entender as mudanças climáticas. *Terrae Didactica*, v. 17, p. e021006-e021006, 2021. doi: 10.20396/td.v17i0.8663763

MORIASI, D. N.; GITAU, M. W.; PAI, N.; DAGGUPATI, P. Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *Transactions of the ASABE*, v. 58, n. 6, p. 1763-1785, 2015.

MOSS, R. H.; EDMONDS, J. A.; HIBBARD, K. A.; MANNING, M. R.; ROSE, S. K.; VAN VUUREN, D. P.; CARTER, T. R.; EMORI, S.; KAINUMA, M.; KRAM, T.; MEEH, G.A.; MITCHELL, J. F. B.; NAKICENOVIC, N.; RIAHI, K.; SMITH, S. J.; STOUFFER, R.J.; THOMSON, A. M.; WEYANT, J. P.; WILBANK, T. J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*. v.463, n.7282, p.747-756, 2010. <https://doi.org/10.1038/nature08823>.

NASCIMENTO, J. R. da S. do; FARIAS, J. A. M.; PINTO, E. J. de A. **Atlas pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-frequência (desagregação de precipitações diárias), município: Alegre – ES, estação pluviométrica: Rive, código 02041003 (ANA)**. Teresina: CPRM, 2017. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade.

NASCIMENTO, J. R. da S. do; FARIAS, J. A. M.; PINTO, E. J. de A. **Atlas pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-frequência (desagregação de precipitações diárias), município: Vargem Alta – ES, estação pluviométrica: Jacigua (DNOS), Código 02041010**. Teresina: CPRM, 2017a. Programa Geologia do Brasil. Levantamento de Geodiversidade.

NÉTO, N. C. G.; SANTOS, E. B. Análise Espaço-Temporal dos Eventos de Precipitação Intensa no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, p. 89-97, 2022. <https://doi.org/10.1590/0102-77863710081>.

NOBRE, C.A.; MATTOS, L.F.; DEREZYNSKI, C.P.; TARASOVA, T.A. & TROSNIKOV, I.V. Overview of atmospheric conditions during the Smoke, Clouds, and Radiation- Brazil (SCAR-B) field experiment. **Journal of Geophysical Research**, 103, n. D24: 31809-31820, 1998.

NOBRE, P. *et al.* Climate Simulations and Change in the Brazilian Climate Model. **Journal of Climate**, v. 26, p. 6716-6732, 2013.

NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; SOARES, W. R. (Ed.). **Climate change risks in Brazil**. Cham, Germany: Springer International Publishing, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92881-4_1

NUNES, A. D. A.; PINTO, E. J. D. A.; BAPTISTA, M. B.; PAULA, M. H. D.; XAVIER, M. O. Intensity-duration-frequency curves in the municipality of Belo Horizonte from the perspective of non-stationarity. **RBRH**, v. 26, 2021. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.262120210017>

NUNES, A. de A.; PINTO, E. J. de A.; BAPTISTA, M. B. Detection of trends for extreme events of precipitation in the Metropolitan Region of Belo Horizonte through statistical methods. **RBRH**, v. 23, 2018. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.0318170134>.

O'NEILL, S., TETT, S. F. B., DONOVAN, K. Extreme rainfall risk and climate change impact assessment for Edinburgh World Heritage sites. **Weather and Climate Extremes**, v. 38, p. 100514, 2022.

OLIVEIRA, E. P.; BESKOW, T. L. C. ; RODRIGUES, A. A. ; NUNES, A. B. ; SIQUEIRA, T. M. ; BESKOW, S. ; GUEDES, H. A. S. . Impacto das projeções climáticas nas relações Intensidade-Duração-Frequência de chuvas intensas em Pelotas/RS. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 33, p. 604-630, 2023.

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. <https://doi.org/10.1590/0102-778620140041>.

PAOLA, F. DE; GIUGNI, M.; PUGLIESE, F.; ANNIS, A.; NARDI, F. GEV parameter estimation and stationary vs non-stationary analysis of extreme rainfall in African test cities. **Hydrology** 5, 2018. <https://doi.org/10.3390/hydrology5020028>.

PECK, A.; PRODANOVIC, P.; SIMONOVIC, S. PP. Rainfall intensity duration frequency curves under climate change: City of London, Ontario, Canada. **Canadian Water Resources Journal/Revue canadienne des ressources hydriques**, v. 37, n. 3, p. 177-189, 2012. <https://doi.org/10.4296/cwrj2011-935>.

