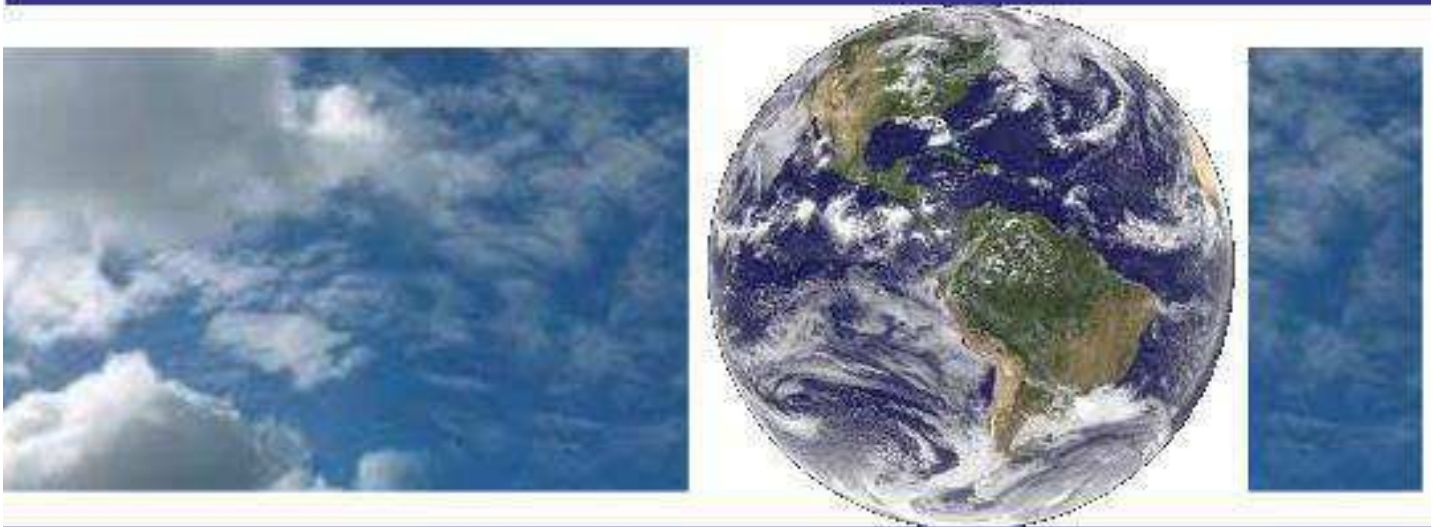


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

METEOROLOGIA



TESE DE DOUTORADO

Wanderson dos Santos Sousa

**Uso do modelo SWAT para avaliar os impactos das
mudanças climáticas nos recursos hídricos da bacia
hidrográfica do rio Una - PE**

Campina Grande, Agosto de 2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

**Uso do modelo SWAT para avaliar os impactos das mudanças climáticas
nos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Una - PE**

Wanderson dos Santos Sousa

Campina Grande - PB

2019

Wanderson dos Santos Sousa

**Uso do modelo SWAT para avaliar os impactos das mudanças climáticas
nos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Una - PE**

Tese apresentada ao Curso de
Doutorado em Meteorologia da
Universidade Federal de Campina
Grande em cumprimento às exigências
para obtenção do título de Doutor em
Meteorologia

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

Sub-Área: Climatologia

Orientador: Francisco de Assis Salviano de Sousa

Campina Grande - PB

2019

S725u

Sousa, Wanderson dos Santos.

Uso do modelo SWAT para avaliar os impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Una-PE / Wanderson dos Santos Sousa. – Campina Grande, 2019.

131 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2019.

"Orientação: Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa".

Referências.

1. Bacia Hidrográfica. 2. Modelagem Hidrológica. 3. Cenário Climático. 4. Curva de Permanência. I. Sousa, Francisco de Assis Salviano de. II. Título.

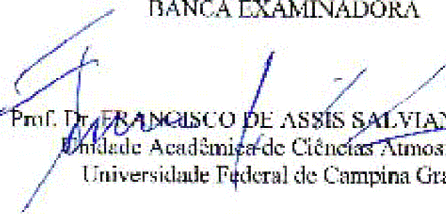
CDU 556.51(043)

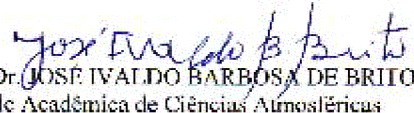
WANDERSON DOS SANTOS SOUSA


USO DO MODELO SWAT PARA AVALIAR OS IMPACTOS DAS MUDANÇAS
CLIMÁTICAS NOS RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
UNA


TESE APROVADA EM 28/08/2019


BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. JOSE IVALDO BARBOSA DE BRITO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Profa. Dra. JOSICLÊDA DOMICIANO GALVÊNCIO
Departamento de Ciências Geográficas
Centro de Filosofia e Ciências Humanas
Universidade Federal de Pernambuco


Profa. Dra. DANIELE DE CASTRO PESSOA DE MELO
Instituto de Tecnologia de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Josadark Soares e Marileide dos Santos, e minha irmã, Aila Taise, por me ensinarem a amar e a nunca desistir de meus sonhos, a quem dedico todas as minhas vitórias.

À Renata Pereira, esposa e companheira, pela presença ao meu lado em momentos importantes da minha vida, e pelo carinho e paciência com que entendeu as horas de ausência.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador e amigo, Professor Doutor Francisco de Assis, pela competência e confiança com que conduziu este processo, do alvorecer da ideia até sua síntese.

Às Professoras, Doutora Josiclêda Domiciano Galvíncio, Doutora Suzana Montenegro e Doutora Daniele de Castro Pessoa de Melo, pelas valiosas contribuições para enriquecimento desta pesquisa.

Aos Professores, Doutor JoséIVALDO e Doutor Enilson Palmeira, pela disponibilidade em esclarecer dúvidas, agradeço por sua paciência e habilidade de transmitir os conhecimentos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande pela qualidade administrativa, ensino, estrutura física, que deram suporte para realização deste trabalho.

Ao Instituto de Tecnologia de Pernambuco pela disponibilidade, compreensão e flexibilização no ambiente de trabalho.

À todos os amigos e familiares que direta ou indiretamente apoiaram e incentivaram meu crescimento com a certeza de conquistas compartilhadas.

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Una vem sofrendo nos últimos anos com ocorrências recorrentes de desastres ambientais. A grande variabilidade espacial e temporal de sistemas meteorológicos extremos favorecem tais ocorrências. Diversos modelos climáticos com projeções de temperatura e precipitação evidenciam a Região Nordeste do Brasil como uma das regiões que será mais afetada pelas mudanças do clima. Neste contexto, as simulações hidrológicas em função das alterações climáticas são de grande relevância. O presente estudo avaliou o impacto das mudanças climáticas nos recursos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Una. Para isto utilizou o modelo hidrológico distribuído SWAT, para modelar os processos que envolvem o balanço hídrico no solo e o escoamento na rede de drenagem. A análise foi realizada em três etapas. Na primeira etapa, o modelo hidrológico foi calibrado e validado com dados observacionais; na segunda etapa foram simulados cenários de vazão, utilizando como entrada para o modelo hidrológico os cenários climáticos gerados pelo modelo climático ETA para o período 2020 a 2047. E na terceira etapa foi analisado o comportamento dos cenários de vazão, em diferentes pontos da bacia, através da interpretação da curva de permanência e da vazão média. Portanto, na primeira etapa o modelo hidrológico representou de forma satisfatória a variabilidade sazonal da vazão, porém com valores reduzidos. Por outro lado, nos cenários de vazão não se observou similaridade com a variabilidade sazonal da vazão mas apresentou redução nos valores médios da vazão e nas vazões máximas. Essa mesma redução observou-se nas curvas de permanência para os percentis 10, 50 e 90%. De toda forma, conclui-se que devido a redução da precipitação observada nos cenários climáticos e pela capacidade do modelo hidrológico SWAT em simular a variabilidade sazonal da vazão, se faz necessário e é possível a gestão hídrica e o planejamento de medidas mitigadoras dos possíveis impactos na bacia hidrográfica do rio Una.

Palavras-chave: modelagem hidrológica, cenário climático, curva de permanência.

ABSTRACT

The Una River basin has been suffering in recent years with recurrent occurrences of environmental disasters. The large spatial and temporal variability of extreme weather systems favors such occurrences. Several climate models with projections of temperature and precipitation show the Northeast of Brazil as one of the regions that will be most affected by climate change. In this context, hydrological simulations due to climate change are of great relevance. The present study evaluated the impact of climate change on the surface water resources of the Una river basin. For this it used the distributed hydrologic model SWAT, to model the processes that involve the soil water balance and the drainage network flow. The analysis was performed in three steps. In the first step, the hydrological model was calibrated and validated with observational data. In the second stage, flow scenarios were simulated, using as input to the hydrological model the climate scenarios generated by the ETA climate model for the period 2020 to 2047. In the third stage, the behavior of the flow scenarios in different points of the basin was analyzed through the interpretation of the permanence curve and the average flow. Therefore, in the first stage the hydrological model satisfactorily represented the seasonal variability of the flow, but with reduced values. On the other hand, in the flow scenarios no similarity with the seasonal flow variability was observed, but there was a reduction in the average flow values and the maximum flow rates. This same reduction was observed in the permanence curves for the 10%, 50% and 90% percentiles. In any case, it is concluded that due to the reduction of precipitation observed in the climate scenarios and the ability of the SWAT hydrological model to simulate the seasonal variability of the flow, it is necessary and possible the water management and the planning of mitigating measures of the possible impacts. in the Una river basin.

Key-words: hydrological modeling, weather scenario, permanence curve.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	6
AGRADECIMENTOS	7
RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS	17
1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 Objetivo geral.....	20
1.1.1 Objetivos específicos	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1 Área de estudo.....	26
3.2 Dados.....	27
3.2.1 Dados meteorológicos.....	28
3.2.2 Dados hidrológicos.....	30
3.2.3 Dados de uso e ocupação do solo.....	32
3.2.4 Dados de solo	32
3.2.5 Dados de relevo	33
3.2.6 Dados dos cenários climáticos.....	34
3.3 Metodologia adotada	36
3.3.1 Modelo hidrológico	36
3.3.2 Calibração e validação do modelo hidrológico	37
3.3.3 Projeções hidrológicas futuras	39
3.3.4 Curva de permanência.....	40
3.3.5 Avaliação do modelo hidrológico	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42

4.1	Simulação da vazão no período de 2002 a 2010	43
4.2	Calibração da vazão simulada no período de 2002 a 2010	50
4.3	Validação da vazão no período de 2011 a 2014	57
4.4	Análise e correção de erro sistemático dos cenários climáticos	64
4.4.1	Período de 1963 a 1990	65
4.4.2	Período de 2020 a 2047	86
4.5	Cenário de vazão para o período de 2020 a 2047	108
4.6	Análise das curvas de permanência nos cenários de vazão	115
5	CONCLUSÕES	123
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
	ANEXO A – Relação dos postos pluviométricos convencionais e das plataformas automática de coleta de dados meteorológico da bacia hidrográfica do rio Una.	132

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do Rio Una.	27
Figura 2. Postos meteorológicas contidos na bacia hidrográfica do Rio Una. ...	29
Figura 3. Localização das estações fluviométricas na bacia hidrográfica do Rio Una.	30
Figura 4. Uso do solo na bacia hidrográfica do rio Una.....	33
Figura 5. Relevo na Bacia hidrográfica do Rio Una.....	34
Figura 6. Localização dos pontos dos modelos climáticos na bacia hidrográfica do rio Una.	35
Figura 7. Fluxograma das etapas da metodologia adotada no estudo.	38
Figura 8. Postos pluviométricos (azul) e plataforma automática de coleta de dados meteorológicos (bege) na bacia hidrográfica do rio Una.	42
Figura 9. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Cachoeirinha.	44
Figura 10. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Capivara.	45
Figura 11. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Belém de Maria.	47
Figura 12. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Catende.	48
Figura 13. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Palmares.	50
Figura 14. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de calibração para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Cachoeirinha.	52
Figura 15. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de calibração para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Capivara.	53
Figura 16. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de calibração para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Belém de Maria.	54

Figura 17. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de calibração para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Catende.....	56
Figura 18. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de calibração para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Palmares.....	57
Figura 19. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de validação para o período 2011 a 2014 no posto fluviométrico de Cachoeirinha.....	58
Figura 20. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de validação para o período 2011 a 2014 no posto fluviométrico de Capivara.....	59
Figura 21. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de validação para o período 2011 a 2014 no posto fluviométrico de Belém de Maria.....	61
Figura 22. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de validação para o período 2011 a 2014 no posto fluviométrico de Catende.....	62
Figura 23. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de validação para o período 2011 a 2014 no posto fluviométrico de Palmares.....	63
Figura 24. Localização dos pluviômetros e dos centroides da célula de grade dos modelos climáticos, na bacia hidrográfica do rio Una.	64
Figura 25. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de Altinho no período de 1963 a 1990.....	67
Figura 26. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de Barreiros no período de 1963 a 1990.....	69
Figura 27. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de Cachoeirinha no período de 1963 a 1990.....	71

Figura 28. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de Ibirajuba no período de 1963 a 1990.....	73
Figura 29. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de Maraiá no período de 1963 a 1990.....	75
Figura 30. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de Palmares no período de 1963 a 1990. ...	77
Figura 31. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de Panelas no período de 1963 a 1990.	79
Figura 32. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de Quipapá no período de 1963 a 1990.....	81
Figura 33. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de São Bento do Una no período de 1963 a 1990.....	83
Figura 34. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de São Joaquim do Monte no período de 1963 a 1990.....	85
Figura 35. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs5) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHadgem (b) no período de 2020 a 2047, para o município de Altinho.	87
Figura 36. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs6) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHadgem (b) no período de 2020 a 2047, para o município de Barreiros.....	89
Figura 37. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs14) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHadgem (b) no período de 2020 a 2047, para o município de Cachoeirinha.	91

Figura 38. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs23) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHadgem (b) no período de 2020 a 2047, para o município de Ibirajuba.	93
Figura 39. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs34) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHadgem (b) no período de 2020 a 2047, para o município de Maraial.....	96
Figura 40. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs37) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHadgem (b) no período de 2020 a 2047, para o município de Palmares.	98
Figura 41. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs40) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHadgem (b) no período de 2020 a 2047, para o município de Panelas.	100
Figura 42. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs43) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHadgem (b) no período de 2020 a 2047, para o município de Quipapá.....	102
Figura 43. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs48) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHadgem (b) no período de 2020 a 2047, para o município de São Bento do Una.....	104
Figura 44. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs50) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHadgem (b) no período de 2020 a 2047, para o município de São Joaquim do Monte.	107
Figura 45. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões simuladas, considerando os modelos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o período 2020 a 2047 no posto fluviométrico de Cachoeirinha.	109
Figura 46. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões simuladas, considerando os modelos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o período 2020 a 2047 no posto fluviométrico de Capivara.....	110
Figura 47. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões simuladas, considerando os modelos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o período 2020 a 2047 no posto fluviométrico de Belém de Maria.....	112
Figura 48. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões simuladas, considerando os modelos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o período 2020 a 2047 no posto fluviométrico de Catende.....	113

