



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA AMBIENTAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA AMBIENTAL

LETÍCIA GUARNIER

**DINÂMICA HIDROLÓGICA EM BACIA HIDROGRÁFICA DO SISTEMA ESTUARINO DA BAÍA DE
VITÓRIA: VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL PLUVIOMÉTRICA E EXTREMOS CLIMÁTICOS**

LETÍCIA GUARNIER

**DINÂMICA HIDROLÓGICA EM BACIA HIDROGRÁFICA DO SISTEMA ESTUARINO DA BAÍA DE
VITÓRIA: VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL PLUVIOMÉTRICA E EXTREMOS CLIMÁTICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Fonseca Barroso

VITÓRIA

2020

LETÍCIA GUARNIER

DINÂMICA HIDROLÓGICA EM BACIA HIDROGRÁFICA DO SISTEMA ESTUARINO DA BAÍA DE VITÓRIA: VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL PLUVIOMÉTRICA E EXTREMOS CLIMÁTICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia Ambiental.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Gilberto Fonseca Barroso – Orientador
Universidade Federal do Espírito Santo/UFES

Prof. Dra. Ana Teresa Macas Lima – Examinadora
Interna
Universidade Federal do Espírito Santo/UFES

Prof. Dra. Fabricia Benda de Oliveira – Examinador
Externo
Universidade Federal do Espírito Santo /UFES

AGRADECIMENTOS

Sou grata ao Loki, meu grande companheiro de jornadas e fonte de recuperação de energias, obrigada por permanecer comigo, sua existência sempre se manifestará em meu ser!

Aos meus pais, por compartilharem alegrias e tristezas, e por sempre acreditarem em mim, vocês são a minha mais profunda inspiração! Pai e mãe, vocês me proporcionam muita felicidade, vejo em vocês uma simplicidade terna e eterna, que guia as minhas ações.

Ao Hérverton, amor da minha vida, sou muito grata a você e a sua família! Obrigada, meu amor, por sempre me incentivar e me dar forças, pelos chocolates e flores multicoloridas, pelas deliciosas refeições e, principalmente, a todo amor e carinho que dispõem pra mim. Obrigada por ter o melhor abraço do mundo, canto no qual, quero sempre repousar!

Ao professor Gilberto Fonseca Barroso! Obrigada pela liberdade acadêmica e por ser um ótimo orientador e ser humano, sempre disposto a colaborar e compreender, além de incentivar nas pessoas suas melhores qualidades! Você me proporcionou outras perspectivas na pesquisa que farão a diferença na direção que seguirei.

As gurias do MarES: Cris, Luciane e Nathalia! É maravilhoso compartilhar um sonho com vocês, mulheres incríveis e inspiradoras, ainda iremos muito longe juntas semeando a Flor dos MarES em muitos corações!

Aos colegas do Limnolab, obrigada pelas contribuições científicas e pelos cafezinhos informais, conviver com vocês é muito agradável!

As professoras Fabricia Oliveira Benda e Ana Lima por aceitarem estar na banca.

A vasta literatura disponível que contribuiu de tantas formas para que eu desenvolvesse meu conhecimento e executasse meu projeto.

A CAPES pela disponibilização da bolsa de estudos.

A todos que contribuíram, direta e indiretamente, na execução desse trabalho, meus mais sinceros agradecimentos!

(...)

*E o céu salpica-me os olhos de estrelas
E nos pensamentos invade-me a emoção
Fecho os olhos e sinto a brisa fresca
E em meu peito expande a gratidão
Vem-me o cheiro úmido da floresta
As folhas rodopiam e estalam
As árvores rangem seus galhos
Os pensamentos também se sacodem
E nesse instante de desordem
Você me vem à mente
Chuva fina...
Paisagem verde...
Tempestade no horizonte...
E todas essas cenas que surgem em mim
Antes que um suspiro chegue ao fim
E traz as lembranças um gosto doce
Como o sereno da noite...
O orvalho da manhã...*

(Loki, in memoriam)

RESUMO

O fluxo hidrológico das bacias hidrográficas associa-se, além das características morfométricas locais, ao uso e cobertura da terra e as oscilações do clima. Essa complexa interação de fatores biogeoquímicos e atividades antrópicas pode alterar processos naturais de fluxo de materiais e gerar eventos de eutrofização, salinização, inundações entre outros impactos. As principais modificações hidrológicas nos ecossistemas fluviais relacionam-se a alterações de sazonalidade nas vazões e a eventos extremos, como secas e inundações, que podem ser analisados pelo viés de Índices de Alterações Hidrológicas (IHA - *Indicators of Hydrologic Alteration*) e Componentes Ecológicos da Vazão Fluvial (EFC - *Environment Flow Components*). A análise da pluviosidade através da espacialização multitemporal e da verificação de tendências permite obter a sua distribuição e padrões de ocorrência. Nesse sentido, o presente trabalho tem o objetivo de compreender o fluxo hidrológico da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória - BHSMV (1.799,6 km²) (ES), principal bacia tributária do Sistema Estuarino da Baía de Vitória. Para isso, realizou-se modelagem multitemporal da distribuição pluviométrica, utilizando o método geoestatístico de Krigagem Ordinária, e verificou a existência de tendências em índices de extremos climáticos, utilizando o *software* RClimdex, que resulta em 11 índices: RX1day (precipitação máxima em 1 dia), RX5day (precipitação máxima em 5 dias), SDII (Índice de intensidade diária simples), R10mm (dias com precipitação ≥ 10 mm), R20mm (dias com precipitação ≥ 20 mm), R50mm (dias com precipitação ≥ 50 mm), CDD (dias de seca consecutiva), CWD (dias chuvosos consecutivos), R95p (dias muito chuvosos), R99p (dias extremamente chuvosos) e PRCPTOP (total anual de precipitação dos dias de chuva). A análise das alterações do fluxo fluvial foi diagnosticada pela aplicação de 67 índices, através da utilização do *software* IHA, em comparação ao período antes e após a operação da PCH Rio Bonito, além da comparação em intervalos pré-determinados de aproximadamente 20 anos. A interpolação espacial da pluviosidade média mensal no período de 2004 a 2017, resultou em 168 análises de semivariogramas mensais, demonstrando elevada heterogeneidade na distribuição das chuvas, em que a seção superior da bacia é a mais afetada pela escassez hídrica dos últimos anos (a partir de 2014) e o maior volume de produção de água ocorre na seção média da bacia, devido ao efeito orográfico. A análise da anisotropia, através do semivariograma, revela a direção preferencial da pluviosidade, sendo NW nos meses chuvosos e SW e S em meses secos. A verificação de tendência nos índices de extremos climáticos nas séries históricas demonstra maiores

tendências nos índices R95p, R99p e R5day, sugerindo tendência a maiores quantidades de chuva em menores intervalos de tempo, principalmente acometendo a região metropolitana da BHSMV. Os índices IHA aplicados ao período antes e após a operação da PCH Rio Bonito revelam modificações no fluxo fluvial, alterando a vazão mensal entre -10 a 26%, resultando na redução da vazão fluvial, principalmente nos meses mais secos, que correspondem aos períodos de fluxo de base. Verifica-se, de forma geral, que os índices relacionados aos fluxos fluviais mínimos reduziram entre os intervalos ao longo da série histórica, enquanto que os índices que representam os parâmetros de máxima vazão aumentaram, demonstrando tendência a vazões mais extremas nas últimas décadas. Os parâmetros do EFC revelam que a partir da década de 90 os pulsos de vazão alta tornam-se mais esparsos, associados ao incremento de fluxos extremamente baixos. Além disso, a partir de 2014 pequenas cheias tornam-se ausentes na maior parte desse período, o que afeta ecossistemas associados a seção inferior da bacia, como as áreas inundáveis, estuários e manguezais, causando impactos a organismos aquáticos, sobretudo estuarinos com efeitos sobre suas funções ecológicas, tais como reprodução, alimentação, refúgio e migração. Os resultados encontrados acentuam a importância de se investigar o comportamento dos fluxos hidrológicos e as tendências e distribuições pluviométricas, identificação hotspots prioritários ao planejamento dos recursos hídricos e a implementação de medidas de gestão mais efetivas.

ABSTRACT

The hydrological flow of the river basins is associated, to the basins morphometric characteristics, land use and land cover and climate oscillations. This complex interaction of biogeochemical factors and anthropogenic activities can change natural material flows and lead eutrophication, salinization, floods and other impacts. The main hydrological changes in river ecosystems are related to changes in flows seasonality and extreme events, such as droughts and floods, which can be analyzed through the Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) and Ecological Flow Components (EFC). The analysis of rainfall through multitemporal distribution and the evaluations of trends rainfall distribution and patterns of occurrence. In this sense, the present work aims to understand the hydrological flow of the Santa Maria da Vitória river basin - BHSMV (1,799.6 km²) (ES), the main tributary basin of the Vitória Bay Estuarine System - VBES. For this, multitemporal modeling of the rainfall distribution was characterized, using the Ordinary Kriging geostatistical method. Trends of extreme weather with 11 indices, using the RCLindex software, which results in 11 indices: RX1day (max. 1 day precipitation), RX5day (max. 5 day precipitation), SDII (Simple daily intensity index), R10mm (days with precipitation ≥ 10 mm), R20mm (days with precipitation ≥ 20 mm), R50mm (days with precipitation ≥ 50 mm), CDD (consecutive dry days), CWD (consecutive wet days), R95p (very wet days), R99p (extremely wet days) and PRCPTOP (annual total wet-day precipitation). The analysis of changes in the river flow was characterized with the application of 67 indexes, using the IHA software, compared to the period before and after the operation of the PCH Rio Bonito, in addition to the comparison at predetermined intervals of approximately 20 years. The spatial interpolation of the average monthly rainfall in the period from 2004 to 2017, resulted in 168 analyzes of monthly semivariograms, demonstrating a high heterogeneity in the distribution of rainfall, in which the upper section of the basin is the most affected by the water scarcity in recent years (from 2014) with the largest rainfall occurring in the middle section of the basin due to orographic effects. Anisotropic analysis using the semivariogram reveals the preferred direction of rainfall, with NW in the rainy months and SW and S in dry months. The tendency of climatic extremes of the historical series demonstrates higher values in the R95p, R99p and R5day indices, indicating a tendency for higher values of rain in shorter time intervals, mainly affecting the metropolitan region of the BHSMV. The IHA indicators applied to the period before and after the operation of the Rio Bonito reservoir show -10 to 26% changes of monthly flows with a decreases mainly in the dry months, which correspond

to the base flow periods. It has been found that the indicators related to the minimum river flows decreased between the intervals along the historical series, while the indices that represent the maximum flow increased, showing a tendency towards higher extreme flows in the last decades. The parameters of the OBE reveal that from the 90s onwards, high flow pulses become more sparse, associated with the increase of extremely low flows. In addition, from 2014 small floods are absent, which affects ecosystems associated in the lower basin section, such as floodplain, estuaries and mangroves. As a consequence, impacts on aquatic organisms, especially eestuarine species, may impair ecological functions, such as reproduction, feeding, refuge and migration. These results emphasize the importance of analyzing the behavior of rainfall trends and distributions and hydrological flows, identifying priority hotspots for water resources planning and implementation of more effective management measures.

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Alterações ecológicas relacionadas as modificações do regime de vazões fluviais.	22
Tabela 2: Classes de declividade	30
Tabela 3: Características altimétricas e áreas correspondentes das seções A, B e C.	31
Tabela 4: Unidades geomorfológicas encontradas na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória.	32
Tabela 5: Classes pedológicas presentes na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória.	33
Tabela 6: Classes climáticas encontradas na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória (Classificação Köppen).	35
Tabela 7: Uso e Cobertura da terra da subbacia hidrográfica do rio Santa Maria de Vitória..	38
Tabela 8: Classificação do balanço hídrico adotada pela Agência Nacional das Águas.	41
Tabela 9: Parâmetros da validação cruzada.	47
Tabela 10: Índices de precipitação recomendados pelo ETCCDI e aplicados no presente estudo.	49
Tabela 11: Parâmetros desenvolvidos pelo IHA.	51
Tabela 12: Análise estatística descritiva das médias mensais de pluviosidade dos anos de 2014 a 2017.	54
Tabela 13: Média do Erro Quadrático Médio (EQM) a partir de diferentes interpoladores para o ano de 2010. (SPL = Spline; KRIG = krigagem; IDW = Inverso do Quadrado da Distância). ..	55
Tabela 14: Estatística descritiva da pluviosidade para as médias mensais (mínimo, máximo, média e o desvio padrão – DV) para o período entre 2004 a 2017 para a bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, obtida através da interpolação pelo método de krigagem.	58
Tabela 15: Estatística descritiva da pluviosidade anual (mínimo, máximo, total e o desvio padrão) para o período entre os anos de 2004 a 2017 da pluviosidade (mm) para a bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, obtida através da interpolação pelo método de krigagem.	59
Tabela 16: Correlação de Pearson obtidas para as médias de vazão da estação fluviométrica PCH Rio Bonito Montante com as médias de precipitação da respectiva bacia no intervalo de 2004 a 2014.	67

Tabela 17: Correlação de Pearson obtidas para as médias de vazão da estação fluviométrica Santa Leopoldina com as médias de precipitação da respectiva bacia no intervalo de 2004 a 2017	68
Tabela 18: Quantidade de água registrada na estação fluviométrica Santa Leopoldina anualmente por hectare.....	69
Tabela 19: Estatística descritiva para os intervalos avaliados no IHC na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória e para todo o período da série histórica (1950 – 2018).	83
Tabela 20: Indicadores de mudanças hidrológicas (IHC) para o fluxo da drenagem a jusante das barragens PCH Rio Bonito e PCH Cachoeira Suíça.....	85
Tabela 21: Indicadores de mudanças hidrológicas (IHC) dos valores médio, mínimo e máximo para o fluxo da drenagem a jusante das barragens PCH Rio Bonito e PCH Cachoeira Suíça, inseridas na porção média da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, obtida para a estação fluviométrica Santa Leopoldina (código: 57130000).	87
Tabela 22: Indicadores de mudanças hidrológicas (IHC) o fluxo fluvial obtida para a estação fluviométrica Santa Leopoldina (código: 57130000), inserida na porção média da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, para os intervalos de 1950 – 1958, 1959 – 1979, 1980 – 1999, 2000-2018 (valores em negrito indicam índices significativos $p < 0,05$ – ANEXO A).	89
Tabela 23: Vazões mínimas para os intervalos de 1950-1958, 1959-1979, 1980-1999, 2000-2018, obtidos para a estação fluviométrica Santa Leopoldina: valores em negrito indicam índices significativos $p < 0,05$ (ANEXO A).	96
Tabela 24: Componentes de vazão ecológica (EFC) para os intervalos de 1950-1958, 1959-1979, 1980-1999 e 2000-2018, obtidos para a estação fluviométrica Santa Leopoldina (valores em negrito indicam índices significativos $p < 0,05$ – ANEXO A).	97

LISTA DE FIGURA

Figura 1: diagrama esquemático dos diferentes efeitos dos fluxos fluviais nos estuários (ALBER 2002).....	18
Figura 2: Fluxograma das etapas para o desenvolvimento da análise hidrológica na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória.	26
Figura 3: (A) Bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória e classes de altimetria; (B) estações pluviométricas utilizadas.	27
Figura 4: Modelo Digital de Elevação na área de estudo, apresentando as seções A B e C.	28
Figura 5: Litotipos encontrados na Bacia Hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória. Escala 1:400 000. Fonte: Vieira et al. 2018.	29
Figura 6: Distribuição de classes de declividade observadas na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória.	30
Figura 7: Unidades geomorfológicas observadas na área de estudo. (Fonte: IJSN, 2012).	31
Figura 8: Mapa das classes de solo da área de estudo (Fonte: Cunha et al. 2016).	33
Figura 9: Tipos de clima encontrados na Bacia Hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória segundo a Classificação Koppen. (Adaptado de Álvares et al. 2013).....	35
Figura 10: Hidrografia da BHSMV obtida a partir do Modelo Digital de Elevação, mostrando a localização dos principais reservatórios.	36
Figura 11: Uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória para o ano 2012-2015.....	38
Figura 12: Demanda hídrica total apresentada para a BHSMV (Fonte: ANA, 2019).....	40
Figura 13: Balanço hídrico quantitativo na BHSMV (Fonte: ANA, 2019).	41
Figura 14: <i>Layout</i> da ferramenta <i>Geostatistical Wizard</i> mostrando os parâmetros para ajustes do modelo teórico aos dados através da análise do semivariograma.....	46
Figura 15: Interface do <i>software</i> IHA apresentando os parâmetros calibrados em relação aos Componentes da Vazão Ecológica.....	53
Figura 16: Interface do módulo geoestatístico do <i>software</i> ArcGIS 10.6 de ajustes dos parâmetros do semivariograma, representando em (A) mês chuvoso e em (B) mês seco.	56
Figura 17: Boxplots da pluviosidade e erro médio quadrado(RMS) associado par a bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória para as predições da quantidade de chuva interpoladas através do método de krigagem e os erros (RMS) associados a este processo, realizadas para os anos entre 2004 a 2017: (A) pluviosidade média mensal; (B) RMS médio	

(raiz do erro médio ao quadrado) mensal; (C) pluviosidade média mensal por ano e; (D) RMS médio anual.	57
Figura 18: Direções preferenciais da pluviosidade média mensal e anual na região central do Espírito Santo para o período de 2004 a 2017 a partir da análise do semivariograma: (A) janeiro; (B) fevereiro; (C) março; (D) abril; (E) maio; (F) junho; (G) julho (H) agosto; (I) setembro; (J) outubro; (K) novembro; (L) dezembro e; (M) anual.	61
Figura 19: Pluviosidade média na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória para o período de 2004 a 2017. (A) janeiro; (B) fevereiro; (C) março; (D) abril; (E) maio (F) junho (G) julho (H) agosto (I) setembro (J) outubro; (K) novembro e; (L) dezembro.	64
Figura 20: Plusiosidade média anual na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória no período de 2004 a 2017.	65
Figura 21: Correlação entre a vazão fluvial e a precipitação nas bacias geradas a partir do ponto de localização dos respectivos pontos para o período de 2004 a 2017. (Obs. A estação PCH Rio Bonito não apresenta a média de vazão para o mês de dezembro de 2013, período de alta intensidade de chuvas).	66
Figura 22: Relação no intervalo de 2004 a 2017 para as vazões médias mensais registradas nas estações fluviométricas PCH Rio Bonito Montante e Santa Leopoldina.	69
Figura 23: Interpolação das tendências dos índices de pluviosidade na Bacia Hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória obtidos no RClindex para o período de 1970-2017: (A): CDD – dias de seca consecutivos; (B): CWD – dias de chuva consecutivos; (C): RX1day – quantidade máxima de precipitação em um dia; (D): RX5day – quantidade máxima de pluviosidade em cinco dias; (E), (F) e (G): RX10mm, RX20mm e RX50mm – número de dias no ano com pluviosidade superior a Xmm/dia; (H): R95p – dias muito chuvosos (total anual superior ao percentil 95); (I): R99p – dias extremamente chuvosos (total anual superior ao percentil 99); (J): SDII – índice simples de intensidade diária de pluviosidade; (K): PCRPTOP – Total anual de pluviosidade.	72
Figura 24: Sistema Estuarino da Baía de Vitória e áreas adjacentes em 26 de dezembro de 2013. Fonte: Google Earth.	77
Figura 25: Tendências dos índices climáticos na estação pluviométrica Cachoeira Suíça: (A) PRCPTOP; (B) CDD; (C) CWD; (D) R10mm; (E) R50mm; (F) SDII; (G) R95p e; (H) R99p.	79
Figura 26: Histogramas mostrando a distribuição dos dados de vazão fluvial nos períodos considerados na avaliação dos índices de alterações hidrológicas na estação fluviométrica	

inserida na porção média da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória (código: 57130000).....	82
Figura 27: Vazão fluvial média: (A) antes e após implementação da PCH Rio Bonito; (B) intervalos de 1950 – 1958, 1959 – 1979, 1980 – 1999, 2000 – 2018, na estação Santa Leopoldina (código 57130000), inserida na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória.	84
Figura 28: Taxa da variação hidrológica para as vazões mediana, mínima e máxima na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, antes e após a construção da barragem PCH Rio Bonito.	90
Figura 29: Taxa de alterações hidrológicas para os parâmetros do Grupo 2 relacionados aos dias de vazão (A) mediana, (B) mínima e (C) máxima de 1, 3, 7, 30 e 90 dias na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória comparando o período antes e após a implementação da PCH Rio Bonito em 1959.	91
Figura 30: Componentes do fluxo ecológico no período de 1950 a 2018 verificadas na porção média da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória para a estação fluviométrica Santa Leopoldina (código: 57130000).....	98

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO HIDROLÓGICO	17
1.2 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E GEOESTATÍSTICA APLICADOS A INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS.....	19
1.3 ÍNDICES CLIMÁTICOS E HIDROLÓGICOS	21
2 OBJETIVOS	25
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	26
3.1.1 Características Gerais e Localização	26
3.1.2 Caracterização do meio físico.....	27
3.1.3 Desenvolvimento Econômico e Social.....	37
3.2 BASE DE DADOS	42
3.2.1 Pluviosidade.....	42
3.2.2 Vazão fluvial.....	42
3.2.3 Análise Exploratória dos Dados	43
3.3 MODELOS ESPAÇO-TEMPORAIS DA PLUVIOSIDADE	43
3.3.1 Interpolação.....	43
3.3.2 Correlação da Pluviosidade média e Vazão fluvial	48
3.4 ÍNDICES CLIMÁTICOS E HIDROLÓGICOS	48
3.4.1 Índices de Extremos Climáticos	48
3.4.2 Índices de Alterações Hidrológicas.....	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1 VARIABILIDADE ESPAÇO TEMPORAL DA PLUVIOSIDADE	54
4.1.1 Análise exploratória dos dados	54
4.1.2 Comparação de interpoladores.....	55

4.1.3 Krigagem	55
4.1.4 Correlações Pluviosidade e Vazão	66
4.2 ÍNDICES CLIMÁTICOS	70
4.2.1 ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS	70
4.2.2 ÍNDICES DE ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS	81
5 CONCLUSÕES	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105

1 INTRODUÇÃO

1.1 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO HIDROLÓGICO

A bacia hidrográfica é uma unidade fisiográfica que atua como produtora e retentora de água e sedimentos, sendo limitada por divisores de água ou divisores topográficos, que separam a drenagem da precipitação pluviométrica aportada entre as bacias adjacentes (LUNDIN 2007). A pluviosidade em uma bacia hidrográfica é drenada por uma rede fluvial que, em geral, possui convergência para um único ponto de saída, denominado de exutório (TUCCI & MENDES 2006; TEODORO et al. 2007).

As bacias hidrográficas costeiras podem estar sujeitas a modificações e expansões do uso de suas terras relacionadas ao contínuo crescimento populacional e desenvolvimento socioeconômico dessas regiões e, conseqüentemente, na deterioração dos recursos naturais presentes nessas áreas, o que pode impactar de forma significativa importantes unidades da paisagem (FRIZERA 1998; MAANAN et al. 2014).

Quando se considera a bacia hidrográfica como um sistema geomorfológico e hidrográfico aberto e, assim, em estado de equilíbrio dinâmico, as mudanças relacionadas ao uso e manejo do solo podem gerar impactos relevantes no fluxo de escoamento (LIMA & ZAKIA 2000; GERGEL et al. 2005).

Apesar dos diversos impactos causados pela alteração do meio ambiente atualmente, o bem-estar humano depende da exploração dos recursos naturais. Entretanto, a degradação de paisagens naturais, através do desenvolvimento de atividades antrópicas, pode ser evitada ou minimizada, quando há o conhecimento da natureza da interação existente entre unidades de paisagens natural e antrópica (CREPANI et al. 2001; WENS 2002).

Nesse sentido, a aplicação de práticas ambientalmente sustentáveis nas bacias hidrográficas tem como princípios a melhoria da qualidade da água, o restabelecimento de habitats e das funções do ecossistema aquático, o auxílio na recuperação de espécies biológicas ameaçadas de extinção e a manutenção da provisão de serviços ecossistêmicos (AYRES et al. 2015).

A implementação da gestão baseada em práticas sustentáveis é efetiva quando há a integração de elementos cruciais que permitam a compreensão da dinâmica dos recursos

naturais, utilizem tecnologia que reduzam custos e envolvam a participação de diferentes esferas sociais das partes interessadas, necessárias ao gerenciamento de bacias hidrográficas, onde estas representam unidades de estudo multidisciplinar (ERDOGAN, 2013; MITCHELL et al. 2012).

Entretanto verifica-se que mesmo quando há investimento científico na compreensão dos processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica, estas informações podem não ser utilizadas na elaboração de diretrizes de projetos de gerenciamento dos recursos hídricos, mas apenas como suporte de credibilidade científica (HAMEL et al. 2020).

A abordagem do gerenciamento de bacias hidrográficas costeiras, suportado por informações sobre a dinâmica dos fluxos de água no contínuo flúvio-estuarino, visa a proteção dos seus recursos e funções ecossistêmicas, com a implementação de modelos baseados em informações que proporcionem a compreensão dos eventos que ocorrem a montante e que influenciam os fluxos na bacia (ALBER 2002) (Figura 1).

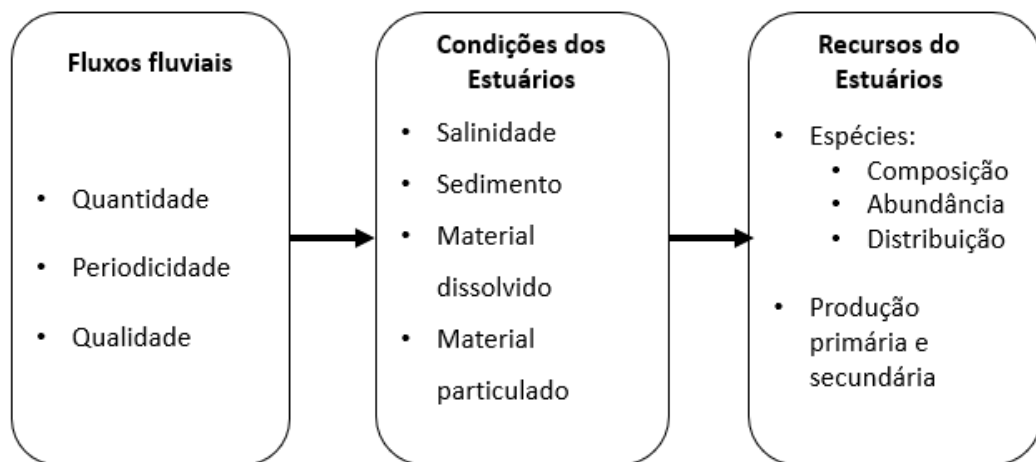


Figura 1: diagrama esquemático dos diferentes efeitos dos fluxos fluviais nos estuários (ALBER 2002).

A manutenção da qualidade do estuário, adotando uma abordagem de controle das condições de fluxo fluvial, pode ser facilitada pelas convenções geopolíticas que as bacias hidrográficas dispõem, funcionando como unidades de gestão através de uma série de condições e políticas públicas. Dentre estas, incluem a outorga do direito de uso da água, operações em reservatórios, modificações nos cursos da drenagem e na paisagem, controle de processos dinâmicos no sistema fluvial, entre outros fatores, que quando submetidos ao gerenciamento

hídrico embasado na compreensão da dinâmica da paisagem garante a funcionabilidade ecológica dos estuários, contribuindo para a preservação destes (ALBER 2002).

1.2 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E GEOESTATÍSTICA APLICADOS A INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS

A aplicação de geotecnologias representam importantes ferramentas de coleta, análise e visualização de informações georreferenciadas (BACANI, 2007; ROCHA, 2000; PAPASTERGIADOU et al. 2007), pois a realidade pode ser considerada como um sistema, quando se aplica a esta a modelagem cartográfica, devido à complexidade envolvida, organizando espacialmente os elementos que constituem uma paisagem, segundo a sua variabilidade, dinâmica e a distribuição territorial das classes de fenômenos significativos (SILVA, 2008).

Um excelente recurso que integra múltiplas fontes e diferentes temas para análise e consulta ao banco de dados de atributos espaciais corresponde ao Sistema de Informações Geográficas (SIG), que tem a capacidade de manipular dados cartográficos e descritivos como uma das suas principais características, consistindo num conjunto de ferramentas computacionais aplicadas ao geoprocessamento e auxiliando na realização de análises complexas, através da criação de um banco de dados georreferenciados (CÂMARA, MEDEIROS, 1998; RAMME, 2008).

A pluviosidade é o componente do ciclo hidrológico responsável pelo suprimento de água na bacia hidrográfica e caracterizar esse fenômeno é essencial aos processos de modelagem ambiental que envolvam previsões hidrográficas. O mapeamento da continuidade espacial da precipitação é um processo relevante que envolve, geralmente, métodos de interpolação espacial, destacando-se as técnicas geoestatísticas na espacialização de variáveis climáticas. A representatividade da interpolação dos fenômenos mapeados depende da procedência das informações pluviométricas e das técnicas de interpolação aplicadas.

Uma ferramenta de suporte a compreensão da dinâmica da pluviosidade corresponde ao Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que realiza o mapeamento da continuidade espacial da pluviosidade aplicando métodos de interpolação espacial, destacando-se as técnicas geoestatísticas na espacialização de variáveis climáticas, em que a representatividade da interpolação dos fenômenos mapeados depende da procedência das

informações e das técnicas aplicadas (GOOVAERTS, 1999; MIR et al. 2017; PASSARELA et al. 2020).

Entre as vantagens de se executar a análise hidrológica por método geoestatístico incluem o baixo custo empregado e a confiabilidade na interpolação dos dados, apresentando melhor eficácia e menores erros associados a predição das variáveis climáticas em relação a outros métodos de interpolação espacial, sendo um método muito aplicado para esta finalidade (NOORI, et al. 2014; MENDEZ, CALVO-VALVERDE, 2016; OZTURK, KILIC, 2016).

Além disso, a estruturação dos dados por meio de semivariograma experimental permite melhor eficiência quanto a espacialização destes, empregando a análise da dependência espacial entre as informações e, otimizando, assim, o processo de estimativa da variável estudada, podendo, inclusive, ajustar possíveis direções de tendências na predição do fenômeno regionalizado (HOLAWA, DUTTER, 1999).

A utilização de métodos geoestatísticos é aplicada para analisar padrões pluviométricos em diferentes escalas e configurações amostrais (DURAO et al. 2010; GOOVAERTS 2000; HABERLANDT 2007; LY et al. 2013; LYRA et al. 2018). Entretanto, a compreensão da distribuição e frequência da precipitação é uma tarefa complexa, pois esta variável climática apresenta demasiada variabilidade espaço-temporal intra e interanual (CHEN et al. 2020). Entretanto, identificar o padrão da distribuição e intensidade da pluviosidade apresenta-se como um fator crucial para desenvolver estratégias de gerenciamento dos recursos hídricos, pois esta é a variável mais importante do ciclo hidrológico (TEEGAVARAPU, 2019).

A crescente demanda por água, impulsionada pelo crescimento populacional e desenvolvimento econômico, torna urgente a necessidade de avaliação dos recursos hídricos e a tendência da distribuição espacial destes para subsidiar a gestão efetiva dos recursos hídricos (SHAMIR, et al. 2015; JEPSON et al, 2017). A perspectiva diante de cenários de seca, que acometeu diversas regiões do sudeste brasileiro nos últimos anos e que traz enormes prejuízos a economia, motiva estudos hidrológico que empreguem a espacialização da pluviosidade para a identificação de áreas de risco, tanto para compreender a distribuição de áreas de escassez hídrica quanto para locais com frequentes inundações (GUZMÁN et al. 2017; HABERLANDT, 2007).

1.3 ÍNDICES CLIMÁTICOS E HIDROLÓGICOS

O regime hidrológico dos rios é fundamental na determinação da estrutura, composição e funções da biota nas bacias hidrográficas e áreas estuarinas (BIGGS et al. 2005). Entretanto, alterações antrópicas contribuíram para a fragmentação do fluxo fluvial em escala global, comprometendo os serviços ecossistêmicos que os rios proporcionam (GRILL et al. 2019). A degradação desses sistemas é, ainda, acentuada pelas mudanças climáticas, que favorecem a imprevisibilidade de eventos naturais.

As mudanças climáticas são um fenômeno em escala global com impactos em diversas magnitudes sobre os ecossistemas naturais, alterando ciclos meteorológicos e ocasionando amplos impactos as sociedades contemporâneas que têm ampliado seus esforços na compreensão da dinâmica climática (DORE, 2005; SWANEY, et al. 2012). Entretanto, verificam-se alterações climáticas sem relação direta com alterações globais, resultantes de vários fatores em escalas locais a regionais, muitas vezes relacionadas a mudanças no uso e cobertura da terra, que causam maiores frequências e intensidades nos eventos de extremos climáticos, resultando em impactos sócio-ambientais e econômicos (ROLAND et al. 2012; PAN et al. 2015; ZHAO et al. 2018; GOGOI et al. 2019).

As principais modificações hidrológicas nos ecossistemas fluviais relacionam-se a alterações de sazonalidade nas vazões (DOLL et al. 2009) e a eventos extremos, como secas e cheias, tais mudanças afetam a estrutura dos habitats fluviais e, conseqüentemente, os organismos inseridos nestes ambientes, podendo ocasionar intensas modificações nas condições físico-químicas dos estuários (BIGGS et al. 2005) e nos ecossistemas associados (Tabela 1).

A redução no regime de vazões atua favorecendo maior intrusão salina e tempo de residência do estuário e menor capacidade de transportar sedimentos e material dissolvido, por outro lado, o aumento no fluxo fluvial pode contribuir em maior aporte de nutrientes, deslocamento da zona estuarina e alterações na circulação e estratificação da coluna d'água (OLSEN et al. 2007).

Nesse sentido, métodos que analisem as condições hidrológicas fornecem avaliações que podem contribuir na compreensão da variabilidade dos fluxos fluviais ao longo do tempo e

proporcionar suporte ao gerenciamento dos recursos hídricos, verificando e quantificando as práticas antrópicas que alterem as vazões dos rios.

Tabela 1: Alterações ecológicas relacionadas as modificações do regime de vazões fluviais.

Vazões mínimas	Vazões altas	Cheias
<ul style="list-style-type: none"> • Concentram presas em áreas limitadas e favorece predação; • Reduzem ou eliminam espécies exóticas; • Suficientes para manter qualidade ecológica fluvial; • Não inundam áreas de reprodução em bancos de areias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Selecionam o sedimento transportado; • Eliminam espécies botânicas no leito marginal; • Revitalizam corpos d'água (braços de rios, lagos marginais, estuários). 	<ul style="list-style-type: none"> • Alteram feições morfológica fluviais; • Inundam planícies e transportam materias; • Inundam e geram lagos marginais; • Indicam períodos biológicos (migração, reprodução, etc); • Eliminam ou reduzem espécies exóticas; • Realiza controle biológico nas margens fluviais; • Transportam sementes na planície.

Fonte: POFF, et al. 1997 e WOLANSKI & ELLIOTT, 2016.

A compreensão de fenômenos climáticos depende do estabelecimento de padronizações de índices que permitam a análise e a comparação dos dados climáticos. Uma das abordagens muito utilizadas para determinar mudanças na série histórica no registro de fluxos fluviais consiste no emprego de Indicadores de Alterações Hidrológicas (IHA), que vem sendo aplicada para verificar mudanças nos fluxos fluviais de bacias hidrográficas sob efeito de diferentes impactos ambientais, proporcionando a comparação, por meio de análises da variabilidade nos dados ao longo da série histórica, das condições dos fluxos fluviais antes e após impactos, através da aplicação de 67 parâmetros (GEBREMICAEL et al. 2019; MATHEWS & RICHTER, 2007; PEÑAS & BARQUÍN, 2019; VASCO et al. 2019).

O IHA também fornece a utilização de parâmetros ecológicos, através de uma série de indicadores hidrológicos denominados Componentes de vazão ecológica (EFC – Environmental Flow Components) que contribuem para tornar a análise do IHA mais robusta,

representando relações fundamentais entre fluxos e funções ecológicas que os rios desempenham (MATHEWS & RICHTER, 2007).

Além disso, estudos que enfatizam a variabilidade espaço temporal dos padrões pluviométricos, através da compreensão da distribuição e da frequência da pluviosidade, paralelamente as análises de vazões fluviais, fornecem amplo suporte ao desenvolvimento sustentável e gerenciamento de riscos hidrológicos (BADR, ZAITCHIK, 2014; HARTMANN, et al. 2016; VOGEL, 2017; QIN et al. 2019). Alterações nos padrões de precipitação ocasionam significativos impactos na economia e na qualidade de vida, prejudicando a produção de energia, o abastecimento de água e as condições adequadas para a produção agrícola, entre outros danos, comprometendo a segurança hídrica (GOHAR, CASHMAN, 2016; SU et al. 2019).

Ambientes naturais de elevada importância ecológica também são afetados pelas alterações nas frequências e intensidades das chuvas, podendo ocasionar impactos ambientais como a salinização das águas dos estuários e de águas subterrâneas, alterações na dinâmica dos nutrientes e impactos nas águas costeiras, o que resulta na degradação de locais de refúgio, reprodução e abrigo da biota aquática e na manutenção da biodiversidade (ATRILL, POWER, 2000; ALBER, 2002; LOVELOCK et al. 2009; DAI et al. 2006; YIN et al. 2014; CORBARI et al.; 2016; COSTA et al. 2018; LUND-HANSEN, 2018).

Nesse sentido, a OMM (Organização Mundial de Meteorologia), através da criação de um grupo de especialistas nessa área, identificou um conjunto de 27 índices de extremos climáticos e disponibilizou um software livre, RClimdex, para cálculos dos índices e o fornecimento das tendências climáticas (ZHANG, YANG, 2004).