PEREIRA, H.R.; REBOITA, M.S.; AMBRIZZI, T. Características da Atmosfera na Primavera Austral Durante o El Niño de 2015/2016. **Revista Brasileira de Meteorologia** 32, 293-310, 2017.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas Intensas no Brasil**. 2ª ed. DNOS, 1982.

PINTO, E. F. R. **Equações de Intensidade-Duração-Frequência da precipitação para os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo: estimativa e espacialização**. Viçosa, Minas Gerais: UFV, 1999.70p. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa, 1999.

PINTO, E. J. A. **Metodologia para definição das equações Intensidade-Duração-Frequência do Projeto Atlas Pluviométrico**. CPRM. Belo Horizonte. Mar., 2013.

PINTO, E. J. de A. **Atlas pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-frequência (desagregação de precipitações diárias), município: Rio Novo do Sul, estação pluviométrica: Rio Novo do Sul, código 02040013 (ANA)**. Belo Horizonte: CPRM, 2017. Programa Geologia do Brasil. Levantamento de Geodiversidade.

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

REBOITA, M. S.; MARRAFON, V. H. de A.; LLOPART, M.; ROCHA, R. P da. Cenários de mudanças climáticas projetados para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2018.

REBOITA, M. S.; OLIVEIRA, K. R.; CORRÊA, P. Y. C.; RODRIGUES, R. Influência dos diferentes tipos do fenômeno El Niño na precipitação da América do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 2, p. 729-742, 2021.

REGOTO, P. P.; DERECHYNSKI, C.; SILVA, W. L.; SANTOS, R.; CONFALONIERI, U. Tendências de extremos de precipitação para o estado do Espírito Santo. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 1, p. 365-381, 2018.

REQUENA, A. I.; BURN, D. H.; COULIBALY, P. Technical guidelines for future intensity–duration–frequency curve estimation in Canada. Can. **Water Resour. J.** 46, 87–104. 2021. <https://doi.org/10.1080/07011784.2021.1909501>.

RIBEIRO, R. S.. Atlas de riscos geológico e hidrológico do estado do Espírito Santo no período 2011-2020: resultados gerais. **Geologia USP. Série Científica**, 22(4), 3-22. 2022. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v22-192746>

RODRÍGUEZ, R.; NAVARRO, X.; CASAS, M. C.; RIBALAYGUA, J.; RUSSO, B.; POUGET, L.; REDAÑO, A. Influence of climate change on IDF curves for the metropolitan area of Barcelona (Spain). **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 3, p. 643-654, 2013. <https://doi.org/10.1002/joc.3712>.

SABÓIA, M. A. M. D.; SOUZA FILHO, F. D. A. D.; ARAÚJO JÚNIOE, L. M. D.; SILVEIRA, C. D. S. Climate changes impact estimation on urban drainage system located in low latitudes districts: a study case in Fortaleza-CE. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.22, n.21. 2017. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.011716074>.

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. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i103p41-54>.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.A. & DIAS, P.L.S. South America. In: **Meteorology Of The Southern Hemisphere**. American Meteorological Society, p. 119-139, 1998.

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.

SEMENOV, M.A.; BARROW, E.M. Use of a stochastic weather generator in the development of climate changes scenarios. **Climatic Changes**, Amsterdam, v.35, p. 397-414, 1997.

ŞEN, O.; KAHYA, E. Impacts of climate change on intensity–duration–frequency curves in the rainiest city (Rize) of Turkey. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 144, p. 1017-1030, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03592-2>

SILVA, D. F.; SIMONOVIC, S. P.; SCHARDONG, A; GOLDENFUM, J. A. Introducing non-stationarity into the development of intensity-duration-frequency curves under a changing climate. **Water (Switzerland)** 13, 2021. <https://doi.org/10.3390/w13081008>.

SILVA, D. F. **Curvas IDF não-estacionárias na avaliação do efeito de mudanças climáticas em precipitações intensas**. 2022. 193f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. IPH. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, 2022.

SOUZA, P.; CORRÊA, M. D. P.; TORRES, R. R.; SILVA, L. F. Influência das mudanças climáticas sobre as condições de trabalho no final do século XXI. **Ambiente & Sociedade**, v. 23, 2020.