Figura 49. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões simuladas, considerando os modelos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o período 2020 a 2047 no posto fluviométrico de Palmares.....	114
Figura 50. Curvas de permanência das vazões simulada e observada no posto fluviométrico de Cachoerinha.....	116
Figura 51. Curvas de permanência das vazões simulada e observada no posto fluviométrico de Capivara.....	117
Figura 52. Curvas de permanência das vazões simulada e observada no posto fluviométrico de Belém de Maria.....	119
Figura 53. Curvas de permanência das vazões simulada e observada no posto fluviométrico de Catende.....	120
Figura 54. Curvas de permanência das vazões simulada e observada no posto fluviométrico de Catende.....	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estações hidrológicas automáticas contidas na bacia hidrográfica do Rio Una.....	31
Tabela 2. Coordenada geográfica e capacidade máxima dos reservatórios da bacia hidrográfica do rio Una.	32
Tabela 3. Valores dos parâmetros ajustados após processo de calibração por sub-bacia.	51
Tabela 4. Relação dos postos com coordenadas geográficas associadas.....	65
Tabela 5. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de Altinho.	88
Tabela 6. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de Barreiros.	90
Tabela 7. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de Cachoeirinha.....	92
Tabela 8. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de Ibirajuba.	94
Tabela 9. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de Maraial.	97
Tabela 10. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de Palmares.....	99
Tabela 11. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de Panelas.....	101
Tabela 12. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de Quipapá.	103

Tabela 13. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de São Bento do Una.	105
Tabela 14. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de São Joaquim do Monte.....	108
Tabela 15. Valores de vazão nos percentis 10, 50 e 90%, da curva de permanência das vazões simulada e observada no posto de Cachoeirinha. .	117
Tabela 16. Valores de vazão nos percentis 10, 50 e 90%, da curva de permanência das vazões simulada e observada no posto de Capivara.	118
Tabela 17. Valores de vazão nos percentis 10, 50 e 90%, da curva de permanência das vazões simulada e observada no posto de Belém de Maria.	120
Tabela 18. Valores de vazão nos percentis 10, 50 e 90%, da curva de permanência das vazões simulada e observada no posto de Catende.....	121
Tabela 19. Valores de vazão nos percentis 10, 50 e 90%, da curva de permanência das vazões simulada e observada no posto de Palmares.	122

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas tem sido abordada no âmbito da variação na temperatura média global próxima a superfície terrestre, provocadas por fatores naturais e antrópicos, e associada a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera.

Para tal, são estudadas as variações climáticas do passado e suas projeções para o futuro a partir de modelos matemáticos complexos que por meio de parametrizações dos sistemas que compõem a atmosfera, a biosfera, a hidrosfera, a criosfera e a geosfera, fornecem os resultados a serem analisados (MILLER, 2011).

Evidências direcionadas à ocorrência destas mudanças tem sido debatidas e publicadas em relatórios, nos anos de 1990, 1995, 2001, 2007 e 2014, pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês), que elabora os documentos pela compilação das produções científicas mundiais, de modo a retratar o status atual do conhecimento, e as formas de mitigação e adaptação das possíveis consequências acerca desta temática.

Nesse contexto e com as conclusões obtidas nos relatórios, discussões tem se tornado cada vez mais frequentes entre os cientistas e a sociedade, tendo em vista a possibilidade de que ações humanas possam estar contribuindo em maior grau de relevância, cerca de 95% de certeza, para o aumento da temperatura do planeta, quando considerado os últimos 50 anos (IPCC, 2014).

Como consequências desse aumento na temperatura, variações na intensidade de eventos climáticos, como: secas, ondas de calor e chuvas, podem ocorrer com maior ocasionando efeitos desastrosos para o meio-ambiente, para a sociedade e para a economia (CAVALCANTI *et al.*, 2009).

O Nordeste do Brasil é vulnerável a estas variações extremas e particularmente o Estado de Pernambuco na Bacia Hidrográfica do Rio Una tem apresentando recorrência em chuvas intensas e cheia dos rios, ocasionando impactos socioambientais de curto, médio e longo prazos (LONDE *et al.*, 2015).

Machado *et al.* (2012) analisando os fatores condicionantes à chuva ocorrida na região no ano de 2010, mencionam que Distúrbio Ondulatório de Leste acoplado a condição de temperatura da superfície do Oceano Atlântico

modulou a intensificação do sistema convectivo de mesoescala atuante na ocasião.

As chuvas e os escoamentos dos rios são considerados fenômenos hidrológicos comuns devido a periodicidade em suas ocorrências. Porém, parecem ser suficientemente conhecidos, no entanto, diversos efeitos catastróficos recorrentes das cheias e estiagens tem ocorrido. Portanto, há a necessidade do maior aprofundamento do seu conhecimento (PINTO *et al.*, 1976).

Simulação de alterações do sistema, pelo desenvolvimento de modelos hidrológicos, tem sido impulsionado para subsidiar a tomada de decisão e gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas (ALMEIDA, PEREIRA e PINTO, 2018).

Desta forma, a correta avaliação dos processos de interação entre a superfície e a atmosfera é de grande importância para o desenvolvimento sustentável da região e para a gestão dos recursos hídricos na aplicação de atividades como: agricultura, estudos climáticos, geração de energia, qualidade da água e estudos preventivos de danos causados por fenômenos naturais.

Portanto, torna-se necessário entender como as mudanças climáticas afetam o comportamento hidrológico na bacia hidrográfica do Rio Una.

1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é analisar os impactos das mudanças climáticas no escoamento superficial na bacia hidrográfica do Rio Una, utilizando o modelo SWAT.

No intuito de alcançar o objetivo principal, algumas tarefas específicas foram realizadas:

1.1.1 Objetivos específicos

- Configuração do modelo hidrológico para representar a série temporal das vazões observadas na bacia hidrográfica;
- Avaliação da capacidade dos cenários climáticos em representar a climatologia da região;

- Análise das projeções hidrológicas, em pontos específicos da bacia hidrográfica, em decorrência das mudanças climáticas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para auxiliar na análise das mudanças climáticas futuras, incluindo a avaliação de impactos, adaptação e mitigação, modelos matemáticos do sistema climático global, que levam em conta o comportamento da atmosfera, do oceano, da criosfera, da vegetação, e da interação entre eles, têm projetado prováveis cenários de alterações climáticas e tem tido grandes avanços nos últimos anos em termos da representação de impactos sobre o Brasil.

Estes cenários são “imagens” alternativas de como poderá ser o funcionamento do sistema terrestre no futuro e são uma ferramenta apropriada para analisar, observada a incerteza desses modelos, como o crescimento demográfico, o desenvolvimento socioeconômico e a mudança tecnológica, que determinam as emissões dos gases de efeito estufa, podem influenciar no sistema climático (CHOU et al., 2014b).

Shen et al. (2018) investigaram a variação temporal da incerteza relacionada à escolha de um modelo climático global na previsão dos impactos das mudanças climáticas na hidrologia, e observaram que a incerteza em um cenário de alta emissão foi muito maior que em um cenário de emissões relativamente baixas. Portanto, o estudo enfatizou ainda mais a importância do uso de vários modelos climáticos para estudar os impactos das mudanças climáticas na hidrologia.

O quinto relatório de avaliação do IPCC compila informações mais recentes sobre mudanças climáticas. Este se baseia na projeção da concentração de gases de efeito estufa e seu consequente acúmulo de energia ao longo do tempo, o que define os caminhos representativos de concentração (RCP, sigla em inglês). Os RCP são denominados como forçantes radiativas, sendo classificadas em 4 (quatro) tipos: 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5, sendo este último considerado uma projeção severa, para o final do corrente século, enquanto o 4.5 é tido como uma projeção intermediária (CUBASH et al., 2013).

Análises destes cenários, a partir de diferentes modelos climáticos globais e regionais, indicaram que as mudanças climáticas para o final do século 21 poderão afetar a região Nordeste. Como consequências destas mudanças deverão ocorrer aumentos da temperatura, o que provocará uma maior evaporação e maior transpiração nas plantas, e aumento na frequência de

chuvas intensas, provocando enchentes e inundações. (SALAZAR, NOBRE e OYAMA, 2007; NOBRE, SAMPAIO e SALAZAR, 2008)

Publicações recentes, incorporando projeções de evolução do clima para vários cenários de emissões dos gases de efeito estufa em modelos hidrológicos, têm procurado analisar os impactos das mudanças climáticas nos regimes hidrológicos em bacias hidrográficas (KARLSSON *et al.*, 2016; XU e LUO, 2015).

Nesse contexto, as mudanças climáticas tendem, entre muitos outros impactos, modificar a sazonalidade das vazões com consequentes efeitos no armazenamento e gerenciamento dos reservatórios.

A Vazão tem a capacidade de refletir uma resposta integrada da área da bacia hidrográfica como um todo. Essa apresenta variação temporal, é influenciada pelo clima, principalmente a precipitação, pelas características físicas da bacia e pelas atividades humanas como as mudanças no uso da terra (ZHANG *et al.*, 2006).

Portanto, é evidente a importância dos estudos que analisam séries históricas de vazão e precipitação para compreender o comportamento dos recursos hídricos superficiais em bacias hidrográficas de grande escala. Tendo em vista que, em bacias, os diversos processos hidrológicos apresentam um comportamento fortemente não linear com a variabilidade da escala.

Assis *et al.* (2013) analisaram o comportamento e a tendência da precipitação no período chuvoso do Sertão de Pernambuco da região Nordeste do Brasil e identificaram tendências negativas para o total de precipitação da quadra chuvosa no período de 1962 a 2012. Com a diminuição do regime de chuvas se constatou que a água é um recurso cada vez mais escasso, tendendo a se agravar com aumento da demanda e redução da oferta, de modo a impactar à agricultura local e o abastecimento de água, afetando dessa forma a saúde e qualidade de vida da população.

Os modelos hidrológicos são uma ferramenta que tem sido muito utilizada para melhorar o entendimento e representação dos processos que envolvem recursos hídricos nas bacias hidrográficas (CALDEIRA *et al.*, 2018).

A heterogeneidade dos processos envolvidos, como precipitação, infiltração, drenagem e escoamento da água no solo e na superfície, e as características físicas da bacia hidrográfica, são fatores de grande relevância nos modelos hidrológicos, o que tem favorecido o desenvolvimento de uma

grande quantidade de modelos com características distintas em função dos dados utilizados, das discretizações, das prioridades da representação dos processos e dos objetivos a serem alcançados (SOUSA e SOUSA, 2010).

Dentre esta gama de modelos hidrológicos desenvolvidos, o modelo distribuído, que apresenta variação no espaço e no tempo das variáveis e parâmetros do modelo, agregado a modelos digitais de terrenos e ao geoprocessamento, que possibilita derivar e obter informações tais como a topografia, vegetação, e tipo e uso do solo, na escala desejada, tem buscado melhorar a representatividade espacial e temporal do comportamento das diferentes partes da bacia, sujeitas a diferentes ações antrópicas e climáticas (TUCCI, 2005).

Nesse contexto, Miranda (2017) menciona que o modelo hidrológico distribuído SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) tem sido precioso nos dias atuais atuando em diversos interesses tanto de empresas privadas como de órgãos públicos.

O SWAT possibilita a modelagem de grandes bacias hidrográficas, com diferentes tipos e usos do solo ao longo de grandes intervalos de tempo. É um modelo distribuído de base física, contínuo no tempo, o qual simula o escoamento superficial, a erosão em planos e canais, o transporte de nutrientes e pesticidas em escalas de tempo diárias, mensais e anuais (NEITSCH *et al.*, 2011).

Ospina-Norena *et al.* (2017) analisaram os impactos da disponibilidade de água superficial e dos lenções freáticos para diversos usos (nos ecossistemas, usos domésticos e a produtividades dos setores primários e industriais) por meio da análise e avaliação de alguns parâmetros do balanço hídrico como: precipitação, evapotranspiração real e potencial, excedente e déficit hídrico. O estudo foi realizado na Colômbia calculando os parâmetros para o período 1976 e 2005 e analisando cenários futuros para dois períodos de tempo, 2014-2060 e 2061-2080, utilizando cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5 dos modelos atmosféricos HadGEM2-ES e GFDL-CM3. Os resultados mostraram reduções significativas na precipitação e na umidade do solo e altas taxas de evapotranspiração. Estes fatores podem ter uma influência negativa na fonte de recursos hídricos restringindo atividades agrícolas, recarga em aquíferos e a qualidade da água na região, sendo recomendado, para minimizar os impactos,

empregar projetos de captação de água de chuva e uso de sistemas de cultivo mais eficientes.

Brighenti, Bonumá e Chaffe (2016) aplicaram e avaliaram uma metodologia hierárquica de calibração e validação para o modelo SWAT em bacia hidrográfica do Estado de Santa Catarina no Brasil. As simulações foram realizadas em três cenários: no primeiro considerou-se a distribuição de anos, para períodos de calibração e validação, sem distinção de períodos secos e úmidos e obtiveram valores aceitáveis nas funções objetivo. No segundo considerou-se também a distribuição de anos, para períodos de calibração e validação, porém com distinção de períodos secos e úmidos e concluíram que anos úmidos são bem validados tanto por anos secos como por anos úmidos. E no terceiro cenário consideraram distribuição do período de calibração e de validação em duas bacias, no intuito de prever mudanças do uso do solo, e obtiveram ineficácia nas simulações.

No Estado de Pernambuco no Nordeste do Brasil, o modelo SWAT tem sido amplamente utilizado onde pesquisas vem sendo realizadas em algumas bacias hidrográficas (SOUSA *et al.*, 2018; VIANA *et al.*, 2018; ANDRADE *et al.*, 2019).

De forma geral, os modelos hidrológicos são uma ferramenta fundamental na investigação dos impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, e estes podem ser usados em um modo preditivo para entender o comportamento hidrológico em uma bacia diante de condições bem diferentes das utilizadas na calibração e verificação do modelo, como é o caso dos cenários decorrentes de mudanças climáticas.