O conhecimento da vulnerabilidade e os potenciais impactos que possíveis alterações climáticas possam causar nos recursos hídricos é uma ferramenta estratégica que torna mais efetiva políticas públicas (GUNDA et al. 2019). A gestão dos recursos hídricos embasados na compreensão da variabilidade pluviométrica otimiza planejamentos frente a cenários de escassez hídrica e alterações de padrões pluviométricos, desenvolvendo medidas mitigatórias e de prevenção mais eficazes através da análise da variabilidade climática e da compreensão de suas tendências e padrões ao longo da história (LIMA et al. 2018; ANDREU et al. 2019; SHIKANGALAH, MAPANI, 2019; YANG et al. 2019; VERA et al. 2020).

Compreender como fatores naturais e antrópicos influenciam na produção de água e, consequentemente, induzem processos de fluxo de materiais que ocasionam alterações como eutrofização, salinização, inundações entre outros impactos, torna-se fundamental para desenvolver ações visando a melhoria da qualidade da água dos ecossistemas aquáticos nas bacias hidrográficas e sistemas estuarinos à jusante (ALBER 2002; OLSEN et al. 2007; GRANIT et al. 2017).

Além disso, a identificação de áreas prioritárias para intervenções torna possível concentrar esforços e investimentos e reduzir gastos com ações de conservação. A realização de estudos dessa natureza aplicado a bacia de drenagem do Sistema Estuarino da Baía de Vitória (ES) tem importância quando se considera a intensificação das pressões dos indutores antrópicos, agentes de modificação dos fluxos naturais na paisagem, motivando a necessidade de conhecimentos de metodologias viáveis relacionadas a interação dos diferentes usos da terra com a produção de água.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Analisar a dinâmica hidrológica em uma bacia hidrográfica costeira, enfatizando a variabilidade espaço-temporal pluviométrica e hidrológica, relacionando-os com a produção de água para o sistema estuarino.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a variabilidade espaço-temporal da pluviosidade mensal utilizando interpolação geoestatística.
- Avaliar as tendências relacionadas a pluviosidade através de índices de extremo climático usando o *software* RClindex.
- Avaliar a relação entre a pluviosidade e a vazão fluvial na bacia hidrográfica.
- Discutir a variabilidade dos fluxos hidrológicos fluviais em relação a integridade do sistema estuarino.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente projeto de pesquisa prevê a análise hidrológica na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória (BHSMV), abordando a produção de água para o estuário. Para isso, são previstas 3 etapas: análise da variabilidade espaço-temporal da pluviosidade; aplicação de índices climáticos de alterações hidrológicas e de extremos climáticos e; análise dos fluxos hidrológicos. No fluxograma da Figura 2 são apresentadas as etapas metodológicas principais.

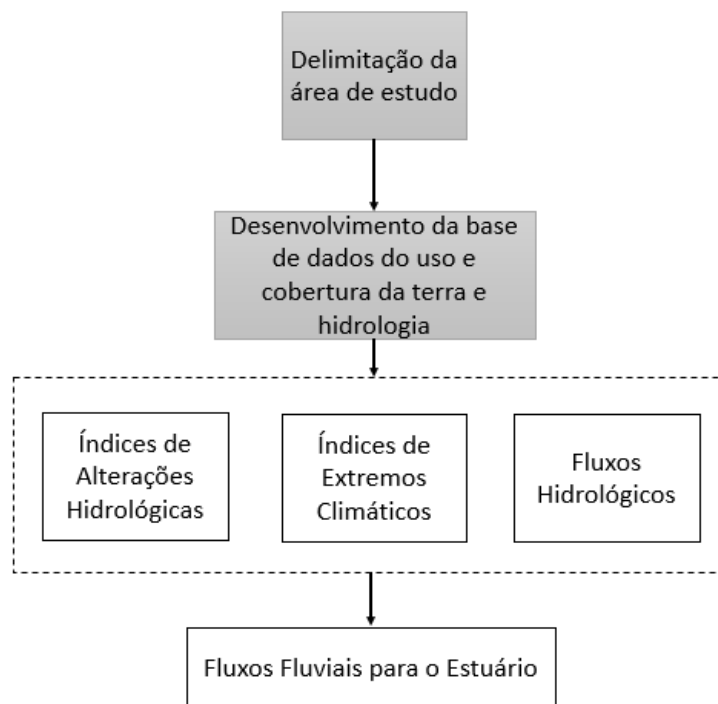


Figura 2: Fluxograma das etapas para o desenvolvimento da análise hidrológica na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Características Gerais e Localização

O Sistema Estuarino da Baía de Vitória (SEBV) possui área de 42,9 km², onde 57,9% corresponde ao ecossistema manguezal (24,8 km²), identificam-se 10 bacias tributárias para este sistema, compondo uma área total de 1925 km², em que a bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória (BHSMV) constitui no maior contribuinte (1563,3 km²) (TEUBNER et al. 2018).

Entretanto, o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória (CBH Santa Maria da Vitória) inclui como integrada a esta bacia sete, das dez bacias tributárias do SEBV, consistindo nas bacias dos rios Santa Maria, Canal da Passagem Norte, Canal da Passagem Sul, Mestre Álvaro, Bubu, Itangua e São Pedro-Santo Antônio, além do bairro Jardim Camburi, de Vitória. Assim, para atender a abordagem política adotada pela gestão da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória (BHSMV), preferiu-se utilizar as delimitações do definidas pela CBH Santa Maria da Vitória, que compreende uma área de 1799,6 km² e consiste numa Unidade de Planejamento Hídrico (UPH). (Figura 3).

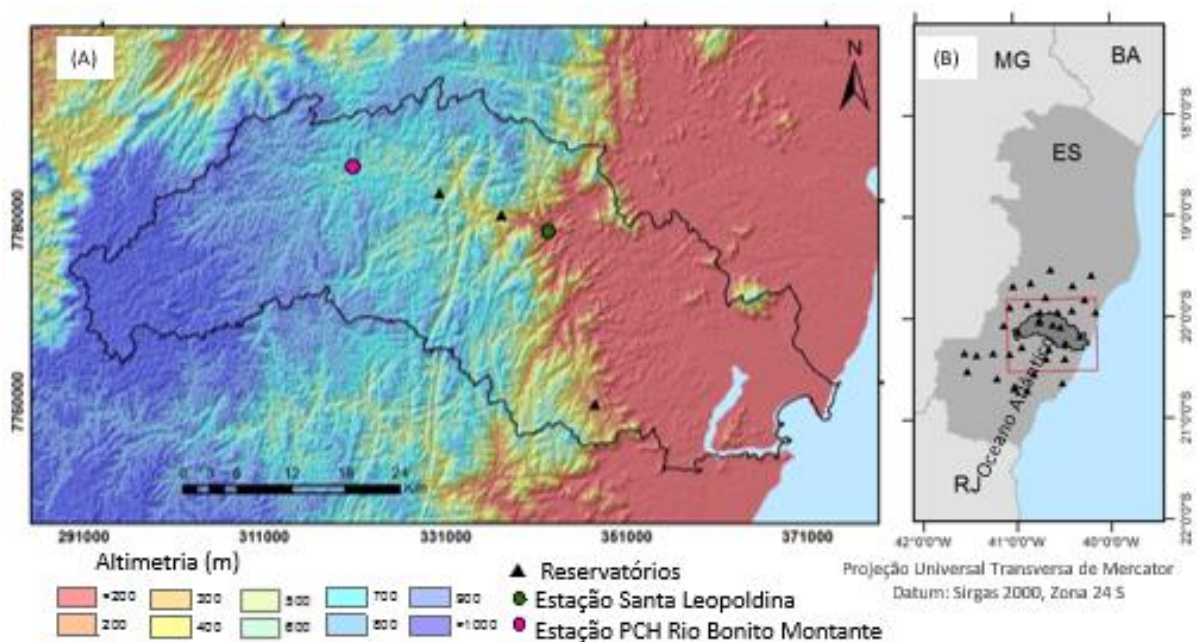


Figura 3: (A) Bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória e classes de altimetria; (B) estações pluviométricas utilizadas.

3.1.2 Caracterização do meio físico

3.1.2.1 Altimetria e Geologia

A BHSMV apresenta-se com acentuada variação altimétrica, variando do nível do mar nas planícies costeiras de idade Quarternária, até 1421 m, apresentando média altimétrica de 553,9 m. Devido a ampla variação altimétrica e visando a organização argumentativa dos dados, a BHSMV foi dividida em três compartimentos. A seção A, na seção superior, corresponde até a curva de nível de 900 m. A seção B, na seção média da bacia, prossegue até

a curva de nível de 100, região em que ocorre abruptas alterações altimétricas. A seção C representa a seção inferior da bacia (Figura 4).

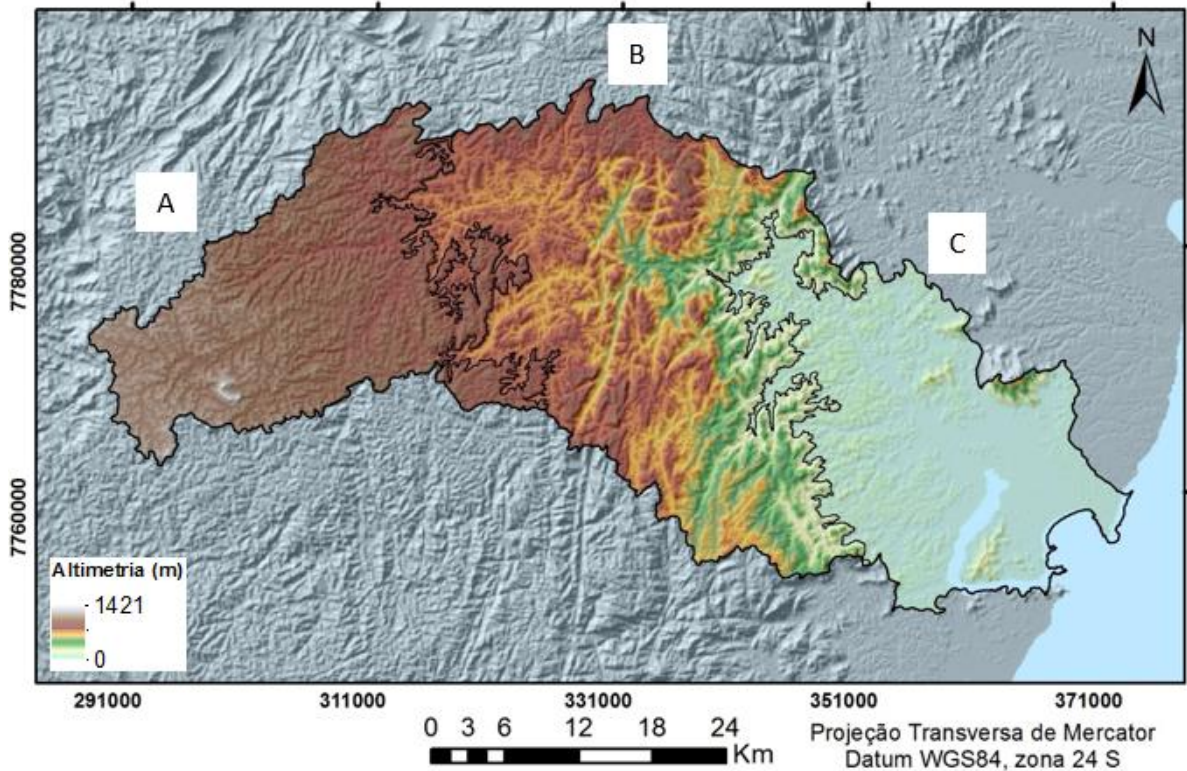


Figura 4: Modelo Digital de Elevação na área de estudo, apresentando as seções A B e C.

As regiões mais elevadas da BSMV correspondem as rochas da unidade Complexo Nova Venécia, classificadas como biotita-gnaise, rochas calciosilicáticas e granulitos, da unidade Granito Jequitibá, que compreendem granitos e tonalitos e da unidade Santa Tereza, que é composta na região por ortognaisses, todas com idades da Era Neoproterozóico (período Ediacarano). Altas elevações na BSMV também são associadas a intrusões graníticas de idades mais basais, correspondendo as unidades Córrego Lamego e Chapada Grande, ambas da Era Paleozóico (período Cambriano) (Figura 5).

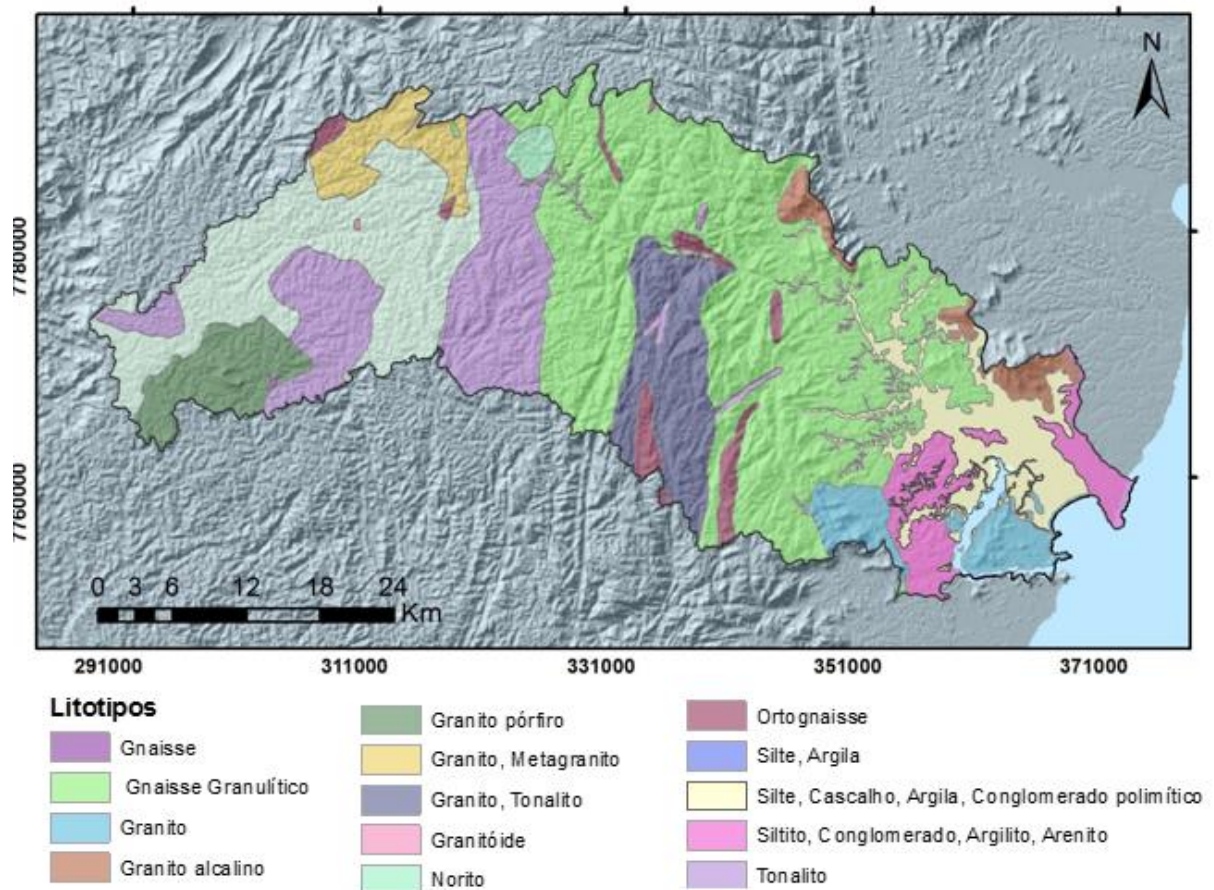


Figura 5: Litotipos encontrados na Bacia Hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória. Escala 1:400 000. Fonte: Vieira et al. 2018.

A seção B possui corredeiras e cachoeiras, devido as bruscas alterações de altimetria, enquanto que a jusante, na seção C, rio corre mais suavemente. A declividade na BHSMV classifica-se entre relevo plano a fortemente ondulado, com declividade média de 12,8, sendo que a seção C possui os maiores valores de declividade (Figura 6, Tabela 2, Tabela 3).

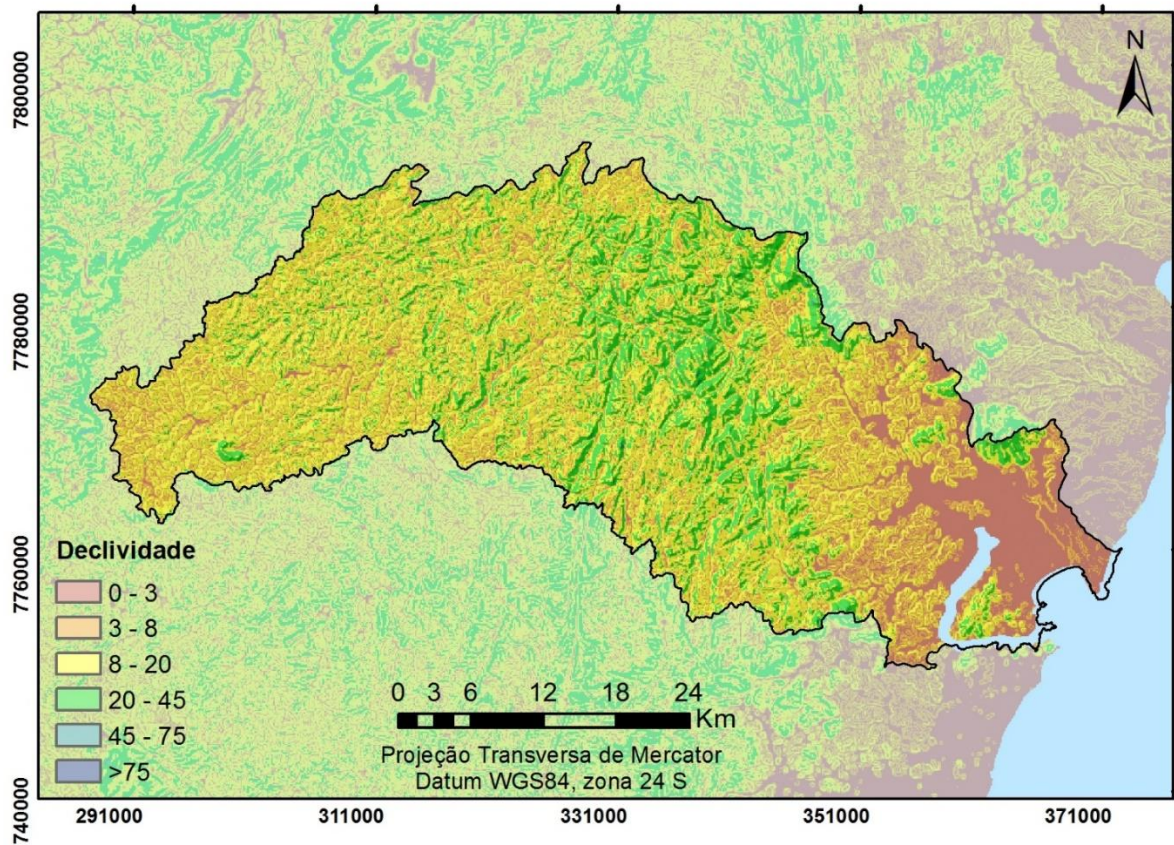


Figura 6: Distribuição de classes de declividade observadas na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória.

Tabela 2: Classes de declividade

Declividade	Classe de relevo
0 – 3	Relevo plano
3 -8	Relevo suave ondulado
8 – 20	Relevo ondulado
20 – 45	Relevo fortemente ondulado
45 – 75	Relevo montanhoso
>75	Relevo Fortemente montanhoso

Tabela 3: Características altimétricas e áreas correspondentes das seções A, B e C.

Seções	MDE	Declividade	Área	%
A	969,9	12,5	503,28	27,97
B	599,8	16,5	795,96	44,23
C	43,6	6,9	500,36	27,80

3.1.2.2 Geomorfologia

As unidades geomorfológicas encontradas na BHSMV estão representadas na Figura 7 e as descrições de cada unidade disponíveis na Tabela 4.

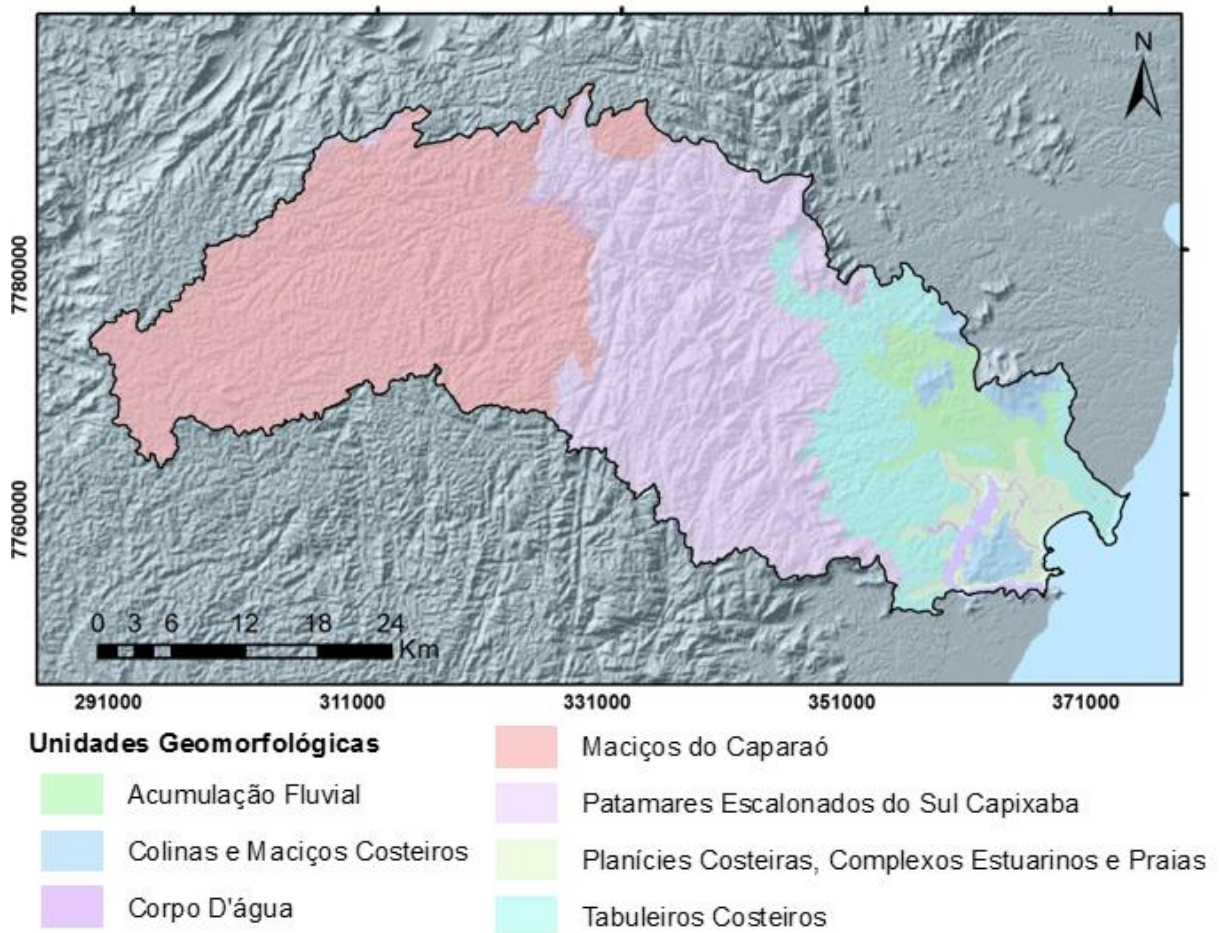


Figura 7: Unidades geomorfológicas observadas na área de estudo. (Fonte: IJSN, 2012).

Tabela 4: Unidades geomorfológicas encontradas na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória.

Unidade	Descrição
Acumulação fluvial	Feições planas relacionados aos regimes fluviais
Colinas e Maciços Costeiros	Área deprimida apresentando reduzidos valores altimétricos em relação as morfologias adjacentes, relacionada as estruturas fraturadas e dobradas
Maciços do Caparaó	Caracteriza-se por apresentar relevo acentuado relacionado aos eventos tectônicos, que apresentam falhas intercruzadas e escarpas, moldadas pela dissecação, dado seu clima úmido
Patamares Escalonados do Sul Capixaba	Apresenta níveis de dissecação escalonados que formam patamares, que são delimitados por frentes escarpadas a falhas, com caimento topográfico para sudeste
Planícies Costeiras, Complexo Estuarino e Praias	Abrange faixas de praias e a desembocadura do rio, morfologia relacionada a ação combinada das correntes marinhas paralelas a costa, aportes fluviais e às ações eólicas
Tabuleiros Costeiros	Distribuem-se entre a base das elevações cristalinas até as planícies Quaternárias. Possuem sedimentos cenozóicos do Grupo Barreiras, com presença de areias e argilas em variadas espessuras de suas camadas

3.1.2.3 Pedologia

São encontradas na BHSMV 8 classes pedológicas, em que o Latossolo Vermelho-Amarelo corresponde a classe mais dominante (Figura 8). As descrições de cada classe encontram-se na Tabela 5.

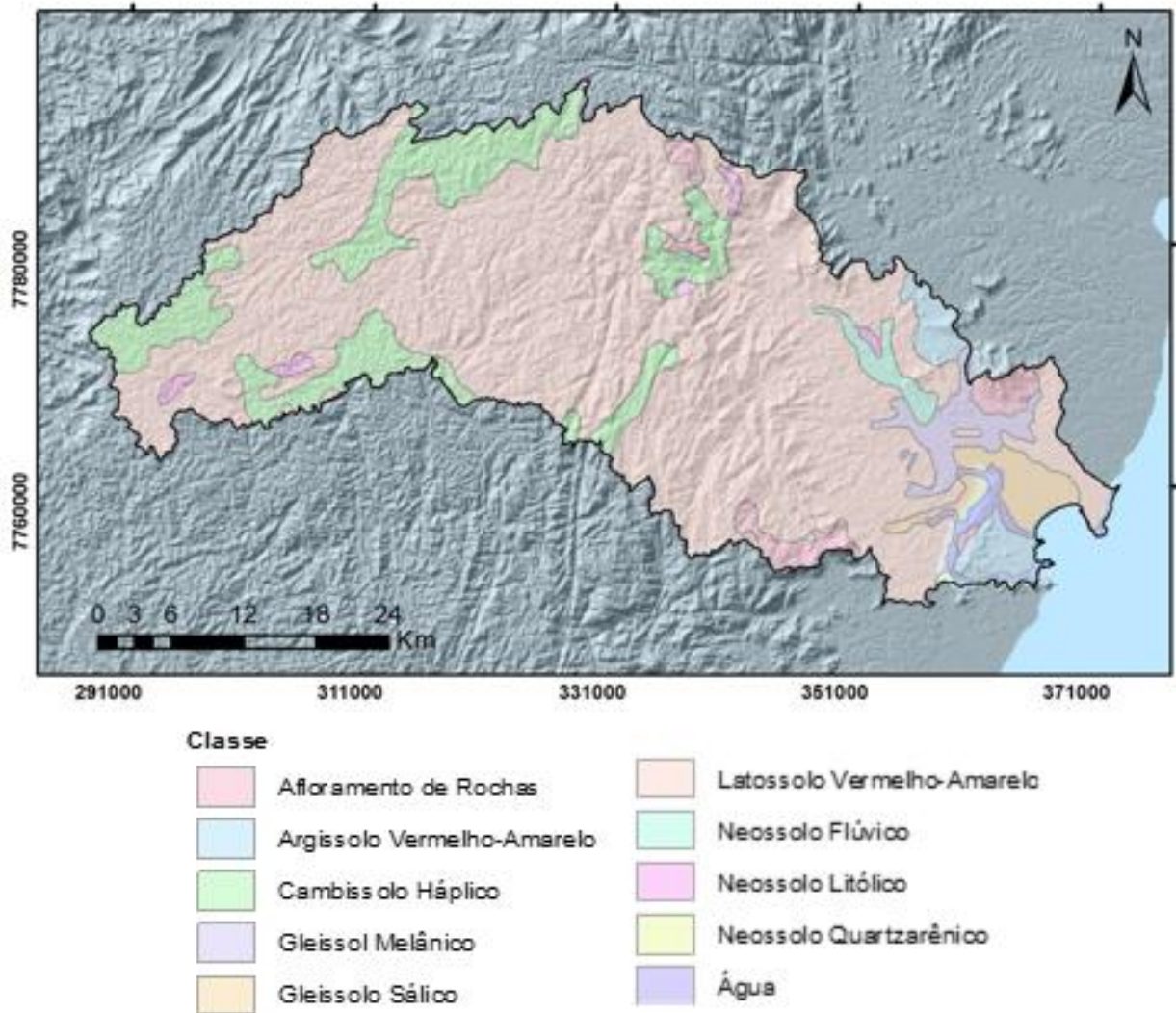


Figura 8: Mapa das classes de solo da área de estudo (Fonte: Cunha et al. 2016).

Tabela 5: Classes pedológicas presentes na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória.

Classe de Solo	Descrição
Argissolo Vermelho – Amarelo	Solos com argila de atividade baixa ou alta, apresentando evolução avançada de caráter alítico
Cambissolo háptico ou hístico	Caracteriza-se pela constituição de material mineral com o horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial. Quando presentes, plintita/petroplintita, horizonte glei ou vértico.
Gleissolo Melânico	Apresenta forte gleização, devido característica de hidromorfia, resultante de processos de intensa redução de compostos de ferro, em

	presença de matéria orgânica, relacionada a fluação do nível freático, com horizonte H hístico inferior a 40 cm
Gleissolo Sálico	Apresenta forte gleização, devido característica de hidromorfia, resultante de processos de intensa redução de compostos de ferro, em presença de matéria orgânica, relacionada a fluação do nível freático, apresentando caráter sálico ($CE \geq 7dS/m$, a 25° C).
Latossolo Vermelho-amarelo	Constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico antes de qualquer tipo de horizonte A. Possui espessura superior a 150 cm. Solos com matiz de 7,5YR.
Neossolo Flúvico	Solo pouco evoluído, sem horizonte B definido, constituído por material mineral. Relacionado a regiões sujeitas as ações fluviais
Neossolo Litólico	Solo pouco evoluído, sem horizonte B definido, constituído por material mineral
Neossolo Quartzênico	Solo pouco evoluído, sem horizonte B definido, constituído por material mineral, predominantemente quartzo

3.1.2.4 Clima

O clima da região é caracterizado como quente e úmido, ocorrem 4 tipos segundo a classificação de Koppen, correspondendo a Am, Aw, Cfa e Cfb (Figura 9), com período seco no outono-inverno (abril a setembro) e chuvoso na primavera-verão (outubro a março).

O regime térmico da bacia é caracterizado pela oscilação anual moderada da temperatura do ar. A temperatura média anual é de 22 °C, com média das máximas entre 28 a 30°C e a temperatura mínima pode chegar até 15°C (TEUBNER JR., 2016).

O regime eólico provém dos quadrantes Nordeste e Sudeste, correspondendo a ventos de maior frequência e maior intensidade, respectivamente (ALBINO, 1999).

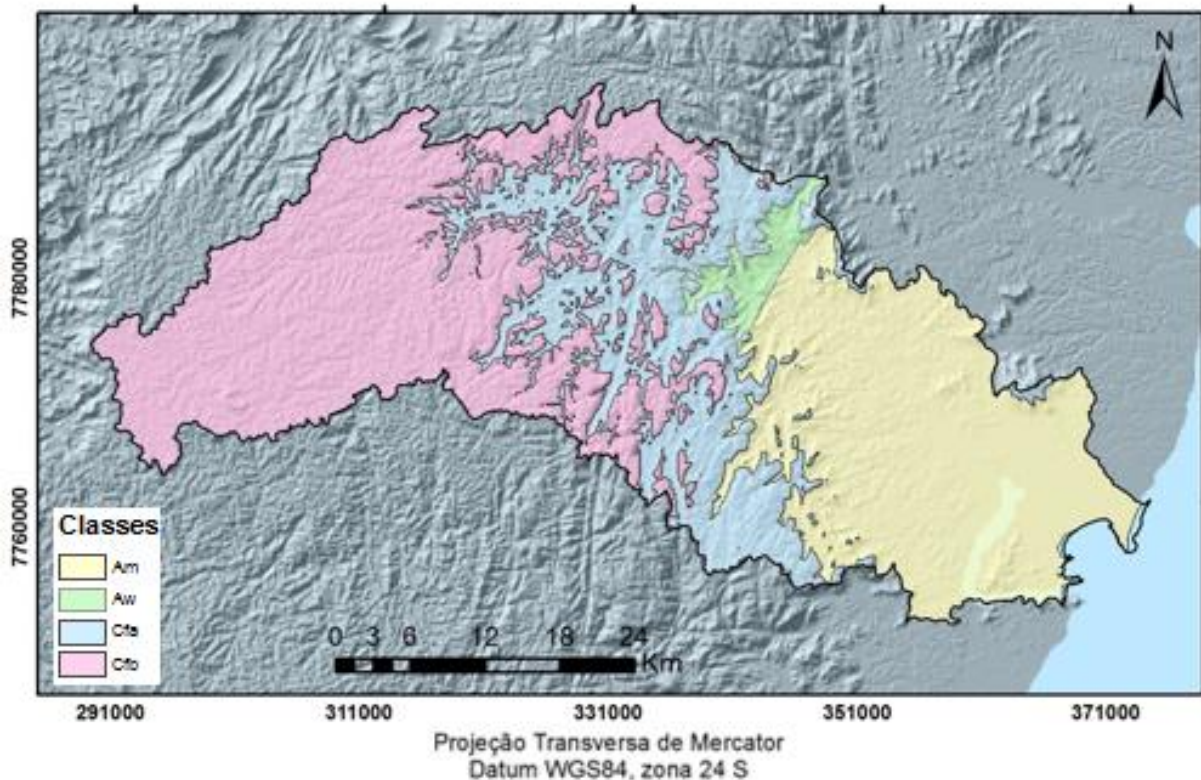


Figura 9: Tipos de clima encontrados na Bacia Hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória segundo a Classificação Koppen. (Adaptado de Álvares et al. 2013).

Tabela 6: Classes climáticas encontradas na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória (Classificação Koppen).

Classe	Descrição
Am	Apresenta-se como clima quente tropical e chuvoso no verão
Aw	Caracteriza-se por apresentar inverno seco e pluviosidade no verão.
Cfa	Úmido em todas as estações, com verão quente e sem estação seca
Cfb	Apresenta-se com clima úmido em todas as estações, com verão moderadamente quente e sem estação seca

3.1.2.5 Hidrografia

A BSMV é uma das mais importantes das bacias do Sistema Estuarino da Bacia de Vitória, abrigando os reservatórios que abastecem a região metropolitana do Espírito Santo (Figura 10).

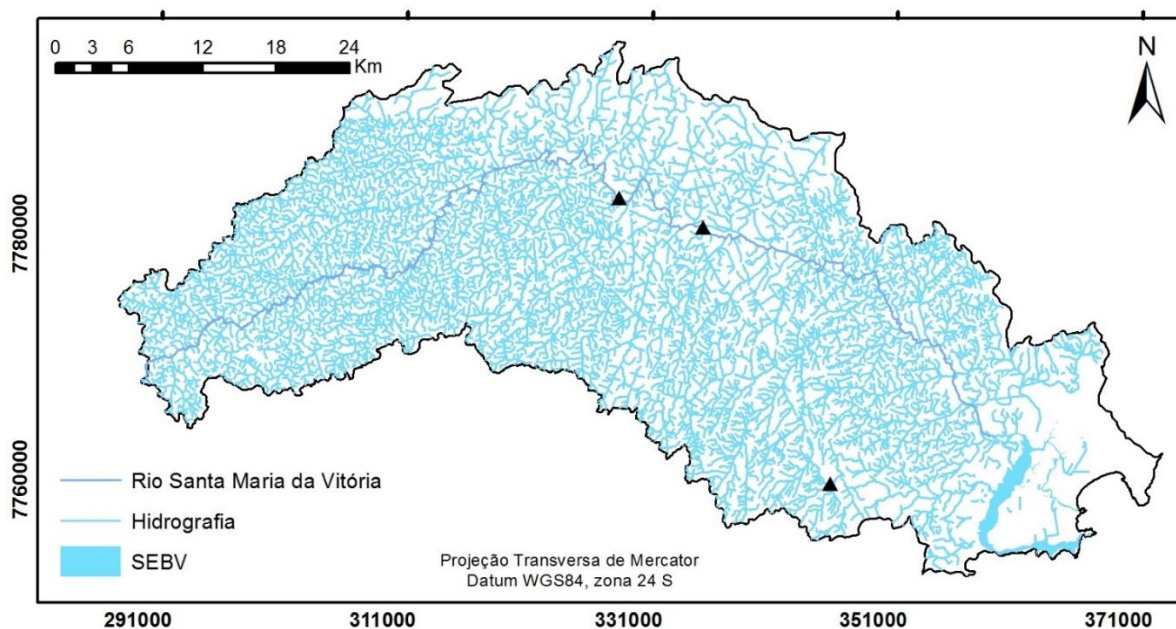


Figura 10: Hidrografia da BSMV obtida a partir do Modelo Digital de Elevação, mostrando a localização dos principais reservatórios.

A principal fonte de fluxo de materiais que drenam para o SEBV relaciona-se a drenagem da BSMV. As emissões de nutrientes (N e P) nas bacias hidrográficas que drenam para o estuário estão associadas as atividades antrópicas, relacionadas principalmente as atividades de pecuária, que representam 74,2 e 87,6% das emissões de N e P, respectivamente. Ao acrescentar a estes as emissões oriundas do esgoto, esse valor representa 90 e 96% do total de N e P, respectivamente. A quantidade anual de P e N emitida pela BSMV ao SEBV representa 5205,1 e 9757,5 t ano⁻¹, respectivamente (TEUBNER JR et al. 2018).

Na RSMV localizam-se dois grandes reservatórios no médio curso do rio: Rio Bonito e Cachoeira Suíça, de regulação anual e diária, respectivamente. Ambas são usinas hidrelétricas de ponta, e em geral, represam a água de 8 horas até as 17 horas, e posteriormente liberam das 17 às 8 horas, horário este de maior demanda energética (OLIVEIRA, 2003). Além disso, no baixo curso do rio localiza-se a barragem de regularização de nível da Companhia Espírito-

Santense de Saneamento (CESAN), para captação destinada a Estação de Tratamento de Água de Carapina.