TABARI, H.; ASR, N. M.; WILLEMS, P. Developing a framework for attribution analysis of urban pluvial flooding to human-induced climate impacts. **Journal of Hydrology**, v. 598, p. 126352, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126352>

TABORGA, J. T. **Práticas Hidrológicas**. TRANSCON Consultoria Técnica Ltda. Rio de Janeiro, RJ, 1974.

TEBALDI, C.; KNUTTI, R. The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections. **Philosophical transactions of the royal society A: mathematical, physical and engineering sciences**, v. 365, n. 1857, p. 2053-2075, 2007.

TEODORO, P. E.; NEIVOCK, M. P.; MARQUES, J. R. F.; FLORES, A. M. F.; BRAGA, C. Influência de diferentes coeficientes de desagregação na determinação de equações IDF para Aquidauana/MS. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil - REEC**. v.9, n.2. 2014.

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. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: UFRGS, ABRH, 1995. 428 p.

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, 2002.150p.

URABA, M. B.; GUNAWARDHANA, L. N.; AL-RAWAS, G. A.; BAAWAIN, M. S. A downscaling-disaggregation approach for developing IDF curves in arid regions. *Environ. Monit. Assess.* 191, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10661019-7385-4>.

VAN DEN BESSELAAR, E. J. M.; KLEIN TANK, A. M. G.; BUISSAND, T. A. (2012). *Trends in European precipitation extremes over 1951-2010. International Journal of Climatology*, n/a–n/a. <https://doi.org/10.1002/joc.3619>.

WATANABE, M. *et al.* Improve Climate Simulation by ETA-MIROC5: Mean States, Variability, and Climate Sensitivity. **Journal of Climate**, v. 23, p. 6312-6335, 2010.

WESCHENFELDER, A.B.; PICKBRENNER, K.; PINTO, E.J. A. **Atlas Pluviométrico do Brasil. Equações Intensidade- Duração-Frequência. Município: Porto Alegre**, Estação Pluviográfica: Porto Alegre, Código 03051011.CPRM/SGB. Porto Alegre. 2015.

WESCHENFELDER, A. B.; PICKBRENNER, K.; PINTO, E. J. de A. **Atlas pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-frequência (desagregação de precipitações diárias), município: Cachoeiro do Itapemirim - ES, estação pluviométrica: Burarama, código 02041021 (ANA)**. Porto Alegre: CPRM, 2017. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade.

WESCHENFELDER, A. B.; KLERING, E. V.; ALVES, R. de C. N. e PINTO, É. J. de A. Geração de Curvas IDF's para Cenários Projetados na Cidade de Porto Alegre/RS. **Revista Brasileira de Meteorologia**. São Paulo, v. 34, n. 2, p. 201-216, 2019. <https://doi.org/10.1590/0102-77863340026>.

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.

YUN, W. T.; STEFANOVA, L.; KRISHNAMURTI, T. N. 2003 Improvement of the multimodel supersensemble technique for seasonal forecasts. **J. Clim.** 16, 3834–3840. (doi:10.1175/1520- 0442(2003)016!3834:IOTMSTO2.0.CO;2).

ZHOU, J.; LAU, K.M. Principal modes of interannual and decadal variability of summer rainfall over South America. **International Journal of Climatology**, 21(13): 1623-1644, 2001.

ZHOU, Q.; LENG, G.; SU, J.; REN, Y. Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: importance of urban planning and drainage adaptation. **Sci. Total Environ.** 658, 24–33, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.184>.

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.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Ajuste das Funções Densidade de Probabilidade segundo os testes de aderência de Anderson-Darling nos municípios de interesse no estado do Espírito Santo

Tabela A.1 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Venda Nova do Imigrante EP 02041020. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência. (continua). Fonte: Autoria própria.