Sendo assim, o aprimoramento destes modelos torna-se essencial para o entendimento fundamental dos processos que controlam o caminho dos fluxos hidrológicos, modificados frente às mudanças citadas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

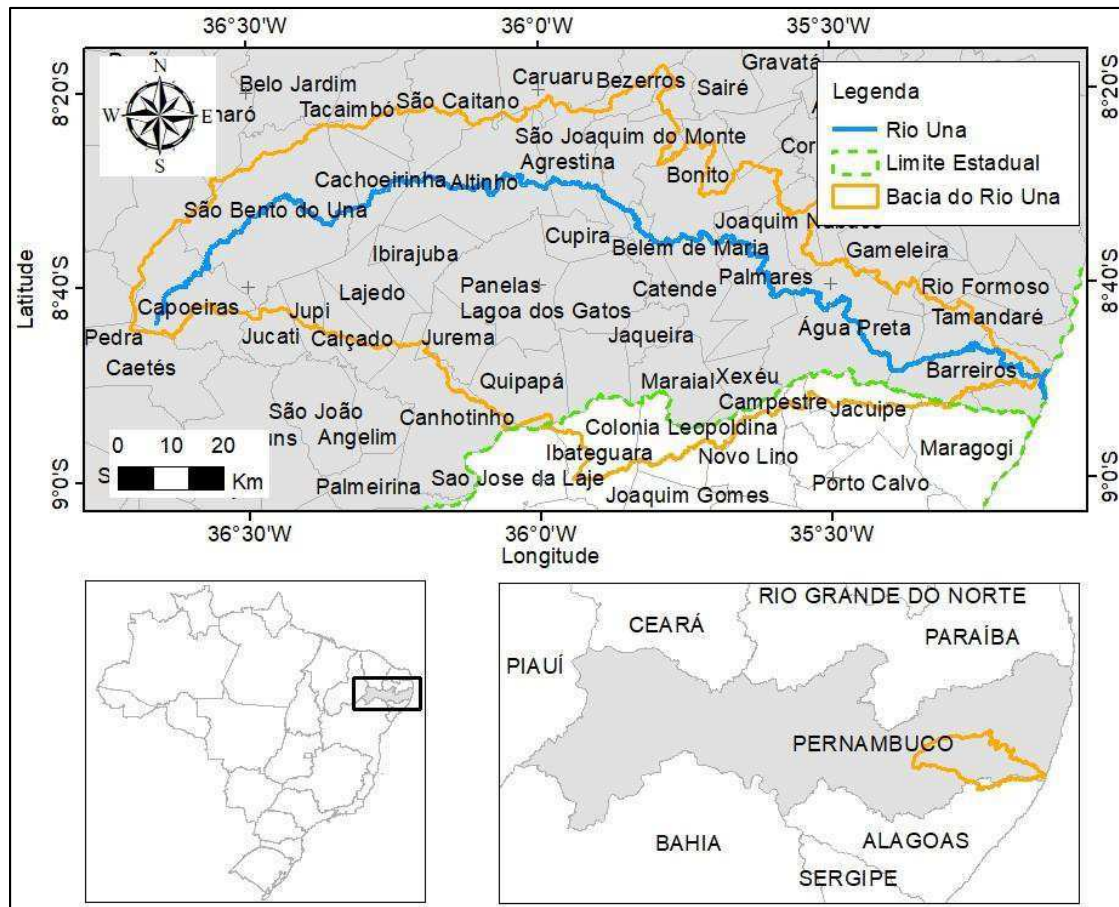
3.1 Área de estudo

A área estudada foi a bacia hidrográfica do rio Una que está localizada no Nordeste Brasileiro e abrange os Estados de Pernambuco e Alagoas, conforme apresentado na Figura 1. Porém, para o presente estudo foi considerada a porção da bacia do Estado Pernambucano, situada entre 8°17'14" e 8°55'28" de Latitude Sul e 35°07'48" e 36°42'10" de Longitude Oeste.

A bacia estende-se do Agreste até o Litoral do Estado de Pernambuco e drena uma área de 6.295,77 quilômetros quadrados (km²). O rio principal, chamado de rio Una, nasce no município de Capoeiras a uma altitude de 900 metros (m) e percorre uma direção Oeste-Leste de aproximadamente 255 quilômetros (km) até o encontro no Oceano Atlântico. Os principais rios tributários são: Santo Antônio, Preto, Pirangi, Pannels, José da Costa, Jacuípe, Embiribeira, do Feijão, da Chata, Coqueiro, Cassuípe, Caraçu, Camevô.

As cidades abrangidas pela bacia hidrográfica totalizam 41 (quarenta e uma), são elas: Agrestina, Cachoeirinha, Água Preta, Altinho, Barra de Guabiraba, Barreiros, Belém de Maria, Belo Jardim, Bezerros, Caetés, Calçado, Bonito, Camocim de São Félix, Canhotinho, Capoeiras, Catende, Caruaru, Cupira, Gameleira, Jaqueira, Joaquim Nabuco, Ibirajuba, Jucati, Jupi, Jurema, Lagoa dos Gatos, Maraial, Lajedo, Pannels, Palmares, Pesqueira, Quipapá, Rio Formoso, Sanharó, São Benedito do Sul, São Bento do Una, São Caetano, São Joaquim do Monte, São José da Coroa Grande, Venturosa, Tacaimbó, Tamandaré, Xexéu.

Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do Rio Una.



Fonte: Autor, 2019.

3.2 Dados

No presente estudo foram utilizadas informações provenientes de três base de dados. Dados de variáveis meteorológicas e hidrológicas provenientes de equipamentos convencionais e automáticos cujas medições são pontuais. Dados de relevo, solo e uso e ocupação do solo proveniente de imagens de satélites cujas medições são da área abordada. E, dados de clima provenientes de modelos matemáticos cujos cálculos foram realizados em células de grade da região em questão.

3.2.1 Dados meteorológicos

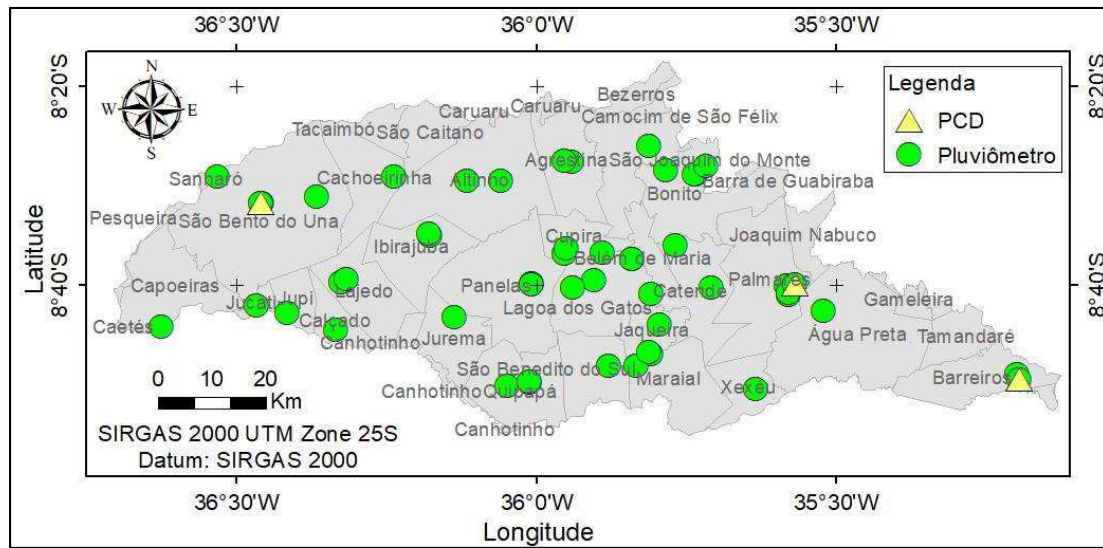
Os dados meteorológicos utilizados no estudo consistem de informações de 51 (cinquenta e um) postos que realizam monitoramento meteorológico e estão inseridos na bacia hidrográfica do Rio Una. Dentre estes temos: 4 (quatro) postos que realizam monitoramento através da plataforma automática de coleta dados (PCD) e 47 (quarenta e sete) postos que realizam monitoramento com pluviômetro, modo convencional.

No Anexo A temos o detalhamento das estações com: número do posto; nome da estação, em que, muitas correspondem ao nome do município na qual está instalada; coordenadas geográficas, representadas pela latitude e longitude, em graus; tipo de equipamento que realiza as medições, se convencional (C) ou automático (A); variáveis monitoradas, podendo ser precipitação (P), temperatura máxima do ar (Tmax), temperatura mínima do ar (Tmin), umidade relativa do ar (UR), radiação solar (RS) e velocidade do vento (VV); e, período da série de dados, com tempo inicial e final por dia, mês e ano.

No tipo de estação, quando denominada convencional, temos a medição diária da variável precipitação, realizada por instrumento conhecido como pluviômetro, e com auxílio de uma proveta e de um observador local fornece a informação em milímetros (mm). Quando denominada automática, temos a medição realizada de forma remota por sensores acoplados a uma plataforma de coleta de dados, fornecendo informações, a cada 3 (três) horas, das variáveis: temperatura máxima e mínima do ar, em graus Celsius (°C); umidade relativa do ar, em porcentagem (%); radiação solar, em MegaJoules por metro quadrado (MJ/m²) e velocidade do vento, em metro por segundo (m/s). Portanto, utilizou-se para este estudo estas variáveis mencionadas.

Quanto a representação espacial dos postos, tem-se uma abrangência uniforme em toda a bacia hidrográfica estudada, conforme pode ser observado na Figura 2.

Figura 2. Postos meteorológicos contidos na bacia hidrográfica do Rio Una.



Fonte: Autor, 2019.

Porém, para abranger uma representação temporal coerente e favorável a execução do estudo, se fez necessário realizar uma avaliação preliminar da qualidade das informações pelo tamanho da série dos dados e os tipos de variáveis.

Então, para os dados meteorológicos foi realizada uma análise nas informações, considerando a quantidade de períodos com falhas nas medições e o tamanho da série temporal, no intuito de obtenção de dois períodos de tempo. O primeiro período que compreende os anos de 1963 a 1990 que foi utilizado para correção dos erros sistemáticos nos cenários climáticos. E, o segundo período que compreende os anos de 2002 a 2014 que foi utilizado para calibração e validação do modelo hidrológico. Nesse contexto, foram selecionadas 17 (dezessete) postos meteorológicos, sendo 15 (quinze) pluviômetros e 2 (duas) PCD, conforme apresentado com realce em verde no ANEXO A.

Os dados meteorológicos foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC).

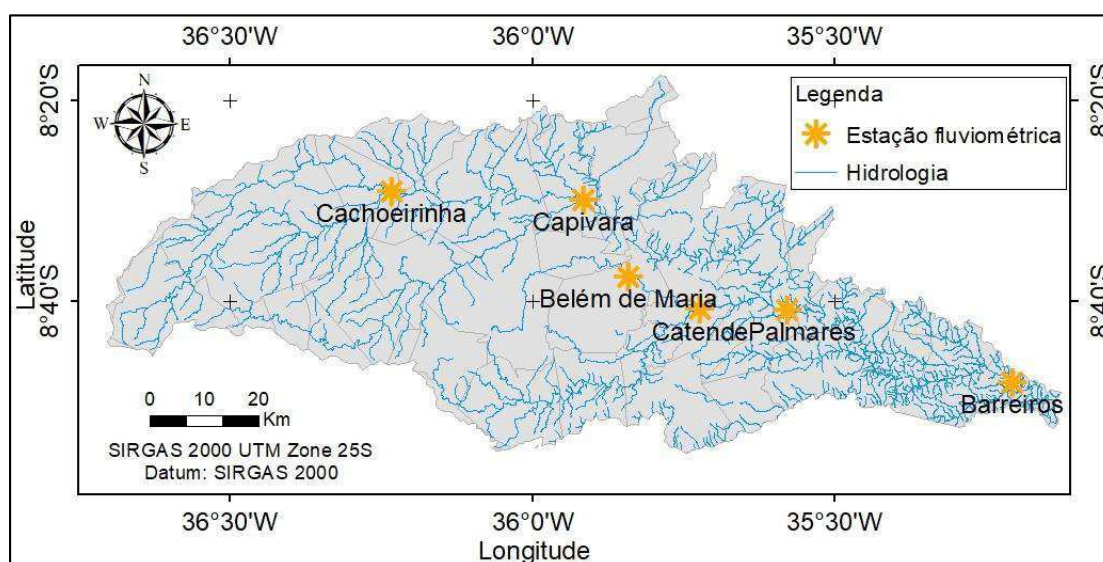
O INMET é um órgão integrante do Governo Federal do Brasil, sediado na cidade de Brasília no Distrito Federal, e é responsável pela disponibilização das informações de tempo e clima e pelo gerenciamento e manutenção da rede de equipamentos de monitoramento meteorológico convencional e automático

do Brasil (INMET, 2018). A APAC é um órgão integrante do Governo do Estado de Pernambuco, sediado na cidade do Recife, e na atuação meteorológica, possui as mesmas atribuições do INMET, porém a nível estadual (APAC, 2018).

3.2.2 Dados hidrológicos

Os dados hidrológicos utilizados no estudo consistem de informações de 6 (seis) estações fluviométricas, conforme apresentado na Figura 3. Dentre estas, temos: 4 (quatro) que realizam medições no rio principal, o rio Una, e 2 (duas) que realizam medições em dois rios afluentes, rio Piranji e rio Panelas.

Figura 3. Localização das estações fluviométricas na bacia hidrográfica do Rio Una.



Fonte: Autor, 2019.

As estações fornecem dados de cota, curva descarga, perfil transversal, qualidade da água, resumo descarga, sedimentos e vazão, sendo este último considerado para o presente estudo. A variável é medida diariamente, em metros cúbicos por segundo (m^3/s), de forma automatizada por sensores acoplados a plataforma de coleta de dados.

Na Tabela 1 temos o detalhamento das estações com: nome da estação e o código correspondente no banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), coordenadas geográficas, representadas pela latitude e longitude, em

graus; e, período da série dos dados consistidos, com tempo inicial e final, por dia, mês e ano.

Tabela 1. Estações hidrológicas automáticas contidas na bacia hidrográfica do Rio Una.

Nome da Estação (Código ANA)	Latitude (°)	Longitude (°)	Período	
			Data Inicial	Data Final
Cachoeirinha (39530000)	-8.48	-36.23	01/01/2002	01/12/2006
Capivara (39540000)	-8.49	-35.91	01/10/1977	01/12/2006
Belém de Maria (39541000)	-8.62	-35.84	01/12/2002	01/12/2006
Catende (39550000)	-8.67	-35.72	01/09/1999	01/12/2014
Palmares (39560000)	-8.67	-35.57	01/06/1967	01/12/2014
Barreiros (39590000)	-8.79	-35.20	01/12/2002	01/12/2006

Fonte: ANA, 2017.

Os dados hidrológicos são gerenciadas pela ANA, onde se realiza a análise e consistência das informações, de forma a garantir a qualidade dos dados e posteriormente são disponibilizados no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb).

A ANA é um órgão integrante do Governo Federal do Brasil, sediado na cidade de Brasília no Distrito Federal, e é responsável pela disponibilização das informações hidrológicas e pelo gerenciamento e manutenção da rede de equipamentos de monitoramento hidrológico convencional e automático do Brasil (ANA, 2018).

Por outro lado, considerou-se também informações hidrológicas de 5 (cinco) reservatórios, foram eles: Caianinha, Gurjão, Pau Ferro, Prata e Serro Azul, conforme pode ser observado na Tabela 2. Estes são monitorados e disponibilizados diariamente pela APAC.

Tabela 2. Coordenada geográfica e capacidade máxima dos reservatórios da bacia hidrográfica do rio Una.

Reservatório	Município	Latitude	Longitude	Capacidade máxima (x1000m³)
Caianinha	São Joaquim do Monte	-8.43	-35.81	1,361
Gurjão	Capoeiras	-8.73	-36.63	3,847
Pau Ferro	Quipapá	-8.83	-36.01	12,175
Prata	Boito	-8.48	-35.74	39,544
Serro Azul	Palmares	-8.68	-35.58	303,120

Fonte: APAC, 2019.