O reservatório da PCH Rio Bonito está localizado no município de Santa Maria de Jetibá, no rio Santa Maria da Vitória e o início das operações ocorreu em 1959. O volume total é de 18 733 441,91 m³ de água com uma área do reservatório para o nível normal de água de 2,4 km² e no nível máximo de água atingindo de 32,44 m (TEUBNER JR, 2016).

O reservatório da UHE Cachoeira da Suíça localiza-se no município de Santa Maria de Jetibá, ficando a jusante da PCH Rio Bonito e sua operação iniciou-se no ano de 1965. O volume total é de 4550931,49 m³ de água com uma área do reservatório para o nível normal de água de 0,14 km², e altura máxima de 10,65 m (TEUBNER JR, 2016).

3.1.3 Desenvolvimento Econômico e Social

A população que insere-se na BHSMV corresponde a 722 410 habitantes, em que a população urbana possui 680 108 habitantes e a população rural compreende 42 302, as áreas urbanas correspondem a 4% da bacia e concentram-se na região costeira (IBGE, 2011).

A cobertura florestal, segundo mapeamento de 2012-2015, é a classe de uso e cobertura da terra mais dominante (45%), seguido pelas classes pastagem (16%), cultivos agrícolas (14%) e reflorestamento, principalmente de *Eucalyptos* (7%) (Figura 11 e Tabela 7) (GEOBASES, 2015). A seção que contém mais área florestal, com base no mapeamento 2012-2015, corresponde a seção B, abrangendo 55,5% das florestas encontradas na bacia, e a seção C, onde concentra-se a área urbana, possui apenas 17% dos fragmentos florestais.

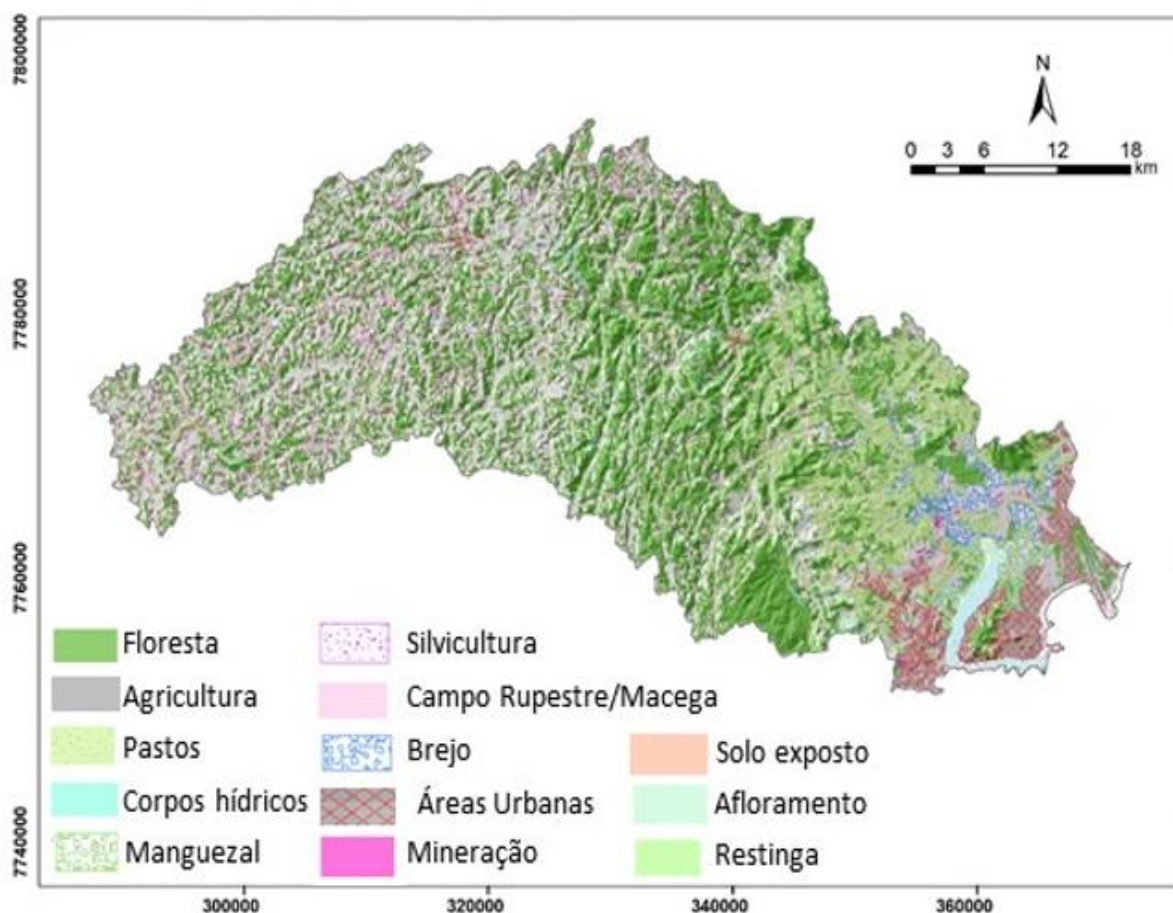


Figura 11: Uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória para o ano 2012-2015.

A comparação entre o uso e cobertura da terra entre os anos de 2007-2008 e 2012-2015 registra a ocorrência de alteração na paisagem da bacia de aproximadamente 25% no intervalo entre elas. As principais alterações referem-se, em quantidade de área modificada, a redução da floresta em estágio de regeneração e na ampliação da silvicultura, que compreende principalmente o gênero *Eucalyptus*, em 42,9 e 43,7 km², respectivamente. A alteração mais expressiva em relação a porcentagem de área reduzida refere-se ao bioma restinga, que registrou decréscimo em 77,7%.

Tabela 7: Uso e Cobertura da terra da subbacia hidrográfica do rio Santa Maria de Vitória.

Classe	2007-2008		2012-2015		Alteração (%)
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	
Afloramento	36,32	2,02	37,52	2,09	3,21

Áreas edificadas	63,40	3,52	63,54	3,53	0,22
brejo	36,01	2,00	34,12	1,90	-5,52
Campo rupestre e Macega	120,88	6,72	109,62	6,09	-10,28
Corpo d'água	24,90	1,38	26,04	1,45	4,39
Cultivos agrícolas	238,97	13,28	231,75	12,88	-3,12
Silvicultura	76,865	4,27	120,58	6,70	36,25
Floresta Nativa	601,12	33,40	625,66	34,77	3,92
Floresta em Regeneração	184,30	10,24	141,37	7,86	-30,37
Manguezal	21,04	1,17	20,56	1,14	-2,34
Mineração	2,24	0,12	2,00	0,11	-12,16
Outros	66,692	3,71	93,16	5,18	28,41
Pasto	308,65	17,15	271,13	15,07	-13,84
Restinga	0,57	0,03	0,32	0,02	-77,73
Solo exposto	17,64	0,98	22,23	1,24	20,65
Total	1799,6	100	1799,6	100	24,91

Em relação as condições hídricas da BHSMV, verifica-se que a demanda hídrica na BHSMV manifesta-se com mais intensidade na seção A, relacionada ao consumo de água para cultura irrigada. A seção C registra, também, alto consumo hídrico, entretanto, relacionada ao consumo humano (Figura 12). Anualmente a bacia supre um consumo total de $3,37 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, considerando os consumos humanos, industriais e agropecuários e adotando o ano base de 2017, o que gera anualmente um consumo de $106.431.160 \text{ m}^3$ (ANA, 2019).

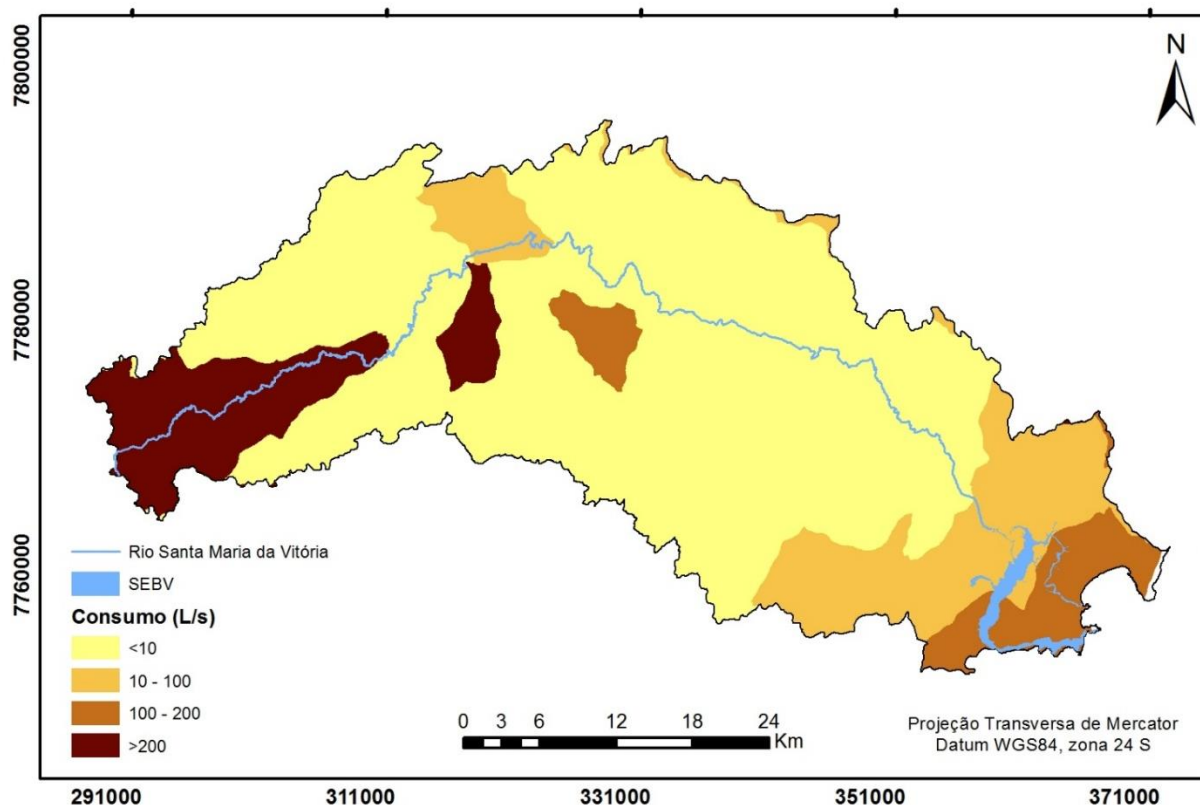


Figura 12: Demanda hídrica total apresentada para a BSMV (Fonte: ANA, 2019).

O balanço hídrico, que corresponde a razão entre a vazão de retirada e a disponibilidade hídrica, possui valores contrastantes entre as seções A, B e C, notadamente classificado como crítico a muito crítico na seção A e Excelente, na maior porção da seção B, enquanto que na seção C, onde concentra-se grande parte da região metropolitana do Espírito Santo, verifica-se que na região mais próxima ao litoral a classificação é crítica a muito crítica (Figura 13).

A classificação adotada corresponde a utilizada pela *European Environment Agency* e Nações Unidas, que refere-se ao índice de retirada de água (*Water Exploitation Index*), adequadas para a região brasileira, caracterizada pela relação entre a estimativa de consumo total a montante e a disponibilidade hídrica superficial (Tabela 8) (ANA, 2019).

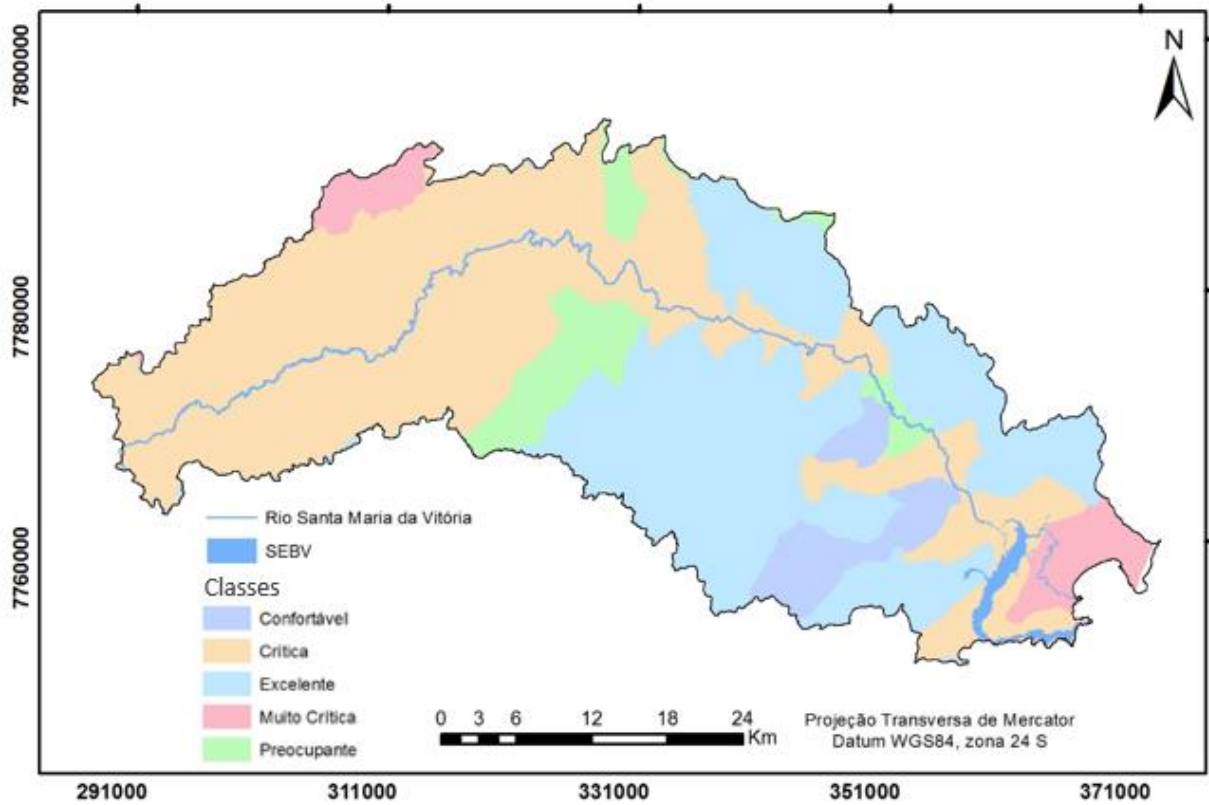


Figura 13: Balanço hídrico quantitativo na BHSMV (Fonte: ANA, 2019).

Tabela 8: Classificação do balanço hídrico adotada pela Agência Nacional das Águas.

Relação do consumo pela disponibilidade	Classe
<5%	Excelente
5 a 10%	Confortável
10 a 20%	Preocupante
20 a 40%	Crítica
>40%	Muito Crítica

3.2 BASE DE DADOS

3.2.1 Pluviosidade

3.2.1.1 Base de dados para análise da distribuição espaço-temporal

A precipitação média mensal (mm) e a vazão média mensal ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) na área de estudo foram obtidas com os dados da série histórica das estações meteorológicas monitoradas pela Agência Nacional das Águas (ANA) para cada ano analisado (2004 a 2017). O intervalo temporal foi escolhido com base na disponibilidade das informações nas estações climáticas mais recentes, sendo que a partir de 2018 muitas dessas continham dados falhos. Foram selecionadas 42 estações pluviométricas da rede hidrometeorológica nacional, disponibilizadas no sistema de informações hidrológicas (Hidroweb), das quais sete inserem-se na BHSMV.

3.2.1.2 Base de dados para os índices de extremos climáticos

Realizou-se o levantamento das séries históricas diárias de precipitação dos postos pluviométricos da base de dados Hidroweb da ANA e localizados na BHSMV e região adjacente que contemplasse informações no período de 1970 a 2017, onde obteve-se 42 estações selecionadas após análise preliminar para constatar quais não continham registro no intervalo temporal selecionado para o presente estudo e/ou continham demasiadas falhas, as quais foram descartadas da análise, resultando em 34 estações aptas para realizar os índices de extremos climáticos.

3.2.2 Vazão fluvial

A estação fluviométrica Santa Leopoldina (código 57130000), monitorada pela ANA, inserida na porção média da BHSMV a jusante da PCH Rio Bonito e UHE Cachoeira Suíça, foi escolhida para verificar alterações hidrológicas em seu fluxo, por apresentar uma ampla série temporal, 1949 a 2019 e não conter falhas em seus dados. Por conter os anos de 1949 e 2019 incompletos, optou-se por analisar as informações no período de 1950 a 2018.

3.2.3 Análise Exploratória dos Dados

A análise exploratória dos dados é uma importante etapa que antecede a aplicação do método geoestatístico, devido ao aumento da confiabilidade neste processo adquirido através do tratamento dos dados, pois é desejável que estes estejam estatisticamente com distribuição normalizada, o que é verificado através de análise de histogramas e de gráficos boxplot, que descrevem a forma de distribuição dos dados, ideais para verificar a simetria e outliers destes.

A análise exploratória dos dados foi realizada no *software* SPSS Statistics 15.0. Transformações matemáticas podem ser aplicadas para corrigir ou suavizar a distribuição dos dados, entretanto, a normalidade não é uma exigência para a geoestatística, mas torna a interpolação mais confiável e com menores erros associados ao processo.

Para a identificação de anisotropia nos dados de pluviosidade mensais realizou-se a correlação de Pearson para se verificar a existência de tendência na distribuição dos valores das amostras relacionados a direção geográfica, assim, correlacionou-se a variável precipitação (mm) com a latitude e com a longitude e quando esta apresentava correlação significativa adotava-se a presença de anisotropia.

As inconsistências dos dados das séries históricas das estações selecionadas foram identificadas e preenchidas, quando estas representavam menos do que 10% das informações de determinado mês. O método de preenchimento das falhas foi baseado em regressão linear múltipla, considerando um agrupamento de três estações regionalmente correlacionadas, de acordo com a proximidade espacial destas e a similaridade geomorfológica, estabelecendo, assim, os coeficientes de correlação entre as estações pluviométricas necessários para correção da série falha. Foram consideradas regressões com $R^2 > 0,7$ e o mês que apresentasse coeficiente inferior ao estabelecido foi suprimido da interpolação.

3.3 MODELOS ESPAÇO-TEMPORAIS DA PLUVIOSIDADE

3.3.1 Interpolação

Após a análise exploratória dos dados realizou-se o método de interpolação das médias mensais das estações pluviométricas para se obter uma superfície contínua de distribuição da precipitação no intervalo de 2004 a 2017.

Os métodos de interpolação mais comuns nos Sistemas de Informações Geográficas são do tipo globais e locais, onde os globais são mais utilizados em superfícies de tendência. Quando os métodos convencionais de interpolação são insuficientes para representar a distribuição espacial da variável analisada, opta-se em utilizar métodos geoestatísticos.

3.3.1.1 Comparação entre interpoladores

A escolha do interpolador mais eficiente que represente a distribuição espacial da precipitação na área estudada foi realizada através da comparação entre os técnicas usualmente utilizadas na espacialização desse fenômeno. Para realizar esse procedimento escolheu-se o ano de 2010, dentro o intervalo temporal estudado, para interpolar os dados pluviométricos com os métodos: Inverso do Quadrado da Distância (IDW), Vizinho Natural (NN), Spline (com parâmetros de suavidade: 0,1; 1 e; 1,5) e Krigagem Ordinária (linear e esférica).

Para gerar as interpolações da precipitação, utilizou-se o *software* ArcGIS ESRI 10.1 e suas ferramentas. Realizou-se a interpolação mensal do ano de 2010 suprimindo-se cinco estações deste processo para realizar o cálculo do Erro Quadrático Médio (EQM), no qual o menor índice identifica o interpolador mais eficaz, conforme a equação 1.

$$EQM = \sum \frac{(E - O)^2}{n}$$

Onde E corresponde ao valor estimado por meio do método de interpolação, O representa o valor real da precipitação média annual e n significa o número de dados observados.

3.3.1.2 Geoestatística

O método geoestatístico baseia-se nos conceitos de que a variável aleatória forma um conjunto de variáveis aleatórias através de funções aleatórias, onde estas atribuem a cada ponto no espaço um conjunto de probabilidades de ocorrência de valores, estabelecendo-se como uma variável regionalizada, que representam funções numéricas com distribuição espacial que varia de um ponto a outro.

A técnica de geoestatística, através do método de Krigagem Ordinária, fornece os erros e as incertezas associados ao modelo matemático que foi ajustado aos dados no processo de

interpolação. Outra vantagem da geoestatística é a inserção da anisotropia na distribuição espacial do fenômeno estudado no processo de interpolação. Verifica-se a presença de anisotropia construindo semivariogramas direcionais com diferentes ângulos de direção, observando-se o comportamento dos parâmetros do semivariograma e os erros associados.

O presente projeto de pesquisa modelou, através de ajustes de parâmetros na ferramenta Geostatistical Wizard disponível no *software* ESRI ArcGIS 10.6, os 168 meses correspondentes às médias mensais dos anos de 2004 a 2017.

O semivariograma é a base de ajustes de um modelo teórico aos dados, sendo importante que o modelo ajustado represente a tendência da semivariância em relação ao aumento da distância entre os pontos. Este processo torna a interpolação, utilizando a técnica de krigagem, mais confiável, logo, o semivariograma é uma ferramenta básica de suporte à krigagem, através de um processo interativo.

Nesse sentido, há parâmetros a serem ajustados no semivariograma para que os dados sejam adequados ao modelo teórico escolhido. Os principais parâmetros passíveis de ajustes no semivariograma correspondem ao Alcance, ao Patamar e ao Efeito Pepita (Figura 14).

O alcance representa a distância em que as amostras encontram-se correlacionadas espacialmente, assim, o alcance garantirá a correlação de todas as amostras vizinhas dentro de um determinado raio (h). O patamar é o valor da semivariância, a partir do qual, considera-se que não há mais dependência espacial das amostras, porque a variância da diferença entre pares das amostras não se altera significativamente com o aumento da distância entre pontos.

Espera-se que observações amostrais mais próximas geograficamente tenham comportamento mais similares do que amostras separadas por distâncias maiores, idealmente espera-se que a semivariância aproxime-se de zero quando a distância entre pontos tende a zero metros. Entretanto, na prática quando a distância entre pontos aproxima-se de zero metros a semivariância se aproxima de valor positivo, parâmetro este chamado de Efeito Pepita, que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que as menores distâncias entre amostras.

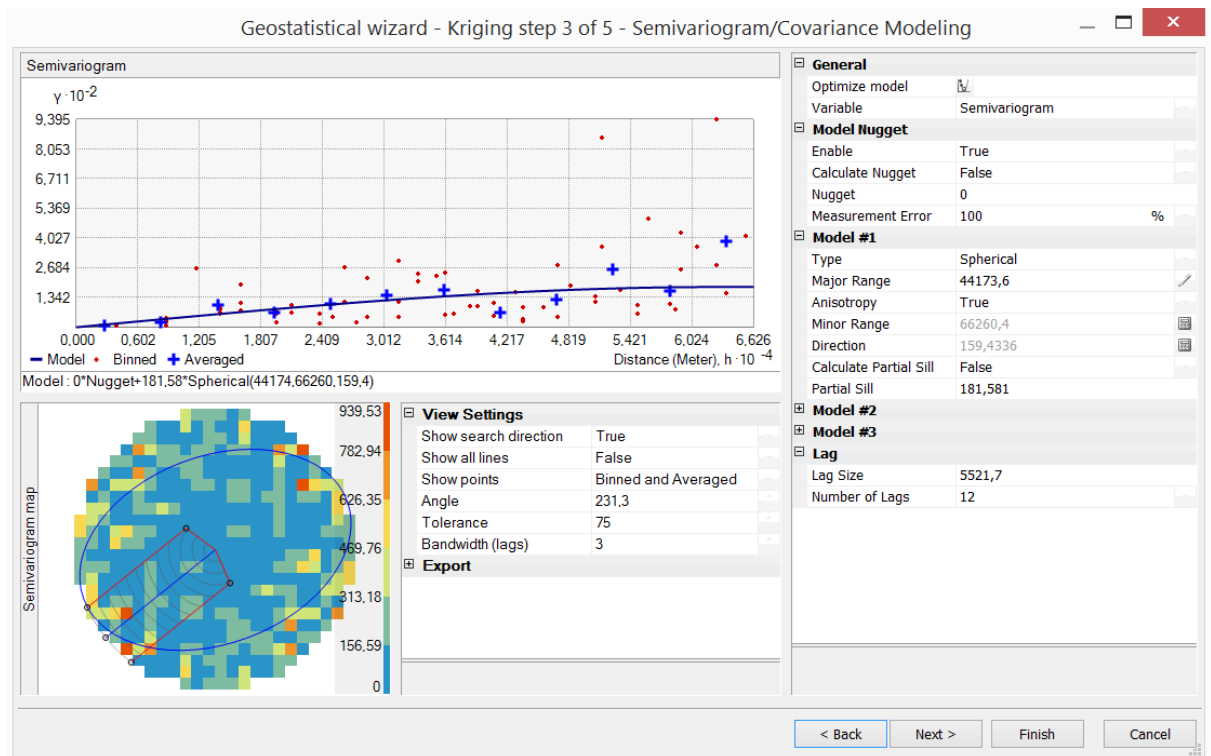


Figura 14: Layout da ferramenta *Geostatistical Wizard* mostrando os parâmetros para ajustes do modelo teórico aos dados através da análise do semivariograma.

A anisotropia foi considerada em todos os processos de interpolação pluviométrica, devido as características climáticas geralmente apresentarem este comportamento na distribuição dos valores de seus dados e pelo formato da bacia, que apresenta forma alongada e extensão considerável, presumindo que haja efeitos que ocasionem anisotropia nos dados.

O ajuste dos semivariogramas experimentais aos modelos teóricos decorreu das análises dos resultados das validações cruzadas apresentadas pelo *software*, exibidos como relatório dos parâmetros e na interface do programa. A Tabela 9 apresenta os principais parâmetros exibidos na validação dos semivariogramas. Adota-se que as estimativas geradas pelo processo de interpolação devem se aproximar dos valores medidos, e os erros de predição são gerados no formato de relatório e em formato *raster*.

Tabela 9: Parâmetros da validação cruzada.

Estimativa de erros	Valores ideais
Erro médio	Pequenos
Erro médio quadrático	Pequenos e próximos entre si
Erro médio padrão	
Erro médio normalizado	Próximos de zero
Erro médio quadrático normalizado	Próximos de um

3.3.1.3 interpolação dos dados pluviométricos

A distribuição da continuidade espacial das médias mensais de pluviosidade, obtidas nas estações meteorológicas monitoradas para o presente estudo, foi interpolada para cada ano do intervalo de 2004 a 2017, para se verificar a variabilidade espacial da precipitação e os padrões de ocorrência desta na BHSMV. A partir das médias mensais de cada ano gerou-se a média mensal e anual do período interpolado.

A execução desse processo foi baseada na aplicação de técnica geoestatística com o emprego do método de krigagem ordinária, utilizando as informações contidas no banco de dados em ambiente SIG, através do software ESRI ArcGIS versão 10.7. Recomenda-se, neste processo, a exclusão dos outliers e que os dados tenham distribuição normal (NAOUM & TSANIS, 2004), o que foi verificado através do teste de Shapiro-Wilk usando programação R, nas médias mensais.

A predição da pluviosidade na BHSMV pelo método de krigagem foi inferida por meio da estruturação da correlação espacial das estações pluviométricas analisadas em semivariograma experimental, confeccionado para cada mês no período entre 2004 a 2017. A análise da estrutura espacial dos dados através do emprego do semivariograma, analisando a correlação espacial entre as amostras segundo a distância entre estas, é um pré-requisito para a aplicação da geoestatística (GOOVAERTS, 1999).

Os resultados são apresentados como relatórios dos parâmetros do semivariograma, erros associados as validações cruzadas, gráficos de regressões, mapas das predições e da estimativa de erros onde, através destes, identificam-se os melhores parâmetros e

estruturação dos dados quanto a sua espacialização. Esse processo permite que a krigagem tenha considerável capacidade de predição de dados climáticos, inclusive em regiões com baixa densidade de estações (AALTO, et al. 2012). Além disso, a krigagem permite incluir na análise do semivariograma informações quanto a anisotropia dos dados, fenômeno este, comum em dados climáticos (HOLDAWAY, 1996).

3.3.2 Correlação da Pluviosidade média e Vazão fluvial

A partir das estações fluviométricas PCH Rio Bonito Montante (código 57118080) e Santa Leopoldina (código 57130000) confeccionou-se as respectivas sub-bacias, na qual, obteve-se as médias pluviométricas mensais através das estatísticas dos *rasters* gerados no processo de interpolação. Assim, pode-se correlacionar a pluviosidade com a vazão fluvial registrada nas estações fluviométricas.

Para a análise de correlação utilizou-se o método Spearman para um nível de significância α de 0,05 = 5%. O teste de correlação de Spearman é um método não paramétrico que avalia a tendência em séries temporais pluviométricas, onde a relação entre as variáveis podem não ser lineares, e ao contrário do teste de Pearson, a distribuição dos dados não necessita ser normalizada (BONETT, 2000).

3.4 ÍNDICES CLIMÁTICOS E HIDROLÓGICOS

3.4.1 Índices de Extremos Climáticos

Para se obter as tendências dos índices de extremos climáticos na BHSMV utilizou-se o software de distribuição gratuita RClindex, para determinação dos índices relacionados a precipitação, dentre os 27 índices de extremos climáticos básicos que o programa resulta, sendo 11 para dados de precipitação e 16 relacionados a temperatura, índices estes recomendados pelo *Expert Team on Climate Change Detection Monitoring & Indices* (ETCCDMI) (Tabela 10) (ZHANG & YANG, 2004).

Tabela 10: Índices de precipitação recomendados pelo ETCCDI e aplicados no presente estudo.

Índice	Nome	Definição	Unidade
RX1day	Precipitação máxima em 1 dia	Máximo mensal de precipitação em 1 dia	mm
RX5day	Precipitação máxima em 5 dias	Máximo mensal de precipitação por 5 dias consecutivos	mm
SDII	Índice de intensidade diária simples	Razão do total de precipitação anual pelo número de dias chuvosos (≥ 1 mm)	mm/dia
R10mm	Dias com precipitação intensa	Dias com precipitação ≥ 10 mm	Dias
R20mm	Dias com precipitação muito intensa	Dias com precipitação ≥ 20 mm	Dias
R50mm	Dias com volume de chuva superior a 50 mm	Dias com precipitação ≥ 50 mm	mm
CDD	Dias de seca consecutivos	Número máximo de dias consecutivos com precipitação < 1 mm	dias
CWD	Dias de chuva consecutivos	Número máximo de dias consecutivos com precipitação ≥ 1 mm	dias
R95p	Dias muito chuvosos	Pluviosidade total anual de dias >95 percentil	mm
R99p	Dias extremamente chuvosos	Precipitação total anual de dias >99 percentil	mm
PRCPTOP	Total anual de precipitação dos dias de chuva	Precipitação total anual de dias ≥ 1 mm	mm

O controle de qualidade dos dados é necessário para executar o RClindex, no qual substituiu os dados falhos ou não aceitáveis pelo código -99,9. Além disso, o índice não é calculado para estações meteorológicas que contenham mais do que 25% dos anos com falhas. Meses que tenham mais do que 3 falhas também são descartados no cálculo do índice de extremo climático.

O RCLindex, para cada índice calculado, fornece gráficos das séries anuais e informações estatísticas, estas baseadas na tendência linear segundo o método de mínimos quadrados, no nível de significância estatística da tendência utilizando o método de Fischer, além do coeficiente de determinação e o erro padrão da estimativa (ZHANG & YANG 2004). Assim, resultam-se as tendências dos índices climáticos e os níveis de confiança relacionados a estes, distribuídos pontualmente na região segundo a localização geográfica da estação pluviométrica monitorada. O nível de confiança adotado neste trabalho consistiu em 90 e 95%.

Nesse sentido, para se obter a distribuição espacial através da interpolação dos índices de extremos climáticos na BHSMV, utilizou-se o método de krigagem ordinária, utilizando o modelo esférico para estruturar os dados no semivariograma.

3.4.2 Índices de Alterações Hidrológicas

Os Índices de alterações hidrológicas (IHA – *Indicators of Hydrologic Alteration*) foram aplicados para analisar duas situações distintas no intervalo temporal de 1950 a 2018. A primeira, corresponde as mudanças no IHA para o período antes e após a construção da PCH Rio Bonito, barragem de maior magnitude encontrada na denagem do rio Santa Maria, dessa forma, separou-se a série histórica para análise de 1950 a 1958 e entre 1959 a 2018.

Entretanto, para verificar com mais detalhes as modificações no fluxo fluvial no principal rio da BHSMV, o intervalo foi separado em 4 períodos, de 1950 a 1958, 1959 a 1979, 1980 a 1999 e entre 2000 a 2018. O intervalo foi escolhido visando manter, após a instalação da PCH Rio Bonito, um período de 20 anos para inferir os índices hidrológicos e, assim, obter menor periodicidade na variação estatística dos índices.

O IHA avalia o grau de alteração hidrológica analisando a série histórica das vazões fluviais, adotando aspectos ecologicamente relevantes para se verificar possíveis impactos antrópicos nos padrões hidrológicos (RICHTER et al. 1996; POFF et al. 1997). No presente trabalho, empregou-se o *software* IHA versão 7.1.0.10, desenvolvido pela *The Nature Conservancy*, que oferece indicadores eficientes para se avaliar alterações do ecossistema fluvial (THE NATURE CONSERVANCY, 2009).

As alterações antrópicas que podem induzir mudanças nos fluxos hidrológicos fluviais são principalmente decorrentes de instalação de barragens, desvios dos cursos fluviais, bombeamento de águas subterrâneas, irrigação de culturas e modificação da paisagem, as quais podem refletir em alterações graduais a abruptas que impactam diversas funções ecológicas que os rios desempenham.

Para verificar a ocorrência de mudanças no comportamento hidrológico fluvial são estabelecidos índices que possam analisar os componentes ecológicos do fluxo, compostos por 67 parâmetros, dos quais 33 calculam o comportamento hidrológico da vazão e 34 analisam os Componentes da Vazão Ecológica (EFC – *Environment Flow Components*). A Tabela 11 sintetiza os parâmetros hidrológicos, que são divididos em cinco grupos, de acordo com a magnitude, escala temporal, condições hidrológicas e taxas de alterações.

Tabela 11: Parâmetros desenvolvidos pelo IHA.

IHA – Grupo de parâmetros	Parâmetros Hidrológicos	Relações ecossistêmicas
Grupo 1: Magnitude das condições mensais	Mediana das vazões mensais	Disponibilidade de habitats e suprimentos; mobilidade biológica; influências biogeoquímicas
Grupo 2: Duração e magnitude dos eventos extremos anuais	<ul style="list-style-type: none"> • Vazões mínima anuais de 1, 3, 7, 30 e 90 dias • Vazões máximas anuais de 1, 3, 7, 30 e 90 dias • Número de dias de fluxo zero • Índice de vazão de base 	Controle de organismos; geração de locais para colonização de plantas; estruturação de ecossistemas; estruturação morfológica fluvial; alterações fisiológicas na biota; estresses botânicos; alterações componentes biogeoquímicos; distribuição de espécies de plantas; manutenção do ecossistema (eliminação de resíduos, renovação substrato etc)

Grupo 3: Eventos extremos anuais	Data da vazão mínima anual	Compatibilidade com ciclos biológicos; previsibilidade de estresses biológicos; acessibilidade locais reprodução, alimentação; adaptação de comportamento biológico
	Data da vazão máxima anual	
Grupo 4: Frequência e duração de altos e baixos pulsos	Número de pulsos baixos	Frequência e magnitude de estresse na biota; disponibilidade de habitats e materiais; manutenção de materiais fluviais e nas planícies de inundação; morfologia fluvial; acessibilidade da biota
	Duração média dos pulsos baixos	
	Número de altos pulsos no ano	
	Duração média dos pulsos altos	
Grupo 5: Taxa/frequência das condições de alteração da vazão	Taxa de ascensão	Estresse hídrico na biota; aprisionamento de organismos; dessecação de organismos de baixa mobilidade nas margens fluviais
	Taxa de recessão	
	Número de reversões	

Fonte: The Nature Conservancy, 2009.

O software IHA utiliza dados de vazão diária para realizar os cálculos dos parâmetros, nos quais permite o cálculo através de métodos paramétricos ou não paramétricos. Os parâmetros do IHA são calculados através da verificação da variabilidade estatística que permite a indicação e quantificação do grau de alteração hidrológica de determinado intervalo, possibilitando a comparação de períodos entre impactos que resultem em alterações da vazão fluvial.

O EFC corresponde a cinco classificações que ocorrem naturalmente nos rios, relacionados as cheias e secas (vazões mínimas) e que podem ser calibradas na interface do programa, de acordo com as características da região hidrográfica estudada (Figura 15). No presente trabalho, adotou-se as definições padronizadas sugeridas pelo *software*, que determina que

vazões maiores que 75% das informações na série temporal são classificadas como altas e as menores que 50% correspondem as vazões baixas.

As vazões são classificadas como grandes cheias ao apresentar período de retorno maior do que 10 anos, ocorrendo pequenas cheias se o período de retorno for superior a 2 anos (e inferior a 10), ou ainda, como pulsos de vazão alta. Vazões extremamente baixas correspondem as vazões abaixo do percentil 10.

The screenshot shows the 'New Analysis' dialog box in the IHA software, specifically the 'Environmental Flow Components' tab. The dialog box is titled 'New Analysis' and has a standard Windows window title bar with minimize, maximize, and close buttons. The main content area is divided into several sections:

- Analysis Title/Options | Analysis Years | Analysis Days | Statistics | Environmental Flow Components | Flow Duration Curves**
- Environmental Flow Component (EFC) analysis computes statistics for up to five different flow components: Extreme Low Flows, Low Flows, High Flow Pulses, Small Floods, and Large Floods. If you wish, this analysis may be performed for two separate seasons (see Analysis Days tab). The parameters used to define EFCs can be set below.**
- Use Advanced Calibration Parameters
- Initial High Flow/Low Flow Separation**
 - All flows that exceed: % of daily flows for the period will be classified as High Flows.
 - All flows below this level will be classified as Low Flows.
- High Flow Pulse and Flood Definition**
 - A small flood event is defined as an initial High Flow with a peak flow greater than year return interval event.
 - A large flood event is defined as an initial High Flow with a peak flow greater than year return interval event.
 - All initial high flows not classified as Small Floods or Large Floods will be classified as High Flow Pulses.
- Extreme Low Flow Definition**
 - An Extreme Low Flow is defined as an initial low flow below % of daily flows for the period.
 - All initial low flows not classified as Extreme Low Flows will be classified as Low Flows.