Venda Nova do Imigrante					
Período	MCG	FDP	AD estatístico	p-valor	Resultado
PERÍODO BASE	Eta-CanES2M	Gumbel	0,3823	0,8655	Se ajusta
		Kappa	0,1641	0,9973	Se ajusta
		GEV	0,1647	0,9973	Se ajusta
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0,4023	0,8457	Se ajusta
		Kappa	0,2798	0,9523	Se ajusta
		GEV	0,2858	0,9482	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0,4651	0,7817	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0,3009	0,9372	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0,3045	0,9344	Se ajusta
		Kappa	0,1223	0,9998	Se ajusta
		GEV	0,1844	0,9941	Se ajusta
RCP 4.5	Eta-CanES2M	Gumbel	0,4143	0,8334	Se ajusta
		Kappa	0,1748	0,9959	Se ajusta
		GEV	0,2083	0,988	Se ajusta
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0,3429	0,9021	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0,3234	0,919	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0,285	0,9486	Se ajusta
		Kappa	0,1582	0,998	Se ajusta
		GEV	0,1972	0,9913	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0,1961	0,9915	Se ajusta
		Kappa	0,1765	0,9956	Se ajusta
		GEV	0,1965	0,9914	Se ajusta
RCP 8.5	Eta-CanES2M	Gumbel	x	x	Tendência
		Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0,5143	0,7309	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0,4366	0,8106	Se ajusta

Tabela A.1 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Venda Nova do Imigrante EP 02041020. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência. (conclusão). Fonte: Autoria própria.

RCP 8.5	Eta-MIROC5	Gumbel	0,689	0,5668	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0,4552	0,7915	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0,2072	0,9884	Se ajusta
		Kappa	0,1591	0,9979	Se ajusta
		GEV	0,1622	0,9976	Se ajusta

Tabela A.2 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Cariacica EP 02040014. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.

Cariacica					
Período	MCG	FDP	AD estatístico	p-valor	Resultado
PERÍODO BASE	Eta-CanES2M	Gumbel	0,3204	0,9216	Se ajusta
		Kappa	0,2184	0,9845	Se ajusta
		GEV	0,2719	0,9575	Se ajusta
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0,1168	0,999	Se ajusta
		Kappa	0,1103	0,999	Se ajusta
		GEV	0,114	0,999	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0,5012	0,7446	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não ajustada
		GEV	0,375	0,8716	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0,316	0,9253	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não ajusta
		GEV	0,3076	0,932	Se ajusta
RCP 4.5	Eta-CanES2M	Gumbel	0,7087	0,5504	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não ajustada
		GEV	0,5497	0,6953	Se ajusta
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	x	x	Tendência
		Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
	Eta-MIROC5	Gumbell	0,2394	0,9757	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não ajustada
		GEV	0,2484	0,9711	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0,7521	0,5157	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não ajustada
		GEV	0,6941	0,5625	Se ajusta
		Gumbel	x	x	

RCP 8.5	Eta-CanES2M	Kappa	x	x	Tendência
		GEV	x	x	
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0,4961	0,7494	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não ajustada
		GEV	0,4513	0,7955	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0,2942	0,9421	Se ajusta
		Kappa	0,2565	0,9667	Se ajusta
		GEV	0,2614	0,9639	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0,2111	0,9871	Se ajusta
		Kappa	0,2106	0,9873	Se ajusta
		GEV	0,2107	0,9873	Se ajusta

Tabela A.3 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Vitória EP 02040035. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.

Vitória					
Período	MCG	FDP	AD estatístico	p-valor	Resultado
PERÍODO BASE	Eta-CanES2M	Gumbel	0,3204	0,9216	Se ajusta
		Kappa	0,2184	0,9845	Se ajusta
		GEV	0,2719	0,9575	Se ajusta
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0,1168	0,999	Se ajusta
		Kappa	0,1103	0,999	Se ajusta
		GEV	0,114	0,999	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0,5012	0,7446	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não ajustada
		GEV	0,376	0,8716	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0,316	0,9253	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não ajustada
		GEV	0,3076	0,932	Se ajusta
RCP 4.5	Eta-CanES2M	Gumbel	0,7087	0,5504	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não ajustada
		GEV	0,5497	0,6953	Se ajusta
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	x	x	Tendência
		Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
	Eta-MIROC5	Gumbel	0,2394	0,9757	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não ajustada
		GEV	0,2484	0,9711	Se ajusta
		Gumbel	0,7521	0,5157	Se ajusta

RCP 8.5	Eta-BESM	Kappa	x	x	Não ajustada
		GEV	0,6941	0,5626	Se ajusta
	Eta-CanES2M	Gumbel	x	x	Tendência
		Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0,4961	0,7495	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não ajustada
		GEV	0,4513	0,7955	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0,2942	0,9421	Se ajusta
		Kappa	0,2565	0,9667	Se ajusta
		GEV	0,2614	0,9639	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0,2111	0,9871	Se ajusta
		Kappa	0,2106	0,9873	Se ajusta
		GEV	0,2106	0,9873	Se ajusta

Tabela A.4 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Rio Novo do Sul EP 02040013. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.