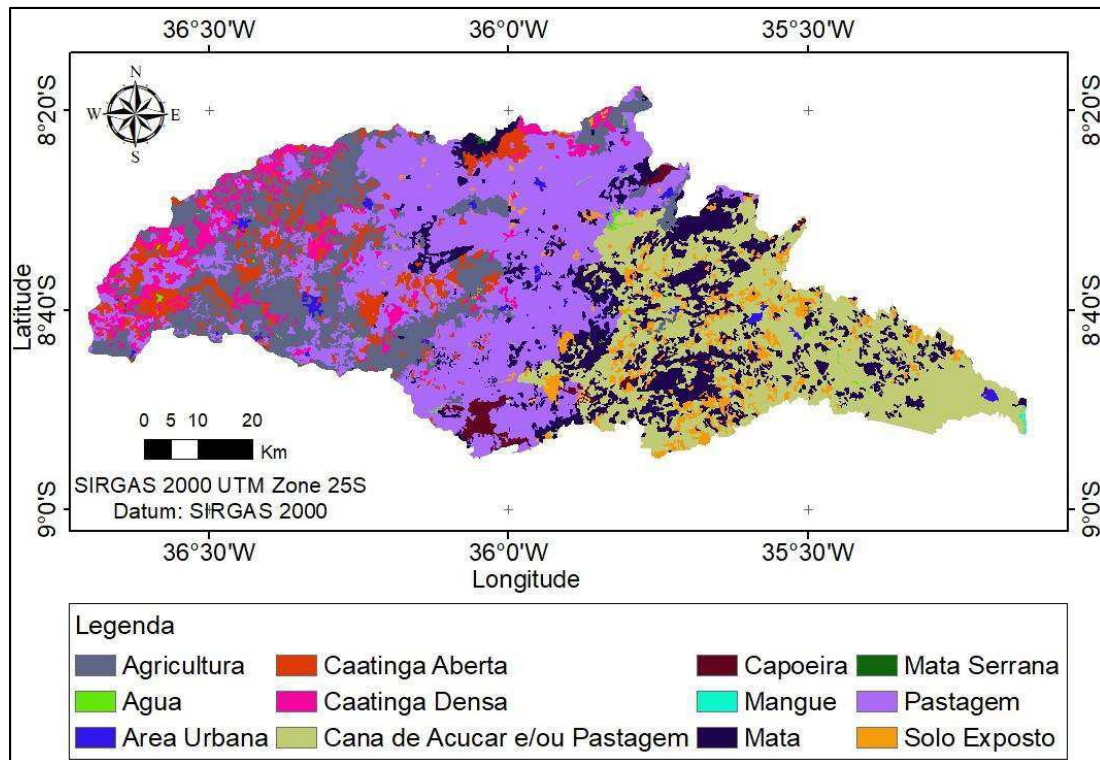
3.2.3 Dados de uso e ocupação do solo

O mapa de uso e ocupação do solo foi disponibilizado pelo Departamento de Energia Nuclear (DEN) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Esse mapa fez parte do projeto “Impactos de mudanças climáticas sobre a cobertura e uso da terra em Pernambuco: geração e disponibilização de informações para o subsídio a políticas públicas”, composta pela equipe do DEN. Para a composição do mapa foi utilizada uma imagem do Landsat 5-TM (30 m de resolução), órbita-ponto 215/066, cuja data foi de 09 de maio de 1987. A imagem passou por um tratamento vetorial para a classificação do uso e cobertura do solo, onde foi disponibilizada em formato de arquivo *shapefile*. A Figura 4 apresenta o uso do solo na bacia hidrográfica do Rio Una.

3.2.4 Dados de solo

O mapa de tipos de solos foi obtido a partir de um mapa adquirido no Projeto Solos do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco - ZAPE, cuja escala é de 1:100,000 (ZAPE, 2016). Porém, para aprimorar a informação, será necessário considerar alguns parâmetros de solos definidos em estudos aplicados no Brasil, e estes seguiram as classificações do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) disponibilizadas pela Embrapa Solos, (FERNANDEZ , 2015).

Figura 4. Uso do solo na bacia hidrográfica do rio Una.



Fonte: UFPE.

3.2.5 Dados de relevo

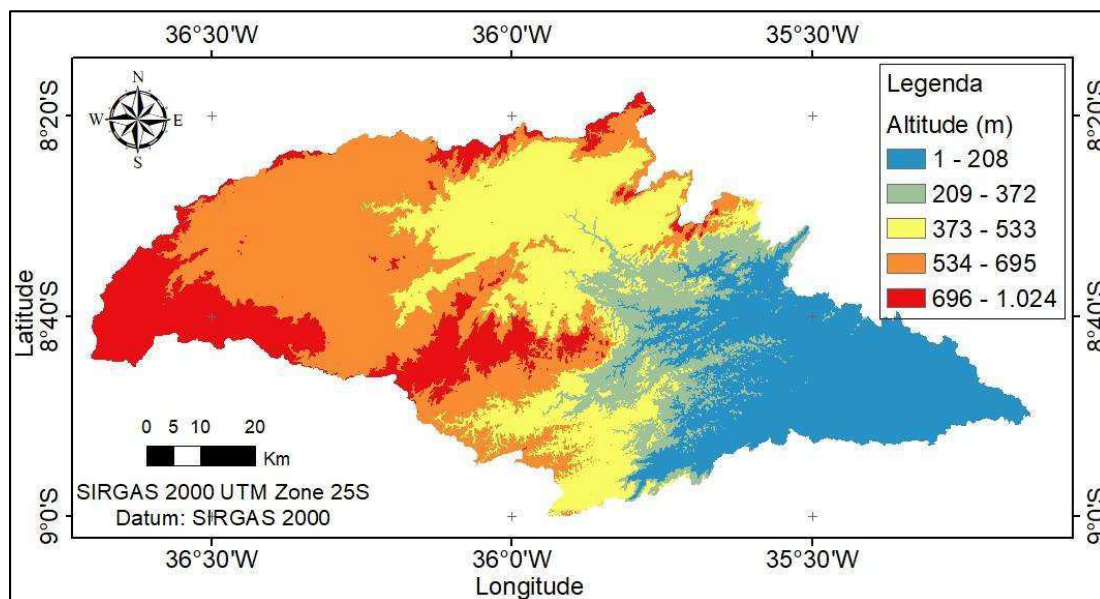
Os dados de relevo foram provenientes da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) na Unidade de Monitoramento por Satélite, através do Projeto Brasil em Relevo, na qual disponibiliza informações espaciais de dados numéricos de relevo para todos os Estados do Brasil.

Os dados apresentam resolução espacial horizontal de 90 metros por 90 metros e estão distribuídos em formas de articulações (quadriculas) pelo Sistema de Coordenadas Geográficas e pelo Sistema de Referência *Datum World Geodetic System* 1984 (WGS84) (MIRANDA, 2005).

No Estado de Pernambuco tem-se 14 (quatorze) quadriculas, e devido a abrangência da bacia em questão, foram utilizadas 2 (duas). A quadricula que tem como nomenclatura SC-25-V-A e abrange a porção mais a leste da bacia, apresenta uma variação nos valores de relevo de 0 a 971 metros. E a articulação com nomenclatura SC-24-X-B, que abrange a porção mais a oeste da bacia, apresenta uma variação nos valores de relevo de 263 a 1.199 metros.

A partir das quadrículas acima citada foi elaborado um mosaico de forma a representar o relevo na bacia hidrográfica do rio Una. A Figura 5 apresenta o relevo, e observa-se a variação de altitude, ao longo da bacia, compreendendo valores de 1 a 1.024 metros, sendo a leste da bacia com valores menores e a oeste com valores maiores.

Figura 5. Relevo na Bacia hidrográfica do Rio Una.



Fonte: Embrapa.

3.2.6 Dados dos cenários climáticos

Pela necessidade de se ter resultados mais específicos e detalhados, as simulações dos cenários são regionalizadas pela técnica de *downscaling*, e isto favorece a execução de vários projetos de pesquisa distintos. Dentre estes temos o PROJETA, uma plataforma de Projeções de mudança do clima para a América do Sul regionalizadas pelo modelo ETA, que foi desenvolvido pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) e pela Universidade de Passo Fundo. Nesta, serão adquiridos os cenários climáticos utilizados no presente estudo (CHOU *et al.*, 2014a).

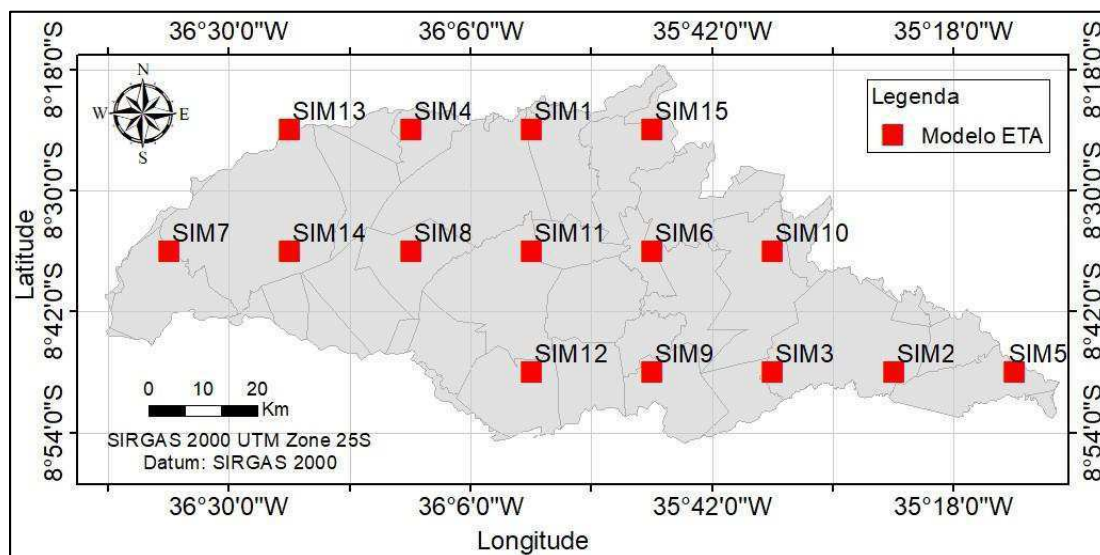
Os cenários são baseados em modelos atmosféricos globais, que apresentam uma baixa resolução mas geram condições de contorno e fornecem condições iniciais para o modelo regional ETA.

Neste contexto, analisou-se o cenário com caminho representativo de concentração (RCP - *Representative Concentration Pathways*), relativo a uma forçante radiativa de 4,5 W/m², aninhados a dois modelos globais: o MIROC5 (*Model for Interdisciplinary Research on Climate*) e o HADGEM2-ES (*Hadley Global Environment Model 2- Earth System*), totalizando 2 (dois) cenários climáticos.

A resolução espacial horizontal considerada foi de 20km. Enquanto a resolução temporal foi diária compreendendo dois períodos de tempo: o primeiro período correspondente aos anos de 1963 a 1990 e o segundo período de 2020 a 2047.

Como o modelo atmosférico gera informações em célula de grade (quadricula), considerou-se dados de 15 (quinze) pontos, sendo representados pelo centroide da quadricula, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6. Localização dos pontos dos modelos climáticos na bacia hidrográfica do rio Una.



Fonte: Autor, 2019.

Wood *et al.* (2002) menciona que cenários climáticos apresentam erros sistemáticos, sendo assim, a climatologia da variável precipitação, gerada pelo modelos ETA, e observada nos postos pluviométricos convencionais, foram

comparadas, no intuito de corrigir estes erros. Na correção foi utilizado o *software Climate Change for Watershed Modeling* (CMhyd) que é uma ferramenta altamente recomendada para extrair erros sistemáticos oriundos de dados obtidos de modelos climáticos regionais (TEUTSCHBEIN e SEIBERT, 2012). Para tal, foi utilizado o período de 1963 a 1990.

Posteriormente foram geradas as climatologias mensais de precipitação para as duas fontes de dados, modelo ETA e postos convencionais, e para os dois períodos de tempo considerados, 1963 a 1990 e 2020 a 2047. A partir destas foram realizadas comparações e calculados os respectivos desvios mensais. O intuito foi de avaliar o comportamento da climatologia da precipitação.

3.3 Metodologia adotada

3.3.1 Modelo hidrológico

Para alcançar os objetivos propostos na pesquisa foi utilizado o modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) (ARNOLD *et al.*, 1998). Este foi desenvolvido pelo *Agricultural Research Service/United States Department of Agriculture* (ARS/USDA) nos Estados Unidos e permite a modelagem hidrológica de bacias hidrográficas, como também favorece a análise de alguns processos hidrológicos como: interceptação, infiltração, redistribuição da água, evapotranspiração e escoamentos.

O modelo dispõe em sua arquitetura de métodos para cálculo desses processos. Para a corrente pesquisa, foram utilizados os métodos de Penman-Monteith e da Curva-Número para obter a evapotranspiração potencial e o escoamento superficial, respectivamente.

Para executar a modelagem no SWAT é necessário dados tabulares e dados geoespaciais. O primeiro é composto por 6 (seis) variáveis que caracterizam as condições climáticas da bacia, são eles: precipitação, temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, radiação solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. O segundo é composto por três arquivos geoespaciais que representam, para toda a bacia, o relevo, o solo e o uso e ocupação do solo.

Para auxiliar a execução do modelo hidrológico tem-se a interface ArcSWAT, que pode ser acoplada a softwares de geoprocessamento de modo a otimizar o tratamento e organização dos dados e melhorar o funcionamento do modelo, possibilitando resultados mais consistentes e confiáveis.

Tendo em vista um melhor entendimento na execução do estudo, este foi realizado em 3 (três) etapas, sendo subdivididas em 10 (dez) atividades, conforme pode ser observado no fluxograma apresentado na Figura 7.