At the bottom of the dialog box, there are three buttons: (with a green checkmark icon), (with a red X icon), and (with a question mark icon).

Figura 15: Interface do *software* IHA apresentando os parâmetros calibrados em relação aos Componentes da Vazão Ecológica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 VARIABILIDADE ESPAÇO TEMPORAL DA PLUVIOSIDADE

4.1.1 Análise exploratória dos dados

Os maiores valores médios e desvio padrão encontrados para a pluviosidade, registrada nas estações pluviométricas analisadas, são observados para os meses de dezembro, novembro e março, apresentando médias de $241,30 \pm 96,03$, $214,26 \pm 74,34$ e $173,32 \pm 74,59$ mm, respectivamente. Registra-se a menor média da pluviosidade mínima e máxima em 2015, enquanto que o maior mínimo ocorre em 2013 e maior média máxima em 2005 (Tabela 12).

Os anos que apresentaram os menores valores médios anuais de pluviosidade foram 2007 e entre 2014 a 2017, demonstrando que os últimos anos quatro anos foram mais secos que os demais anos analisados. Quando se considera a distribuição da precipitação mensal, observa-se que os anos de 2007, 2014, 2015 e 2017 foram os anos com as menores médias mensais registrados no intervalo estudado.

Tabela 12: Análise estatística descritiva das médias mensais de pluviosidade dos anos de 2014 a 2017.

Anos	N	Média Mínimo (mm)	Média Máximo (mm)	Média mensal (mm)	Média anual (mm)	Desvio Padrão (mm)
2004	38	53,59	254,81	135,14	1452,14	47,19
2005	38	51,00	308,40	152,98	1744,20	62,43
2006	38	36,15	230,63	116,92	1184,20	44,68
2007	38	22,29	198,13	80,90	815,91	40,73
2008	39	43,66	246,23	122,46	1197,84	52,06
2009	37	42,57	264,72	140,24	1641,21	56,81
2010	39	35,93	219,24	108,35	1155,36	43,58
2011	36	57,84	248,33	123,24	1235,23	46,22
2012	37	26,37	283,72	103,40	911,45	58,59
2013	35	58,75	267,17	146,56	1788,45	51,55
2014	36	22,83	190,28	78,22	788,61	39,61
2015	35	10,53	151,98	63,36	775,82	36,83
2016	34	31,72	188,07	90,77	1128,65	39,98
2017	31	29,85	199,03	86,43	998,48	43,17
Média	37	37,36	232,19	110,64	1012,63	47,39

4.1.2 Comparação de interpoladores

O processo de comparação dos diferentes interpoladores gerou 72 mapas, sendo 12 para cada interpolador. Os resultados da interpolação do ano de 2010 realizada pelas técnicas de IDW, Spline e Krigagem demonstram a superioridade da krigagem esférica em relação aos demais interpoladores (Tabela 13). Observa-se que nos meses que representam a estação seca, de junho a outubro, os valores de EQM são significativamente menores do que os demais meses, o que se relaciona a menor variabilidade da precipitação nesse período.

Tabela 13: Média do Erro Quadrático Médio (EQM) a partir de diferentes interpoladores para o ano de 2010. (SPL = Spline; KRIG = krigagem; IDW = Inverso do Quadrado da Distância).

Mês	SPL-1,5	SPL-1	SPL-0,1	KRIG-ln	KRIG-sph	IDW
Jan	631,2	634,9	681,4	922,5	926,5	1328,4
Fev	490,7	529,3	563,9	139,6	151,0	144,5
Mar	2322,0	2281,6	1854,9	2413,3	2195,2	2123,0
Abr	5829,5	5942,5	5781,3	1814,1	1787,9	2231,5
Mai	2254,2	2212,6	1572,2	280,9	280,9	294,2
Jun	41,4	39,6	21,3	81,9	86,9	72,7
Jul	2044,1	2046,5	1870,5	249,4	256,4	262,4
Ago	36,3	36,5	34,1	11,2	11,8	14,7
Set	281,3	280,0	257,0	38,7	82,8	48,0
Out	46,9	46,7	42,8	6,4	13,8	8,0
Nov	6984,2	7118,1	6831,9	5067,5	5006,1	5968,6
Dez	6148,7	6068,7	4850,6	6658,7	3394,2	3094,6
Média	2259,2	2269,8	2030,2	1473,7	1182,8	1299,2

4.1.3 Krigagem

Para a execução da espacialização das médias mensais da precipitação, foi aplicado o método da krigagem utilizando o modelo esférico para ajustes dos dados aos parâmetros do semivariograma experimental. Foram gerados 168 mapas com resolução espacial de 30 m e no formato TIF, apresentando as médias mensais para cada ano, no intervalo de 2004 a 2017, assim como as estimativas de erros resultantes da validação cruzada (Figura 16).

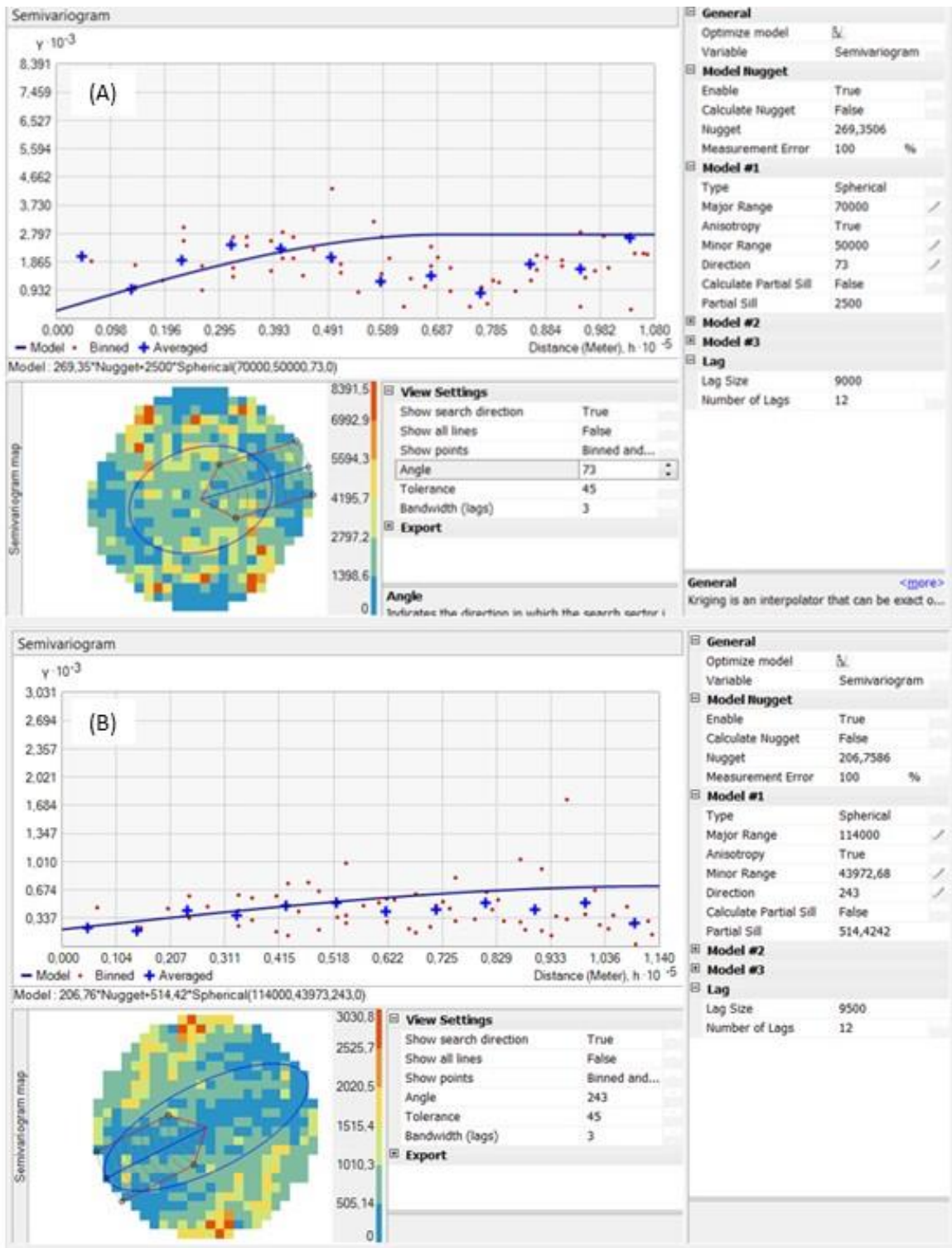


Figura 16: Interface do módulo geostatístico do *software* ArcGIS 10.6 de ajustes dos parâmetros do semivariograma, representando em (A) mês chuvoso e em (B) mês seco.

Dentre as vantagens de se utilizar o método de krigagem na interpolação dos dados, incluem a minimização da variância estimada e a otimização do processo de predição, além da mensuração dos erros associados ao processo de interpolação, sendo uma ferramenta com ampla aplicação em locais que apresentam baixa densidade de estações (CAMPLING et al. 2001; CHOUDHURY, et al. 2015).

A Figura 17 mostra a relação entre a raiz do erro médio quadrado (RMS), associado ao processo de interpolação dos dados através da krigagem, com os volumes médios pluviométricos, indicando que o menor RMS está associado a baixa pluviosidade, o que pode estar relacionado a menor variabilidade dos dados nas estações meteorológicas analisadas nesses períodos mais secos.

A análise da Figura 17 demonstra que ao longo do intervalo temporal estudado no presente trabalho, os últimos anos, a partir de 2014, configuram-se os mais secos registrados, apresentando-se como uma possível tendência de escassez hídrica para a região da BHSMV.

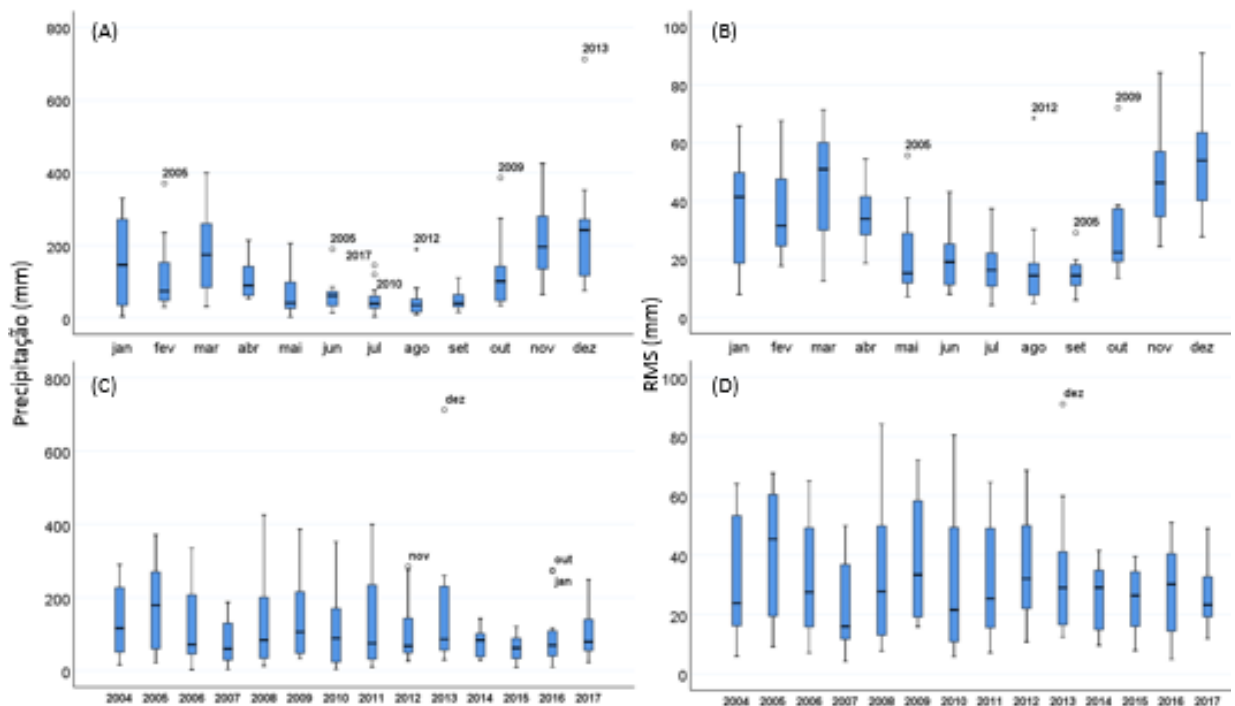


Figura 17: Boxplots da pluviosidade e erro médio quadrado(RMS) associado par a bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória para as predições da quantidade de chuva interpoladas através do método de krigagem e os erros (RMS) associados a este processo, realizadas para os anos entre 2004 a 2017: (A) pluviosidade média mensal; (B) RMS médio (raiz do erro médio ao quadrado) mensal; (C) pluviosidade média mensal por ano e; (D) RMS médio anual.

A interpolação das médias mensais das estações pluviométricas no período de 2004 a 2017 para a BHSMV resultou em precipitação com média mensal conforme a Tabela 14. Verifica-se que o período de estiagem permanece por cinco meses, entre maio a setembro, quando se observa precipitação média inferior a 65 mm, sendo que os meses de agosto e setembro registram-se os menores valores de precipitação, apresentando média de 46,23 e 48,34 mm, respectivamente. Enquanto que nos meses mais chuvosos, dezembro e novembro, representam aproximadamente 32% do volume da precipitação anual.

Tabela 14: Estatística descritiva da pluviosidade para as médias mensais (mínimo, máximo, média e o desvio padrão – DV) para o período entre 2004 a 2017 para a bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, obtida através da interpolação pelo método de krigagem.

Mês	Mínimo	Máximo	Média	DP
Janeiro	105,13	198,25	149,81	20,10
Fevereiro	66,11	167,37	117,56	18,56
Março	129,28	238,65	179,64	21,12
Abril	66,34	151,86	106,94	15,67
Maiο	33,36	99,447	64,32	10,70
Junho	22,19	108,06	63,47	19,43
Julho	13,96	92,58	51,77	18,72
Agosto	11,42	78,803	46,23	18,35
Setembro	26,00	79,076	48,34	11,57
Outubro	84,10	172,37	121,14	18,78
Novembro	140,78	286,02	207,55	31,57
Dezembro	187,23	316,85	239,90	23,06

A pluviosidade média anual no período de 2004 a 2017 é 1399,4 mm, entretanto, verifica-se ampla oscilação do volume médio pluviométrico ao longo do intervalo temporal analisado, correspondendo a 1255,16 mm, o que representa aproximadamente 89,7% da média anual encontrada para a região no intervalo de tempo analisado.

Dessa forma, observa-se que a região possui ampla variação climática para um intervalo de tempo de 14 anos. As maiores médias anuais de pluviosidade foram registradas para os anos de 2005 e 2013, apresentando 2044,3 e 1959,5 mm, respectivamente. Entretanto, enquanto que em 2005 as maiores anomalias positivas distribuíram-se nos meses de fevereiro, maio e junho, quando compara-se com as médias obtidas no intervalo de 2004 a 2017, a precipitação

anômala registrada para o ano de 2013 concentrou-se apenas no mês de dezembro, quando registrou-se aproximadamente três vezes o valor da média de 2004 a 2017 (Tabela 15).

Dentre as menores médias anuais, destacam-se os anos de 2015, 2007 e 2014, quando se verificou 789,12, 928,01 e 949,87 mm de chuva, respectivamente, demonstrando que houve um período de estiagem em dois anos consecutivos na região estudada, 2014 e 2015, apresentando período de estiagem prolongada (Tabela 15).

Tabela 15: Estatística descritiva da pluviosidade anual (mínimo, máximo, total e o desvio padrão) para o período entre os anos de 2004 a 2017 da pluviosidade (mm) para a bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, obtida através da interpolação pelo método de krigagem.

Ano	Mínimo	Máximo	Média anual	DP
2004	99,92	182,82	1646,27	20,35
2005	94,98	238,49	2044,29	35,30
2006	79,58	175,80	1438,40	23,96
2007	43,10	118,37	928,01	19,45
2008	68,83	187,66	1499,09	32,45
2009	91,62	206,32	1754,49	27,32
2010	74,91	155,32	1376,93	18,42
2011	82,09	192,95	1595,85	28,10
2012	50,37	168,79	1279,79	31,10
2013	109,01	225,20	1959,55	28,76
2014	44,85	113,56	949,87	16,13
2015	31,26	105,03	789,12	18,75
2016	68,54	135,62	1137,85	14,75
2017	59,58	137,25	1192,05	18,89

Os altos índices de pluviosidade nos meses de novembro e dezembro são influenciados pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que proporciona elevada quantidade de umidade que se distribui da região amazônica para o sudeste brasileiro, influenciando a formação de pluviosidade e podendo desencadear eventos de intensa precipitação em curto intervalo de tempo. Por outro lado, as Frentes Frias (FF) e a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), fenômenos meteorológicos semi-permanentes no sul do Oceano Atlântico, são os principais agentes relacionados ao período seco (SANTOS et al. 2019).

A análise da anisotropia, verificada no semivariograma experimental no intervalo de 2004 a 2017, indica a presença de uma tendência na direção noroeste (NW) para os meses mais chuvosos, enquanto que para os meses do período seco verifica-se tendência na direção sudeste (SE) e sul (S), corroborando com a influência mais significativa do ZCAS e das FF e ASAS em diferentes períodos (Figura 18).

A anisotropia é um parâmetro obtido através da análise da estrutura dos dados no semivariograma experimental e indica tendência direcional conforme orienta-se a manifestação dos fenômenos naturais. Dessa forma, verifica-se uma direção na qual os dados possuem estimativas de predições com menores erros associados. Porém, pode não haver alterações significativas na performance da predição entre semivariogramas isotrópicos e anisotrópicos (HABERLANDT, 2007).

A anisotropia é um fenômeno comumente associado a variáveis climáticas, devido a relação destas com outros fatores, sejam eles climáticos (e.g. direção preferencial do vento), orogênicos (e.g. geomorfologia), geográficos (e.g. distância do mar) entre outros (ARBIA & LAFRATTA, 2002; NIEMI et al. 2014; WADOUX et al. 2017).

A análise do semivariograma experimental, necessário para o ajuste dos parâmetros relacionados a aplicação da ferramenta de krigagem, resultou na média da distribuição das tendências direcionais mensais para o intervalo de 2004 a 2017, demonstrando uma relativa homogeneização da anisotropia segundo o período anual, conforme verifica-se na Figura 18.

A média anual da anisotropia da precipitação na região de estudo, com base em 168 medições mensais de pluviosidade, correspondeu a direção SWS ($133,7^\circ$) (Figura 18- M). Observa-se que os meses mais secos do ano, entre junho a agosto, possuem mais homogeneidade direcional para o sentido SWS (Figura 18 – F a I). Enquanto os meses mais chuvosos possuem anisotropia preferencial principalmente para a direção NW (Figura 18 – A a D). Entre os meses de janeiro a abril observa-se anisotropia no sentido NE, preferencialmente. Assim, nota-se que no início do ano a precipitação possui anisotropia N para NW, seguindo para S e SW, migrando, por fim, para NW, podendo sugerir, através dessa análise, heterogeneidade das origens pluviométricas ao longo do ano na BHSMV (Figura 18 – M).

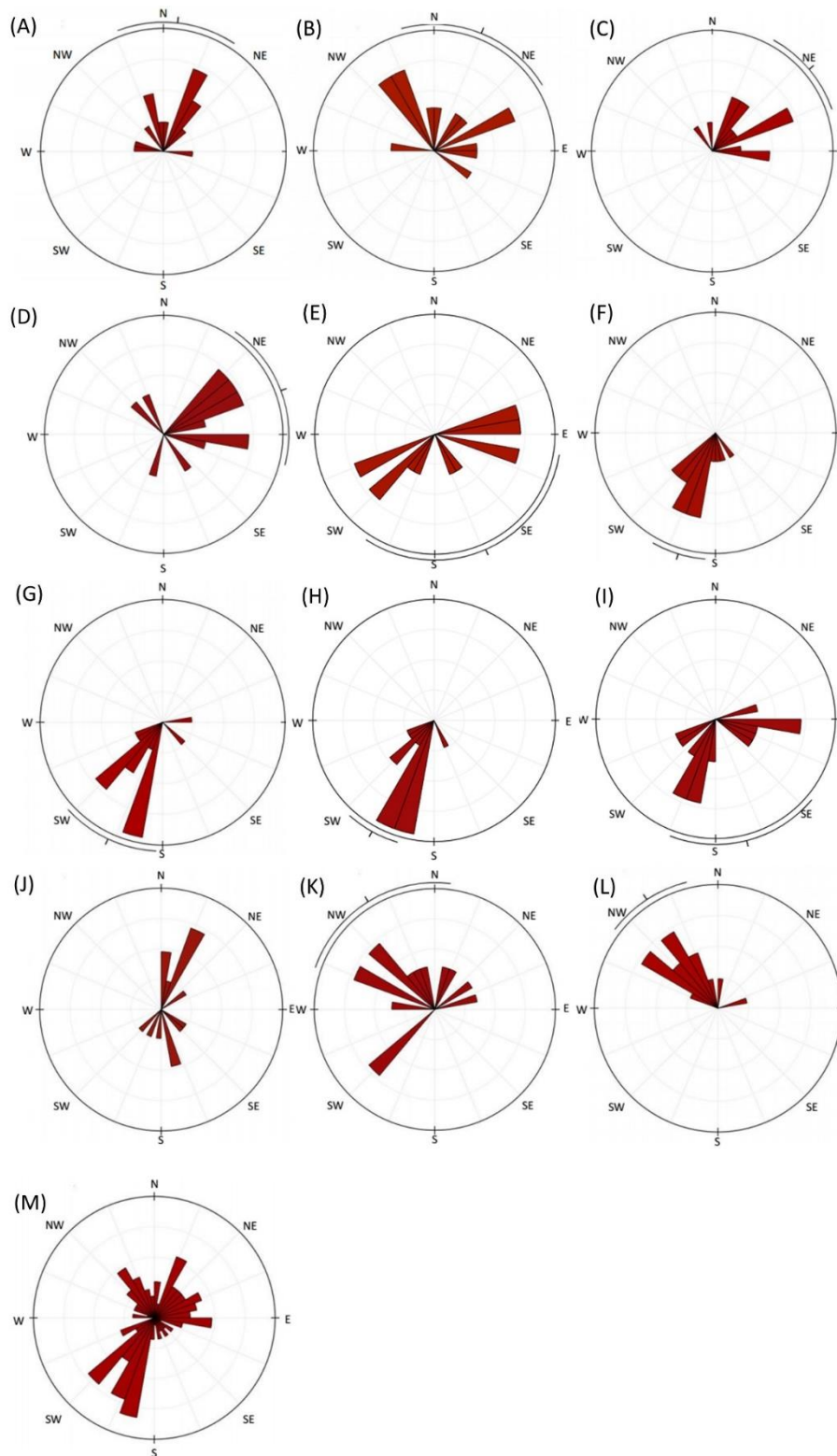


Figura 18: Direções preferenciais da pluviosidade média mensal e anual na região central do Espírito Santo para o período de 2004 a 2017 a partir da análise do semivariograma: (A) janeiro; (B) fevereiro; (C) março; (D) abril; (E) maio; (F) junho; (G) julho (H) agosto; (I) setembro; (J) outubro; (K) novembro; (L) dezembro e; (M) anual.

A região central do Espírito Santo configura-se com acentuada alteração de altitude a partir do litoral, influenciando a pluviosidade como um fator espacialmente dependente, associando diretas direções de manifestação da pluviosidade observadas nas tendências direcionais obtidas na análise da anisotropia através do semivariograma dos anos de 2004 a 2017, avaliadas na presente pesquisa.

Entretanto, concluir as causas da anisotropia encontradas nas análises do semivariograma necessita de um refinamento da grade amostral das estações e de maior amplitude temporal dos dados.

A Figura 19 representa a distribuição espacial mensal da precipitação na BSMV que apresenta-se heterogênea geograficamente ao longo do ano, registrando para os meses mais secos (julho a setembro) menor pluviosidade na porção superior da bacia (seção A), a oeste dessa, local que apresenta maior demanda hídrica, relacionada as atividades agrícolas (Figura 12).

O déficit hídrico prejudica demasiadamente o desenvolvimento de várias espécies cultivadas na região. Dentre as espécies cultivadas na porção superior da bacia (seção A) no ano de 2012-2015, o eucalipto representa o cultivo dominante, abrangendo 14% da área total, o que corresponde a 70,22 km². Outros cultivos que se destacam nessa seção são os temporários, principalmente hortaliças, e o café, com cerca de 63,5 e 26,7 km², respectivamente.

Em comparação com o mapeamento do uso e cobertura da terra do ano de 2007-2008, registra-se que a plantação de eucalipto aumentou 39,62% nesse intervalo. Por outro lado, nota-se a redução da floresta em estágio de regeneração na seção A em 24,4%. Dessa forma, verifica-se que com a ampliação das condições de escassez hídrica verificadas a partir de 2014, nota-se o incremento de espécies agrícolas que demandam mais água e a retirada de floresta em estágio de regeneração.

As plantações de eucalipto, como espécie exótica, tem sido correlacionadas com decréscimos no rendimento hídrico de bacias hidrográficas, relacionado a diminuições no nível dos lençóis

freáticos e menor umidade de água no solo. (SCOTT et al. 1998; FARLEY et al. 2005; FERRAZ et al. 2019).

Dessa forma, recomenda-se que, no caso de implantação de silvicultura, sejam escolhidos genótipos que consumam menos água, favorecendo o gerenciamento mais sustentável, aliando tecnologia, produtividade e conservação dos recursos hídricos (WHITEHEAD & BEADLE, 2004). Além disso, árvores em zonas ripárias consomem de 2 a 3 vezes mais água em comparação as localizadas em áreas não ripárias, dessa forma, faz-se necessário planejamento do manejo florestal em relação aos locais prioritários de implementação da silvicultura (SCOTT & LESCH, 1995).

A degradação ambiental da paisagem na porção da BHSMV que corresponde a região superior (seção A), teoricamente produtora de água, associada ao déficit hídrico registrado no presente estudo para a referida região, acentua a necessidade de se estabelecer medidas prioritárias à conservação dos recursos hídricos. Entretanto, o impacto da irrigação nas condições hidrológicas ainda carece de compreensão (MAHMOOD et al. 2014).

Mudanças de uso e cobertura da terra possuem relevantes impactos em escala local a regional/global, podendo desempenhar acentuada influência no sistema climático. Registra-se diminuições de até 25% do volume pluviométrico devido a processos de desmatamento em região amazônica (Sampaio et al. 2007) e o incremento de volume pluviométrico, em até duas vezes, quando nuvens percorrem sobre amplas áreas florestadas, entretanto, os efeitos locais do desmatamento ainda são pouco elucidados (SPRACKLEN et al. 2012).

Por outro lado, a porção superior também registra as maiores quantidades de chuva durante o mês mais chuvoso do ano (dezembro) (Figura 19). Entretanto, ao verificar a pluviosidade anual no intervalo de 2004 a 2017, nota-se que esta região está associada a menores médias pluviométricas anuais durante todo o intervalo temporal estudado, ressaltando a necessidade

de ações prioritárias nessa área anuais durante todo o intervalo temporal estudado, ressaltando a necessidade de ações pprioritárias nessa área.

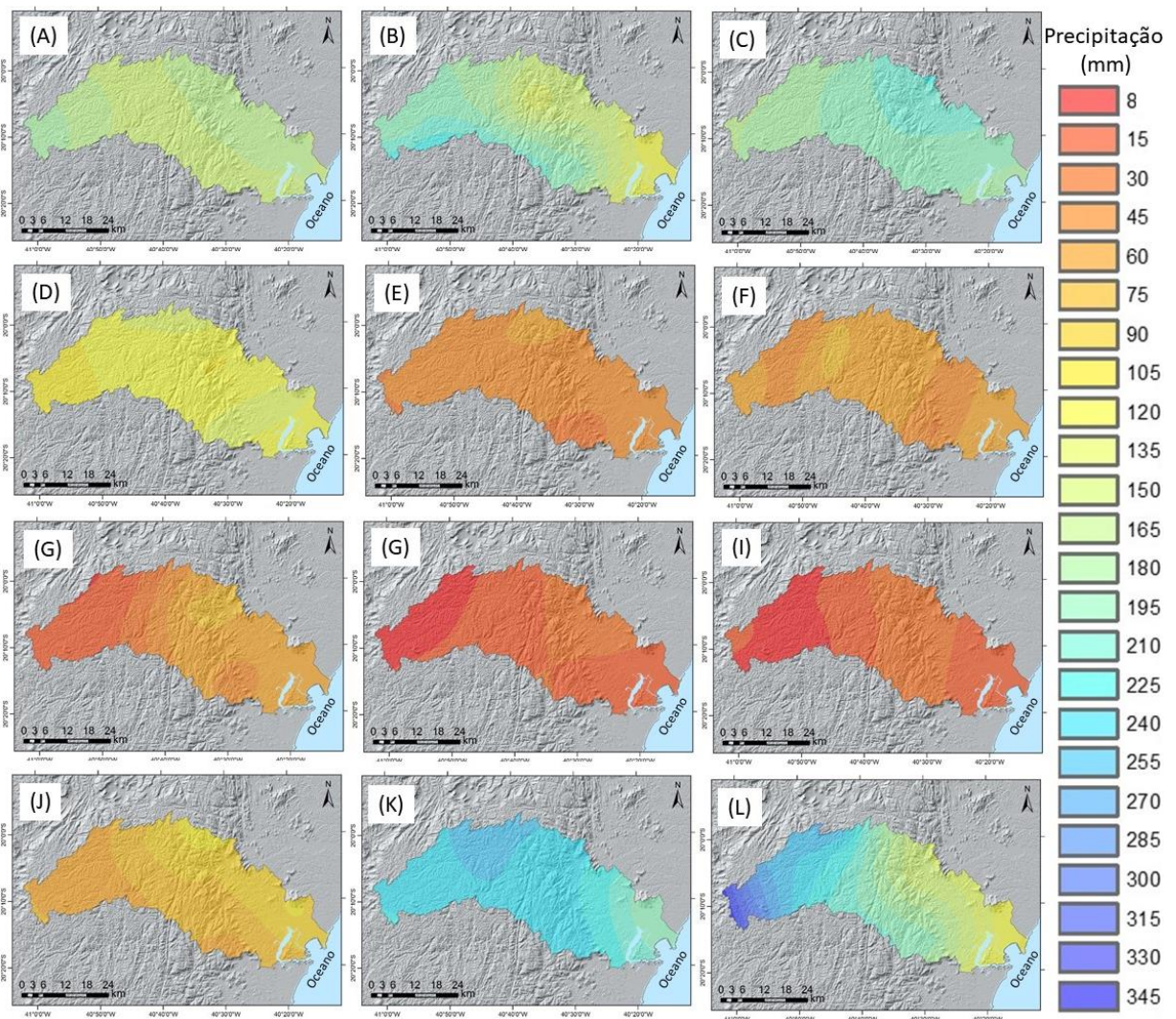


Figura 19: Pluviosidade média na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória para o período de 2004 a 2017. (A) janeiro; (B) fevereiro; (C) março; (D) abril; (E) maio (F) junho (G) julho (H) agosto (I) setembro (J) outubro; (K) novembro e; (L) dezembro.

Na Figura 20 visualiza-se a espacialização da chuva anual média para os anos de 2004 a 2017, verifica-se, que embora os anos de 2005 e 2013 tenham registrado as maiores quantidades de chuva, no ano de 2005 esta ocorreu geograficamente mais localizada e intensa, associando-se com a variação topográfica da região nos locais em que o relevo acentua-se, paralelo a linha de costa, na seção B da bacia. O padrão de acúmulo de chuva nessa região é verificado nos demais anos analisados, demonstrando a influencia da precipitação em relação a maritimidade/continentalidade, devido as linhas de instabilidade associadas a estas regiões.

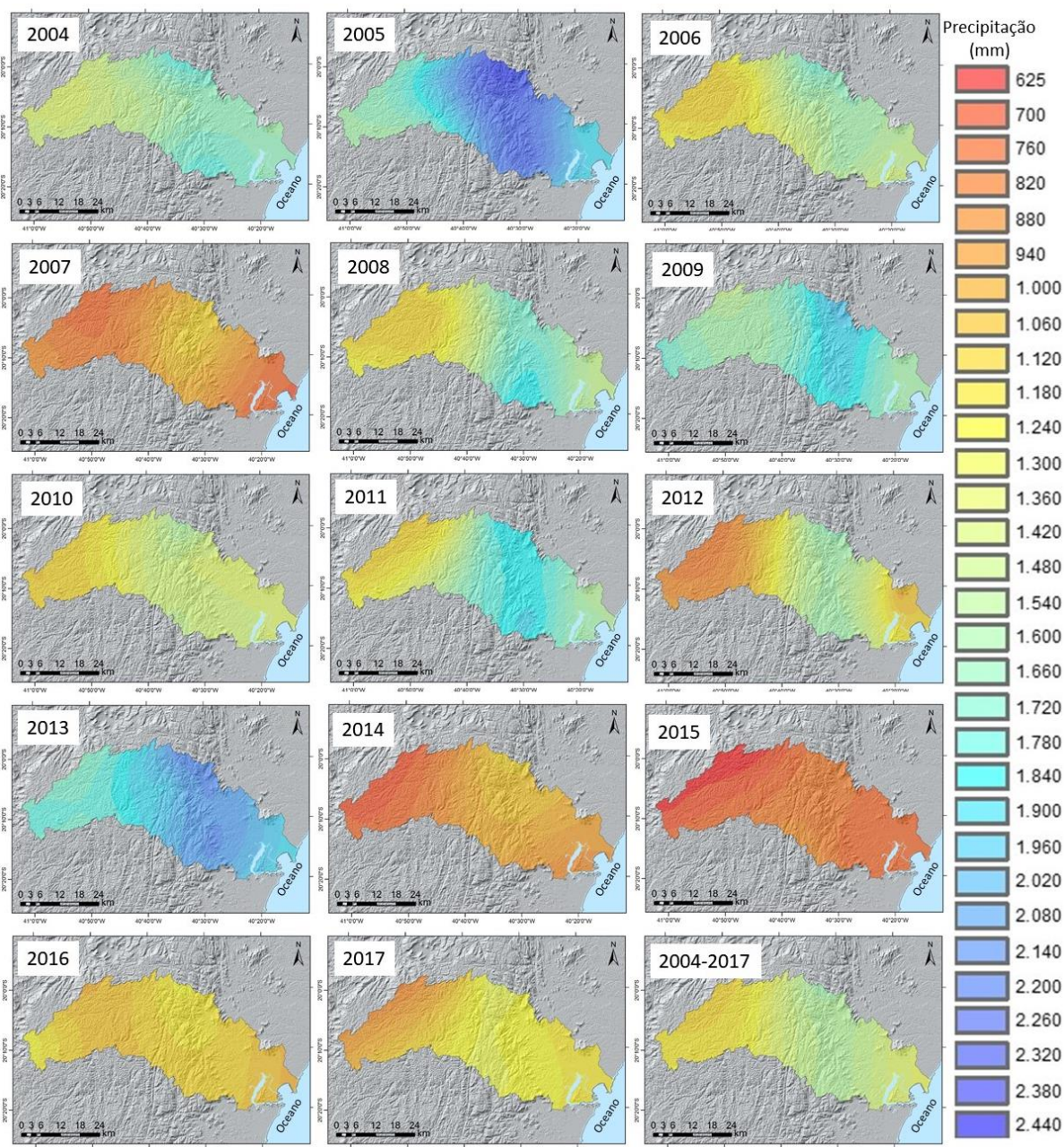


Figura 20: Pluviosidade média anual na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória no período de 2004 a 2017.

A distância do oceano em relação ao continente exerce ampla influência nas condições climáticas da região, relacionado ao acentuado relevo presente na porção média da BSMV, geomorfologicamente denominado Patamares Escalonados do Sul Capixaba. Os contrafortes da região serrana atuam concentrando e retendo a pluviosidade, causando uma região de sombra com áreas de menor pluviosidade, oeste da bacia, na feição geomorfológica denominada Maciços do Caparaó.

Verifica-se, então, bruscas faixas de regiões mais úmidas para regiões mais secas, no sentido oeste, demonstrando o efeito da obstrução orográfica dos Patamares Escalonados presentes na região, paralela ao litoral, caracterizando ocorrências de chuvas frontais.

Dentre o intervalo temporal estudado, os anos que apresentaram os menores valores de raiz do erro médio ao quadrado (RMS) correspondem aos anos mais secos desse período (2007, 2014, 2015 e 2017).

4.1.4 Correlações Pluviosidade e Vazão

Os métodos de correlação executados para avaliar as vazões fluviais das estações fluviométricas de PCH Rio Bonito Montante e Santa Leopoldina com as médias pluviométricas das respectivas bacias demonstram a alta relação entre essas duas variáveis, apresentando, respectivamente, coeficientes de correlação de 0,637 e 0,573 demonstrando uma correlação maior na bacia a montante da barragem PCH Rio Bonito (Figura 21).

Nota-se que ambas as correlações são menos significativas, em relação ao valor de R^2 (0,73), ao encontrado para a relação da vazão e pluviosidade para o intervalo de 1950 a 2014 obtida por Teubner Jr. (2016), porém, este não realizou a interpolação dos dados pluviométricos, utilizando para a comparação apenas a média das estações inseridas na bacia hidrográfica.