Rio Novo do Sul					
Período	MCG	FDP	AD estatístico	p-valor	Resultado
PERÍODO BASE	Eta-CanES2M	Gumbel	0,4557	0,7914	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0,3154	0,9258	Se ajusta
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0,7115	0,5485	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0,5403	0,7052	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0,374	0,8735	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0,3277	0,9155	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	x	x	Tendência
		Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
	Eta-CanES2M	Gumbel	0,2022	0,9899	Se ajusta
		Kappa	0,1759	0,9957	Se ajusta
		GEV	0,1923	0,9925	Se ajusta

RCP 4.5	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	x	x	Tendência
		Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
	Eta-MIROC5	Gumbel	0,2724	0,9571	Se ajusta
		Kappa	0,1417	0,9992	Se ajusta
		GEV	0,1473	0,9988	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0,6192	0,6287	Se ajusta
		Kappa	0,1886	0,9933	Se ajusta
		GEV	0,3014	0,9367	Se ajusta
RCP 8.5	Eta-CanES2M	Gumbel	x	x	Tendência
		Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0,371	0,876	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0,3382	0,9063	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0,45	0,7968	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0,2938	0,9424	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0,2881	0,9464	Se ajusta
		Kappa	0,302	0,9362	Se ajusta
		GEV	0,2377	0,9765	Se ajusta

Tabela A.5 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Santa Leopoldina EP 02040010. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.

Santa Leopoldina					
Período	MCG	FDP	AD estatístico	p-valor	Resultado
PERÍODO BASE	Eta-CanES2M	Gumbel	0,4395	0,8081	Se ajusta
		Kappa	0,1263	0,9997	Se ajusta
		GEV	0,207	0,9884	Se ajusta
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	1,0139	0,3496	Se ajusta
		Kappa	0,1385	0,9993	Se ajusta
		GEV	0,4111	0,8369	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0,4166	0,8314	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não ajustada
		GEV	0,4219	0,826	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0,299	0,9286	Se ajusta
		Kappa	0,2589	0,9654	Se ajusta
		GEV	0,2368	0,9769	Se ajusta

RCP 4.5	Eta-CanES2M	Gumbel	0,2877	0,9467	Se ajusta
		Kappa	0,2775	0,9537	Se ajusta
		GEV	0,2428	0,974	Se ajusta
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	x	x	Tendência
		Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
	Eta-MIROC5	Gumbell	0,4707	0,7756	Se ajusta
		Kappa	0,3141	0,9267	Se ajusta
		GEV	0,3294	0,9139	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0,4624	0,7841	Se ajusta
		Kappa	0,2753	0,9552	Se ajusta
		GEV	0,2752	0,9553	Se ajusta
RCP 8.5	Eta-CanES2M	Gumbel	x	x	Tendência
		Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0,459	0,7877	Se ajusta
		Kappa	0,4124	0,8352	Se ajusta
		GEV	0,4195	0,8281	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0,282	0,9507	Se ajusta
		Kappa	0,1832	0,9944	Se ajusta
		GEV	0,2565	0,9667	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0,2616	0,9638	Se ajusta
		Kappa	0,2001	0,9905	Se ajusta
		GEV	0,2364	0,9771	Se ajusta

Tabela A.6 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Laranja da Terra EP 01941008. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.

Laranja da Terra					
Período	MCG	FDP	AD estatístico	p-valor	Resultado
PERÍODO BASE	Eta-CanES2M	Gumbel	1,2257	0,2578	Se ajusta
		Kappa	0,5826	0,6636	Se ajusta
		GEV	0,7445	0,522	Se ajusta
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0,7609	0,5093	Se ajusta
		Kappa	0,2835	0,9498	Se ajusta
		GEV	0,3738	0,8737	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	1,1081	0,3049	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	x	x	Não se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0,9793	0,3678	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0,5908	0,6558	Se ajusta
RCP 4.5	Eta-CanES2M	Gumbel	x	x	Tendência
		Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	x	x	Tendência
		Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
	Eta-MIROC5	Gumbel	0,3393	0,9053	Se ajusta
		Kappa	0,2924	0,9422	Se ajusta
		GEV	0,3033	0,9352	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0,1958	0,9916	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0,1964	0,9914	Se ajusta
RCP 8.5	Eta-CanES2M	Gumbel	x	x	Tendência
		Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0,7682	0,5034	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0,7316	0,5318	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	x	x	Tendência
		Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
	Eta-BESM	Gumbel	0,8379	0,4535	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0,6818	0,5729	Se ajusta

Tabela A.7 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Guaçuí EP 2041001. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.