3.3.2 Calibração e validação do modelo hidrológico

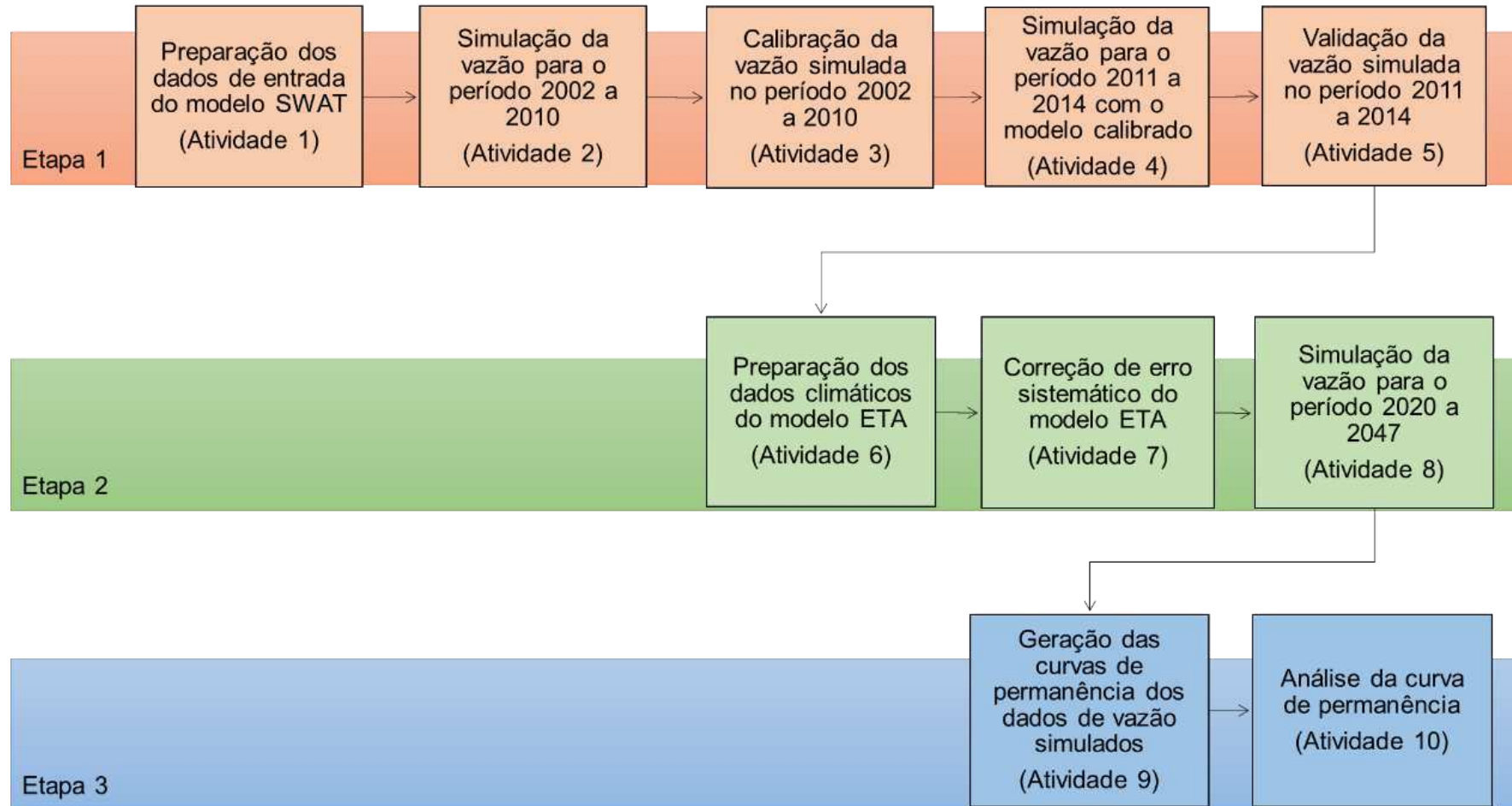
A Etapa 1 (um) consiste na simulação de dados de vazão de modo a obter um erro mínimo em relação aos dados de vazão observada. Para isso, foi necessário executar 5 (cinco) atividades.

Na Atividade 1 (um), que corresponde a preparação dos dados de entrada do modelo SWAT, foi considerado desde a análise da qualidade dos dados até a configuração do modelo hidrológico. Dessa forma, a abordagem inicial foi na análise da qualidade dos dados tabulares, levando em consideração a quantidade de períodos com falhas e o tamanho da série temporal.

Em segundo momento realizou-se a montagem e organização dos dados climáticos, considerando o formato apropriado do modelo hidrológico, e utilizando a ferramenta *SWAT Weather Database* (ESSENFELDER, 2016). Posteriormente, foram tratados os dados geoespaciais, com auxílio de software de geoprocessamento, onde os mapas de relevo, solo e uso e ocupação do solo devem estar compatíveis quanto a resolução espacial e o sistema coordenada geográfica.

No ArcSWAT, o dado de relevo foi necessário para geração da rede de drenagem, das sub-bacias, dos parâmetros e da declividade na bacia. Por outro lado, os dados de solo e uso e ocupação do solo foram classificados de acordo com a base de dados do modelo SWAT, para em seguida serem combinados e gerar as Unidades de Resposta Hidrológica (HRU, sigla em inglês).

Figura 7. Fluxograma das etapas da metodologia adotada no estudo.



Fonte: Autor, 2019.

Na Atividade 2 (dois), que corresponde a simulação de dados de vazão para o período de 2002 a 2010, o modelo SWAT foi configurado para ser executado com dados climáticos observados para o período em questão, sendo considerado 3 (três) anos, 2002, 2003 e 2004, para aquecimento do modelo.

Os resultados da vazão simulada foram comparadas com a vazão observada, sendo gerados a série temporal, a sazonalidade e calculado o coeficiente de determinação, de Nash-Suttcliffe e PBIAS, no intuito de avaliar a habilidade do modelo em simular séries observadas.

Na Atividade 3 (três), que corresponde a calibração da vazão simulada no período de 2002 a 2010, foi realizada com a ferramenta SWATCUP (ABBASPOUR *et al.*, 2015) utilizando o método SUFI2 (ABBASPOUR *et al.*, 2007) e de forma automática (ARAGÃO *et al.*, 2013), para cada sub-bacia considerada, através de 500 (quinhentas) simulações e 3 (três) interações. O ajuste do modelo consistiu em calibrar os seus parâmetros, que são coeficientes que caracterizam processos hidrológicos, de maneira a obter o melhor ajuste possível aos dados observados.

Na Atividade 4 (quatro), que corresponde a simulação da vazão para o período 2011 a 2014, aplicou-se no modelo SWAT, os parâmetros obtidos na fase de calibração, e em seguida simulou-se a vazão com dados climáticos observados em um período diferente daquele utilizado na fase de calibração dos parâmetros, sendo este de 2011 a 2014.

Na Atividade 5 (cinco), que corresponde a validação da vazão simulada no período de 2011 a 2014, ocorreu a análise dos resultados da vazão simulada e da vazão observada, sendo gerados a série temporal, a sazonalidade e calculado o coeficiente de determinação, de Nash-Suttcliffe e PBIAS entre as vazões, verificando desta forma a capacidade de previsão do modelo. O resultado desta atividade indica se o modelo é capaz de reproduzir a série de dados não utilizada na calibração (LELIS *et al.*, 2012).

3.3.3 Projeções hidrológicas futuras

A Etapa 2 (dois) consistiu na simulação de dados de vazão de modo a obter cenários hidrológicos a partir de cenários climáticos. Para isso, foi necessário executar 3 (três) atividades.

Na Atividade 6 (seis), que corresponde a preparação dos dados climáticos do modelo ETA, fez-se uma analogia entre as coordenadas geográficas dos postos pluviométricos que contém dados observados e as coordenadas em ponto de grade do modelo ETA, de modo que houvesse semelhança ou proximidade nas informações. A partir de então, as variáveis climáticas provenientes dos cenários climáticos foram tratadas como informações pontuais. Com isso, foi realizada a comparação entre as variáveis observadas e simuladas pelo ETA, através da geração de gráficos da sazonalidade e valores do coeficiente de determinação.

Na Atividade 7 (sete), que corresponde a correção de erro sistemático do modelo ETA, foi utilizado a ferramenta *Climate Model data for hydrologic modeling* (CMhyd) e o método *Delta-Change* (TEUTSCHBEIN e SEIBERT, 2012) para corrigir os erros sistemáticos nos cenários climáticos. A variável corrigida foi a precipitação e considerou o período de 1963 a 1990. Com isso foram avaliados os dados observados e os dados dos cenários, atribuindo erros associados as informações contidas. Em seguida o erro encontrado no período anterior foi corrigido automaticamente nos cenários do período de 2020 a 2047.

Na Atividade 8 (oito), que corresponde a simulação da vazão para o período de 2020 a 2047, os parâmetros calibrados no modelo SWAT foram mantidos mas os dados climáticos de entrada foram alterados. Os dados do período de 2020 a 2047 provenientes dos cenários climáticos, corrigidos os erros sistemáticos, foram inseridos no modelo e posteriormente foi simulada a vazão para período em questão, gerando projeções hidrológicas futuras.

3.3.4 Curva de permanência

A Etapa 3 (três) consistiu na análise do comportamento da vazão ao longo da bacia hidrográfica. Para isso, foi necessário executar 2 (duas) atividades.

Na Atividade 9 (nove), que corresponde a geração das curvas de permanência dos dados de vazão, foi calculada as curvas de permanência dos dados observadas e dos dados simulados, e apresentados em gráficos com escala logarítmica. A curva é utilizada na maioria dos problemas hídricos e relaciona a vazão com a sua probabilidade de ocorrência ao longo do tempo (BACK, ZAMBRANO e CORSEUIL, 2019).

Na Atividade 10 (dez), que corresponde a análise da curva de permanência, fez-se uma comparação em posto fluviométrico especificado ao longo da bacia, de modo a avaliar as diferenças nas vazões decorrentes das mudanças climáticas para os percentis 10, 50 e 90. Desta forma, pode-se determinar os períodos de vazão de cheia e de grandes estiagens, e os períodos de vazões frequentes (TUCCI, 2013).

3.3.5 Avaliação do modelo hidrológico

A qualidade do modelo hidrológico SWAT será avaliada pelos coeficientes: Nash-Suttcliffe (NS), determinação (R2) e PBIAS. O NS, conforme descrito na equação 1 (um), é fortemente influenciado por erros nas vazões máximas e apresenta valor máximo igual a um (SILVA *et al.*, 2018). O R2, conforme descrito na equação 2, apresenta mesmo limite de valor do anterior. O PBIAS, conforme descrito na equação 3, apresenta valor ideal igual a 0 (zero), em que a subestimação do modelo é indicada por valores positivos enquanto a superestimação é indicada por valores negativos.

$$NS = 1 - \frac{\sum(Q_{obs}(t) - Q_{cal}(t))^2}{\sum(Q_{obs}(t) - \overline{Q_{obs}})^2} \quad (1)$$

$$R2 = \frac{\sum(Q_{cal}(t) - \overline{Q_{obs}(t)})^2}{\sum(Q_{obs}(t) - \overline{Q_{obs}(t)})^2} \quad (2)$$

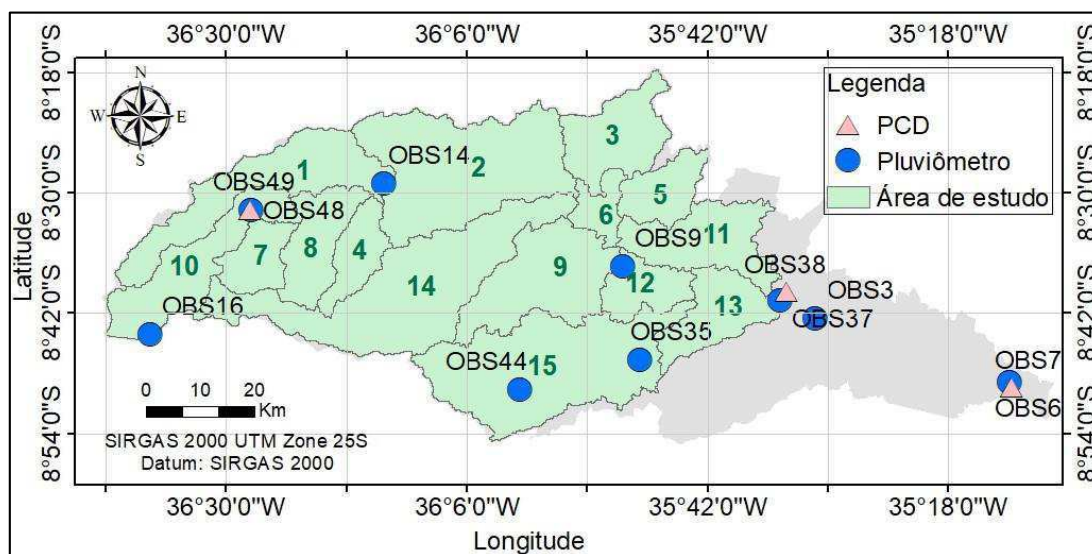
$$PBIAS = \frac{\sum(Q_{obs}(t) - Q_{cal}(t))}{\sum(Q_{obs}(t))} \quad (3)$$

temos que: $Q_{obs}(t)$ é a vazão observada no tempo t e $Q_{cal}(t)$ é a vazão calculada no tempo t.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na configuração inicial da modelagem hidrológica com o SWAT, fez-se necessário introduzir o mapa de relevo da bacia e escolher o posto fluviométrico de Palmares como ponto exutório. Em sequência foi delimitada a bacia gerando 15 (quinze) sub-bacias, conforme pode ser observado na Figura 8.

Figura 8. Postos pluviométricos (azul) e plataforma automática de coleta de dados meteorológicos (bege) na bacia hidrográfica do rio Una.



Fonte: Autor, 2019.

Com a delimitação finalizada, foi introduzido os mapas de tipos de solo e de uso e ocupação do solo, com os quais fez-se combinações, e conjuntamente com a configuração da declividade, gerou-se 1365 (mil, trezentos e sessenta e cinco) Unidade de Resposta Hidrológica (HRU, sigla em inglês).

Nesse contexto, o modelo encontra-se configurado com dados geoespaciais. Porém, para iniciar as simulações da vazão foram inseridos os dados tabulares referentes às condições climáticas, sendo eles caracterizados por informações de precipitação, temperatura máxima e mínima, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa, para o período desejado.

4.1 Simulação da vazão no período de 2002 a 2010

Para a simulação da vazão, foi utilizado dados observados do período de 2002 a 2010, sendo 3 anos para aquecimento do modelo hidrológico. O processo foi realizado em 5 (cinco) postos fluviométricos, sendo eles: Cachoeirinha, Capivara, Belém de Maria, Catende e Palmares, correspondente as sub-bacias de número 1, 2, 9, 15 e 13, respectivamente.

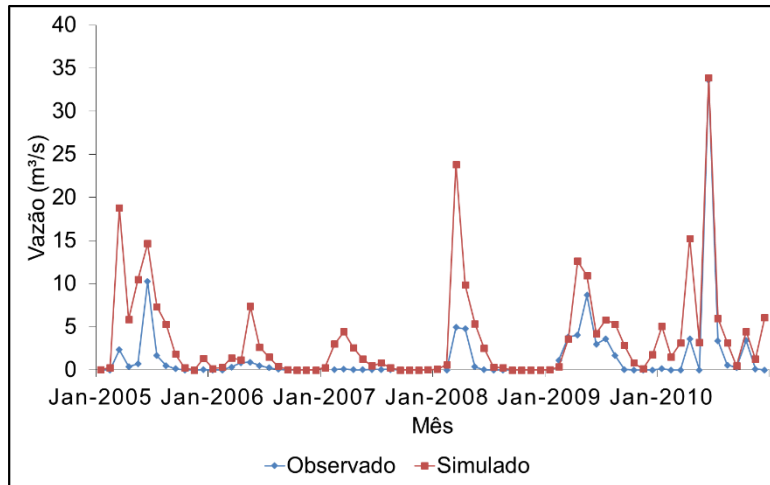
No posto de Cachoeirinha a série temporal mensal da vazão observada apresentou valor médio de $1,6\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $33,61\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,0\text{m}^3/\text{s}$. Enquanto, na série temporal mensal da vazão simulada, o valor médio foi de $3,74\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $33,88\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,0\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 9a).

Dessa forma, os dados simulados apresentaram acréscimo de 134% e 1% nos valores de vazão média e máxima, respectivamente. Com isso, na avaliação do modelo tem-se valores de: 0,0 para NS; 0,64 para R2; e -1,68 para o PBIAS.