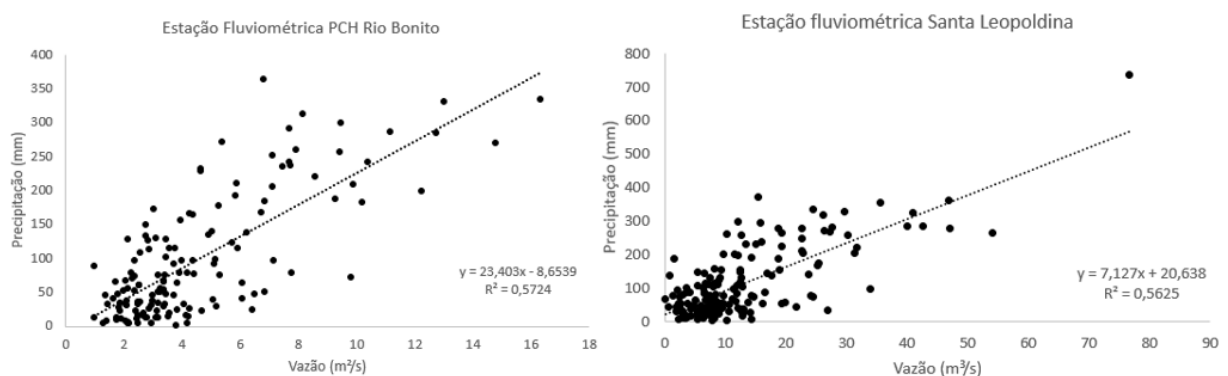


Figura 21: Correlação entre a vazão fluvial e a precipitação nas bacias geradas a partir do ponto de localização dos respectivos pontos para o período de 2004 a 2017. (Obs. A estação PCH Rio Bonito não apresenta a média de vazão para o mês de dezembro de 2013, período de alta intensidade de chuvas).

A análise mensal das médias das vazões fluviais com as médias pluviométricas encontradas para as sub-bacias PCH Rio Bonito Montante e Santa Leopoldina demonstram elevada correlação para todos os anos, exceto para 2014 e 2015 (Tabela 16). No ano de 2014 a baixa correlação encontrada pode estar relacionada as intensas chuvas ocorridas em dezembro de 2013, que influenciou em um alto fluxo de base na bacia registrado para o mês de janeiro, enquanto a precipitação nesse mês não acompanhou este índice, apresentando-se seco.

Além disso, ambos os anos, 2014 e 2015 foram anos de intensa escassez hídrica, o que poderia resultar em vazão de fluxo mínimo para esse período, não correlacionável aos reduzidos volumes pluviométricos registrados.

Tabela 16: Correlação de Pearson obtidas para as médias de vazão da estação fluviométrica PCH Rio Bonito Montante com as médias de precipitação da respectiva bacia no intervalo de 2004 a 2014.

Ano	Coef. Spearman	DP Precipitação	DP Vazão
2004	0,841**	96,86011	2,66030
2005	0,804**	109,45340	3,75825
2006	0,655*	102,39262	2,53120
2007	0,535	65,14331	2,67712
2008	0,879**	88,59437	2,04317
2009	0,839**	127,64679	3,84663
2011	0,811	102,38241	3,38691
2012	0,744**	80,85413	2,75058
2014	0,455	46,39528	1,20488

A maior correlação encontrada para o ano de 2014 na estação PCH Rio Bonito Montante, em relação a estação Santa Leopoldina, pode ser interpretada pela capacidade do reservatório Rio Bonito de regularizar o fluxo a jusante, retendo parte do fluxo fluvial para manutenção de suas operações. Considerando, ainda, que os anos anteriores foram relativamente secos, o que contribuiria para maior volume de água que poderia ser contido em seu reservatório e, conseqüentemente, maior discrepância entre a vazão observada e a média pluviométrica modelada para a bacia a montante.

Tabela 17: Correlação de Pearson obtidas para as médias de vazão da estação fluviométrica Santa Leopoldina com as médias de precipitação da respectiva bacia no intervalo de 2004 a 2017

Ano	Spearman	DP	
		Precipitação	DP Vazão
2004	0,762**	15,4	7,65
2005	0,769**	40,8	14,15
2006	0,713**	20,3	9,44
2007	0,629*	16,1	8,07
2008	0,769**	21,7	7,51
2009	0,853**	23,4	10,96
2010	0,552	14,5	9,24
2011	0,587*	23,2	10,24
2012	0,629*	24,8	12,94
2013	0,615*	20,8	19,19
2014	0,203	13,7	5,60
2015	0,077	24,6	2,15
2016	0,538	13,4	4,73
2017	0,196	15,7	6,80

* significativa a nível 0,05; ** significativa a nível 0,01

Obteve-se, através dos dados da estação de Santa Leopoldina, as quantidades relativas da produção de água por km² ao ano, que flui pelo canal principal da BHSMV, no intervalo de 2004 a 2017. A correlação entre as médias pluviométricas anuais com a descarga total foi significativa, apresentando coeficiente de Spearman de 0,648 (Tabela 18). Observa-se que nos últimos três anos foram os que apresentaram menor quantidade de descarga total, no intervalo analisado.

Assim como o observado no intervalo analisado, espera-se que os processos hidrológicos registrem eventos climáticos que manifestem persistência a longo prazo, fenômeno conhecido como Hurst, no qual verifica lento decréscimo nas tendências de agrupamentos ao longo do tempo, onde anos secos tendem a seguir anos secos ((RYBSKI et al. 2006; MCKITRICK & CHRISTY, 2019)

Tabela 18: Quantidade de água registrada na estação fluviométrica Santa Leopoldina anualmente por hectare.

Ano	Descarga total (m ³ /ano)*10 ⁹	Produção (m ³ .ano ⁻¹ .km ⁻²)*10 ⁶
2004	5,21	5,24
2005	9,78	9,85
2006	6,11	6,15
2007	4,54	4,58
2008	3,62	3,65
2009	5,12	5,15
2010	3,69	3,71
2011	5,45	5,49
2012	6,76	6,81
2013	6,26	6,30
2014	4,61	4,64
2015	1,60	1,62
2016	2,24	2,25
2017	2,37	2,38

As vazões das estações fluviométricas PCH Rio Bonito e Santa Leopoldina registram alta correlação entre si, apresentando coeficiente de Spearman de 0,869.

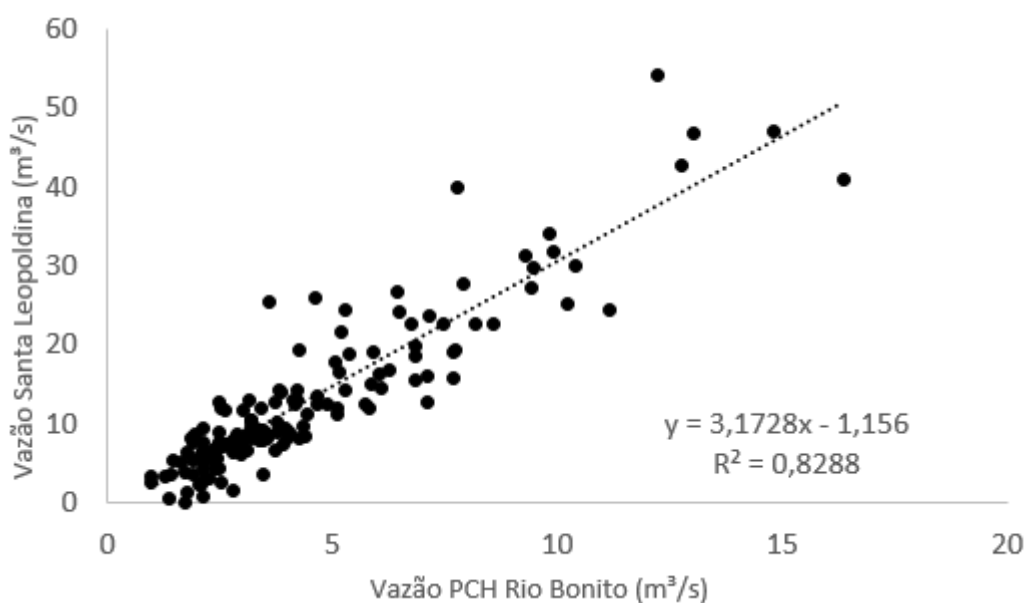


Figura 22: Relação no intervalo de 2004 a 2017 para as vazões médias mensais registradas nas estações fluviométricas PCH Rio Bonito Montante e Santa Leopoldina.

4.2 ÍNDICES CLIMÁTICOS

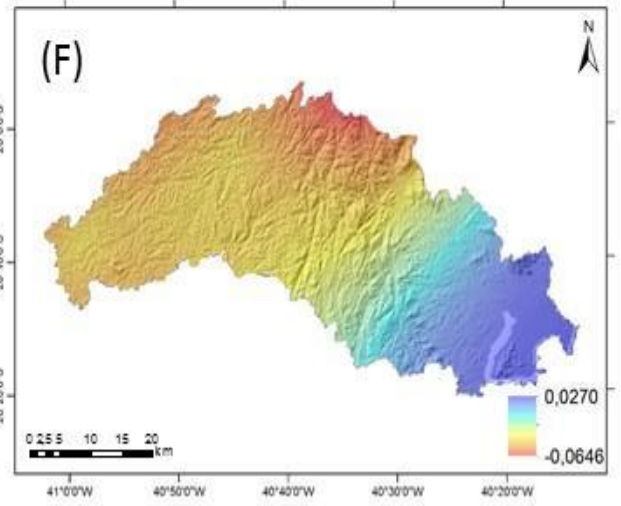
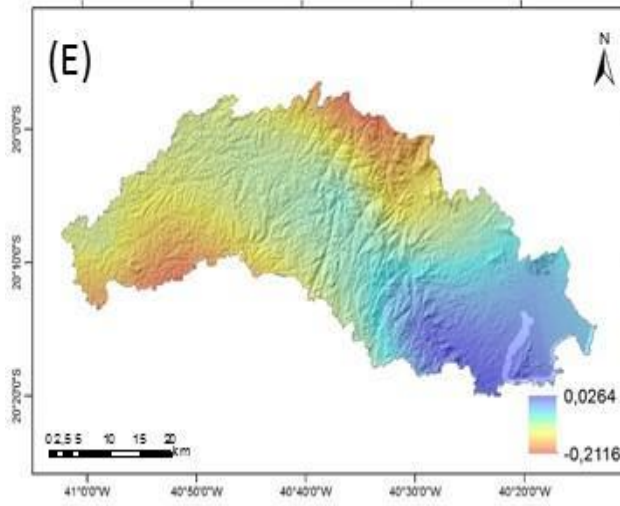
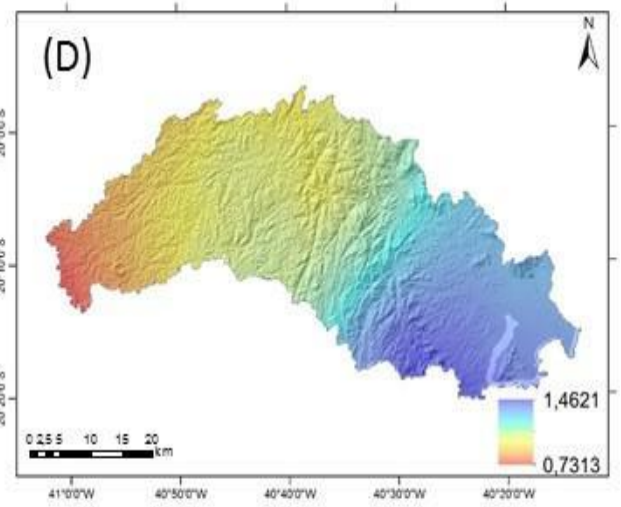
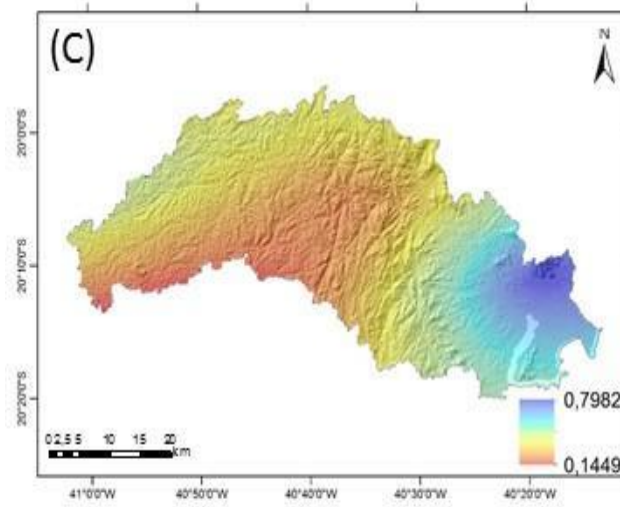
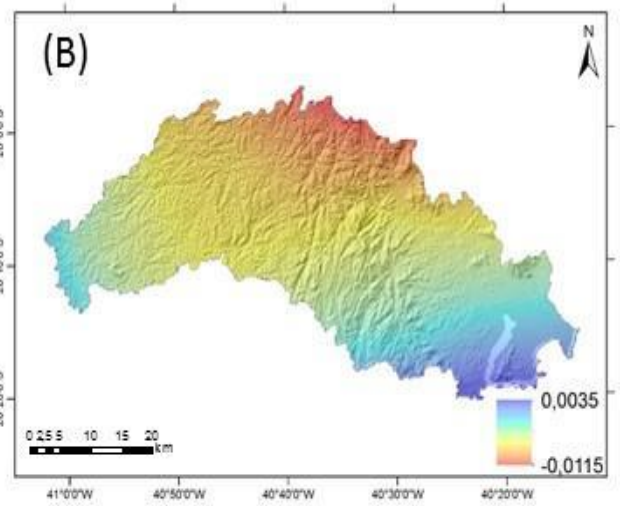
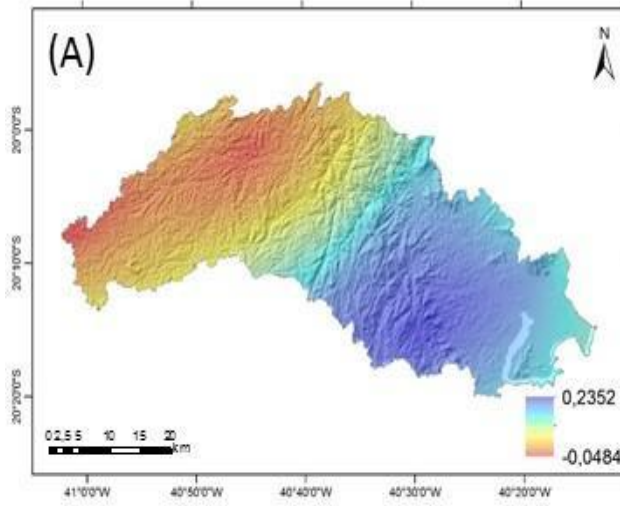
4.2.1 ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS

A análise da tendência de uma série temporal associa-se a não estacionariedade desta ao longo do seu desenvolvimento em relação a uma média, sendo diversos os fatores que condicionam a não estacionariedade, comumente decorrente de fatores inerentes ao fenômeno estudado, apresentando-se como componentes sazonais, tendência ou heterogeneidade de variâncias (MILLY et al. 2008; MILLY et al. 2015). Entretanto, a não-estacionariedade dos dados é uma afirmação complexa, deduzindo que as características da distribuição da variável dependem do tempo associado a uma função determinística estatística (SERINALDI & KILSBY, 2015; SERINALDI et al. 2018).

Mudanças significativas nos extremos climáticos são esperadas para as próximas décadas, revelando aumento na intensidade e frequência desses eventos (ZSCHEISCHLER et al. 2013). Nesse sentido, índices climáticos são comumente aplicados para análise de condições climáticas, principalmente para variáveis pluviométricas, devido a relevância de se conhecer o comportamento temporal da distribuição da precipitação para os aspectos socio-econômicos e ambientais. Necessita-se, no entanto, que as análises tenham alta resolução temporal, o que permitirá reduzir erros relacionados a eventos climáticos anômalos (GUZMAN et al. 2018).

A Figura 23 apresenta a espacialização dos valores das tendências anuais dos índices de extremos climáticos dependentes da pluviosidade para BHSMV. Verifica-se que dentre os índices de extremos climáticos avaliados no presente estudo, os que se relacionam a maiores volumes de chuva em menores intervalos temporais, nos últimos anos, foram os que obtiveram tendências positivas mais elevadas, correspondendo aos índices R95p, R99p e RX5day.

Por outro lado, os índices que geraram tendências positivas mais suaves correspondem aos CWD, R20mm, R50mm e SDII. Entretanto, nem todas as estações pluviométricas registraram significância estatística nas tendências observadas (ANEXO A).



(continua)

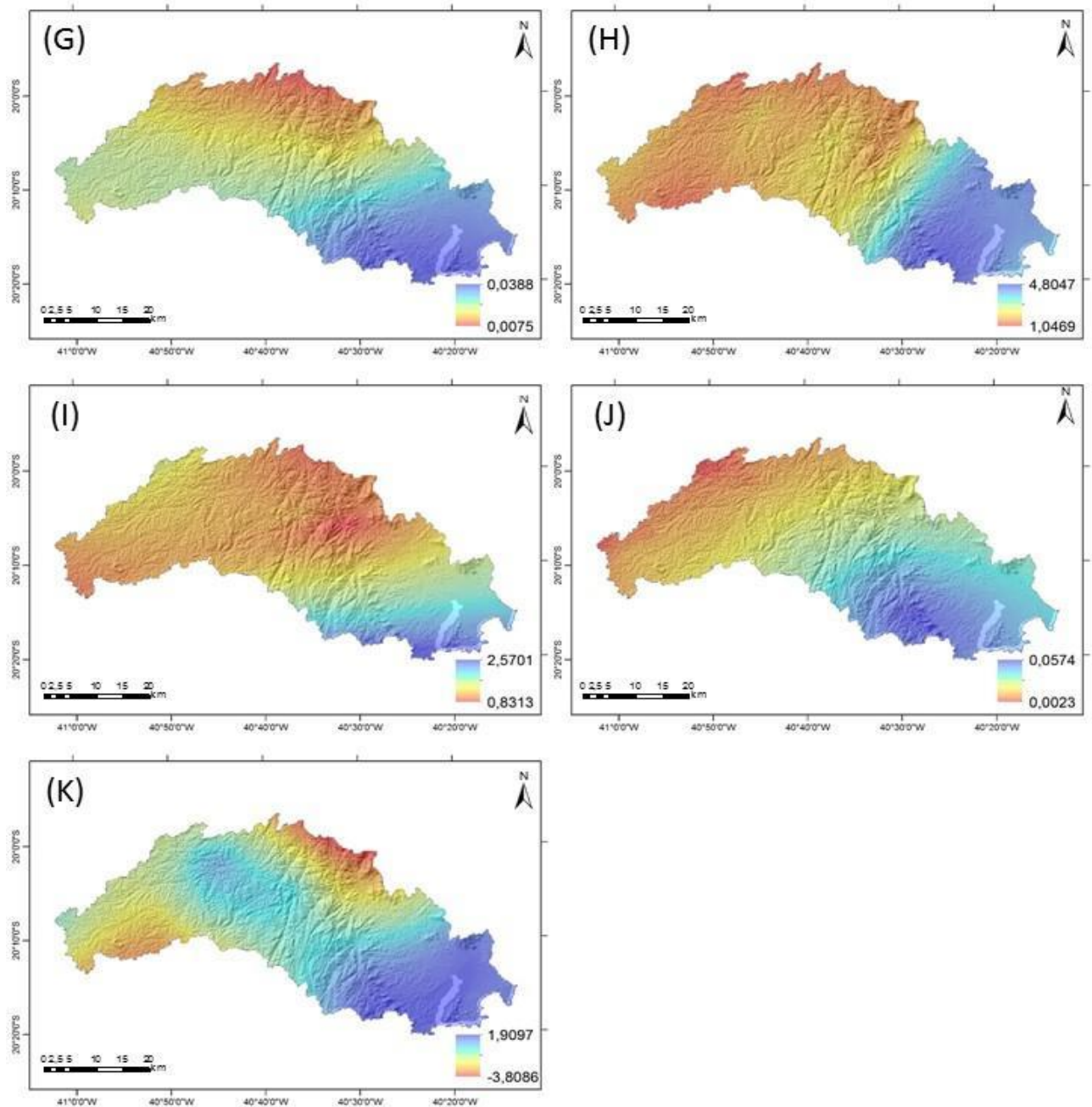


Figura 23: Interpolação das tendências dos índices de pluviosidade na Bacia Hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória obtidos no RCLimdex para o período de 1970-2017: (A): CDD – dias de seca consecutivos; (B): CWD – dias de chuva consecutivos; (C): RX1day – quantidade máxima de precipitação em um dia; (D): RX5day – quantidade máxima de pluviosidade em cinco dias; (E), (F) e (G): RX10mm, RX20mm e RX50mm – número de dias no ano com pluviosidade superior a Xmm/dia; (H): R95p – dias muito chuvosos (total anual superior ao percentil 95); (I): R99p – dias extremamente chuvosos (total anual superior ao percentil 99); (J): SDII – índice simples de intensidade diária de pluviosidade; (K): PCRPTOP – Total anual de pluviosidade

O índice PRCPTOP demonstra o volume precipitado anual para os dias de chuva (>1 mm) e registra tendência negativa para 23 dentre as 35 estações monitoradas. A análise da distribuição espacial deste índice na BHSMV indica a tendência de redução da pluviosidade anual para a porção superior da bacia (seção A), enquanto que na porção inferior (seção C), mais próxima a costa, nota-se a tendência de aumento deste índice, sugerindo incremento do volume pluviométrico anual nesta região. De forma geral, observa-se uma tendência a redução da pluviosidade na seção A da bacia hidrográfica, onde deveria haver maior quantidade de produção de água, considerando ainda a elevada demanda por água nessa região para fins agrícolas, o que poderia impactar esse setor econômico na bacia futuramente, se as tendências negativas do índice PRCPTOP se verificarem.

A tendência negativa na pluviosidade total também é verificada para bacias hidrográficas no nordeste brasileiro, região que registra alta frequência de eventos extremos (ZSCHEISCHLER et al. 2013), associada ao aumento dos dias de seca consecutivos e volumes pluviométricos mais intensos em menores intervalos de tempo, os quais estão mais relacionados a anomalias oceânicas no Pacífico do que as do oceano Atlântico (ASSIS et al. 2012; SALGUEIRO et al. 2014; ASSIS et al. 2018). Enquanto que para bacias hidrográficas na região sudeste foram registradas tendências ao aumento do volume de precipitação, ainda que concentradas em intervalos temporais mais curtos (GARCIA et al. 2018).

A análise do número de dias secos consecutivos, gerada pelo índice CDD, indica a tendência de aumento deste na maior área da BHSMV, verificando que das 34 estações pluviométricas monitoradas neste estudo, 28 apresentaram tendência positiva para o aumento do índice de dias secos consecutivos (CDD), e destes, 11 apresentaram significância estatística.

Nota-se, pela distribuição espacial do CDD na BHSMV que a seção C da bacia, próxima a linha da costa, apresenta tendência positiva mais acentuada. Isso se deve aos índices PRCPTOP e CDD, que sugere para região costeira tendências de incremento da pluviosidade, porém concentrada em poucos dias.

A região costeira por ser mais urbanizada, concentrando a maior parte da população da bacia hidrográfica (TEUBNER Jr. et al. 2019), está mais suscetível a eventos de pluviosidade intensa e de curta duração que acometem com elevada incidência esta região, associados, em grande

parte, pela ação da ZCAS, o que resulta em impactos urbanos tais como alagamentos, deslizamentos, desalojamento entre outros (MARCHIORO et al. 2016).

Por outro lado, o índice de extremo climático CWD representa os dias chuvosos consecutivos no ano. Dentre as estações consideradas para análise no presente estudo, apenas 5 apresentaram significância estatística, as quais correspondem as mais altas tendências positiva deste índice das séries temporais estudadas.

A distribuição espacial do índice CWD indica tendência positiva na porção costeira da BHSMV, assim como observado nas tendências obtidas pelos índices CDD e PRCPTOP. Dessa forma, verifica-se nessa área de maior adensamento urbano uma tendência de aumento de volume de chuva, distribuídos em menores intervalos de tempo e em dias mais consecutivos, o que poderá proporcionar maiores riscos a alagamentos e impactos relacionados a drenagem pluviométrica (MARCHIORO et al. 2016).

Constata-se, através da análise do índice de extremo climático R10mm, tendência negativa para este índice em 29 estações, das quais 13 apresentam significância estatística, indicando a diminuição do número de dias por ano com precipitação acima de 10 mm. O índice R10mm corrobora os resultados dos índices apresentados anteriormente, onde verifica-se a tendência de menores quantidades no volume de chuva na BHSMV, de forma geral, associadas a maiores tendências de dias secos consecutivos e menor tendência de dias chuvosos consecutivos, enfatizando a tendência de menores quantidades de chuva em dias mais esparsos. Tal sugestão é reforçada pelos resultados dos índices R20mm, que também possui tendência negativa, enquanto o índice R50mm possui tendência positiva em 28 estações, indicando aumento do número de anos com precipitação acima de 50 mm.

Índices pluviométricos que fixam limites estabelecidos de volume de chuva são interessantes, pois informa o números de dias acima do valor definido por mês ou ano, e nesse sentido, pode-se avaliar diferentes tipos de eventos ao longo da série histórica dependendo do foco da pesquisa. Este tipo de avaliação temporal em que se identifica valores que excedem um determinado valor de volume de precipitação é comumente utilizado na análise climatológica para se verificar frequência de dias com valores extremos de precipitação (ARAÚJO & BRITO, 2011; ASSIS et al. 2012; MARENGO et al. 2013; RODRÍGUEZ-MORENO et al. 2015; SANTOS & OLIVEIRA 2017;).

O índice simples de intensidade diária de precipitação (SDII) apresentou tendência positiva em 26 estações meteorológicas, destas, 8 apresentaram significância estatística, correspondendo aos maiores valores na tendência deste índice. As regiões que experimentaram os maiores acréscimos na tendência do índice SDII correspondem as mesmas que apresentaram os maiores valores de CDD e PRCPTOP, corroborando para a verificação de que a região costeira possui tendência de aumento no volume de chuva associado a períodos mais esparsos de pluviosidade, ou seja, maior intensidade diária.

O índice que analisa o volume máximo de pluviosidade em um dia, RX1day, revela a tendência positiva em 26 séries históricas, das quais 9 apresentaram significância estatística, sugerindo que o volume de chuva em apenas um dia tem aumentado ao longo do intervalo de tempo amostrado. Corroborando este resultado, o índice RX5day que corresponde a pluviosidade máxima registrada em 5 dias consecutivos também registrou tendência positiva para 31 estações, sendo 6 com significância estatística entre os maiores valores de tendência. Nesse sentido, verifica-se a tendência a concentração dos volumes pluviométricos e o aumento da quantidade de chuva, principalmente na região costeira.

Os índices RX1day e RX5day são proporcionais aos demais índices analisados, pois o aumento da pluviosidade máxima em 1 e 5 dias consecutivos está alinhado a tendência de maiores quantidades de chuva de dias secos e chuvosos consecutivos, verificados com mais intensidade na tendência para a seção C, leste da BHSMV. Além disso, a tendência ao acréscimo de precipitação acumulada em cinco dias consecutivos poderá proporcionar problemas para a população da região metropolitana da região, acentuando impactos como alagamentos, deslizamentos de encostas entre outros danos. Segundo Skansi e outros (2013), verificam-se altas tendências de elevação dos dias de pluviosidade em 1 e 5 dias consecutivos em toda região sudeste, com a intensificação das chuvas relacionadas a região amazônica.

Verifica-se, através dos índices que analisam os dias muito chuvosos (R95p) e extremamente chuvosos (R99p), que estes apresentam tendência positiva em 29 e 26 estações, respectivamente, onde destas, cinco são significativas. Tais resultados reforçam a tendência postulada pelos demais índices de extremos climáticos analisados, em que ocorre tendência ao aumento do volume de chuvas ocorrendo em menores intervalos de tempo, principalmente na região costeira da BHSMV.

A Figura 25 representa os resultados dos índices de extremos climáticos gerados para a estação pluviométrica Cachoeira Suíça, monitorada pela ANA, mostrando a tendência do índice ao longo da série histórica. Nota-se, através da análise do índice PRCPTOP (Figura 25 – A), que a década de 90 apresentou maiores condições de secas, registrando picos negativos para esse índice em vários anos. Por outro lado, nota-se acentuados picos positivos nos anos de 2005, 2011 e 2013, também registrados pela interpolação espacial dos dados de precipitação (Figura 20). A tendência de anos secos, registrados a partir de 2014 pela espacialização das informações, é verificada nos gráficos dos índices de extremos climáticos, mostrando incremento nos dias secos consecutivos (Figura 25 -B) e acentuada diminuição do índice PRCPTOP.

Índices de extremos climáticos relacionados a precipitação são comumente aplicados na região semi-árida e árida brasileira (SANTOS, OLIVEIRA, 2017; BEZERRA et al. 2018) e na região sudeste (TAFARELLO et al. 2016; MOHOR, MENDIONDO, 2017), impulsionados pelos contínuos e crescentes impactos relacionados a cenários de escassez hídrica, entretanto, os índices também são úteis para explicar sobre tendências positivas que podem causar impactos devido chuvas intensas em curto período de tempo como as verificadas em dezembro de 2013 no Espírito Santo (Figura 24).

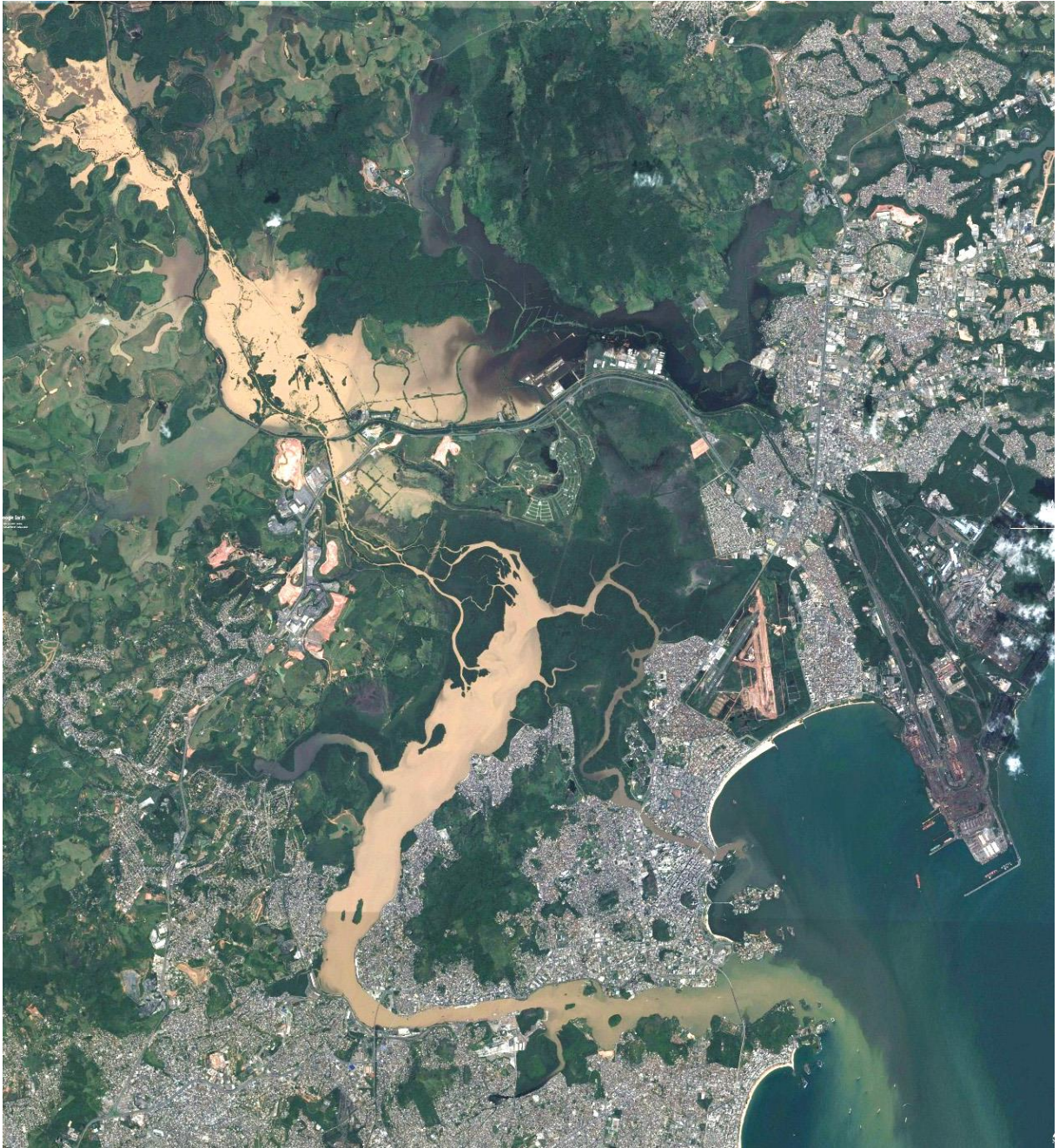


Figura 24: Sistema Estuarino da Baía de Vitória e áreas adjacentes em 26 de dezembro de 2013. Fonte: Google Earth.

Os impactos relacionados a inundações englobam, basicamente, três fatores principais quanto a seus efeitos na sociedade humana, associados a intensidade do risco (e.g. densidade da drenagem), a exposição humana (e.g. população) e a vulnerabilidade (e.g. infraestrutura danificada) (BARENDRECHT, et al. 2017). A alteração da estratégia de mitigação dos impactos (enfrentamento aos danos) é fundamental para o sucesso das respostas de gerenciamento e

para a conservação do meio ambiente (VANKONINGSVELD et al. 2008; BARENDRECHT, et al. 2017)

Soma-se a gravidade de tendências a inundações, observada nos índices de extremos climáticos, o aumento do fator exposição humana, devido à tendência das pessoas se mudarem para áreas urbanas mais próximas a drenagem (DI BALDASSARRE et al. 2010), tendência que poderá ser mais acentuada caso a situação econômica brasileira seja deteriorada (GRAMES et al. 2016). Dentre as estratégias que tem sido desenvolvidas para atenuar ou suprimir o risco a inundações, o Gerenciamento Integrado de Risco de Inundações (GCRI) tem sido empregado com significativo sucesso, englobando, em escala regional, combinações de medidas relacionadas aos fatores de risco, entretanto, observa-se este tipo de planejamento político em países desenvolvidos, europeus (BARENDRECHT, et al. 2017).

A distribuição dos índices de extremos climáticos sugere tendência ao incremento da escassez hídrica na seção A, oeste da bacia, local que corresponde as maiores proporções de cultivo agrícola e maiores demanda de água, indicando possíveis impactos sócio-econômicos para essa região, inclusive sobre os sistemas de abastecimentos públicos existentes na área. Outra área crítica para implementações de ações prioritárias consiste na seção C da BHSMV, que corresponde ao local onde verifica-se as tendências positivas mais acentuadas de aumento de volume pluviométrico em menores intervalos de tempo. Segundo Zhao e Pitman (2002), a urbanização e mudanças na cobertura florestal são fatores que influenciam na variação espacial dos etremos pluviométricos.

A compreensão das características e tendências da pluviosidade contribuem para a modelagem dos riscos associados a segurança hídrica e planejamentos de políticas públicas (GUZMÀM et al. 2017). Estima-se um incremento de 45% em áreas irrigáveis até 2030 no território brasileiro, o que justifica o emprego de técnicas de irrigação mais eficazes e a necessidade de se fiscalizar barramentos nas drenagens fluviais, prática esta que contribui para agravar a situação de crise hídrica a jusante da bacia (ANA, 2017).

Dentre os instrumentos da gestão dos recursos hídricos já implantados, a outorga é um dos quais potencializa a sustentabilidade nas práticas agrícolas, por meio da análise do direito de uso dos recursos hídricos por órgão público ou comitê especializado, visando o controle quali-

quantitativo da água. Entretanto, é necessário compreender a dinâmica hidrológica da região para estabelecer os limites quanto as restrições na autorização do uso da água.

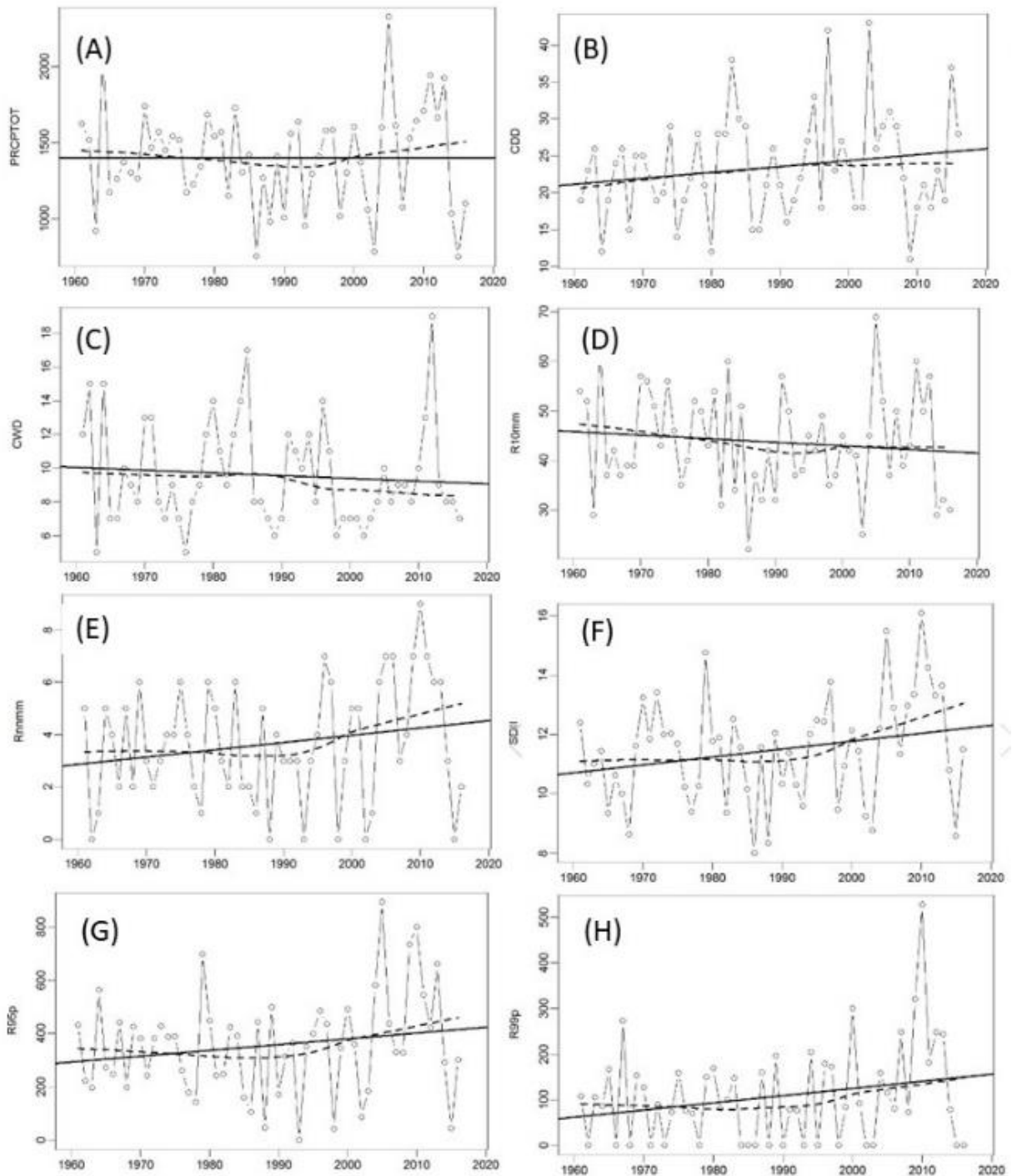


Figura 25: Tendências dos índices climáticos na estação pluviométrica Cachoeira Suíça: (A) PRCPTOP; (B) CDD; (C) CWD; (D) R10mm; (E) R50mm; (F) SDII; (G) R95p e; (H) R99p.