Guaçuí					
Período	MCG	FDP	AD estatístico	p-valor	Resultado
PERÍODO BASE	Eta-CanES2M	Gumbel	0.3117	0.9287	Se ajusta
		Kappa	0.2606	0.9644	Se ajusta
		GEV	0.2764	0.9545	Se ajusta
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0.2833	0.9499	Se ajusta
		Kappa	0.214	0.9861	Se ajusta
		GEV	0.2507	0.9699	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0.3359	0.9085	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0.314	0.9269	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0.2879	0.9467	Se ajusta
		Kappa	0.1432	0.9991	Se ajusta
		GEV	0.2876	0.9469	Se ajusta
RCP 4.5	Eta-CanES2M	Gumbel	0.3833	0.8642	Se ajusta
		Kappa	0.2925	0.9433	Se ajusta
		GEV	0.2971	0.9399	Se ajusta
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	x	x	Tendência
		Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
	Eta-MIROC5	Gumbel	0.3996	0.8481	Se ajusta
		Kappa	0.3016	0.9365	Se ajusta
		GEV	0.3011	0.9369	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0.6974	0.5597	Se ajusta
		Kappa	0.5317	0.7134	Se ajusta
		GEV	0.577	0.6686	Se ajusta
RCP 8.5	Eta-CanES2M	Gumbel	x	x	Tendência
		Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0.3201	0.9218	Se ajusta
		Kappa	0.2657	0.9613	Se ajusta
		GEV	0.3219	0.9203	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0.1773	0.9955	Se ajusta
		Kappa	0.1705	0.9965	Se ajusta
		GEV	0.1705	0.9965	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0.3753	0.872	Se ajusta
		Kappa	0.2412	0.9748	Se ajusta
		GEV	0.2664	0.9608	Se ajusta

Tabela A.8 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Mimoso do Sul EP 2141015. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.

Laranja da Terra					
Período	MCG	FDP	AD estatístico	p-valor	Resultado
	Eta-CanES2M	Gumbel	0.231	0.9795	Se ajusta
		Kappa	0.2131	0.9864	Se ajusta
		GEV	0.234	0.9782	Se ajusta
		Gumbel	0.2581	0.9658	Se ajusta

PERÍODO BASE	Eta-HadGEM2-ES	Kappa	0.1452	0.999	Se ajusta
		GEV	0.1548	0.9983	Se ajusta
		Gumbel	0.2875	0.947	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Kappa	0.2946	0.9419	Se ajusta
		GEV	0.2828	0.9503	Se ajusta
		Gumbel	0.2114	0.987	Se ajusta
	Eta-BESM	Kappa	0.1596	0.9978	Se ajusta
		GEV	0.1706	0.9965	Se ajusta
		Gumbel	0.3417	0.9032	Se ajusta
	Eta-CanES2M	Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0.2516	0.9694	Se ajusta
		Gumbel	x	x	Tendência
	Eta-HadGEM2-ES	Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
	Eta-MIROC5	Gumbel	0.1455	0.999	Se ajusta
		Kappa	0.1188	0.9998	Se ajusta
		GEV	0.1331	0.9995	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0.3232	0.9192	Se ajusta
		Kappa	0.1734	0.9961	Se ajusta
		GEV	0.1827	0.9945	Se ajusta
RCP 4.5	Eta-CanES2M	Gumbel	x	x	Tendência
		Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0.5487	0.6964	Se ajusta
		Kappa	0.2807	0.9516	Se ajusta
		GEV	0.4221	0.8255	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0.4168	0.8309	Se ajusta
		Kappa	0.3153	0.9257	Se ajusta
		GEV	0.3296	0.9137	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0.1901	0.993	Se ajusta
		Kappa	0.1419	0.9992	Se ajusta
		GEV	0.169	0.9967	Se ajusta
RCP 8.5	Eta-CanES2M	Gumbel	x	x	Tendência
		Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0.5487	0.6964	Se ajusta
		Kappa	0.2807	0.9516	Se ajusta
		GEV	0.4221	0.8255	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0.4168	0.8309	Se ajusta
		Kappa	0.3153	0.9257	Se ajusta
		GEV	0.3296	0.9137	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0.1901	0.993	Se ajusta
		Kappa	0.1419	0.9992	Se ajusta
		GEV	0.169	0.9967	Se ajusta