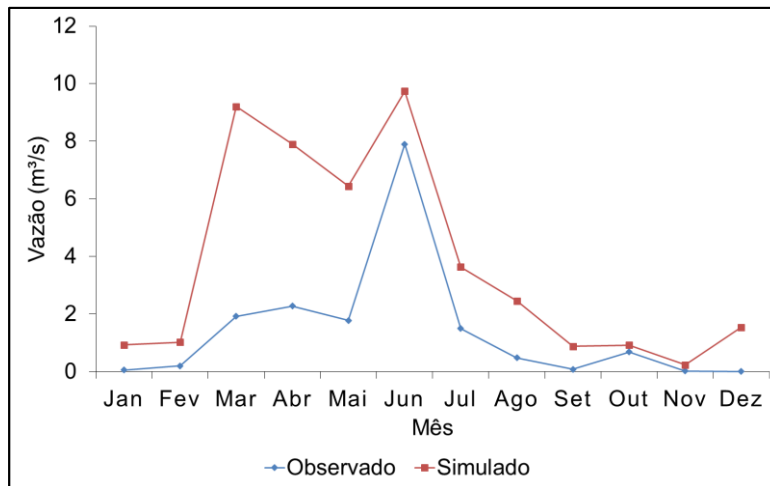
Na vazão sazonal dos dados observados, o valor médio foi de $1,41\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $7,9\text{m}^3/\text{s}$ e o valor mínimo de $0,0\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de Março a Julho apresentaram maiores valores, enquanto os meses de Agosto a Fevereiro com menores valores, que está associado com o período chuvoso e seco da região, respectivamente. (Figura 9b).

Para a vazão sazonal dos dados simulados, o valor médio foi de $3,74\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $9,7\text{m}^3/\text{s}$, e o valor mínimo de $0,2\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de Março a Julho apresentaram com valores maiores, enquanto os meses de Agosto a Fevereiro com valores reduzidos (Figura 9b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram acréscimo, de 165% e 23%, nos valores de vazão média e máxima, respectivamente.

Figura 9. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Cachoeirinha.



(a)



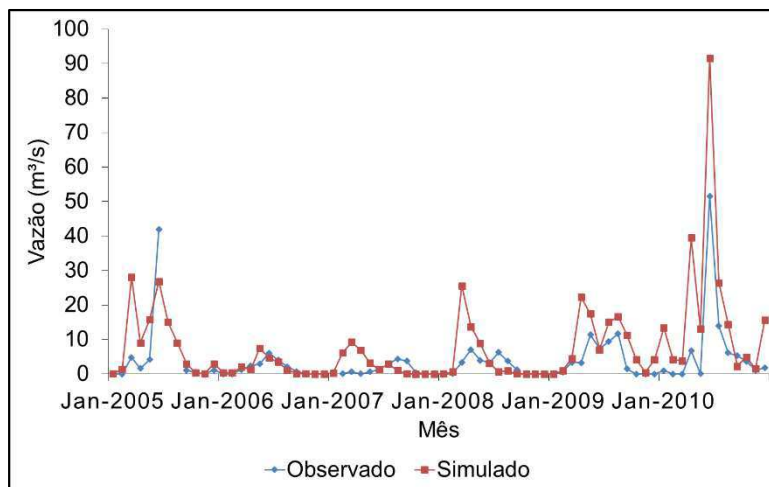
(b)

Fonte: Autor, 2018.

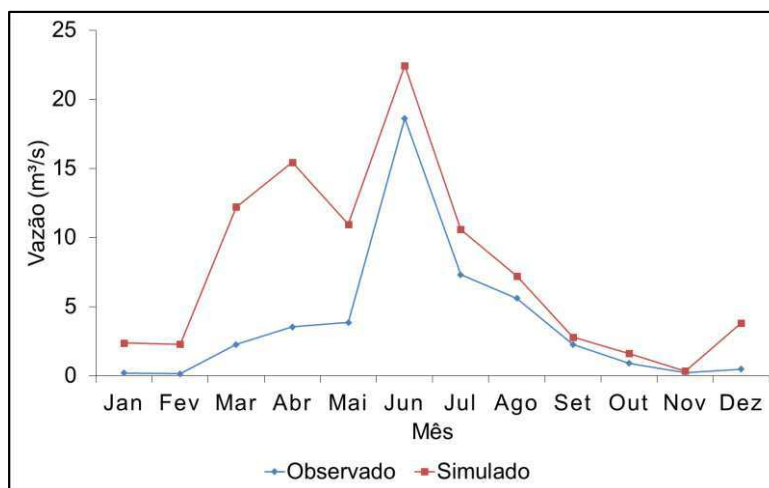
No posto de Capivara a série temporal mensal da vazão observada apresentou valor médio de $3,85\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $51,55\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,0\text{m}^3/\text{s}$. Enquanto, na série temporal mensal da vazão simulada o valor médio foi de $7,67\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $91,59\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,0\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 10a).

Dessa forma, os dados simulados apresentaram acréscimo de 99% e 78% nos valores de vazão média e máxima, respectivamente. Com isso, na avaliação do modelo tem-se valores de: -0,34 para NS; 0,64 para R2; e -1,14 para o PBIAS.

Figura 10. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Capivara.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2018.

Na vazão sazonal dos dados observados, o valor médio foi de $3,78\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $18,61\text{m}^3/\text{s}$ e o valor mínimo de $0,13\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de Maio a Agosto apresentaram maiores valores, enquanto os meses de Setembro a Março com menores valores, que está associado com o período chuvoso e seco da região, respectivamente. (Figura 10b).

Para os dados simulados, o valor médio foi de $7,67\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $22,43\text{m}^3/\text{s}$, e o valor mínimo de $0,33\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de Março a Agosto apresentaram valores maiores, enquanto os meses de Setembro a Fevereiro com valores reduzidos (Figura 10b). Dessa forma, que os valores simulados

apresentaram acréscimo, agora de 103%, 21% e 148%, nos valores de vazão média, máxima e mínima, respectivamente.

No posto de Belém de Maria a série temporal mensal da vazão observada apresentou valor médio de $2,62\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $28,97\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,0\text{m}^3/\text{s}$. Enquanto, na série temporal mensal da vazão simulada o valor médio foi de $6,93\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $34,30\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,07\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 11a).

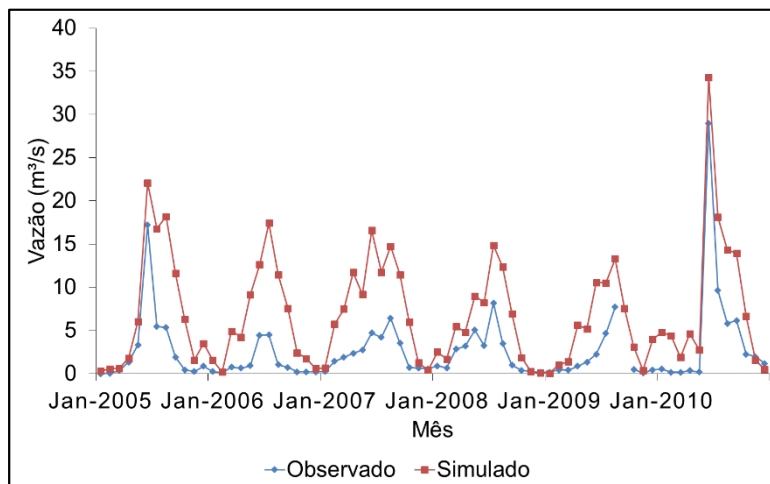
Dessa forma, os dados simulados apresentaram acréscimo de 164% e 18% nos valores de vazão média e máxima, respectivamente. Com isso, na avaliação do modelo tem-se valores de: -0,77 para NS; 0,74 para R2; e -1,68 para o PBIAS.

Na vazão sazonal dos dados observados, o valor médio foi de $2,62\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $10,14\text{m}^3/\text{s}$ e o valor mínimo de $0,36\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de Maio a Setembro apresentaram maiores valores, enquanto os meses de Outubro a Abril com menores valores, que está associado com o período chuvoso e seco da região, respectivamente. (Figura 11b).

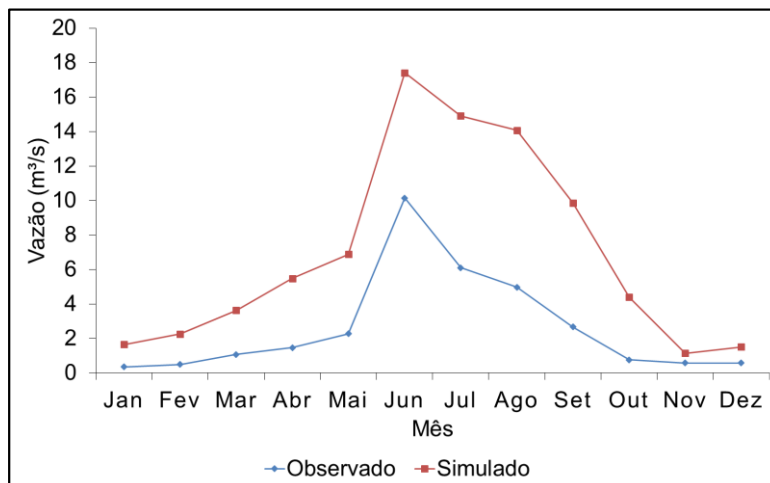
Para os dados simulados, o valor médio foi de $6,93\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $17,41\text{m}^3/\text{s}$, e o valor mínimo de $1,14\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de Abril a Outubro apresentaram valores maiores, enquanto os meses de Novembro a Março com valores reduzidos (Figura 11b).

Dessa forma, os valores simulados apresentaram acréscimo, agora de 164%, 72% e 220%, nos valores de vazão média, máxima e mínima, respectivamente.

Figura 11. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Belém de Maria.



(a)



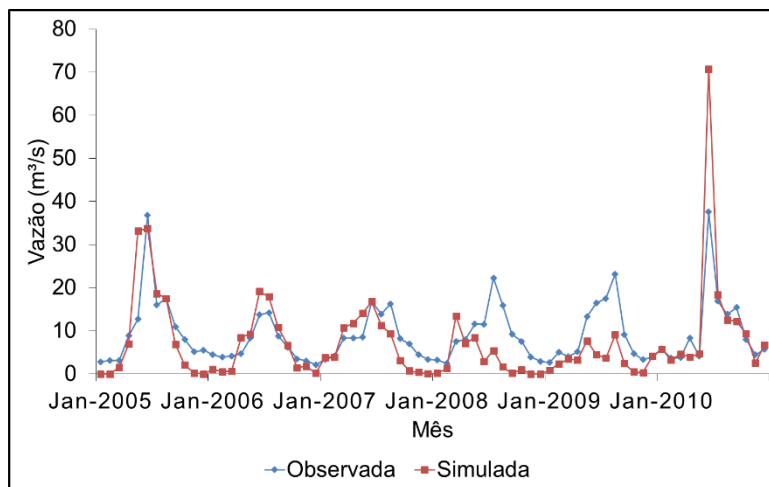
(b)

Fonte: Autor, 2018.

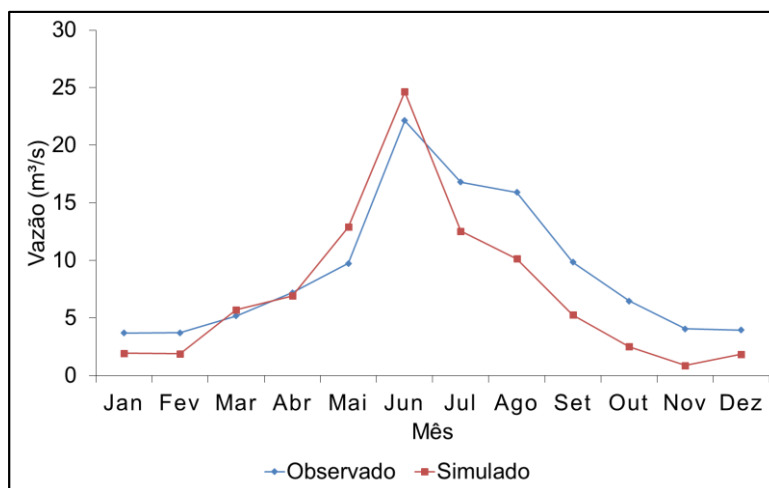
No posto de Catende a série temporal mensal da vazão observada apresentou valor médio de $9,07\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $37,61\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $2,17\text{m}^3/\text{s}$. Enquanto, na série temporal mensal da vazão simulada o valor médio foi de $7,28\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $70,76\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,00\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 12a).

Dessa forma, os dados simulados apresentaram acréscimo de 88% no valor de vazão máxima e redução de 20% e 100% na vazão média e mínima, respectivamente. Com isso, na avaliação do modelo tem-se valores de: 0,03 para NS; 0,59 para R2; e 0,20 para o PBIAS.

Figura 12. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Catende.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2018.

Na vazão sazonal dos dados observados, o valor médio foi de $9,07 \text{ m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $22,16 \text{ m}^3/\text{s}$ e o valor mínimo de $3,71 \text{ m}^3/\text{s}$. Os meses de Abril a Setembro apresentaram maiores valores, enquanto os meses de Outubro a Março com menores valores, que está associado com o período chuvoso e seco da região, respectivamente. (Figura 12b).

Para os dados simulados, o valor médio foi de $7,28 \text{ m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $24,64 \text{ m}^3/\text{s}$, e o valor mínimo de $0,90 \text{ m}^3/\text{s}$. Os meses de Abril a Outubro apresentaram valores maiores, enquanto os meses de Novembro a Março com valores reduzidos (Figura 12b). Dessa forma, enfatiza que os valores simulados

apresentaram acréscimo de 11% na vazão máxima e redução de 20% e 76% nos valores de vazão média e mínima, respectivamente.

No posto de Palmares a série temporal mensal da vazão observada apresentou valor médio de $32,78\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $155,11\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $8,26\text{m}^3/\text{s}$. Enquanto, na série temporal mensal da vazão simulada o valor médio foi de $41,17\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $329,10\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,03\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 13a).

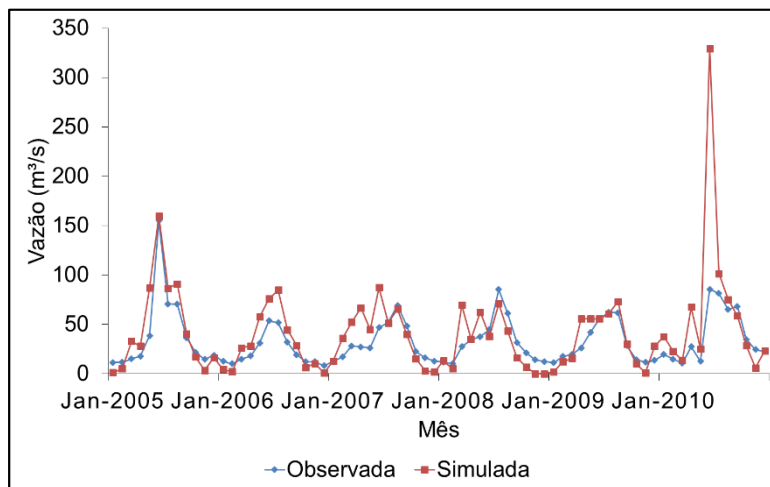
Dessa forma, os dados simulados apresentaram acréscimo de 26% e 112% nos valores de vazão média e máxima, respectivamente, e redução de 100% na vazão mínima. Com isso, na avaliação do modelo tem-se valores de: -0,71 para NS; 0,56 para R2; e -0,26 para o PBIAS.

Na vazão sazonal dos dados observados, o valor médio foi de $32,78\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $73,59\text{m}^3/\text{s}$ e o valor mínimo de $13,16\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de Maio a Setembro apresentaram maiores valores, enquanto os meses de Outubro a Abril com menores valores, que está associado com o período chuvoso e seco da região, respectivamente. (Figura 13b).