Evidências sugerem que as alterações nos padrões da distribuição da pluviosidade tenderão gerar mais cenários de escassez hídrica, o que reduzirá a vazão fluvial e impactará diversos setores econômicos (MARENGO & BERNASCONI, 2014; ESCOBAR 2015). Comumente observa-se as ações governamentais centralizarem-se em medidas pós-impactos, em relação a eventos climáticos extremos, decretando, por exemplo, estados de emergência ou calamidade. Porém, Políticas públicas que incentivem medidas de remediação que permitam contribuir para o armazenamento e captação da precipitação no sistema hidrológico devem ser incentivados e avaliados quanto sua eficiência e implementação.

Nesse sentido, cita-se os programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), amplamente empregados no Brasil. Dentre estes, o programa de Ampliação da Cobertura Florestal do Espírito Santo (Reflorestar), que incentiva a restauração do ciclo hidrológico através da restauração e recuperação da cobertura florestal, por meio de pagamento monetário de produtores rurais cadastrados localizados em áreas prioritárias para a conservação dos recursos hídricos, na qual, a BHSMV está inserida (SEAMA, 2019). Ressaltando-se a importância da compreensão do ciclo hidrológico na implementação de políticas que incentivem a sustentabilidade.

Outro projeto recentemente implementado no Espírito Santo, como medida mitigatória das recentes crises hídricas que acometeram o estado (Figura 20) e com potencial para PSA, consiste na utilização de técnica de barraginhas, que visa reter sedimentos e potencializar a eficiência da infiltração da água no solo, otimizando o regime hídrico local e estimulando boas práticas agrícolas que contribuem para a conservação dos recursos hídricos (STRAUCH et al. 2013; SAAD et al. 2018).

A integração da ciência e governança para efetivar políticas públicas é complexa, pois envolve vários fatores além do científico, como a tecnologia disponível e o comportamento social, além da subestimação da necessidade de uma abordagem holística na implementação de políticas mais sustentáveis, o que pode conduzir a não efetivação destas (LIU et al. 2015; ROSE & PARSONS, 2015; MERCURE et al. 2016; MERCURE et al. 2019).

Apesar das tendências de extremos climáticos indicarem cenários de escassez hídricas em grande parte da BHSMV e esta constituir uma unidade de recurso hídrico fundamental para o abastecimento metropolitano, estudos indicam que ameaças a segurança hídrica consistem, principalmente, a partir de empreendimentos de perfuração de poços artesianos, que podem comprometer os depósitos de água subterrânea devido o excesso de exploração (MAINA et al. 2020).

A análise conjunta da distribuição espacial da pluviosidade nos últimos anos e as tendências de extremos climáticos indicadas no presente trabalho para a BHSMV ressalta a importância de estudos hidrológicos na identificação de áreas prioritárias para o gestão dos recursos hídricos, em que necessita-se, principalmente, de projetos de conservação hídrica na seção A e projetos de enfrentamento de danos relacionados a inundações na seção C (Figura 20 e Figura 25).

4.2.2 ÍNDICES DE ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS

Caracterizar um fluxo fluvial por um período inferior a 20 anos, como o registrado para os dados antes do barragemento fluvial, pode carecer de significado estatístico, devido a variabilidade das condições climáticas e a atuação de fenômenos meteorológicos que podem interferir nos padrões espaço-temporal dessas variáveis, além disso, vários fatores poderiam ter influenciado possíveis alterações nas vazões em diferentes escalas de tempo.

Dessa forma, utilizou-se, além da aplicação do IHA ao período antes e após a implantação da barragem PCH Rio Bonito, e para auxiliar na análise das alterações no fluxo na BHSMV, a fragmentação da série temporal em períodos de aproximadamente duas em duas décadas a partir de 1958, ficando a série temporal dividida em 4 intervalos: 1950-1958, 1959-1979, 1980-1999 e 2000-2018.

A análise da forma da distribuição dos dados de vazão nos intervalos temporais analisados permitiu verificar um padrão assimétrico positivo para o período avaliado, indicando a predominância de valores acima da média dos dados caracterizando uma distribuição não normalizada da vazão e justificando o emprego de métodos não paramétricos no processamento dos IHA (Figura 26).

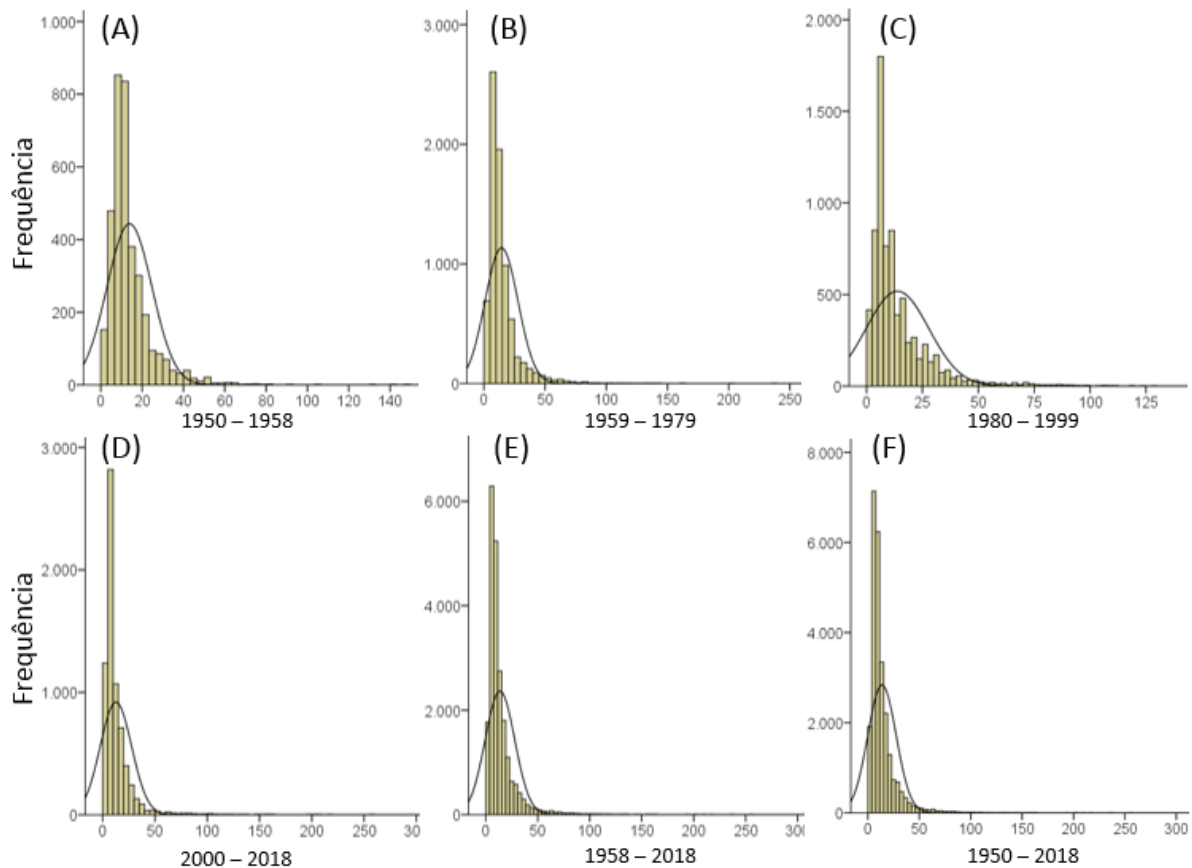


Figura 26: Histogramas mostrando a distribuição dos dados de vazão fluvial nos períodos considerados na avaliação dos índices de alterações hidrológicas na estação fluviométrica inserida na porção média da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória (código: 57130000).

A análise estatística descritiva permitiu analisar o padrão entre os períodos avaliados, inicial e final, no qual nota-se que os valores máximos e a média registraram um incremento de aproximadamente 71 e 9%, respectivamente. Os valores de assimetria e curtose menores para o de 1980 - 1999 demonstra que os dados apresentam-se mais próximos a normalidade do que para todo o conjunto temporal estudado, verificando os maiores valores destes parâmetros para as últimas décadas avaliadas (2000 – 2018) (Tabela 19).

Tabela 19: Estatística descritiva para os intervalos avaliados no IHC na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória e para todo o período da série histórica (1950 – 2018).

Período	Mín. (m ³ /s)	Máx. (m ³ /s)	Méd. (m ³ /s)	D. P. (m ³ /s)	Variância (m ³ /s)	Assimetria	Curtose
1950 – 1958	1	150	13,88	10,91	119,2	3,32	21,65
1959 – 1979	1	236	14,43	13,48	181,81	4,22	32,34
1980 – 1999	0	128	13,80	14,06	197,70	2,77	10,59
2000 - 2018	0	256	12,65	15,03	226,11	5,33	46,02
1958 – 2018	0	256	13,64	14,20	201,72	4,15	30,64
1950 – 2018	0	256	13,68	13,78	198,96	4,13	30,89

As médias mensais para os períodos antes e após a instalação da PCH Rio Bonito apresentam alterações nos fluxos fluviais, mais acentuados nos períodos secos, verificando descrescimentos entre abril a setembro (Figura 27 – A). Entretanto, ao analisar a variação por períodos de intervalos menores, 1950-1958, 1959-1979, 1980-1999 e 2000-2018, verifica-se que as diferenças entre o período inicial (antes da implementação da PCH) são mais acentuadas em relação as últimas décadas analisadas, quando o intervalo de 2000-2018 apresenta menores médias de vazão mensal em todos os meses (Figura 27 –B).

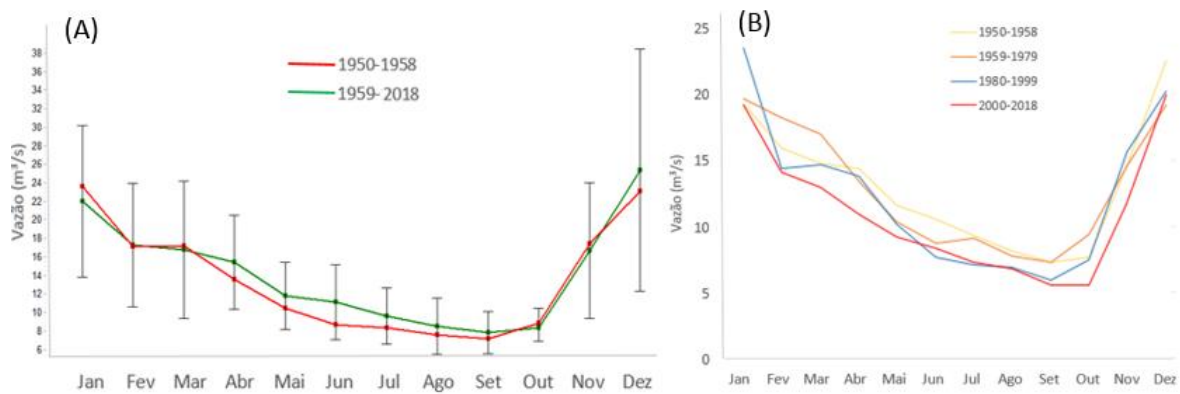


Figura 27: Vazão fluvial média: (A) antes e após implementação da PCH Rio Bonito; (B) intervalos de 1950 – 1958, 1959 – 1979, 1980 – 1999, 2000 – 2018, na estação Santa Leopoldina (código 57130000), inserida na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória.

Os resultados dos indicadores de mudanças hidrológicas (IHC) da BHSMV estão na Tabela 20, Tabela 21 e Tabela 22, onde verificam-se todos os parâmetros e o coeficiente de dispersão relacionado ao intervalo temporal calculado (1950-1958 e 1959-2018), que corresponde ao período antes e após a implantação da PCH Rio Bonito, e aos intervalos determinados ao longo da série histórica (1950-1958, 1959- 1979, 1980- 1999 e 2000-2018).

Para a análise do intervalo antes e após a implementação da PCH Rio Bonito registram-se variações relativas para todos os grupos de indicadores, que apresentam valores médios de variação de -15,35 e -5,83% para os grupos 1 e 2 respectivamente, enquanto que a variação entre os intervalos de 1950-1958 e 2000-2018 apresentou média de -17,03 e -3,91%.

Os resultados do grupo 1 representam a magnitude dos valores mensais, em relação ao período antes e após a implementação da PCH Rio Bonito, estes parâmetros indicam uma variação de aproximadamente -26 a 10%, observadas para os meses de novembro e janeiro, respectivamente. Nota-se que alterações negativas foram maiores no período de maio a junho e em novembro (Figura 28).

Ao aplicar os parâmetros do Grupo 1 para os períodos 1950-1958, 1959-1979, 1980-1999 e 2000-2018, obtém-se a diminuição das médias mensais entre estes intervalos sequencialmente entre estes, exceto para o último intervalo, 2000 a 2018, quando ocorre acréscimo em relação ao intervalo anterior. Ao se analisar o primeiro e o último intervalo, verifica-se, em geral, diminuição na magnitude dos fluxos fluviais, reduzindo em 28,6 a 5%,

ocorrendo as maiores variações nos meses de outubro e novembro. Apenas o mês de janeiro registrou incremento de 21,1% na magnitude da vazão.

Tabela 20: Indicadores de mudanças hidrológicas (IHC) para o fluxo da drenagem a jusante das barragens PCH Rio Bonito e PCH Cachoeira Suíça.

Grupos IHA	Mediana (m ³ /s)			Coeficiente de Dispersão		
	Pré-barramento	Pós-barramento	Alteração (%)	Pré-impacto	Pós-impacto	Alteração
Grupo 1: Magnitude das condições mensais						
Janeiro	19	21	10,53	0,61	0,65	8,18
Fevereiro	18	14	-22,22	0,44	0,82	84,83
Março	15	12	-20,00	0,77	0,98	27,72
Abril	14,5	11	-24,14	0,45	0,86	92,64
Mai	12	9	-25,00	0,46	0,67	45,47
Junho	10,5	8	-23,81	0,57	0,38	-34,37
Julho	9	7	-22,22	0,44	0,68	52,70
Agosto	7	6,5	-7,14	0,50	0,73	46,16
Setembro	7	6	-14,29	0,50	0,83	66,66
Outubro	7	7	0,00	0,21	0,71	233,32
Novembro	13,5	10	-25,93	0,70	0,95	35,00
Dezembro	20	18	-10,00	1,15	0,86	-25,12
<i>Variação média (%) do Grupo 1</i>			-15,35			52,77
Grupo 2: Duração e magnitude dos extremos anuais						
Vazão mín. anual 1 dia	6,00	3,00	-50,00	0,58	1,25	114,30
Vazão mínima anual 3 dia	6,00	4,00	-33,33	0,58	0,92	57,16
Vazão mín. anual 7 dia	6,00	4,29	-28,57	0,49	0,91	86,09
Vazão mín. anual 30 dia	6,37	4,98	-21,74	0,26	0,89	243,87
Vazão mín. anual 90 dia	7,12	5,81	-18,48	0,43	0,79	86,05
Vazão máx. anual 1 dia	65,00	92,50	42,31	0,58	0,49	-16,78
Vazão máxima anual 3 dia	63,33	71,00	12,11	0,54	0,55	0,89
Vazão máx. anual 7 dia	51,00	57,93	13,59	0,43	0,63	48,85
Vazão máx. anual 30 dia	28,00	34,22	22,21	0,54	0,58	8,10
Vazão máx. anual 90 dia	21,39	22,16	3,60	0,40	0,59	48,56
Número de dias com fluxo zero	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-
<i>Variação média (%) do Grupo 2</i>			-5,83			67,71
Grupo 3: Periodicidade de eventos extremos anuais						
Data da vazão mínima anual	277,00	230,00	-16,97	0,14	0,23	57,67
Data da vazão máxima anual	363,00	354,50	-2,34	0,12	0,15	29,02

Grupo 4: Frequência e duração de pulsos positivos e negativos						
Número de baixos pulsos no ano	6,00	12,50	108,33	1,25	0,88	-29,60
Duração média (dias) dos baixos pulsos	8,00	3,00	-62,50	0,88	1,17	33,37
Número de altos pulsos no ano	12,00	9,00	-25,00	0,75	0,67	-11,11
Duração média (dias) dos altos pulsos	3,00	2,75	-8,33	1,08	1,05	-3,51
Grupo 5: Taxa/frequência de alteração do fluxo						
Taxa de ascensão	2,50	1,00	-60,00	0,40	1,00	150,00
Taxa de recessão	-1,00	-1,00	0,00	-0,50	-1,00	100,00
Número de reversões	82,00	131,50	60,37	0,33	0,37	13,15

As alterações verificadas no Grupo 2 representam relações quanto a magnitude e duração das condições extremas anuais, nota-se, para o intervalo antes e após a implementação da barragem, que os índices relacionados ao fluxo mínimo decresceram entre os períodos, enquanto os índices que representam os parâmetros de máxima vazão aumentaram (Figura 29). Os valores medianos anuais, com duração de dias mínimos e máximos consecutivos de 1, 3, 7, 30 e 90 dias, apresentaram diminuição da vazão em relação aos dias de fluxo mínimo (-50 a 18,5%) e incremento quanto aos dias de fluxo máximo (3,6 a 42,3%).

Os parâmetros do Grupo 2, em relação aos intervalos 1950-1958, 1959-1979, 1980-1999 e 2000-2018, indica que no período de 1980-1999 registra as menores vazões mínimas anuais de 1, 3 e 7 dias consecutivos, enquanto o intervalo mais recente registra os menores os menores índices para 30 e 90 dias de vazões mínimas consecutivas, demonstrando a presença de secas mais longas nesse período nas últimas décadas. Em relação as vazões máximas anuais de dias consecutivos, registra-se que para 1 e 3 dias ocorreu incremento gradual ao longo do intervalo, registrando aumento de 56,9 e 31,1% ao longo do tempo, respectivamente. No entanto, os maiores valores das vazões máximas anuais para 7, 30 e 90 dias são encontrado no período de 1980-1999.

Tabela 21: Indicadores de mudanças hidrológicas (IHC) dos valores médio, mínimo e máximo para o fluxo da drenagem a jusante das barragens PCH Rio Bonito e PCH Cachoeira Suíça, inseridas na porção média da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, obtida para a estação fluviométrica Santa Leopoldina (código: 57130000).

Grupos IHA	Vazão (m ³ /s)					
	Período Pré-impacto (1949 - 1958)			Período pós-impacto (1959 - 2019)		
	Mediana	Mín.	Máx.	Mediana	Mín.	Máx.
Grupo 1: Magnitude das condições mensais						
Janeiro	19,00	9,00	31,00	21,00	2,00	71,00
Fevereiro	18,00	8,00	28,00	14,00	1,00	58,50
Março	15,00	6,00	25,00	12,00	0,00	62,00
Abril	14,50	7,00	22,00	11,00	3,00	35,00
Maio	12,00	6,00	18,00	9,00	2,00	21,00
Junho	10,50	5,00	16,50	8,00	2,00	34,00
Julho	9,00	5,00	14,00	7,00	2,00	19,00
Agosto	7,00	4,00	11,00	6,50	2,00	21,00
Setembro	7,00	3,00	11,00	6,00	1,00	13,50
Outubro	7,00	6,00	12,00	7,00	1,00	20,00
Novembro	13,50	6,00	30,00	10,00	2,00	57,50
Dezembro	20,00	4,00	38,00	18,00	4,00	54,00
Grupo 2: Duração e magnitude dos extremos anuais						
Vazão mín. anual 1 dia	6,00	2,00	7,00	3,00	0,00	11,00
Vazão mí. anual 3 dia	6,00	2,00	7,00	4,00	0,00	11,33
Vazão mín. anual 7 dia	6,00	2,57	7,29	4,29	0,00	11,71
Vazão mín. anual 30 dia	6,37	2,90	8,03	4,98	0,00	12,73
Vazão mín. anual 90 dia	7,12	3,80	10,66	5,81	0,82	14,37
Vazão máx. anual 1 dia	65,00	46,00	150,00	92,50	18,00	256,00
Vazão máxima anual 3 dia	63,33	41,33	120,00	71,00	17,33	225,00
Vazão máx. anual 7 dia	51,00	31,43	76,14	57,93	14,86	193,60
Vazão máx. anual 30 dia	28,00	21,20	42,87	34,22	9,33	85,07
Vazão máx. anual 90 dia	21,39	15,00	29,53	22,16	6,46	57,54
Número de dias com fluxo zero	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,00
Grupo 3: Periodicidade de eventos extremos anuais						
Data da vazão mínima anual	277,00	228,00	354,00	230,00	5,00	339,00
Data da vazão máxima anual	363,00	1,00	363,00	354,50	1,00	363,00
Grupo 4: Frequência e duração de pulsos positivos e negativos						
Número de baixos picos no ano	6,00	2,00	19,00	12,50	0,00	31,00

Duração média (dias) dos baixos picos	8,00	1,00	28,00	3,00	1,00	165,00
Número de altos picos no ano	12,00	4,00	17,00	9,00	1,00	23,00
Duração média (dias) dos altos picos	3,00	2,00	9,50	2,75	1,00	37,00
Grupo 5: Taxa/frequência de alteração do fluxo						
Taxa de ascensão	2,50	1,50	3,00	1,00	1,00	3,00
Taxa de recessão	-1,00	-2,00	-1,00	-1,00	-3,00	-1,00
Número de reversões	82,00	49,00	93,00	131,50	54,00	183,00

Os parâmetros IHA para os fluxos mínimos e máximos não foram obtidos para os períodos de 1950-1958, 1959-1979, 1980-1999, 2000-2018, pois o *software* IHA não permite o cálculo desses no modo de análise única, processo este realizado para estes intervalos.

Nesse sentido, analisando os parâmetros do Grupo 1 no período antes e após a implantação da PCH Rio Bonito em relação ao fluxo mínimo, verifica-se redução em todos os meses, exceto dezembro que permanece constante. As maiores taxas de alteração são verificadas para março, fevereiro e outubro, com reduções de 100, 88 e 83%, respectivamente. Por outro lado, a vazão máxima aumentou em todos os meses, com maior taxa de alteração nos meses de março e janeiro, que alteraram-se em 148 e 129%, respectivamente. As mudanças anuais para as vazões mínima, máxima e mediana foram, respectivamente, aproximadamente -65, 17 e -15,35%, demonstrando a diminuição da vazão mínima e incremento da vazão máxima na BHSMV (Figura 28; Tabela 21).

Análises dos índices IHA aplicadas a bacia hidrográfica do rio São Francisco após a instalação de barragem também verifica decréscimo nos índices do Grupo 1, com as maiores alterações observadas para as vazões máximas (VASCO et al. 2019), comportamento similar ao encontrado por Rocha (2010), em bacia hidrográfica na região sul do Brasil, observando alterações mais acentuadas nas vazões máximas após o barramento, o que difere do presente estudo, onde verifica-se alterações, principalmente nas vazões mínimas.

Tabela 22: Indicadores de mudanças hidrológicas (IHC) o fluxo fluvial obtida para a estação fluviométrica Santa Leopoldina (código: 57130000), inserida na porção média da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, para os intervalos de 1950 – 1958, 1959 – 1979, 1980 – 1999, 2000-2018 (valores em negrito indicam índices significativos $p < 0,05$ – ANEXO A).

Grupos IHA	Mediana				Coeficiente de dispersão			
	1950-1958	1959-1979	1980-1999	2000-2010	1950-1958	1959-1979	1980-1999	2000-2018
Grupo 1: Magnitude das condições mensais								
Janeiro	19,0	18,0	22,0	23,0	0,6	0,6	0,9	0,8
Fevereiro	18,0	19,0	13,5	14,0	0,4	0,7	1,0	0,8
Março	15,0	13,0	11,5	12,0	0,8	0,8	1,2	0,8
Abril	14,5	12,0	9,5	11,0	0,4	0,5	1,6	0,7
Maio	12,0	9,0	8,0	9,0	0,5	0,7	1,1	0,6
Junho	10,5	8,0	6,8	8,0	0,6	0,5	0,8	0,4
Julho	9,0	9,0	6,0	7,0	0,4	0,6	0,9	0,3
Agosto	7,0	7,0	6,0	6,0	0,5	0,5	1,0	0,7
Setembro	7,0	7,0	5,5	6,0	0,5	0,8	0,8	0,7
Outubro	7,0	9,0	6,0	5,0	0,2	0,4	1,1	1,0
Novembro	13,5	13,0	9,0	10,0	0,7	0,7	1,2	1,0
Dezembro	20,0	17,0	23,5	19,0	1,2	0,7	0,8	0,8
Grupo 2: Duração e magnitude dos extremos anuais								
Vazão mín. anual 1 dia	6,0	4,0	2,5	4,0	0,6	0,6	1,6	1,0
Vazão mín. anual 3 dia	6,0	4,3	3,2	4,0	0,6	0,6	1,5	1,1
Vazão mín. anual 7 dia	6,0	5,0	3,9	4,0	0,5	0,6	1,3	1,2
Vazão mín. anual 30 dia	6,4	6,6	4,8	4,2	0,3	0,7	1,0	1,3
Vazão mín. anual 90 dia	7,1	7,6	5,5	4,9	0,4	0,7	0,9	1,0
Vazão máx. anual 1 dia	65,0	86,0	92,5	102,0	0,6	0,5	0,5	0,6
Vazão máxima anual 3 dia	63,3	66,7	74,7	83,0	0,5	0,6	0,6	0,8
Vazão máx. anual 7 dia	51,0	50,7	63,9	58,9	0,4	0,7	0,6	1,0
Vazão máx. anual 30 dia	28,0	32,4	41,0	35,0	0,5	0,6	0,6	0,4
Vazão máx. anual 90 dia	21,4	20,4	26,5	21,0	0,4	0,7	0,6	0,3
Número de dias com fluxo zero	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Taxa de fluxo de base	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,5	0,8	1,0
Grupo 3: Periodicidade de eventos extremos anuais								
Data da vazão mínima anual	277,0	222,0	244,0	228,0	0,1	0,2	0,3	0,3
Data da vazão máxima anual	363,0	14,0	353,5	337,0	0,1	0,2	0,2	0,2
Grupo 4: Frequência e duração de pulsos positivos e negativos								
Número de baixos picos no ano	6,0	11,0	10,5	10,0	1,3	1,3	2,1	1,0
Duração média (dias) dos baixos picos	8,0	2,0	1,3	2,8	0,9	1,0	1,8	1,1
Número de altos picos no ano	12,0	12,0	8,5	8,0	0,8	0,6	0,9	0,9
Duração média (dias) dos altos picos	3,0	2,0	3,0	3,0	1,1	0,6	1,2	0,8

Grupo 5: Taxa/frequência de alteração do fluxo

Taxa de ascensão	2,5	2,0	1,0	1,0	0,4	0,5	1,0	0,0
Taxa de recessão	-1,0	-2,0	-1,0	-1,0	-0,5	-0,5	-1,0	0,0
Número de reversões	82,0	132,0	144,5	101,0	0,3	0,4	0,2	0,5

Os fluxos máximos proporcionam suporte a várias funções ecossistêmicas, relacionados a estrutura e funcionalidade fluvial, além de influenciarem atividades antrópicas, afetando o uso e o gerenciamento dos recursos hídricos. É importante compreender a duração e magnitude nas diferentes intensidades das vazões fluviais, nesse sentido, os índices de alterações hidrológicas do Grupo 2 aplicadas aos fluxos medianos, mínimos e máximos apresentam relevância ecológica.

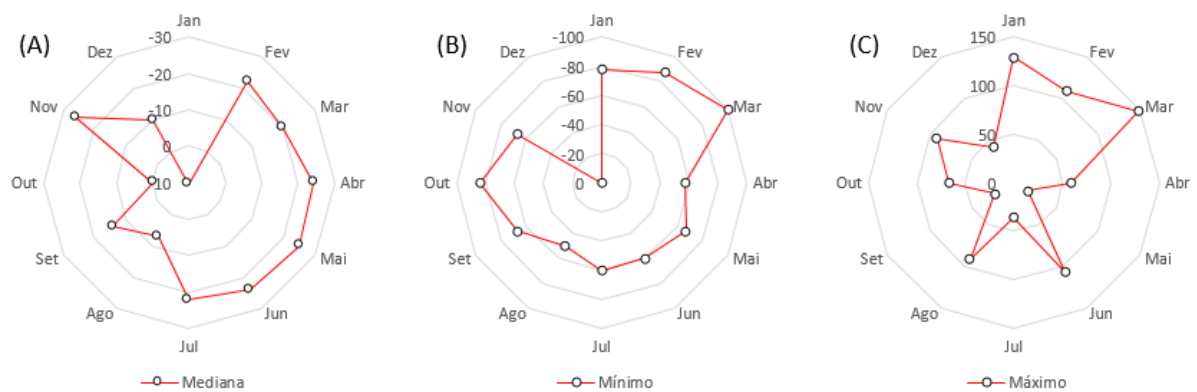


Figura 28: Taxa da variação hidrológica para as vazões mediana, mínima e máxima na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória, antes e após a construção da barragem PCH Rio Bonito.

Em relação aos índices do Grupo 2, aplicados aos valores de fluxo mínimo, verifica-se expressiva diminuição em todos os parâmetros avaliados, apresentando de 100 a 78% de diminuição quanto aos parâmetros de dias consecutivos de fluxo mínimos e redução entre 28 a 8,5% em relação aos dias de fluxo máximo, demonstrando através da análise destes índices a diminuição dos fluxos mínimos na BHSMV para todas as sequências de dias (1, 3, 7, 30 e 90). Ressalta-se que se registra vazão igual a zero até no índice de 30 dias consecutivos de fluxo mínimo, o qual foi verificado em março de 2017. A presença de dias com fluxo zero relaciona-se a seca severa que acometeu o estado do Espírito Santo entre os anos de 2014 a 2016, na qual verificaram índices pluviométricos extremamente baixos.

A severidade da seca é agravada pela distribuição irregular da pluviosidade na BHSMV, sendo mais escassa na porção alta da bacia (seção A), devido ao fenômeno de pluviosidade orográfica verificado na região, que retém grande parte da chuva na porção média da bacia, prejudicando, assim, a produção de água na porção alta da BHSMV (Figura 20).

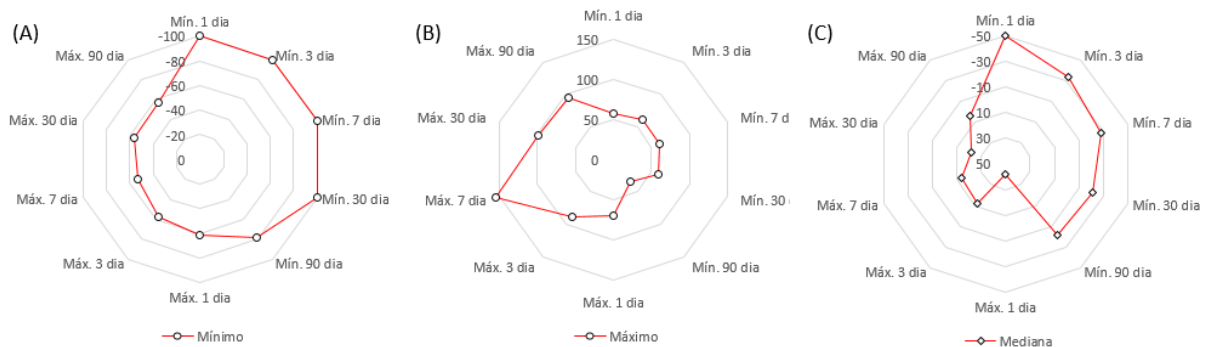


Figura 29: Taxa de alterações hidrológicas para os parâmetros do Grupo 2 relacionados aos dias de vazão (A) mediana, (B) mínima e (C) máxima de 1, 3, 7, 30 e 90 dias na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória comparando o período antes e após a implementação da PCH Rio Bonito em 1959.

Ao contrário dos parâmetros do Grupo 2 indicado aos fluxos mínimos, os fluxos máximos apresentam incremento em todos os índices de dias consecutivos de fluxo máximo e mínimo, registrando entre 35 e 62% de aumento para os dias consecutivos de fluxos mínimos e entre 71 a 154% ao considerar os fluxos máximos, considerando o intervalo consecutivo de 1, 7, 30 e 90 dias.

O Grupo 3 representa os parâmetros relacionados a frequência dos eventos extremos, indicando o início e o término destes na série histórica dos dados. Os resultados demonstram, para o período antes e após implementação da PCH Rio bonito, relevantes mudanças nos eventos de fluxo mínimo, verificando que estes se tornaram menos previsíveis (maior variabilidade) e mais frequentes, registrando decréscimo no período de início destes eventos, entre o período antes e após a execução da barragem PCH Rio Bonito, enquanto os eventos climáticos máximos indicam relativa estabilidade na comparação desse parâmetro (Tabela 20).

Por outro lado, Vasco e outros (2019) encontraram maior previsibilidade de eventos relacionados aos períodos de fluxos mínimos e menor estabilidade nos eventos de fluxo máximo em bacia hidrográfica no nordeste brasileiro.

O grupo 3 analisado para os intervalos 1950-1958, 1959-1979, 1980-1999 e 2000-2018, demonstra relativa homogeneização do início dos períodos de fluxos mínimo, mas com redução do período de início destes, de agosto para julho, entre o primeiro e o último intervalo analisado. O início dos valores máximo registrado para cada ano apresentou-se, em geral, no mês de dezembro, entretanto, para o período de 1959-1969 registra-se redução, iniciando em janeiro. Rocha (2010) também relatou que a periodicidade dos eventos de máxima e mínima anteciparam-se após a instalação de barramento numa bacia hidrográfica no Paraná, enquanto que Vasco e outros (2019) relataram antecipação apenas do evento de vazões mínimas, e adiantamento do início das vazões máximas, numa bacia no nordeste brasileiro.

A verificação dos parâmetros do Grupo 4 permite compreender as alterações nos fluxos fluviais nos períodos pré-determinados, em relação a frequência e a duração de pulsos máximos e mínimos. A frequência corresponde a quantidade de dias em que a vazão permanece abaixo ou acima de determinada magnitude, enquanto a duração relaciona-se ao intervalo de tempo em que se mantem estas condições. Nesse sentido, a análise permitiu verificar, quanto as alterações após a implementação da PCH Rio Bonito, redução nas durações dos pulsos de alta e baixa magnitude, 8,3 e 62,5%, respectivamente (Tabela 20).

A análise do Grupo 4 aplicado aos intervalos 1950-1958, 1959-1979, 1980-1999 e 2000-2018 permite verificar que a redução acentuada da duração dos pulsos baixos não foi gradual, mas alterou-se bruscamente a partir do intervalo após a implantação da PCH Rio Bonito, o que poderia estar relacionado a regulação do fluxo fluvial por este reservatório. Numa bacia hidrográfica na região sul do Brasil, Rocha (2010) registrou nítida diminuição da variabilidade no Grupo 4, associado a regulamento do fluxo fluvial pelas operações do barramento.

Os resultados dos Grupos dos índices de alterações hidrológicas demonstra a modificação dos padrões espaço-temporal da vazão fluvial na BHSMV através de vários parâmetros, indicando a diminuição dos fluxos mínimos nas vazões mínimas ao longo do tempo, e o incremento dos fluxos altos nas vazões máximas e, assim, interpreta-se que as condições da vazão na bacia tornou-se, no período de 1950 a 2018, mais extrema, apresentando vazões mínimas menores e vazões máximas maiores, além de maiores irregularidades na distribuição dessas e a permanência de suas condições por períodos mais longos.

Mudanças nos fluxos de água doce para os estuários atuam alterando as características desses ecossistemas por três vias principais: quantidade, qualidade e periodicidade (OLSEN et al. 2006). A alteração da quantidade da vazão pode ocasionar prejuízos ambientais e humanos, e a compreensão das alterações da dinâmica dos fluxos fluviais podem dar suporte a elaboração de políticas públicas que contemplem essas novas características ambientais. A qualidade associa-se as modificações no transporte fluvial em relação as partículas e a mobilização dessas dentro dos ecossistemas estuarinos. A modificação na variabilidade da vazão em relação a frequência de diferentes magnitudes e volumes estão associadas as alterações dos períodos chuvosos e de seca, quanto ao início e duração destes.