Tabela A.9 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Alegre EP 2041003. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.

Alegre					
Período	MCG	FDP	AD estatístico	p-valor	Resultado
PERÍODO BASE	Eta-CanES2M	Gumbel	0.3117	0.9287	Se ajusta
		Kappa	0.2606	0.9644	Se ajusta
		GEV	0.2764	0.9545	Se ajusta
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0.2833	0.9499	Se ajusta
		Kappa	0.214	0.9861	Se ajusta
		GEV	0.2507	0.9699	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0.3359	0.9085	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0.314	0.9269	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0.2879	0.9467	Se ajusta
		Kappa	0.1432	0.9991	Se ajusta
		GEV	0.2876	0.9469	Se ajusta
	Eta-CanES2M	Gumbel	0.3833	0.8642	Se ajusta
		Kappa	0.2925	0.9433	Se ajusta
		GEV	0.2971	0.9399	Se ajusta
		Gumbel	x	x	

RCP 4.5	Eta-HadGEM2-ES	Kappa	x	x	Tendência	
		GEV	x	x		
		Gumbel	0.3887	0.8589		Se ajusta
	Eta-MIROC5	Kappa	x	x	Não se ajusta	
		GEV	0.3146	0.9262		Se ajusta
		Gumbel	0.6974	0.5597		Se ajusta
	Eta-BESM	Kappa	0.5317	0.7134	Se ajusta	
		GEV	0.577	0.6686		Se ajusta
		Gumbel	x	x		Tendência
	Eta-CanES2M	Kappa	x	x		
GEV		x	x			
RCP 8.5		Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0.2749	0.9554	Se ajusta
	Kappa		0.247	0.9719	Se ajusta	
	GEV		0.276	0.9547	Se ajusta	
	Eta-MIROC5	Gumbel	0.1773	0.9955	Se ajusta	
		Kappa	0.1705	0.9965	Se ajusta	
		GEV	0.1705	0.9965	Se ajusta	
	Eta-BESM	Gumbel	0.3753	0.872	Se ajusta	
		Kappa	0.2412	0.9748	Se ajusta	
		GEV	0.2664	0.9608	Se ajusta	

Tabela A.10 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Cachoeiro de Itapemirim EP 2041021. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.

Cachoeiro de Itapemirim					
Período	MCG	FDP	AD estatístico	p-valor	Resultado
PERÍODO BASE	Eta-CanES2M	Gumbel	0.6033	0.6439	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0.5702	0.6756	Se ajusta
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0.5823	0.664	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0.5554	0.6902	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0.3662	0.8809	Se ajusta
		Kappa	0.3636	0.8834	Se ajusta
		GEV	0.3702	0.8771	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0.4842	0.7621	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0.4157	0.8323	Se ajusta
RCP 4.5	Eta-CanES2M	Gumbel	0.2105	0.9873	Se ajusta
		Kappa	0.1454	0.999	Se ajusta
		GEV	0.1442	0.999	Se ajusta
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	x	x	Tendência
		Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
	Eta-MIROC5	Gumbel	0.4015	0.8462	Se ajusta
		Kappa	0.4362	0.811	Se ajusta
		GEV	0.399	0.8487	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0.2275	0.981	Se ajusta
		Kappa	0.2057	0.9888	Se ajusta
		GEV	0.205	0.989	Se ajusta
RCP 8.5	Eta-CanES2M	Gumbel	1.3606	0.2135	Se ajusta
		Kappa	0.4904	0.7553	Se ajusta
		GEV	x	x	Não se ajusta
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0.2728	0.9569	Se ajusta
		Kappa	0.2001	0.9905	Se ajusta
		GEV	0.2737	0.9563	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0.7432	0.5226	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0.6863	0.5691	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0.3557	0.8905	Se ajusta
		Kappa	0.1697	0.9967	Se ajusta
		GEV	0.3514	0.8944	Se ajusta

Tabela A.11 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Ibitirama EP 2041016. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.