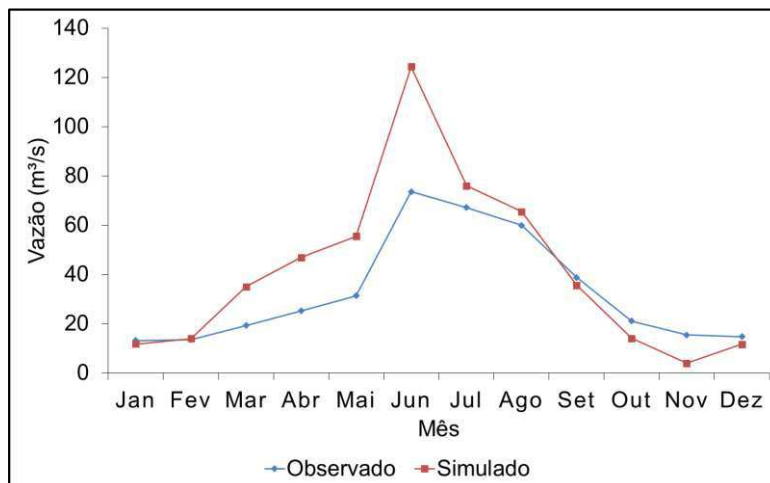
Para os dados simulados, o valor médio foi de $41,17\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $124,30\text{m}^3/\text{s}$, e o valor mínimo de $3,97\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de Março a Setembro apresentaram valores maiores, enquanto os meses de Outubro a Fevereiro com valores reduzidos (Figura 13b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram acréscimo, de 26% e 69% nos valores de vazão média e máxima, respectivamente, e redução de 70% no valor de vazão mínima.

Viana et al. (2018) realizaram e analisaram a modelagem hidrológica por meio do modelo SWAT na Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama - PE e observaram uma subestimativa nos dados de vazão quando comparado aos dados observados, principalmente nos picos das vazões máximas, obtendo um coeficiente de determinação de 0,65.

Figura 13. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Palmares.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2018.

4.2 Calibração da vazão simulada no período de 2002 a 2010

Na calibração da vazão simulada, utilizou-se dados observados de vazão para o período de 2002 a 2010, e dados resultantes da rodada de simulação do mesmo período, descartando os 3 (três) anos de aquecimento do modelo hidrológico. O processo foi realizado em 5 (cinco) postos fluviométricos, sendo eles: Cachoeirinha, Capivara, Belém de Maria, Catende e Palmares.

No Software SWATCUP fez-se alterações em 8 (oito) parâmetros do modelo, necessários para o cálculo dos processos hidrológicos na bacia, foram

eles: fator alfa do fluxo básico (dias), armazenamento máximo do dossel (mm), condutividade hidráulica efetiva (mm/hr), valor de Manning para o canal principal, valor inicial do número de curva, fator de compensação da evaporação do solo, limiar de profundidade da água no aquífero raso necessário para que o fluxo de retorno ocorra (mm), atraso nas águas subterrâneas (dias).

Viana et al. (2019) em estudo na bacia hidrográfica do rio Pirapama, no Estado de Pernambuco, realizaram alterações em 12 parâmetros no SWATCUP, dos quais incluem os abordados no presente estudo.

A Tabela 3 apresenta, para cada sub-bacia: a operação realizada no processo automático de calibração sendo: a-soma, r-multiplicação e v-substituição; os parâmetros; e os valores ajustados dos parâmetros, calculados por valores significativos de coeficiente de determinação e Nash-Sutcliffe.

Tabela 3. Valores dos parâmetros ajustados após processo de calibração por sub-bacia.

Operação_ Parâmetro	Posto (sub-bacia)				
	Cachoeirinha (1)	Capivara (2)	Belém de Maria (9)	Catende (15)	Palmares (13)
a_ALPHA_BF	-0,05	-0,06	0,60	0,45	-0,03
a_CANMX		67,76			43,88
a_CH_K2	214,02	183,24		260,83	288,11
a_CH_N2	0,03	0,28		0,01	0,15
r_CN2	-0,02	-0,35	-0,18	-0,48	-0,42
a_ESCO		-0,22			-0,38
v_GWQMN	4411,74	3219,58	4750,00	587,20	4321,66
v_GW_DELAY	288,16	256,67	325,00	358,42	280,39

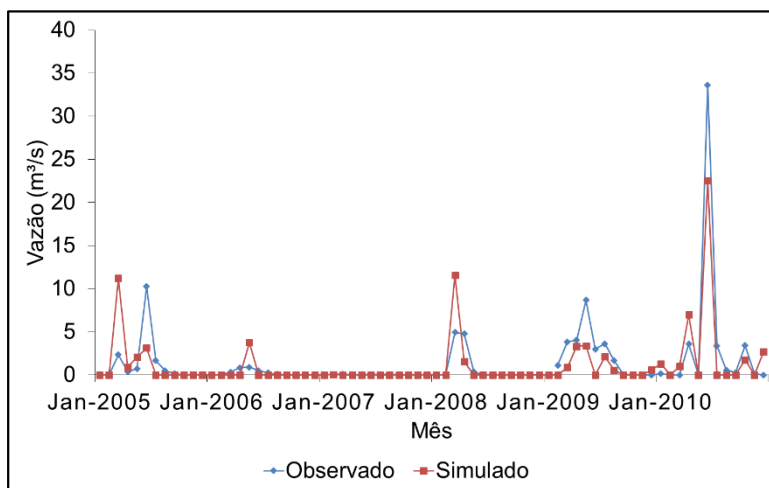
Fonte: Autor, 2019.

No posto de Cachoeirinha a série temporal mensal da vazão simulada na calibração apresentou valor médio de $1,13\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $22,52\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,0\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 14a). Portanto, os dados simulados na calibração apresentaram redução de 29% e 33% nos valores de vazão média e máxima, respectivamente. Com isso, na avaliação do modelo tem-se valores de: 0,69 para NS; 0,69 para R2; e 0,19 para PBIAS.

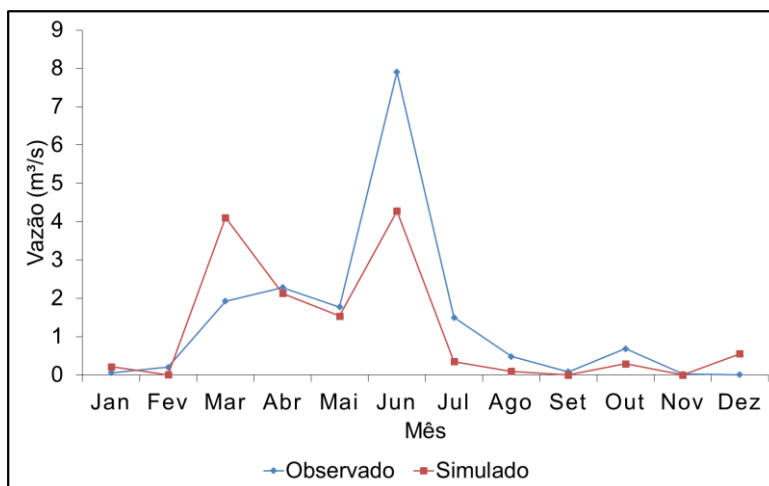
Para a vazão sazonal, simulada na calibração, o valor médio foi de $1,13\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $4,3\text{m}^3/\text{s}$, e o valor mínimo de $0,0\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de

Março a Junho apresentaram valores maiores, enquanto os meses de Julho a Fevereiro com valores reduzidos (Figura 14b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram redução, de 20% e 46%, nos valores de vazão média e máxima, respectivamente. Porém, a variabilidade sazonal da vazão na sub-bacia foi representada.

Figura 14. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de calibração para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Cachoeirinha.



(a)



(b)

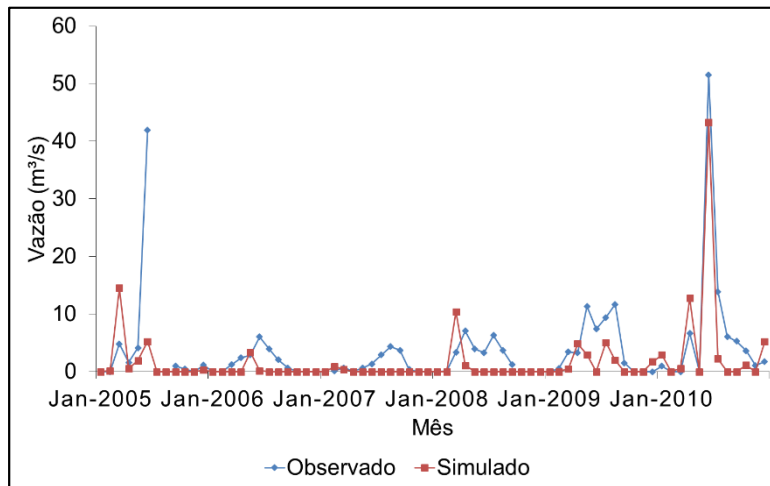
Fonte: Autor, 2019.

No posto de Capivara a série temporal mensal da vazão simulada na calibração apresentou valor médio de $1,73\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $43,29\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,0\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 15a). Portanto, os dados simulados na calibração apresentaram redução de 55% e 16% nos valores de vazão média e

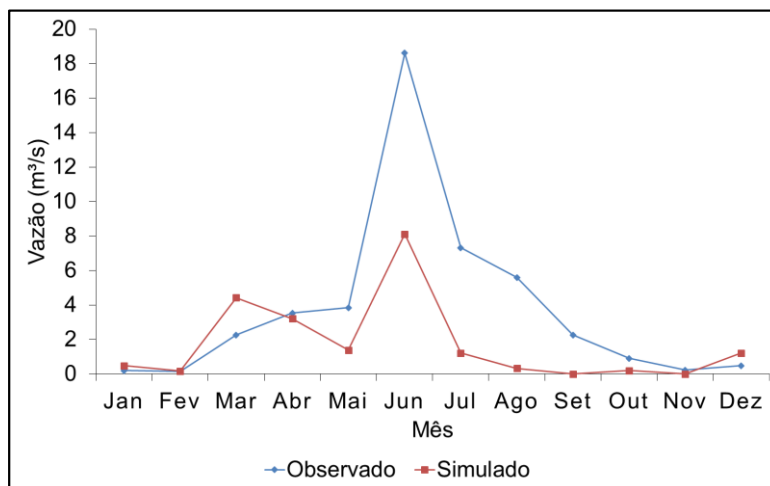
máxima, respectivamente. Com isso, na avaliação do modelo tem-se valores de: 0,49 para NS; 0,54 para R2; e 0,52 para PBIAS.

Para a vazão sazonal simulada na calibração, o valor médio foi de 1,73m³/s, o valor máximo de 8,12m³/s, e o valor mínimo de 0,0m³/s. Os meses de Março a Junho apresentaram valores maiores, enquanto os meses de Julho a Fevereiro com valores reduzidos (Figura 15b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram redução, de 54% e 56%, nos valores de vazão média e máxima, respectivamente. Porém, a variabilidade sazonal da vazão na sub-bacia foi representada.

Figura 15. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de calibração para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Capivara.



(a)

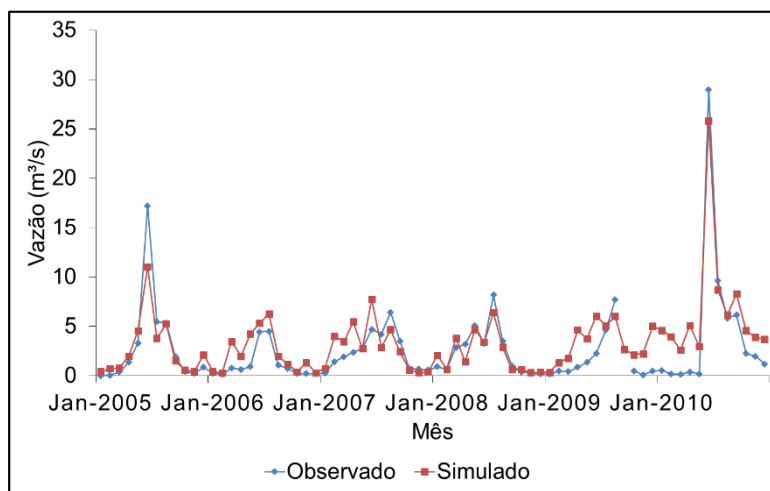


(b)

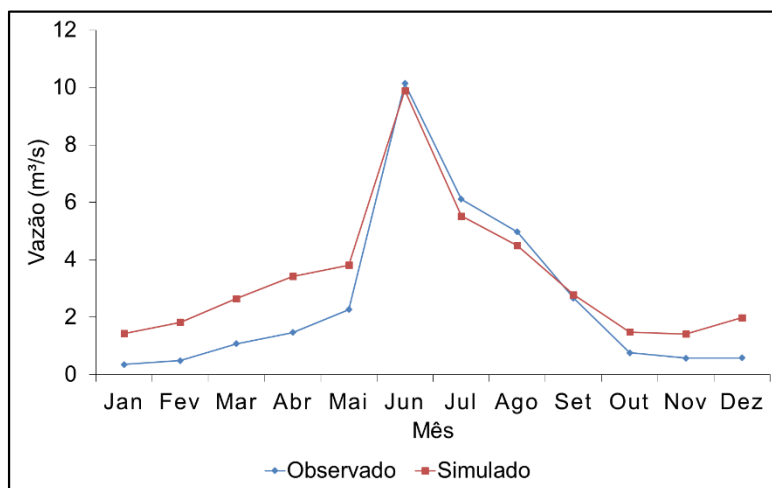
Fonte: Autor, 2019.

No posto de Belém de Maria a série temporal mensal da vazão simulada na calibração apresentou valor médio de $3,39\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $25,82\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,27\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 16a). Portanto, os dados simulados na calibração apresentaram aumento de 29% nos valores de vazão média e redução de 11% nos valores de vazão máxima. Com isso, na avaliação do modelo tem-se valores de: 0,78 para NS; 0,82 para R2; e -0,31 para PBIAS.

Figura 16. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de calibração para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Belém de Maria.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2019.

Para a vazão sazonal simulada na calibração, o valor médio foi de $3,39\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $9,89\text{m}^3/\text{s}$, e o valor mínimo de $1,42\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de Abril a

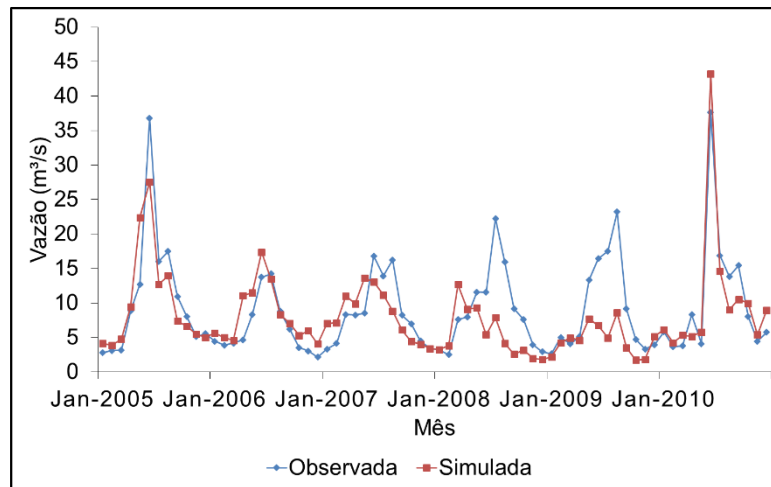
Agosto apresentaram valores maiores, enquanto os meses de Setembro a Março com valores reduzidos (Figura 16b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram aumento de 29% nos valores de vazão média e redução de 2% e nos valores de vazão máxima. Porém, a variabilidade sazonal da vazão na sub-bacia foi representada.