Alterações nos padrões das vazões modificam a dinâmica espaço-temporal da salinidade do estuário, afetando o estabelecimento de organismos nesses habitats e ocasionando danos ao desenvolvimento de peixes e moluscos, alterações na estrutura de zooplâncton, estresses em espécies bentônicas e botânicas. Mudanças nas vazões sazonais também contribuem para o estabelecimento de espécies exóticas, pois a comunidade biológica ripária e fluvial possui diferentes tolerâncias quanto a inundações ou secas prolongadas, desequilíbrios neste sistema pode resultar na invasão de espécies mais tolerantes as novas condições ambientais.

Impactos de natureza física também são observados afetando a diversidade de nichos ecológicos, resultantes de alterações nas condições de vazão fluvial, relacionados a alterações associadas as mudanças no fluxo de energia do rio, modificando o transporte de sedimentos e podendo aumentar vulnerabilidades à erosão, assoreamentos e compactação de terrenos entre outros fatores que irão contribuir para desequilibrar o ecossistema e afetar diferentes nichos ecológicos.

Um dos fatores relevantes ecologicamente relacionado a intensidade da vazão fluvial associa-se a salinização dos estuários, devido ao menor aporte de água fluvial nesse ambiente, alterando assim, o tempo de residência da maré, proporcionando impactos pela introdução de espécies tolerantes a salinidade e reduzindo espécies com menores mobilidades e tolerâncias salinas dentro do estuário, que se tornam vulneráveis a novos predadores, doenças e parasitas, levando assim, a menor aporte pesqueiro nos estuários.

As mudanças no regime hidrológico (amplitude e frequência) são as principais consequências de alterações antrópicas a jusante das barragens. Vários autores verificaram mudanças nos

fluxos fluviais após a construção de grandes reservatórios em bacias de diferentes dimensões. Na bacia do rio São Francisco, em relação a previsão de eventos hidrológicos, registrou aumento de variabilidade nos fluxos máximos e decréscimo nos fluxos mínimos, em relação ao período antes e após a instalação de barragem em seu curso (VASCO et al. 2019).

Segundo Rocha (2010), a regulação do fluxo fluvial realizada pelas barragens reduz as magnitudes máxima e mínima, assim, verifica-se que o acréscimo de pulsos altos indicado para o presente estudo, pode estar relacionado a um conjunto de fatores que alteraram o padrão esperado pelo impacto de regulação fluvial da barragem, podendo citar a alteração do uso e cobertura da terra e influências mais frequentes de fenômenos meteorológicos.

As alterações do fluxo hidrológico modificam as características físico-química dos diferentes nichos ecológicos associados ao sistema fluvial, tais como a seleção das partículas, o conteúdo de gases dissolvidos e a disponibilidade de nutrientes, resultando em impactos na composição, estrutura e funções desses ecossistemas (RICHTER et al. 1996).

A redução nas vazões fluviais também contribuem para o menor aporte sedimentar ao estuário, o que poderá ocasionar processos erosivos em regiões litorâneas adjacentes. A baixa capacidade de transporte fluvial atua em déficits de entrada de nutrientes pelo rio, podendo gerar diminuição da produtividade. Por outro lado, a menor descarga ao estuário contribui para incrementar o tempo de retenção de nutrientes e poluentes neste ecossistema, através da diminuição da circulação das camadas de água e maior propensão de sedimentação destes materiais, que irão se depositar no fundo do estuário e permanecerem disponíveis para os organismos, podendo levar a processos de eutrofização.

Os potenciais impactos humanos relacionados as alterações das vazões fluviais relacionam-se ao menor aporte e diversidade pesqueira, degradação de áreas de recreação, susceptibilidade a doenças e parasitas, desvalorização de imóveis próximos aos estuários, diminuição da qualidade de águas subterrâneas, diminuição da navegabilidade entre outros fatores que impactam a economia local e regional (OLSEN et al. 2006).

O Grupo 5 indica a média diária das taxas altas e baixas nos fluxos fluviais, que assim como as alterações sazonais, os impactos em ecossistemas aquáticos podem decorrer de modificações diárias nos fluxos, configurando a importância de se avaliar este parâmetro em análises de

alterações hidrológicas. A elevação ou diminuição do nível da água indicada pelos índices deste grupo relacionam-se a oscilação do fluxo fluvial na subsuperfície nas margens arenosas dos rios, em que durante a elevação o canal do rio desenvolve bordas, e durante a descida a água desloca-se para o canal do rio e desestabiliza a inclinação marginal.

A regulação do fluxo do rio Santa Maria da Vitória pelos reservatórios hidrelétricos regula diariamente e sazonalmente a sua descarga fluvial. A demanda energética, mais intensa no período noturno e nos finais de semana, tendem a aumentar a vazão a noite. Alterações sazonais causadas pelas operações dos reservatórios relacionam-se ao acúmulo de água nos períodos chuvosos para suprir em volume de água os períodos secos.

Outros impactos antrópicos, além da construção das barragens da PCH Rio Bonito e PCH Cachoeira Suíça podem ser relacionados as alterações no fluxo fluvial na BHSMV observadas ao longo da série histórica, incluindo o desmatamento, práticas agrícolas inadequadas, desenvolvimentos industriais e urbanização mal planejada, fatores estes que podem ser mascarados pela regulação da vazão nas operações dos reservatórios.

Os Componentes Ecológicos do Fluxo encontrados para a série nos intervalos de 1950-1958, 1959-1979, 1980-1999, 2000-2018 registra diminuição dos valores dos fluxos baixos para todos os meses, no período inicial e final dos intervalos amostrados, variando de 32,1 a 10%, sendo que as maiores reduções dos fluxos encontram-se nos meses de dezembro e janeiro, revelando significativa diminuição nas vazões mínimas. (Tabela 24).

O período entre 1980 a 1999 configurou o intervalo com reduções das vazões mínimas mais intensas, o que pode estar relacionado aos fenômenos meteorológicos que condicionaram escassez hídrica principalmente a partir da década de 90, demonstrando a atuação de eventos climáticos de longos períodos influenciando as condições hidrológicas de uma bacia hidrográfica.

O fluxo hidrológico das bacias hidrográficas apresenta significativa influência de variáveis como o uso e cobertura da terra, o clima e, conseqüentemente, a vegetação e as taxas de erosão, que por sua vez, relacionam-se a turbidez e diferentes potenciais de inundações, que ocasionam alterações na produção primária do ecossistema aquático (SMITH et al. 2005). Dessa forma, a qualidade da água, as funções biogeoquímicas, os fluxos e as transformações

dos nutrientes dependem dos aspectos hidrológicos e das atividades humanas numa complexa interação (GARNIER et al. 2018).

Tabela 23: Vazões mínimas para os intervalos de 1950-1958, 1959-1979, 1980-1999, 2000-2018, obtidos para a estação fluviométrica Santa Leopoldina: valores em negrito indicam índices significativos $p < 0,05$ (ANEXO A).

Vazões Baixos	Mediana				Coeficiente de dispersão			
	1950-1958	1959-1979	1980-1999	2000-2018	1950-1958	1959-1979	1980-1999	2000-2018
Janeiro	14,5	13,0	12,0	10,0	0,4	0,3	0,5	0,6
Fevereiro	13,5	12,0	12,5	10,0	0,4	0,4	0,8	0,6
Março	13,0	11,5	7,5	11,0	0,5	0,5	1,0	0,5
Abril	14,0	11,0	7,0	11,0	0,3	0,5	1,1	0,6
Maiο	12,0	9,0	8,5	9,0	0,4	0,6	0,7	0,3
Junho	10,5	9,0	7,0	8,0	0,4	0,4	0,7	0,3
Julho	10,0	9,0	6,0	7,0	0,3	0,5	0,7	0,3
Agosto	8,5	8,0	6,0	6,0	0,4	0,4	0,8	0,7
Setembro	8,5	8,0	6,0	6,5	0,2	0,4	0,7	0,5
Outubro	8,0	9,0	7,0	6,0	0,1	0,3	0,7	0,5
Novembro	10,0	10,0	9,0	9,0	0,3	0,7	0,6	0,6
Dezembro	13,3	13,0	9,0	9,0	0,3	0,2	0,5	0,7

Apesar dos impactos relacionados as operações dos reservatórios nos canais fluviais, a crescente demanda energética e de abastecimento humano, entre outras possibilidades, impulsiona a implementações de barragens, no entanto, deve-se avaliar as funções e as possíveis alterações nos ecossistemas decorrentes desses empreendimentos para garantir a máxima conservação da biodiversidade (JAIN & SINGH, 2003).

A análise dos componentes de vazão ecológica aplicados aos intervalos 1950-1958, 1959-1979, 1980-1999 e 2000-2018 da Tabela 24, permite verificar que as vazões extremas baixas reduziram seus fluxos e sua periodicidade nas últimas décadas. Por outro lado, as vazões extremas altas oscilaram durante os intervalos, obtendo valores de periodicidade muito superiores nos intervalos de 1959 a 1979 e 2000 a 2018, o que indica maiores imprevisibilidades desses eventos.

Em relação as pequenas cheias, nota-se incremento gradual dos máximos de vazão ao longo dos intervalos. O intervalo de 1959 a 1979, que configura os anos logo após a operação da PCH Rio Bonito, apresentou valor de periodicidade muito inferior aos demais intervalos, assim

como para o parâmetro de grandes cheias, podendo relacionar-se este comportamento aos processos de regularização do fluxo fluvial.

Tabela 24: Componentes de vazão ecológica (EFC) para os intervalos de 1950-1958, 1959-1979, 1980-1999 e 2000-2018, obtidos para a estação fluviométrica Santa Leopoldina (valores em negrito indicam índices significativos $p < 0,05$ – ANEXO A).

Componentes da Vazão Ecológica	Mediana				Coeficiente de dispersão			
	1950-1958	1959-1979	1980-1999	2000-2018	1950-1958	1959-1979	1980-1999	2000-2018
Vazões extremas baixas - picos	6,0	4,3	3,0	3,0	0,1	0,2	0,3	0,4
Vazões extremas baixas - duração	5,0	1,5	2,0	2,0	1,1	1,3	2,3	9,8
Vazões extremas baixas - periodicidade	288,5	236,3	196,0	222,0	0,1	0,2	0,3	0,4
Vazões extremas baixas - frequência	3,0	8,0	1,5	0,0	3,0	1,7	5,8	0,0
Vazões extremas altas - picos	25,0	24,0	25,8	23,0	0,2	0,2	0,4	0,3
Vazões extremas altas - duração	3,0	2,0	2,0	3,0	1,0	0,5	0,9	0,7
Vazões extremas altas - periodicidade	76,5	342,0	37,0	322,0	0,2	0,2	0,4	0,2
Vazões extremas altas - frequência	11,0	11,0	7,5	7,0	0,8	0,6	1,1	0,9
Vazões extremas altas - taxa de elevação	5,7	6,8	7,6	6,9	1,1	0,7	1,4	0,8
Vazões extremas altas - taxa de queda	-3,3	-4,0	-4,4	-2,8	-0,4	-0,8	-1,2	-0,7
Pequenas cheias - picos	71,5	110,0	105,0	129,0	0,2	0,3	0,1	0,2
Pequenas cheias - duração	17,5	41,0	52,0	37,0	2,0	1,0	0,9	1,3
Pequenas cheias - periodicidade	354,5	24,0	327,0	330,0	0,2	0,4	0,3	0,4
Pequenas cheias - frequência	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pequenas cheias - taxa de elevação	20,0	12,8	31,7	15,1	0,9	2,4	1,4	2,6
Pequenas cheias - taxa de queda	-3,3	-3,4	-1,8	-3,9	-1,2	-3,6	-4,2	-0,7
Grandes cheias - picos	150,0	200,0	126,0	209,0	-	0,4	0,0	0,4
Grandes cheias - duração	58,0	108,0	43,0	32,5	-	0,5	1,6	1,0
Grandes cheias - periodicidade	363,0	51,0	168,0	330,5	-	0,1	0,4	0,1
Grandes cheias - frequência	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Grandes cheias - taxa de elevação	6,4	13,6	27,6	32,1	-	1,2	0,6	0,5
Grandes cheias - taxa de queda	-3,5	-2,2	-8,5	-8,3	-	-0,8	-1,6	-0,5

A Figura 30 representa os componentes do fluxo ecológico e demonstra a magnitude dos fluxos em cinco classificações de eventos que ocorrem naturalmente nos rios. Nota-se que a partir da década de 90 os pulsos altos tornaram-se mais esparsos, associados ao incremento de fluxos extremamente baixos, que começam a ser registrados com mais frequência, tornando-se mais intensa entre 2014 a 2016, quando associados a estes fluxos ausenta-se as pequenas cheias, o que configura esse período como um dos registros mais severos de déficit hídrico verificados na série histórica analisada. Além das implicações ecológicas, a permanência de fluxos extremamente baixos comprometem a segurança hídrica, como o

abastecimento de água da região metropolitana, por exemplo, a captação de água pela ETA de Carapina é de $3,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

O aumento de fluxos baixos e extremamente baixos para períodos mais recentes também foi observado na bacia hidrográfica do rio São Francisco, após instalação de barragem em seu curso final, resultando, inclusive, em decréscimos nos fluxos médios, mínimos e máximos (VASCO et al. 2019).

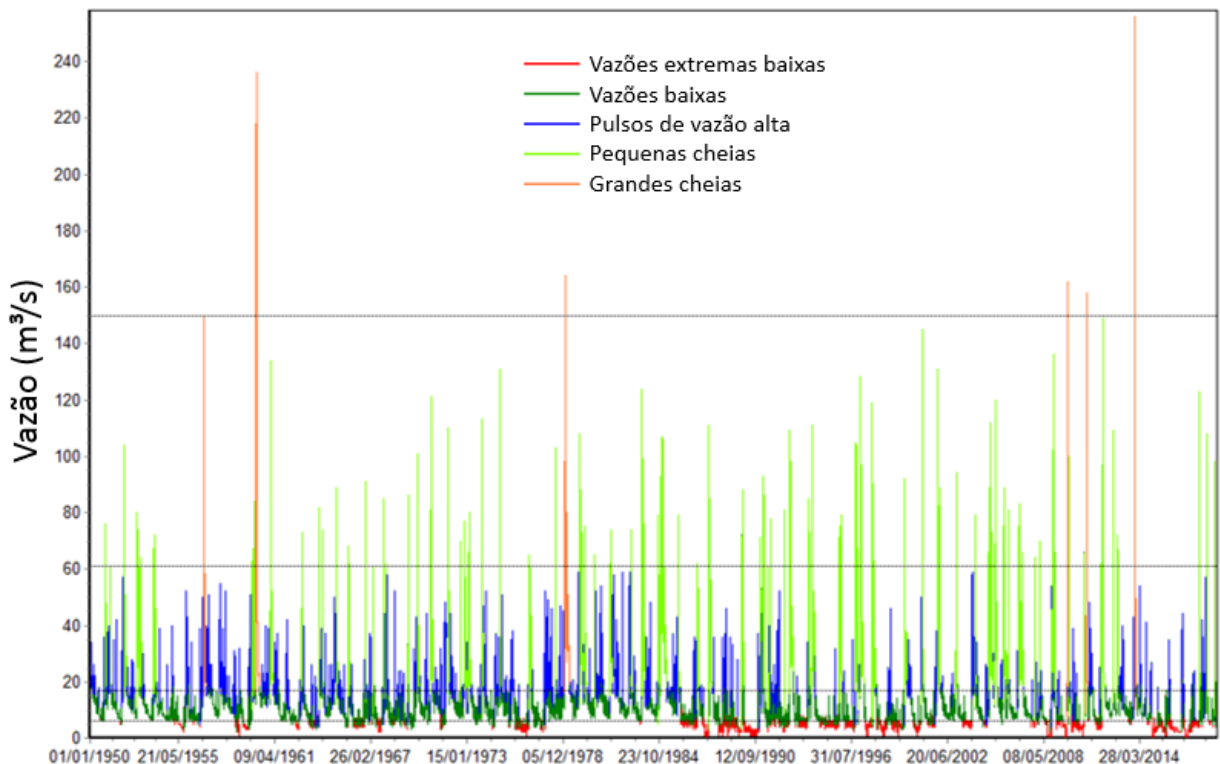


Figura 30: Componentes do fluxo ecológico no período de 1950 a 2018 verificadas na porção média da bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória para a estação fluviométrica Santa Leopoldina (código: 57130000).

Além de impactos sócio-econômicos verificadas pela escassez hídrica, a ausência de pequenas inundações, ou ainda a redução na frequência destas, afeta a biodiversidade dos ecossistemas associados aos rios, como os manguezais, os brejos e os estuários, pois durante esses eventos os peixes e outros organismos podem migrar para desempenhar suas funções ecológicas, tais como reprodução, alimentação, refúgio entre outras. Nesse sentido, a redução na frequência de cheias associadas ao aumento de vazões extremamente baixas pode causar redução da qualidade dos habitats e contribuir com o favorecimento de espécies exóticas oportunistas com mais adaptabilidade a condições alteradas.

Além disso, a redução dos fluxos pode afetar a disponibilidade de nutrientes e, consequentemente, impacta a rede trófica do ecossistema. Segundo Niquil e outros (2012), analisando a rede trófica de estuários em várias partes do mundo, apenas quatro fatores explicam até 67% da estrutura trófica do ecossistema estuarino, correspondendo a área de influência, amplitude de maré, efeitos das ondas e latitude, ressaltando a importância dos fatores físicos relacionados ao clima, hidrodinâmica e morfologia como componentes essenciais nas propriedades ecológicas à jusante.

Outro fator desencadeante de contínuas vazões muito baixas relaciona-se a salinização do estuário (TWEEDLEY et al. 2019), devido a diminuição da resistência fluvial contra a maré, em que esta avança sobre o continente, o que contribui para desequilíbrios ambientais, causados pela proliferação de espécies mais adaptadas a estas condições em relação as espécies nativas (MOURÃO et al. 2014) e alterando os processos sedimentares estuarinos (WAN & WANG, 2017) aumentando a turbidez do fundo e prejudicando espécies bentônicas (HARALAMBIDOU et al. 2010).

O período mais seco encontrado no intervalo temporal compreendido pelas análises de distribuição pluviométrica do presente estudo (2004 a 2017), o qual corresponde ao ano de 2015, registrou, para o SEBV, altos valores de salinidade no mês de outubro (>34,9 psu) (LEITE, 2018), demonstrando a relação entre a estiagem e a salinidade no estuário. Analisando a salinização em um estuário na China, Changjie e outros (2019), concluíram que as alterações no uso e cobertura da terra e na morfologia dos canais influenciaram nos processos de transporte de sal que resultaram na salinização do estuário, alterando a estratificação deste.

Entre as medidas para amenizar a salinização estuarina, alguns autores sugerem fechamento parcial da abertura do estuário, o que reduziria a entrada da intrusão salina (GONG et al. 2012). Além disso, a realização de estudos com ênfase em modelagem hidrodinâmica pode favorecer a compreensão da quantidade de produção de água fluvial mínima necessária para conter a salinização estuarina, identificando áreas prioritárias de conservação de locais de produção hídrica, a montante de bacias hidrográficas, e verificando as quantidades máximas de disponibilidade hídrica destinadas a processos de outorgas (LJAZ et al. 2019).

A diminuição do aporte hídrico fluvial também resulta na redução de água subterrânea, resultando na penetração da cunha salina e prejudicando a captação de água (TETALAS &

LAMBRAKIS, 2006). Por outro lado, as grandes inundações registradas a partir de 2009 com mais frequência, no intervalo de 1950 a 2018, podem contribuir para significativos impactos sociais e econômicos (Figura 30).

As alterações da vazão na BHSMV provocadas após a construção dos reservatórios, inicialmente PCH Bonito em 1959 e PCH Cachoeira Suíça em 1965, podem relacionar-se a um conjunto de fatores associados as alterações na drenagem fluvial na região, podendo citar o maior consumo de água para irrigação de culturas e a mudança na configuração da paisagem, com redução da área florestal, tendência observada em todo Espírito Santo após a década de 50.

A redução da cobertura florestal pode alterar significativamente a drenagem de uma bacia hidrográfica, influenciando na redução das taxas de infiltração e ocasionando a diminuição da rugosidade hidrológica do terreno, o que resulta em incremento na área e na velocidade de escoamento superficial, que pode atuar no aumento da vazão fluvial, entretanto, em detrimento ao fluxo de base, responsável por manter a vazão do rio em períodos de seca (BOND et al. 2007). Por outro lado, estudos sugerem que as florestas ripárias promovam redução no rendimento anual de água, devido as altas taxas de evapotranspiração (SALEMI et al. 2012), porém, existem muitas lacunas em relação a interação da vegetação ripária com o fluxo hidrológico (TABACCHI et al. 2000).

Incentivos que visem a reflorestamento, principalmente nas regiões produtoras de água da BHSMV, na seção A desta, contribuem para garantir o fluxo fluvial mínimo, responsável por funções essenciais no ecossistema, além de atuarem na retenção de poluentes e sedimentos para os canais de drenagem (WENDER, 1999).

Existem inúmeras relações ecológicas associadas as vazões mínimas e máximas no fluxo fluvial que contribuem para a estrutura e funcionamento do ecossistema fluvial/estuarino. Vazões mínimas, por exemplo, atuam como oportunidades ao desenvolvimento de espécies ripárias em locais onde ocorrem inundações anuais, nesse sentido, a integridade de ecossistemas fluviais relaciona-se a dinâmica das características naturais dos fluxos fluviais e, assim, estabelece-se uma dinâmica temporal de intercalação de inundações e períodos de estiagem que possibilitem a fixação destas espécies ripárias (POFF et al. 1997), mas esse equilíbrio pode

ser comprometido pelas tendências de seca observados nos índices de extremos climáticos, além de impactos antrópicos (Figura 23).

As análises aplicadas no presente trabalho indicam alterações ao longo do tempo dos fluxos fluviais para o estuário, entretanto, uma série de indutores de transformações ambientais podem ter contribuído para as modificações observadas, sendo necessário o monitoramento de longo prazo e o alinhamento das respostas ecológicas do estuário as alterações observadas nos fluxos fluviais. Muitos estudos direcionam-se, não somente na identificação das alterações ocorridas nos ecossistemas, mas para a compreensão do ajustamento destes as novas condições de equilíbrio dinâmico frente aos efeitos antrópicos (ZHANG et al. 2019), concentrando-se na capacidade de prever alterações a longo prazo (VAN DER WEGEN et al. 2008) ou modelar as respostas do estuário em relação a diferentes perturbações (WANG & TOWNEND, 2012).

Nesse sentido, conforme observado por outros autores, a complexidade dos efeitos induzidos pelo homem aos ecossistemas exige a utilização de ferramentas transdisciplinares e monitoramento de ampla escala temporal (VU et al. 2014; GUEN et al. 2019). A restauração e conservação dos estuários, por esse viés, pode ser realizado através de modelos ecológicos conceituais, que atuam na integração da identificação dos indutores antrópicos e seus impactos resultantes, visando o planejamento e avaliação na perspectiva científica, política e social (ALBER, 2002; ODJEN et al. 2005; OLSEN, 2007; GRANIT et al. 2017).

Conforme demonstram os dados dos índices de extremos climáticos realizados com a pluviosidade, a região estudada é caracterizada por anomalias climáticas ao longo de sua série histórica que alteraram negativamente ou positivamente o balanço hídrico, alterando, conseqüentemente, a vazão fluvial. Tais anomalias, associam-se a fenômenos climáticos de escala local e/ou regional/global com intervalos irregulares de anos, e que podem permanecer influenciando o clima por alguns dias a semanas. Assim, um intervalo de tempo de 9 anos para caracterizar o fluxo em uma bacia hidrográfica, conforme o adotado no presente trabalho para avaliar as características do fluxo fluvial antes da operação da barragem Rio Bonito, pode não representar as tendências da vazão em relação a períodos mais longos.

5 CONCLUSÕES

A interpolação da pluviosidade realizada para o período de 2004 a 2017 identificou a sua variação na BHSMV, demonstrando os efeitos da geomorfologia da paisagem na distribuição da chuva, através da retenção desta na seção intermediária (seção B) da bacia, com relevo mais acentuado, verificando nessa região a ocorrência de pluviosidade orográfica.

Dentre o intervalo temporal analisado, observam-se cenários de escassez hídrica presentes, principalmente, nos anos mais recentes, relacionados, possivelmente, a fenômenos meteorológicos de escalas regional/global. Verifica-se elevada correlação entre as médias pluviométricas obtidas para as bacias hidrográficas com as vazões fluviais registradas nas estações fluviométricas.

Os índices de extremos climáticos relacionados a pluviosidade apresentam, principalmente, tendência positiva para a maior área da BHSMV, principalmente na região costeira onde localiza-se significativa porção metropolitana do Espírito Santo. Locais onde registra-se incursão de umidade relacionado à brisa marítima demonstram as maiores tendências de volumes pluviométricos.

Por outro lado, nota-se tendências negativas na porção superior (Seção A) da BHSMV , a oeste, local que tende a apresentar escassez hídrica e pode comprometer a conservação dos recursos hídricos e a segurança hídrica. Além disso, a presença de barragens para fins agrícolas pode atuar agravando essa tendência, sendo necessário a recuperação e/ou revitalização de instrumentos de gestão públicas para que medidas de prevenção e remediação sejam empregadas.

Mudanças pluviométricas são acentuadamente relacionadas aos recursos hídricos na bacia hidrográfica, assim, o emprego dos índices pluviométricos e a análise da distribuição da chuva nos últimos anos permite identificar áreas de *hotspots* para que se gerencie impactos relacionados aos setores de agricultura e infraestrutura urbana, para que assim, as alterações nos padrões da chuva tenham seus impactos minimizados, contribuindo para a seleção de áreas prioritárias para implementação de medidas de adaptação frente as tendências pluviométricas.

O uso de indicadores permitiu compreender uma extensa modificação hidrológica no fluxo fluvial na BHSMV ao longo de 1950 a 2018, em que se verifica que as alterações correlacionam-se, não somente com a regulação do fluxo pelos reservatórios, mas também a alterações no uso e cobertura da terra, intensificação de irrigação e exploração de água subterrânea. As principais modificações correspondem as modificações dos extremos nos fluxos fluviais, tornando os fluxos mínimos menores e os fluxos altos maiores.

Sugere-se que mais estudos enfatizando os índices de extremos climáticos sejam realizados, utilizando mais estações meteorológicas e, ainda, que a interpolação dos índices utilize apenas estações que apresentem significação estatística acima de 90%. Além disso, sugere-se que seja ampliada a escala de periodicidade dos índices, pois o presente estudo contemplou apenas índices pluviométricos anuais e a utilização de índices sazonais a mensais poderão contribuir na identificação de outros padrões e tendências não verificadas pelos índices anuais aplicados no presente trabalho.

Recomenda-se, também, que sejam utilizadas séries temporais mais longas para verificar tendências de mais longo prazo, ainda que a espacialização das estações pluviométricas seja aumentada. A correlação dos índices de extremos climáticos com os índices dos fenômenos meteorológicos globais, como o ENSO, poderia ser utilizada para explicar as tendências registradas naqueles.

A alteração da análise para verificar os índices pluviométricos aplicados a anos hidrológicos, iniciando, nesse caso, no início do período chuvoso, também poderão contribuir para outra perspectiva nesta análise. Recomenda-se que os componentes de vazão ecológica (EFC) e os índices de alteração hidrológica sejam, inclusive, aplicados a bacias hidrológicas adjacentes a BHSMV com mesmas condições hidrológicas, para que se analise tendências regionais e locais entre as bacias hidrológicas, inclusive em bacias sem implementação de barramentos de grande porte.

Além disso, faz-se necessário que estudos que contemplem as modificações ambientais de longas séries temporais estejam alinhadas a pesquisas de transformações históricas dos municípios, o que poderá resultar em respostas mais significativas e direcionadas.

Por fim, recomenda-se a efetivação da sustentabilidade na gestão pública dos recursos hídricos, o que se relaciona intrinsecamente com uma gestão participativa e descentralizada, envolvendo agentes diversos e representativos da sociedade, integrando a governança, a ciência e a sociedade, apresentando claras articulações entre estas esferas para a implementação de um modelo ecológico conceitual direcionado ao gerenciamento estuarino.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AALTO, J.; PIRINEN, P.; HEIKKINEN, J. Spatial interpolation of monthly climate data for Finland: comparing the performance of kriging and generalized additive models. **Theoretical and Applied Climatology**, 112: 99–111. 2013.
- ALBER, M. A conceptual model of estuarine freshwater inflow management. **Estuaries**, 25(68): 1246–1261. 2002.
- ALBINO, J. **Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das praias de Bicanga e Povoação, ES**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar. Instituto de Geociências USP. 1999.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SRH). Brasília – DF. 2017.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: <<http://snirh.gov.br/usos-da-agua/>>. Acesso em 21 de novembro de 2019.
- ANDREU, A.; DUBE, T.; NIETO, H.; MUDAU, A. E.; GONZÁLEZ-DUGO, M.; GUZINSKI, R.; HÜLSMANN, S. Remote sensing of water use and water stress in the African savanna ecosystem at local scale – Development and validation of a monitoring tool. **Physics and Chemistry of the Earth**, 112: 154–164. 2019.
- ARAÚJO, W. S.; BRITO, J. I. B. Indices of trends of climatic changes for the states of the Bahia and Sergipe by means of daily precipitation indices and its relation with SST's of the Pacific and Atlantic. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 26 (4): 541 – 554. 2011.
- ARBIA, G.; LAFRATTA, G. Anisotropic spatial sampling designs for urban pollution. **Journal of the Royal Statistical Society**, 51 (2): 223–234. 2002.
- ASSIS, J. M. O.; SOBRAL, M C. M.; SOUZA, W. M. Análise de Detecção de Variabilidades Climáticas com Base na Precipitação nas Bacias Hidrográficas do Sertão de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 03: 630-645. 2012.
- ASSIS, J. M. O.; SOUZA, W. M.; SOBRAL, M C. M. Influência dos oceanos pacífico e atlântico tropicais sobre os índices climáticos da precipitação nabacia do submédio São Francisco. *Revista Brasileira de Climatologia*, 23: 411—433. 2018
- ATRILL, M. J.; POWER, M. Modelling the effect of drought on estuarine water quality. **Water Research**, 34(5):1584-1594. 2000.
- AYRES, A.; GERDES, H.; GOELLER, B.; CATALINAS, M; CANTÓN, A.G.; BROUWER, R.; SHEREMET, O.; VERMAAT, J.; ANGELOPOULOS, N.; COWX, I. **Inventory of river restoration measures: effects, costs and benefits**. In: D1.4 – Inventory of restoration costs and benefits. 2015. Disponível em: <https://reformrivers.eu/inventory-river-restoration-measures-effects-costs-and-benefits>. Acesso em: 21/05/19.

- BACANI, V. M.; SAKAMOTO, A. Y.; QUENOL, H. Mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo no Pantanal da baixa Nhecolândia: um estudo comparativo entre os anos de 1987 e 2004. **Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Campo Grande, Brasil, p.302-311. 2006.
- BADR, H. S.; ZAITCHIK, B. F. Application of Statistical Models to the Prediction of Seasonal Rainfall Anomalies over the Sahel. **Journal Of Applied Meteorology And Climatology**, 53(3): 614 – 636. 2014.
- BARENDRECHT, M. H.; VIGLIONE, A.; BLÖSCHL, G. A dynamic framework for flood risk. **Water Security**, 1: 3-11. 2017.
- BEZERRA, B. G.; SILVA, L. L.; SILVA, C. M. S.; CARVALHO, G. G. Changes of precipitation extremes indices in São Francisco River Basin, Brazil from 1947 to 2012. **Theoretical and Applied Climatology**, 135, 565–576. 2019.
- BIGGS, B. J. F.; NIKORA, V. I.; SNELDER, T. H. Linking scales of flow variability to lotic ecosystem structure and function. **River Research and Applications**, 21: 283–298. 2005.
- BOND, B. J.; MEINZER, F. C.; BROOKS, R. **How trees influence the hydrological cycle in forest ecosystems**. In: Hydroecology and Ecohydrology: past, present and future. WOOD, P. J.; HANNAH, D. M.; SADLER, J. P. (Eds.). John Wiley & Sons, Ltd. 2007.
- BONETT, D. G. Sample size requirements for estimating Pearson, Kendall and Spearman correlations. **Psychometrika**, 65 (1): 23 – 28. 2000.
- CAI, W.; BORLACE, S.; LENGAINNE, M.; RENSCH, P.; COLLINS, M.; VECCHI, G.; TIMMERMANN, A.; SANTOSO, A.; MCPHADEN, M. J.; WU, L.; ENGLAND, M. H.; WANG, G.; GUILYARDI, E.; JIN, F.-F. Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. **Nature Climate Change**, 4: 111–116. 2014.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. (Organizadores). **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE. 188p. 1998.
- CAMPLING, P; GOBIN, A.; FEYEN, J. Temporal and spatial rainfall analysis across a humid tropical catchment. **Hydrological Processes**, 15: 359-375. 2001.
- CANE, M. A. The evolution of El Niño, past and future. **Earth and Planetary Science Letters**, 230: 227–240. 2005.
- CHEN, F.; GAO, Y.; WANG, Y.; LI, X. A downscaling-merging method for high-resolution daily precipitation estimation. **Journal of Hydrology**, 581: 124414. 2019.
- CHOUDHURY, N. H.; RAHMAN, A.; FERDOUSI, A. Kriging Infill of Missing Data and Temporal Analysis of Rainfall in North Central Region of Bangladesh. **Journal Climatology & Weather Forecasting**, 3:3. 2015.
- CORBARI, C.; LASSINI, F.; MANCINI, M. Effect of intense short rainfall events on coastal water quality parameters from remote sensing data. **Continental Shelf Research**, 123: 18–28. 2016.

- COSTA, C. R.; COSTA, M. F.; DANTAS, D. V.; BARLETTA, M. Interannual and Seasonal Variations in Estuarine Water Quality. **Frontiers in Marine Science**, 5:301. 2018.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2001.
- CUNHA, A. M.; FEITOZA, H. N.; FEITOZA, L. R.; OLIVEIRA, F. S.; LANI, J. L.; CARDOSO, J. K. F.; TRINDADE, F. S. Atualização da legenda do mapa de reconhecimento de solos do estado do Espírito Santo e implementação de interface no geobases para uso dos dados em SIG. **Geografares**, 22(2): 32 – 65. 2016.
- DAI, M.; GUO, X.; ZHAI, W.; YUAN, L.; WANG, B.; WANG, L.; CAI, P.; TANG, T.; CAI, W. J. Oxygen depletion in the upper reach of the Pearl River estuary during a winter drought. **Marine Chemistry**, 102: 159–169. 2006.
- DI BALDASSARE, G.; MONTANARI, A.; LINS, H.; KOUTSOYIANNIS, D.; BRANDIMARTE, L.; BLÖSCHL, G. Flood fatalities in Africa: From diagnosis to mitigation. **Geophysical Research Letters**, 37: I22402. 2010.
- DORE, M. H. I. Climate change and changes in global precipitation patterns: What do we know? **Environment International**, 31: 1167 – 1181. 2005.
- DURAO, R. M.; PEREIRA, M. J.; COSTA, A. C.; DELGADO, J.; DEL BARRIO, G.; SOARES, A. Spatial–temporal dynamics of precipitation extremes in southern Portugal: a geostatistical assessment study. **International Journal of Climatology**, 30: 1526–1537. 2010.
- ERDOGAN, R. Stakeholder Involvement in Sustainable Watershed Management. In: **Advances in Landscape Architecture**. ÖZYAVUZ, M (ed.) 2013.
- ESCOBAR, H. Water security. Drought triggers alarms in Brazil's biggest metropolis. **Science**, 347(6224): 812. 2015. DOI:
- FARLEY, K. A.; JOBBAGY, E. G.; JACKSON, R. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. **Global Change Biology**, 11: 1565–1576. 2005.
- FERRAZ, S. F. B.; RODRIGUES, C. B.; GARCIA, L. G.; ALVARES, C. A.; LIMA, W. P. Effects of Eucalyptus plantations on streamflow in Brazil: Moving beyond the water use debate. **Forest Ecology and Management**, 453: 117571. 2019.
- FRIZZERA, D. Coastal management in a watershed context. **Water Environment & Technology** 10 (7): 57-61. 1998.
- GARCIA, J. R.; MIYAMOTO, C. B.; MAIA, A. G. Eventos extremos de precipitação : identificação e análise da bacia hidrográfica do Rio Jundiaí, São Paulo. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**, 37. 2018.
- GEBREMICAEL, T. G.; MOHAMED, Y. A.; VAN DER ZAAG, P. Attributing the hydrological impact of different land use types and their long-term dynamics through combining parsimonious

hydrological modelling, alteration analysis and PLSR analysis. **Science of the Total Environment**, 660: 1155–1167. 2019.

GEOBASES. **IEMA – Mapeamento ES - 2012 – 2015: Uso e cobertura do solo**. Disponível em: <https://geobases.es.gov.br/links-para-mapas1215>. Acesso em: 03/04/2018.

GERGEL, S. E., TURNER, M. G., MILLER, J. R., MELACK, J. M. AND STANLEY, E. H. Landscape indicators of human impacts to riverine systems. **Aquatic Sciences** 64 (2): 118-128. 2005.

GOGOI, P. P.; VINOJ, V.; SWAIN, D; DASH, J.; TRIPATHY, S. Land use and land cover change effect on surface temperature over Eastern India. **Scientific Reports**, 9: 8859 2019.

GOHAR, A. A.; CASHMAN, A. A methodology to assess the impact of climate variability and change on water resources, food security and economic welfare. **Agricultural Systems**, 147: 51–64. 2016.

GONG, W.; WANG, Y.; JIA, J. The effect of interacting downstream branches on saltwater intrusion in the Modaomen Estuary, China. **Journal of Asian Earth Sciences**, 45: 223–238. 2012.

GOOVAERTS, P. Using elevation to aid the geostatistical mapping of rainfall erosivity. **Catena**, 34: 227–242. 1999.

GOOVAERTS, P. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. **Journal of Hydrology**, 228: 113–129. 2000.

GOOVAERTS, P. Using elevation to aid the geostatistical mapping of rainfall erosivity, **Catena**, 34: 227–242, 1999.