Ibitirama					
Período	MCG	FDP	AD estatístico	p-valor	Resultado
	Eta-CanES2M	Gumbel	0.4133	0.8347	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0.3706	0.8767	Se ajusta
		Gumbel	0.6387	0.6113	Se ajusta

PERÍODO BASE	Eta-HadGEM2-ES	Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0.5023	0.7435	Se ajusta
		Gumbel	0.3672	0.88	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Kappa	0.1819	0.9946	Se ajusta
		GEV	0.2023	0.9898	Se ajusta
		Gumbel	0.2534	0.9685	Se ajusta
	Eta-BESM	Kappa	0.1721	0.9963	Se ajusta
		GEV	0.2147	0.9859	Se ajusta
		Gumbel	0.2655	0.9614	Se ajusta
RCP 4.5	Eta-CanES2M	Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0.2411	0.9748	Se ajusta
		Gumbel	x	x	Tendência
	Eta-HadGEM2-ES	Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
		Gumbel	0.2612	0.964	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Kappa	0.2212	0.9835	Se ajusta
		GEV	0.2299	0.98	Se ajusta
		Gumbel	0.3181	0.9234	Se ajusta
	Eta-BESM	Kappa	0.1676	0.9969	Se ajusta
		GEV	0.1662	0.9971	Se ajusta
		Gumbel	0.8972	0.4151	Se ajusta
	Eta-CanES2M	Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0.9275	0.3968	Se ajusta
		Gumbel	x	x	Tendência
RCP 8.5	Eta-HadGEM2-ES	Kappa	x	x	
		GEV	x	x	
		Gumbel	0.3143	0.9265	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Kappa	0.2579	0.9659	Se ajusta
		GEV	0.2872	0.9471	Se ajusta
		Gumbel	0.4103	0.8374	Se ajusta
	Eta-BESM	Kappa	0.1157	0.9999	Se ajusta
		GEV	0.1152	0.9999	Se ajusta

Tabela A.12 - Valores calculados de AD para cada FDP ao nível de significância de 5% para o município de Vargem Alta EP 2041010. Em negrito encontram-se as distribuições de probabilidade com melhor resultado no teste de aderência.

Laranja da Terra					
Período	MCG	FDP	AD estatístico	p-valor	Resultado
PERÍODO BASE	Eta-CanES2M	Gumbel	0.3492	0.8967	Se ajusta
		Kappa	0.2447	0.9731	Se ajusta
		GEV	0.2453	0.9727	Se ajusta
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0.3229	0.9196	Se ajusta
		Kappa	0.2745	0.9558	Se ajusta
		GEV	0.2745	0.9558	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0.4725	0.7741	Se ajusta
		Kappa	0.2759	0.9549	Se ajusta
		GEV	0.2756	0.9551	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0.7257	0.5369	Se ajusta
		Kappa	0.3647	0.8823	Se ajusta
		GEV	0.3736	0.8738	Se ajusta
RCP 4.5	Eta-CanES2M	Gumbel	0.4559	0.7908	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0.3985	0.8492	Se ajusta
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	1.0019	0.3556	Se ajusta
		Kappa	0.2407	0.975	Se ajusta
		GEV	0.2403	0.9752	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0.508	0.7373	Se ajusta
		Kappa	0.2427	0.974	Se ajusta
		GEV	0.2522	0.9691	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0.6343	0.6148	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0.3333	0.9105	Se ajusta
RCP 8.5	Eta-CanES2M	Gumbel	0.6279	0.6207	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0.632	0.6169	Se ajusta
	Eta-HadGEM2-ES	Gumbel	0.2006	0.9903	Se ajusta
		Kappa	0.1216	0.9998	Se ajusta
		GEV	0.1658	0.9972	Se ajusta
	Eta-MIROC5	Gumbel	0.2052	0.989	Se ajusta
		Kappa	0.196	0.9916	Se ajusta
		GEV	0.1961	0.9915	Se ajusta
	Eta-BESM	Gumbel	0.247	0.9719	Se ajusta
		Kappa	x	x	Não se ajusta
		GEV	0.2154	0.9857	Se ajusta