GRAMES, J.; PRSKAWETZ, A.; GRASS, D.; VIGLIONE, A.; BLÖSCHL, G. Modeling the interaction between flooding events and economic growth. **Ecological Economics**, 129: 193–209. 2016.

GRILL G.; LEHNER, B.; GEENEN, B.; TICKNER, D. et al. Mapping the world’s free-flowing rivers. **Nature**, 569: 215-221. 2019.

GUNDA, T.; HESS, D.; HORNBERGER, G. M.; WORLAND, S. Water security in practice: The quantity-quality-society nexus. **Water Security**, 6: 100022. 2019.

GUSMAN, J. A.; CHU, M. L.; STEINER, J. L.; STARKS, P. J. Assessing and quantifying changes in precipitation patterns using event-driven analysis. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 15: 1–15. 2018.

GUZMÁN, D. A.; MOHOR, G. S.; TAFFARELLO, D.; MENDIONDO, E. M. Economic impacts of drought risks for water utilities through Severity-Duration-Frequency framework under climate change scenarios. **Hydrology and Earth System Sciences**, (Discussion papers): 2017.

HABERLANDT, U. Geostatistical interpolation of hourly precipitation from rain gauges and radar for a large-scale extreme rainfall event. **Journal of Hydrology**, 332: 144–157. 2007.

HAMEL, P.; BREMER, L. L.; PONETTE-GONZÁLEZ, A. G.; ACOSTA, E. et al. The value of hydrologic information for watershed management programs: The case of Camboriú, Brazil. **Science of the Total Environment**, 705: 135871. 2020.

- HARALAMBIDOU, K.; SYLAIOS, G.; TSIHRINTZIS, V. A. Salt-wedge propagation in a Mediterranean micro-tidal river mouth. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 90: 174e184. 2010.
- HARTMANN, H.; SNOW, J.; SU, B.; JIANG, T. Seasonal predictions of precipitation in the Aksu-Tarim River basin for improved water resources management. **Global and Planetary Change**, 147: 86–96. 2016.
- HOLAWE, F.; DUTTER, R. Geostatistical study of precipitation series in Austria: time and space. **Journal of Hydrology**, 219: 70–82. 1999.
- HOLDAWAY, M. R. Spatial modeling and interpolation of monthly temperature using kriging. **Climate Research**, 6: 215-225. 1996.
- IJAZ, M. W.; MAHAR, R. B.; ANSARI, K.; SIYAL, A. A. Optimization of salinity intrusion control through freshwater and tidal inlet modifications for the Indus River Estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 224: 51–61. 2019.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Global Warming of 1.5°C**. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [MASSON-DELMOTTE, V., P. ZHAI, H.-O. PÖRTNER, D. ROBERTS, J. SKEA, P.R. SHUKLA, A. PIRANI, W. MOUFOUMA-OKIA, C. PÉAN, R. PIDCOCK, S. CONNORS, J.B.R. MATTHEWS, Y. CHEN, X. ZHOU, M.I. GOMIS, E. LONNOY, T. MAYCOCK, M. TIGNOR, AND T. WATERFIELD (EDS.)]. In Press. 2018.
- JAIN, S. K.; SINGH, V. P. **Water resources system planning and management**. Elsevier Science B. V. 2003.
- JEPSON, W.; BUDDS, J.; EICHELBERGER, L.; HARRIS, L.; NORMAN, E.; O'REILLY, K.; PEARSON, A.; SHAH, S.; SHINN, J.; STADDON, C.; STOLER, J.; WUTICH, A.; YOUNG, S. Advancing human capabilities for water security: A relational approach. **Water Security**, 1: 46-52. 2017.
- LE GUEN, C.; TECCHIO, S.; DAUVIN, J-C.; DE RORON, G.; LOBRY, J. et al. Assessing the ecological status of an estuarine ecosystem: linking biodiversity and food-web indicators. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 228: 106339. 2019.
- LIMA G. N.; LOMBARDO, M. A. MAGAÑA, V. Urban water supply and the changes in the precipitation patterns in the metropolitan area of São Paulo – Brazil. **Applied Geography**, 94: 223–229. 2018.
- LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. *In*: Rodrigues, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. **Matas ciliares: Conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP. 226p. 2000.
- LIU, C.; YU, M.; JIA, L.; CAI, H.; CHEN, X. Impacts of physical alterations on salt transport during the dry season in the Modaomen Estuary, Pearl River Delta, China. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 227: 106345. 2019.
- LIU, J.; MOONEY, H.; HULL, V.; DAVIS, S. J.; GASKELL, J.; HERTEL, T.; LUBCHENCO, J.; SETO, K. C.; GLEICK, P.; KREMEN, C.; LI, S. Systems integration for global sustainability. **Science**, 347(6225): 1.258.832. 2015.

- LOVELOCK, C.E.; BALL, M.C.; MARTIN, K.C.; C. FELLER, I. O enriquecimento de nutrientes aumenta a mortalidade dos manguezais. **PLoS ONE** 4(5): e5600. 2009.
- LUND-HANSEN, L. C.; JENSEN, K. T.; ANDERSEN, T. J.; NIELSEN, M. H.; DOAN-NHU, H.; NGUYEN-NGOC, L. Impacts and effects of a historical high and ENSO linked freshwater inflow in the tropical estuary Nha Phu, southeast Vietnam. **Regional Studies in Marine Science**, 17:28–37. 2018.
- LUNDIN, L. C., Ed. **River basin management**. Uppsala, The Baltic University Programme, Uppsala University. 2007.
- LY, S.; CHARLES, C.; DEGRÉ, A. Different methods for spatial interpolation of rainfall data for operational hydrology and hydrological modeling at watershed scale. A review. **Biotechnology, Agronomy, Society and Environment**, 17(2): 392-406. 2013.
- LYRA, G. B.; CORREIA, T. P.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. F.; ZERI, M. Evaluation of methods of spatial interpolation for monthly rainfall. **Theoretical and Applied Climatology**, 134: 955–965. 2018.
- MAANAN, M.; RUIZ-FERNÁNDEZ, A. C.; FATTAL, P.; ZOURARAH, B.; SAHABI, M. A long-term record of land use change impacts on sediments in Oualidia lagoon, Morocco. **International Journal of Sediment Research**, 29 (1): 1–10. 2014.
- MAHMOOD, R.; PIELKE, R. A.; HUBBARD, K. G.; NIYOGI, D. et al. Land cover changes and their biogeophysical effects on climate. **International Journal Of Climatology**, 34: 929–953. 2014.
- MAINA, F. Z.; SIIRILA-WOODBURN, E. R.; NEWCOMER, M.; XU, Z.; STEEFEL, C. Determining the impact of a severe dry to wet transition on watershed hydrodynamics in California, USA with an integrated hydrologic model Fadj. **Journal of Hydrology**, 580: 124358. 2020.
- MARCHIORO, E.; SILVA, G. M.; CORREA, W. S. C. A ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL E A PRECIPITAÇÃO PLUVIAL DO MUNICÍPIO DE VILA VELHA (ES): REPERCUSSÕES SOBRE AS INUNDAÇÕES. **Revista do Departamento de Geografia**, 31: 101-117. 2016.
- MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change**, 129: 103–115. 2015.
- MATHEWS, R.; RICHTER, B. D. Application of the indicators of hydrologic alteration software in environmental flow setting. **Journal of The American Water Resources Association**, 43 (6): 1400-1413. 2007.
- MCKITRICK, R.; CHRISTY, J. Assessing changes in US regional precipitation on multiple time scales. **Journal of Hydrology**, 578: 124074. 2019.
- MENDEZ, M.; CALVO-VALVERDE, L. Assessing the performance of several rainfall interpolation methods as evaluated by a conceptual hydrological model. **Procedia Engineering**, 154: 1050 – 1057. 2016.
- MERCURE, J.-F.; PAIM, M. A.; BOCQUILLON, P.; LINDNER, S.; SALAS, P.; MARTINELLI, P.; BERCHIN, I. I.; ANDRADE GUERRA, J. B. S. O.; DERANI, C.; ALBUQUERQUE JUNIOR, C. L.; RIBEIRO, J. M. P.; KNOBLOCH, F.; POLLITT, H.; EDWARDS, N. R.; HOLDEN, P. B.; FOLEY, A.; SCHAPHOFF, S.; FARACO,

- R. A.; VINUALES, J. E. System complexity and policy integration challenges: The Brazilian Energy-Water-Food Nexus. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 105: 230–243. 2019.
- MERCURE, J.-F.; POLLITT, H.; BASSI, A. M.; VIÑUALES, J. E.; EDWARDS, N. R. Modelling complex systems of heterogeneous agents to better design sustainability transitions policy. **Global Environmental Change**, 37: 102–115. 2016.
- MILLY, P. C. D.; BETANCOURT, J.; FALKENMARK, M.; HIRSCH, R. M.; KUNDZEWICS, Z. W.; LETTENMAIER, D. P.; STOUFFER, R. Stationarity is dead: Whither water management? **Climate Change**, 139: 573–574. 2008. DOI:
- MILLY, P. D. C.; BETANCOURT, J.; FALKENMARK, M.; HIRSCH, R. M.; KUNDZEWICS, Z. W.; LETTENMAIER, D. P.; STOUFFER, R. DETTINGER, M. D.; KRYSANOVA, V. On Critiques of “Stationarity is Dead: Whither Water Management?”. **Water Resources Research**, 51 (9): 7785-7789. 2015.
- MIR, A.; PIRI, J.; KISI, O. Spatial monitoring and zoning water quality of Sistan River in the wet and dry years using GIS and geostatistics. **Computers and Electronics in Agriculture** 135: 38–50. 2017.
- MITCHELL, M.; CURTIS, A.; SHARP, E.; MENDHAM, E. Directions for social research to underpin improved groundwater management. **Journal of Hydrology**, 448–449: 223–231. 2012.
- MOHOR, G. S.; MENDIONDO, E. M. Economic indicators of hydrologic drought insurance under water demand and climate change scenarios in a Brazilian context. **Ecological Economics**, 140: 66–78. 2017.
- MORRIS, M. D. Factorial sampling plans for preliminary computational experiments. **Technometrics**, 33: 161–174. 1991.
- MOURÃO, K. R.; SOUZA FILHO, P. W. M.; ALVES, P. J. O.; FRÉDOU, F. L. Priority areas for the conservation of the fish fauna of the Amazon Estuary in Brazil: A multicriteria approach. **Ocean & Coastal Management**, 100: 116e127. 2014.
- NAOUM, S.; TSANIS, I.K. Ranking spatial interpolation techniques using a GIS-based DSS. **GlobalNEST International Journal**, 6(1): 1-20, 2004.
- NIEMI, T. J.; KOKKONEM, T.; SEED, A. W. A simple and effective method for quantifying spatial anisotropy of time series of precipitation fields. **Water Resources Research**, 50 (7): 5906-5925. 2014.
- NIQUIL, N.; CHAUMILLON, E.; JOHNSON, G. A.; BERTIN, X.; GRAMI, B.; DAVID, V.; BACHER, C.; ASMUS, H.; BAIRD, D.; ASMUS, R. The effect of physical drivers on ecosystem indices derived from ecological network analysis: Comparison across estuarine ecosystems. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 108: 132-143. 2012.
- NOORI, M. J.; HASSAN, H. H.; MUSTAFA, Y. T. Spatial Estimation of Rainfall Distribution and Its Classification in Duhok Governorate Using GIS. **Journal of Water Resource and Protection**, 6: 75-82. 2014.
- ODGEN, J. C.; DAVIS, S. D.; JACOBS, K. J.; BARNES, T. FLING, H. The use of conceptual ecological models to guide ecosystem restoration in south Florida. **Wetlands**, 25 (4): 795–809. 2005.

- OLIVEIRA, R. M. S. **Distribuição dos sedimento em trechos do ro Santa Maria da Vitória – ES**. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo. 2003.
- OLSEN, S. B.; PADMA, T. V.; RITCHER, B. D. **Managing freshwater inflows to estuaries: a method guide**. Washington, D.C., USAID/The Nature Conservancy/Coastal Resource Center. 52. 2007.
- OZTURK, D.; KILIC, F. Geostatistical Approach for Spatial Interpolation of Meteorological Data. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 88(4): 2121-2136. 2016.
- PAN T., WU S.; LIU, Y. Relative Contributions of Land Use and Climate Change to Water Supply Variations over Yellow River Source Area in Tibetan Plateau during the Past Three Decades. **PLoS ONE** 10(4): e0123793. 2015. doi:10.1371/journal.pone.0123793.
- PAPASTERGIADOU, E. S., RETALIS, A., KALLIRIS, P. AND GEORGIADIS, T. Land use changes and associated environmental impacts on the shallow lake Greece. **Hydrobiologia**, 584 (1): 361-372. 2007.
- PASSARELA, D. B.; LAY-EKUAKILLE, A.; MAGGI, S.; MASCIALE, R.; ZACCARIA, D. Spatial and temporal classification of coastal regions using bioclimatic indices in a Mediterranean environment. **Science of the Total Environment**, 700: 134415. 2020.
- PEÑAS, F. J.; BARQUÍN, J. Assessment of large-scale patterns of hydrological alteration caused by dams. **Journal of Hydrology**, 572: 706–718. 2019.
- PETALAS, C.; LAMBRAKIS, N. Simulation of intense salinization phenomena in coastal aquifers - the case of the coastal aquifers of Thrace. **Journal of Hydrology**, 324(1-4): 51-64. 2006.
- POFF, N. L.; ALLAN, J. D.; BAIN, M. B.; KARR, J. R.; PRESTEGAARD, K. L.; RICHTER, B. D.; SPARKS, R. E.; STROMBERG, J. The natural flow regime. **BioScience**, 47(11):769-784.
- QIN, K.; LIU, J.; YAN, L.; HUANG, H. Integrating ecosystem services flows into water security simulations in water scarce areas: Present and future. **Science of the Total Environment**, 670: 1037–1048. 2019.
- RAMME, F. L. P. **Perfis temporais NDVI e sua relação com diferentes tipos de ciclos vegetativos da cultura da cana-de-açúcar**. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas. 116f. 2008.
- RICHTER, B. D.; BAUMGARTNER, J. V.; POWELL, J.; BRAUN, D. P; A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. **Conservation Biology**, 10 (4): 1163 – 1174. 1996.
- ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed do Autor. 220p. 2000.
- ROCHA, P. C. Indicadores de alteração hidrológica no alto rio paraná: intervenções humanas e implicações na dinâmica do ambiente fluvial. **Sociedade & Natureza, Uberlândia**, 22 (1): 191-211. 2010.
- RODRÍGUEZ-MORENO, V.; RUIZ-CORRAL, J.A.; PADILLA-RAMÍREZ, S.; PENA-RAMOS, A.; KRETZSCHMAR, T. G. Serial Analysis of Ten Precipitation-Based Indices by Land Use in Semiarid Regions. **Advances in Meteorology**, 2015.

- ROLAND, F.; HUSZAR, V. L. M.; FARJALLA, V. F.; ENRICH-PRAST, A.; AMADO, A. M.; OMETTO, J. P. H. B. Climate change in Brazil: perspective on the biogeochemistry of inland waters. **Brazilian Journal of Biology**, 72(3): 709-722. 2012.
- ROSE, N. A.; PARSONS, E. C. M. "Back off, man, I'm a scientist!" When marine conservation science meets policy. **Ocean & Coastal Management**, 115: 71-76. 2015.
- RYBSKI, D.; BUNDE, A.; HAVLIN, S.; STORCH, H. V. Long-term persistence in climate and the detection problem. **Geophysical Research Letters**, 33(6): 2006.
- SAAD, S.I.; MOTA DA SILVA, J.; SILVA, M.L.N.; GUIMARÃES, J.L.B.; SOUSA JÚNIOR, W.C.; FIGUEIREDO, R.D.O.; ROCHA, H. R. Analyzing ecological restoration strategies for water and soil conservation. **PLoS ONE**, 13(2): e0192325. 2018. .
- SALEMI, L. F.; GROPPPO, J. D.; TREVISAN, R.; MORAES, J. M.; LIMA, W. P. L.; MARTINELLI, L. A. Riparian vegetation and water yield: A synthesis. **Journal of Hydrology**, 454–455: 195–202. 2012.
- SALGUEIRO, J. H. P. B.; PINTO, E. J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Tendência de índices pluviométricos na bacia do rio capibaribe-PE e sua influência na gestão dos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 07(05): 1002-1014. 2014.
- SAMPAIO, G.; NOBRE, C.; COSTA, M. H.; SATYAMURTY, P.; SOARES-FILHO, B. S.; CARDOSO, M. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, 34: L17709. 2007.
- SANTOS, C. A. C.; OLIVEIRA, V. G. Trends in Extreme Climate Indices for Pará State, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 32(1): 13-24. 2017.
- SANTOS, V.; GASTMANS, D.; SÁNCHEZ-MURILLO, R.; GOZZO, L. F.; BATISTA, L. V.; MANZIONE, R. L.; MARTINEZ, J. Regional atmospheric dynamics govern interannual and seasonal stable isotope composition in southeastern Brazil. **Journal of Hydrology**, 579: 124136. 2019.
- SCOTT, D. F.; LE MAITRE, D. C.; FAIRBANKS, D. H. K. Forestry and streamflow reductions in South Africa: A reference system for assessing extent and distribution. **Water SA**, 24 (3): 187-199. 1998.
- SCOTT, D.F.; LESCH, W. **The water yield gains obtained from clearfelling riparian zone vegetation**. In: Proceedings of the Seventh South African National Hydrological Symposium, 4–6 September, Grahamstown, South, Africa. 1995. *Apud*: DYE, P. A review of changing perspectives on Eucalyptus water-use in South Africa. **Forest Ecology and Management**, 301: 51-57. 2013.
- SEAMA – SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Diário Oficial dos Poderes do Estado: Portaria Nº 005-R, de 22 de março de 2019. Disponível em: https://seama.es.gov.br/o_que_e_reflorestar Acesso em: 16/01/2020.
- SERINALDI, F.; KILSBY, C. G. Stationarity is undead: uncertainty dominates the distribution of extremes. **Advances in Water Resources**, 77: 17-36. 2015.
- SERINALDI, F.; KILSBY, C. G.; LOMBARDO, F. Untenable nonstationarity: na assessment of the fitness for purpose of trend tests in hydrology. **Advances in Water Resources**, 111: 132-155. 2017.

- SHAMIR, E.; MEGDAL, S. B.; CARILLO, C.; CASTRO, C. L.; CHANG, H.I.; CHIEF, K.; CORKHILL, F. E.; EDEN, S.; GEORGAKAKOS, K. P.; NELSON, K. M.; PRIETTO, J. Climate change and water resources management in the Upper Santa Cruz River, Arizona. **Journal of Hydrology**, 521: 18–33. 2015.
- SHIKANGALAH, R. N.; MAPANI, B. Precipitation variations and shifts over time: Implication on Windhoek city water supply. **Physics and Chemistry of the Earth**, 112: 103–112. 2019.
- SILVA, D. R. V.; AMARO, V. E. Integração entre dados ópticos e radar (SRTM) para a caracterização geoambiental da costa setentrional do Rio Grande do Norte. **Revista Geográfica Acadêmica**, 2: 111-123. 2008.
- SKANSI, M. M.; BRUNET, M.; SIGRÁ, J.; AGUILAR, E. et al. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. **Global and Planetary Change**, 100: 295-307. 2013.
- SOBRAL, B. S.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; GOIS, G.; PEREIRA-JÚNIOR, E. R.; TERASSI, P. M. B.; MUNIZ-JÚNIOR, G. R.; LYRA, G. B.; ZERI, M. Drought characterization for the state of Rio de Janeiro based on the annual SPI index: trends, statistical tests and its relation with ENSO. **Atmospheric Research**, 220: 141–154. 2019.
- SPRACKLEN, D. V.; ARNOLD, S. R.; TAYLOR, C. M. Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. **Nature**, 489: 282 – 285. 2012.
- STRAUCH, M.; LIMA, J. E. F. W.; VOLK, M.; LORZ, C.; MAKESCHIN, F. The impact of Best Management Practices on simulated streamflow and sediment load in a Central Brazilian catchment. **Journal of Environmental Management**, 127: S24-S36. 2013.
- SU, Y.; GAO, W.; GUAN, D. Integrated assessment and scenarios simulation of water security system in Japan. **Science of the Total Environment**, 671: 1269–1281. 2019.
- SWANEY, D. P.; HUMBORG, C.; EMEIS, K.; KANNEN, A.; SILVERT, W.; TETT, P.; PASTRES, R.; SOLIDORO, C.; YAMAMURO, M.; HÉNOQUE, Y.; NICHOLLS, R. Five sale questions of scale for the coastal zone. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 96: 9-21. 2012.
- TABACCHI, E.; LAMBS, L.; GUILLOY, H.; PLANTY-TABACCHI, A-M.; MULLER, E.; DÉCAMPS, H. Impacts of riparian vegetation on hydrological processes. **Hydrological Processes**, 14: 2959±2976. 2000.
- TAFFARELLO, D.; MOHOR, G. S.; CALIJURI, M. C.; MENDIONDO, E. M. Field investigations of the 2013–14 drought through quali-quantitative freshwater monitoring at the headwaters of the Cantareira System, Brazil. **Water International**, 41(5): 776-800. 2016.
- TEEGAVARAPU, R. S. V. **Changes and trends in precipitation extremes and characteristics**. In: links to climate variability and change, Elsevier, 91-148. 2019.
- TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, 20: 137-155. 2007.

- TEUBNER JR., F. J. **Aportes de água e nutrientes para o sistema estuarino da baía de Vitória (ES): subsídios para a gestão ambiental integrada.** Tese de doutorado. Universidade Federal do Espírito Santo. Programa de Pós-graduação em Oceanografia Ambiental. 304p. 2016.
- TEUBNER JR., F. J.; LIMA, A. T. M.; BARROSO, G. F. Emission rates of nitrogen and phosphorus in a tropical coastal river basin: a strategic management approach. **Environmental Monitoring and Assessment**, 190: 747. 2018.
- THE NATURE CONSERVANCY. **Indicators of hydrologic alteration Version 7.1.** User's Manual. 2009.
- TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica.** Ministério do Meio Ambiente / SQA. – Brasília: MMA. 302p. 2006.
- TWEEDLEY, J. R.; DITTMANN, S. R.; WHITFIELD, A. K.; WITHERS, K.; HOEKSEMA, S. D.; POTTER, I. C. **Hypersalinity: global distribution, causes, and present and future effects on the biota of estuaries and lagoons.** Wolanski, E., Day, J. W., Elliott, M. and Ramachandran, R. Coasts and estuaries: The future, Elsevier. 523-546. 2019.
- VAN DER WEGEN, M.; WANG, Z. B.; SAVENIJE, H. H. G.; ROELVINK, J. A. Long-term morphodynamic evolution and energy dissipation in a coastal plain, tidal embayment. **Journal Of Geophysical Research**, 113: F03001. 2008.
- VAN KONINGSVELD, M.; MULDER, M.; STIVE, M. J. F.; VAN DER VALK, L.; VAN DER WECK, A. W. Living with Sea-Level Rise and Climate Change: A Case Study of the Netherlands. **Journal of Coastal Research**, 24 (2): 367 – 379. 2019.
- VASCO, A. N.; NETTO, A. O. A.; SILVA, M. G. The influence of dams on ecohydrological conditions in the São Francisco River Basin, Brazil. **Ecohydrology & Hydrobiology**, 19: 556–565. 2019.
- VERA, J. F. R.; MERA, Y. E. Z.; PÉREZ-MARTÍN, M. A. Adapting water resources systems to climate change in tropical areas: Ecuadorian coast. **Science of the Total Environment**. 703: 135554. 2018.
- VOGEL, R. M. Stochastic watershed models for hydrologic risk management. **Water Security**, 1: 28-35. 2017.
- WADOUX, A. M. J-C; BRUS, D. J.; RICO-RAMIREZ, M. A.; HEUVELINK, G. B. M. Sampling design optimisation for rainfall prediction using a non-stationary geostatistical model. **Advances in Water Resources**, 107: 126–138. 2017.
- WAN, Y.; WANG, L. Numerical investigation of the factors influencing the vertical profiles of current, salinity, and SSC within a turbidity maximum zone. **International Journal of Sediment Research**, 32: 20–33. 2017.
- WANG, G.; GAN, B.; CAI, W.; WU, L. Continued increase of extreme El Niño frequency long after 1.5° C warming stabilization. **Natural Climate Change**, 7: 568-573. 2017.
- WANG, Z. B.; TOWNEND, I. H. Influence of the nodal tide on the morphological response of estuaries. **Marine Geology**, 291-294: 73–82. 2012.

- WENGER, S. A review of the scientific literature on riparian buffer width , extent and vegetation. **Soil Science Society of America Journal**, 73: 1- 59. 1999.
- WENS, J. A. Riverine landscapes: taking landscape ecology into the water. **Freshwater Biology** 47 (4): 501-515. 2002.
- WHITEHEAD, D.; BEADLE, C. L. Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus: a review. **Forest Ecology and Management**, 193: 113–140. 2004.
- WOLANSKI, E; ELLIOTT, M. **Estuarine ecohydrology**. 2nd. Elsevier. 978-0-444-63398-9. 2016.
- WU, Z.; MILLIMAN, J. D.; ZHAO, D.; ZHOU, J.; YAO, C. Recent geomorphic change in LingDing Bay, China, in response to economic and urban growth on the Pearl River Delta, Southern China. **Global and Planetary Change**, 123: 1–12. 2014.
- YANG, H.; XIAO, H.; GUO, C.; SUN, Y. Spatial-temporal analysis of precipitation variability in Qinghai Province, China. **Atmospheric Research**, 228: 242–260. 2019.
- YEH, S.W; KUG, J. S. DEWITE, B.; KWON, M. H.; KIRTMAN, B. P.; JIN, F.F. El niño in a changing climate. **Nature**, 461: 511-515. 2009.
- YIN, K.; LIN, Z.; KE, Z. Temporal and spatial distribution of dissolved oxygen in the Pearl River Estuary and adjacent coastal waters. **Continental Shelf Research**, 24, 1935–1948. 2004.
- ZHANG, M.; TOWNEND, I.; ZHOU, Y.; WANG, L.; DAI, Z. An examination of estuary stability in response to human interventions in the South Branch of the Yangtze (Changjiang) estuary, China. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 228: 106383. 2019.
- ZHANG, X.; F. YANG. **RClimDex (1.0) user manual**. Environment Canada, 23 pp. 2004. disponível online em: <http://etccdi.pacificclimate.org/RClimDex/RClimDexUserManual.doc> Acesso em: 11/10/2019.
- ZHAO, M.; PITMAN, A. The impact of land cover change and increasing carbon dioxide on the extreme and frequency of maximum temperature and convective precipitation. **Geophysical Research Letters**, 29 (6): 1078. 2002.
- ZHAO, Z.; LIU, G.; LIU, Q.; HUANG, C.; LI, H. Studies on the spatiotemporal variability of river water quality and its relationships with soil and precipitation: a case study of the mun river basin in Thailand. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 15: 2466.
- ZSCHEISCHLER, J.; MAHECHA, M. D.; HARMELING, S.; REICHSTEINS, M. Detection and attribution of large spatiotemporal extreme events in Earth observation data. **Ecological Informatics**, 15: 66-73. 2013

ANEXOS

Anexo A: Tendência dos índices de extremos climáticos das estações pluviométricas na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória. Valores em negrito correspondem a significância estatística, pelo teste F, de 95% e valores em itálico, 90%.

Nome da estação	RX1day	RX5day	SDII	R10mm	R20mm	R50mm	CDD	CWD	R95p	R99p	PRCPTOP
Afonso Claudio M	0,683	0,957	- 0,115	-0,128	-0,061	0,043	- 0,219	0,077	3,187	1,433	1,795
Arace	0,377	0,772	<i>0,033</i>	-0,098	-0,04	<i>0,033</i>	<i>0,192</i>	0,039	2,542	1,48	-1,58
Aracruz	1,125	2,517	- 0,046	-0,319	-0,038	0,026	0,088	-0,018	3,026	1,171	-1,376
Baixo Guandu	-0,067	0,027	0,044	<i>-0,153</i>	-0,065	0,006	0,941	0,017	- 0,413	- 0,183	-5,055
Burarama	-0,08	0,335	0,007	-0,145	-0,125	-0,006	0,085	0,004	0,4	0,463	-4,302
Cachoeira Suíça	0,216	0,594	<i>0,027</i>	-0,071	0,008	0,028	0,08	-0,016	2,188	<i>1,58</i>	0,004
Castelo	0,352	0,838	0,013	-0,062	-0,035	0	- 0,009	0,059	1,3	1,62	-0,581
Cavalinho	-0,37	0,505	- 0,002	-0,282	-0,062	0	<i>0,243</i>	-0,033	0,104	- 0,154	-4,803
Colatina	0,054	0,155	0,036	-0,054	-0,037	0,009	0,214	-0,007	0,962	- 0,092	-2,114
Conceição do Castelo	-0,011	-0,329	0,023	-0,299	-0,09	0,021	0,305	<i>-0,075</i>	0,48	- 0,033	-8,256
Duas Barras	0,175	0,269	0,025	0,006	-0,035	0,001	0,082	-0,009	0,516	0,435	-2,107
Duas Bocas-DNOS	0,425	1,725	0,137	0,017	0,037	0,046	0,236	-0,028	4,574	1,739	1,642
Fazenda Fonte Limpa	0,919	1,132	0,032	-0,023	0,03	0,04	<i>0,188</i>	-0,005	<i>4,185</i>	1,711	1,597
Fazenda Jucuruaba	<i>0,495</i>	1,923	0,038	-0,06	0,004	<i>0,057</i>	0,132	0,017	5,057	3,905	2,338
Fundão	0,451	1,195	0,07	<i>-0,171</i>	-0,105	0	0,17	-0,049	1,144	1,396	-5,264
Garrafao	<i>0,347</i>	0,712	0,087	-0,109	0,035	0,024	0	-0,042	1,745	1,018	-1,263
Guarapari	0,107	0,99	0,046	0,035	0,058	0,023	0,135	0,008	2,107	0,148	1,621
Ibituba	-0,029	0,492	- 0,029	-0,198	-0,114	0,001	0,497	-0,03	0,646	- 0,006	-2,972

Itaici	0,543	0,595	0,01	-0,048	-0,019	0,022	-	0,041	3,083	1,829	0,187
Itaimbe	0,278	0,834	0,007	-0,21	-0,075	0,023	0,273	-0,038	1,644	1,173	-4,026
Itarana	0,205	0,803	0,014	-0,147	-0,099	0,008	0,362	-0,012	1,896	2,771	-3,455
Iuna	0,232	1,2	0,078	0,026	0,122	0,035	0,461	0,025	3,661	0,897	2,342
Jacigua	-0,271	-0,718	0,007	-0,107	-0,026	-0,019	0,091	0,058	-	-	-3,243
Jacupemba	-0,084	1,049	-	0,028	-0,125	-0,071	0,001	-	0,042	0,74	0,465
Matilde	0,438	0,363	0,017	-0,059	-0,026	-0,015	0,101	0,022	0,092	-0,06	-1,716
Perobinha	0,035	1,09	0,022	-0,307	-0,035	0,038	0,187	-0,062	1,704	2,115	-4,636
Ponta da Fruta	0,116	1,558	0,058	0,076	0,018	0,03	0,129	0,082	2,648	2,09	0,585
Santa Cruz-litoral	0,183	0,854	-	-0,236	-0,122	-0,01	0,041	-0,009	-	0,571	-5,155
São José de Petrópolis	0,003	0,959	-0,01	-0,247	-0,101	0,002	0,093	-0,012	-	0,586	-4,311
São Rafael	0,535	0,976	-	0,007	-0,17	0,067	0,04	-0,011	5,457	2,082	2,064
St. Leopoldina	0,279	1,035	0,009	-0,146	-0,06	-0,002	0,173	0,024	1,527	0,254	-1,55
St. M de Jetiba	0,407	1,229	0,002	-0,097	0,016	0,016	-	0,019	1,958	1,165	0,661
Usina Fortaleza	-0,014	-0,126	0,017	-0,123	-0,047	-0,019	0,083	0,013	-0,28	-	-3,61
Valsugana velha M	0,409	1,154	0,001	-0,238	-0,134	0,003	0,053	-0,034	1,212	0,315	-4,745
Médias	0,25	0,81	0,02	-0,13	-0,04	0,01	0,15	0,00	1,68	0,98	-1,87

ANEXO B: Resultados do teste fisher indicando as diferenças significativas para os indicadores de alteração hidrológicos e componentes das vazões ecológicas para os diferentes intervalos 1950-1958, 1959-1979, 1980-1999, 2000-2018 e na diferença entre antes e após a instalação da PCH Rio Bonito obtidos para a estação fluviométrica Santa Leopoldina (código: 57130000), inserida na bacia hidrográfica do rio Santa Maria da Vitória (valores em negrito indicam índices significativos, $p < 0,05$).

Parâmetro IHA	1950-1958	1959-1979	1980-1999	2000-2018	1950-1958 e 1958-2018
Janeiro	0,5	0,5	0,5	0,025	0,657
Fevereiro	0,25	0,25	0,1	0,5	0,330
Março	0,25	0,5	0,5	0,25	0,424
Abril	0,5	0,5	0,1	0,5	0,262
Maio	0,5	0,5	0,01	0,5	0,146
Junho	0,5	0,5	0,001	0,5	0,094
Julho	0,5	0,5	0,001	0,5	0,225
Agosto	0,5	0,5	0,01	0,5	0,553
Setembro	0,5	0,5	0,025	0,5	0,342
Outubro	0,1	0,5	0,01	0,25	0,670
Novembro	0,5	0,5	0,5	0,05	0,363
Dezembro	0,5	0,5	0,5	0,5	0,727
Vazão mínima anual de 1 dia	0,25	0,5	0,001	0,5	0,166
Vazão mínima anual de 3 dia	0,25	0,5	0,001	0,5	0,103
Vazão mínima anual de 7 dia	0,25	0,5	0,001	0,5	0,135
Vazão mínima anual de 30 dia	0,5	0,5	0,005	0,5	0,225
Vazão mínima anual de 90 dia	0,5	0,5	0,005	0,5	0,327
Vazão máxima anual de 1 dia	0,5	0,5	0,5	0,5	0,015
Vazão máxima anual de 3 dia	0,5	0,5	0,5	0,5	0,403
Vazão máxima anual de 7 dia	0,5	0,5	0,5	0,5	0,434
Vazão máxima anual de 30 dia	0,5	0,5	0,5	0,25	0,231
Vazão máxima anual de 90 dia	0,5	0,5	0,5	0,1	0,843
Número de dias com fluxo zero	0,5	0,5	0,5	0,25	
Taxa de fluxo de base	0,5	0,5	0,05	0,5	0,470
Data Juliana do valor mínimo de cada ano	0,5	0,5	0,25	0,01	0,069
Data Juliana do valor máximo de cada ano	0,5	0,5	0,5	0,5	0,746
Número de baixos picos no ano	0,5	0,5	0,001	0,5	0,010
Duração média (dias) dos baixos picos	0,5	0,5	0,25	0,25	0,043
Número de altos picos no ano	0,5	0,5	0,025	0,25	0,241
Duração média (dias) dos altos picos	0,5	0,25	0,25	0,5	0,794
Taxa de ascensão	0,5	0,5	0,25	0,5	0,130
Taxa de recessão	0,5	0,01	0,1	0,25	0,319
Número de reversões	0,5	0,001	0,5	0,001	0,003
Vazão baixa -Janeiro	0,5	0,5	0,1	0,025	0,158

Vazão baixa -Fevereiro	0,5	0,5	0,25	0,5	0,462
Vazão baixa - Março	0,5	0,5	0,001	0,5	0,279
Vazão baixa -Abril	0,5	0,5	0,01	0,5	0,204
Vazão baixa -Maio	0,5	0,5	0,005	0,5	0,032
Vazão baixa -Junho	0,5	0,5	0,001	0,5	0,037
Vazão baixa -Julho	0,5	0,5	0,001	0,5	0,100
Vazão baixa -Agosto	0,5	0,5	0,01	0,5	0,694
Vazão baixa -Setembro	0,5	0,5	0,001	0,5	0,407
Vazão baixa -Outubro	0,025	0,5	0,005	0,5	0,114
Vazão baixa -Novembro	0,5	0,5	0,25	0,1	0,849
Vazão baixa -Dezembro	0,5	0,25	0,025	0,5	0,247
Vazões extremas baixas - picos	0,25	0,5	0,25	0,5	0,013
Vazões extremas baixas - duração	0,5	0,1	0,5	0,5	0,185
Vazões extremas baixas - tempo	0,5	0,5	0,25	0,025	0,007
Vazões extremas baixas - frequência	0,5	0,5	0,05	0,5	0,018
Vazões extremas altas - picos	0,5	0,5	0,5	0,5	0,365
Vazões extremas altas - duração	0,5	0,25	0,5	0,5	0,003
Vazões extremas altas - tempo	0,5	0,5	0,5	0,5	0,043
Vazões extremas altas - frequência	0,5	0,5	0,01	0,25	0,150
Vazões extremas altas - taxa de elevação	0,5	0,5	0,05	0,25	0,462
Vazões extremas altas - taxa de queda	0,5	0,25	0,025	0,5	0,421
Pequenas cheias - picos	0,5	0,5	0,5	0,5	0,035
Pequenas cheias - duração	0,5	0,5	0,5	0,05	0,633
Pequenas cheias - tempo	0,5	0,5	0,5	0,5	0,516
Pequenas cheias - frequência	0,1	0,5	0,1	0,5	-
Pequenas cheias - taxa de elevação	0,5	0,5	0,05	0,005	0,919
Pequenas cheias - taxa de queda	0,5	0,5	0,5	0,5	0,568
Grandes cheias - picos	-	0,5	0,5	0,5	0,319
Grandes cheias - duração	-	0,5	0,5	0,5	0,490
Grandes cheias - tempo	-	0,5	0,5	0,5	0,451
Grandes cheias - frequência	0,5	0,5	0,5	0,5	-
Grandes cheias - taxa de elevação	-	0,5	0,5	0,5	0,077
Grandes cheias - taxa de queda	-	0,5	0,5	0,5	0,378