No posto de Catende a série temporal mensal da vazão simulada na calibração apresentou valor médio de $7,95\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $43,19\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $1,72\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 17a). Portanto, os dados simulados na calibração apresentaram redução de 12% e 21% nos valores de vazão média e mínima, respectivamente, e aumento de 15% nos valores de vazão máxima. Com isso, na avaliação do modelo tem-se valores de: 0,55 para NS; 0,59 para R2; e 0,12 para PBIAS.

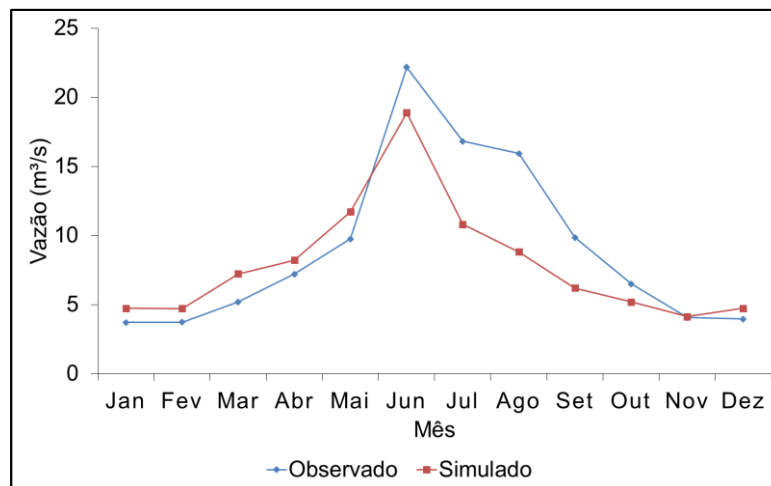
Para a vazão sazonal simulada na calibração, o valor médio foi de $7,95\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $18,89\text{m}^3/\text{s}$, e o valor mínimo de $4,12\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de Maio a Agosto apresentaram valores maiores, enquanto os meses de Setembro a Abril com valores reduzidos (Figura 17b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram redução, de 12% e 15%, nos valores de vazão média e máxima, respectivamente, e aumento de 11% nos valores de vazão mínima. Porém, a variabilidade sazonal da vazão na sub-bacia foi representada.

No posto de Palmares a série temporal mensal da vazão simulada na calibração apresentou valor médio de $30,67\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $104,10\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $6,20\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 18a). Portanto, os dados simulados na calibração apresentaram redução de 6%, 33% e 25% nos valores de vazão média, máxima e mínima, respectivamente. Com isso, na avaliação do modelo tem-se valores de: 0,58 para NS; 0,59 para R2; e 0,06 para PBIAS.

Figura 17. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de calibração para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Catende.



(a)

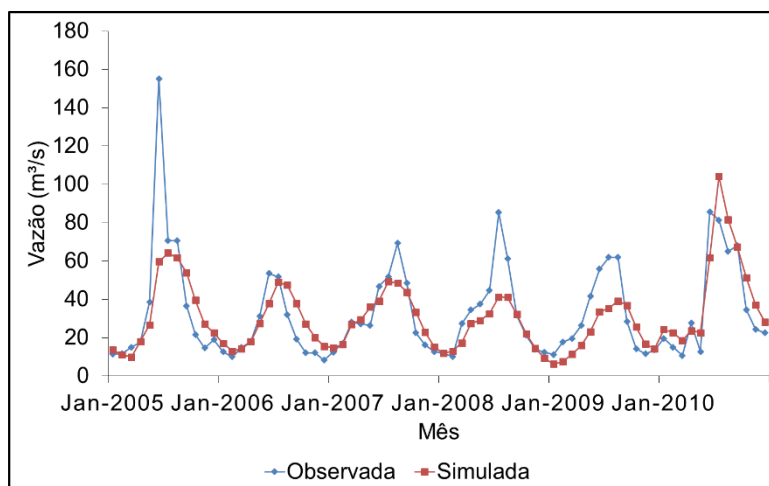


(b)

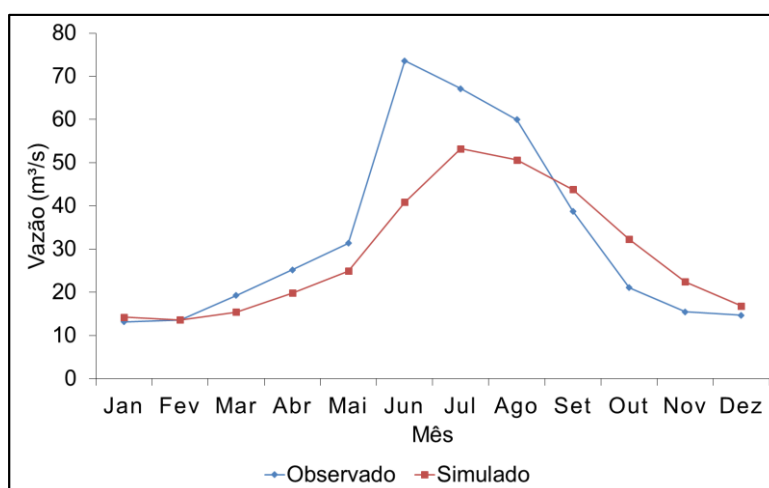
Fonte: Autor, 2019.

Para a vazão sazonal simulada na calibração, o valor médio foi de $29,02\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $53,26\text{m}^3/\text{s}$, e o valor mínimo de $13,63\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de Junho a Setembro apresentaram valores maiores, enquanto os meses de Outubro a Maio com valores reduzidos (Figura 18b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram redução, de 11% e 28%, nos valores de vazão média e máxima, respectivamente. Porém, a variabilidade sazonal da vazão na sub-bacia foi representada.

Figura 18. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de calibração para o período 2005 a 2010 no posto fluviométrico de Palmares.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2019.

4.3 Validação da vazão no período de 2011 a 2014

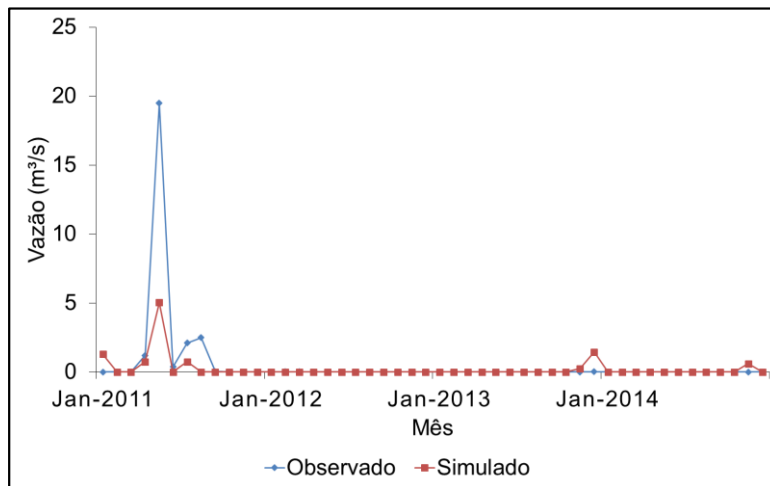
Para o processo de validação, fez-se necessário simular a vazão com o modelo hidrológico ajustado pelos parâmetros calculados no processo de calibração. Neste, utilizou-se dados observados do período de 2011 a 2014, para os 5 (cinco) postos fluviométricos, são eles: Cachoeirinha, Capivara, Belém de Maria, Catende e Palmares.

No posto de Cachoeirinha a série temporal mensal da vazão simulada na validação apresentou valor médio de $0,21\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $5,04\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,0\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 19a). Portanto, os dados simulados na validação

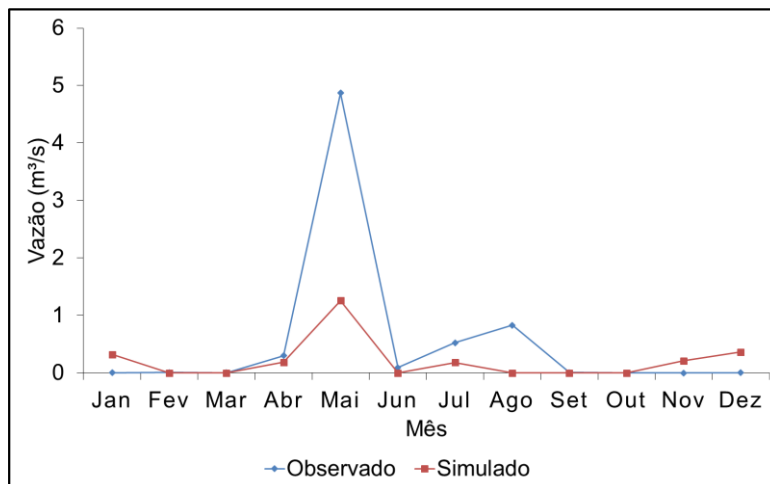
apresentaram redução de 65% e 74% nos valores de vazão média e máxima, respectivamente. Com isso, na avaliação do modelo tem-se valores de: 0,42 para NS; 0,84 para R2; e 0,61 para PBIAS.

Para a vazão sazonal simulada na validação, o valor médio foi de 0,21m³/s, o valor máximo de 1,3m³/s, e o valor mínimo de 0,0m³/s. Os meses de Maio e Julho apresentaram valores maiores, enquanto demais meses com valores reduzidos (Figura 19b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram redução, de 62% e 74%, nos valores de vazão média e máxima, respectivamente. Porém, a variabilidade sazonal da vazão na sub-bacia foi representada.

Figura 19. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de validação para o período 2011 a 2014 no posto fluviométrico de Cachoeirinha.



(a)

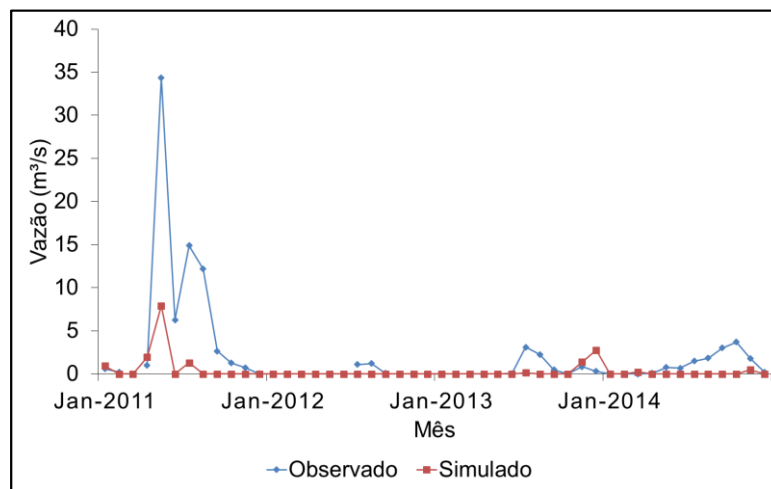


(b)

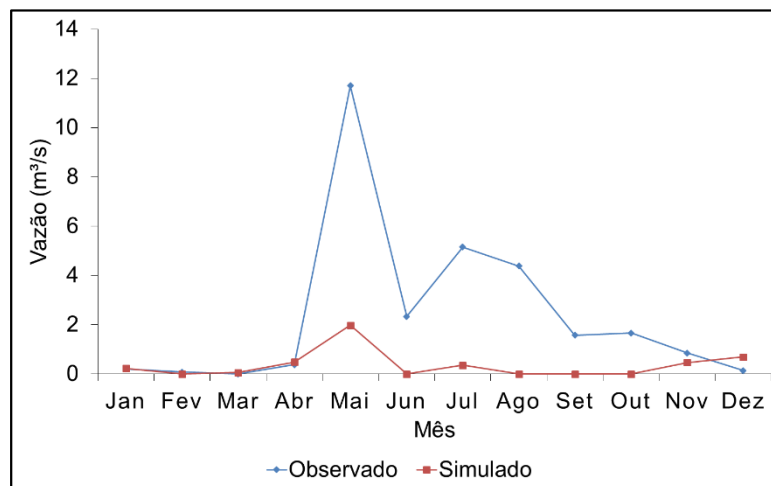
Fonte: Autor, 2019.

No posto de Capivara a série temporal mensal da vazão simulada na validação apresentou valor médio de $0,36\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $7,92\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,0\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 20a). Portanto, os dados simulados na validação apresentaram redução de 85% e 77% nos valores de vazão média e máxima, respectivamente. Com isso, na avaliação do modelo tem-se valores de: 0,22 para NS; 0,64 para R2; e 0,82 para PBIAS.

Figura 20. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de validação para o período 2011 a 2014 no posto fluviométrico de Capivara.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2019.

Para a vazão sazonal simulada na validação, o valor médio foi de $0,36\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $1,98\text{m}^3/\text{s}$, e o valor mínimo de $0,0\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de Maio, Julho e Dezembro apresentaram valores maiores, enquanto demais meses com

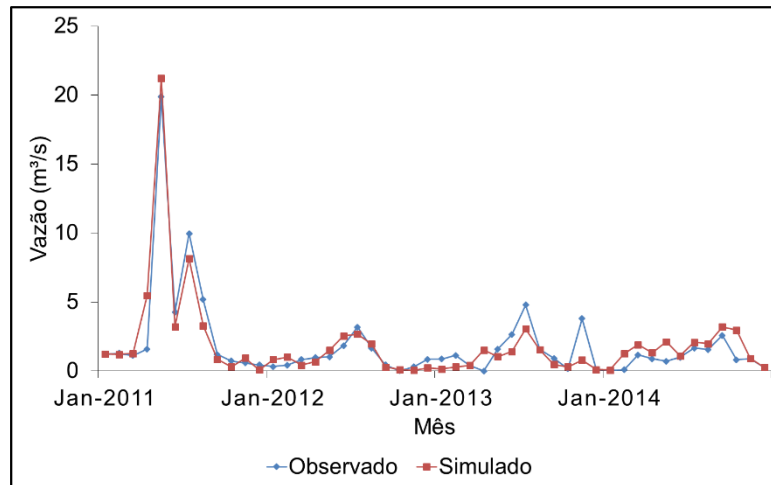
valores reduzidos (Figura 20b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram redução, de 85% e 83%, nos valores de vazão média e máxima, respectivamente. Porém, a variabilidade sazonal da vazão na sub-bacia não foi representada.

No posto de Belém de Maria a série temporal mensal da vazão simulada na validação apresentou valor médio de $1,87\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $21,21\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,6\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 21a). Portanto, os dados simulados na validação apresentaram aumento de 1% e 7% nos valores de vazão média e máxima, respectivamente. Com isso, na avaliação do modelo tem-se valores de: 0,88 para NS; 0,89 para R2; e -0,01 para PBIAS.

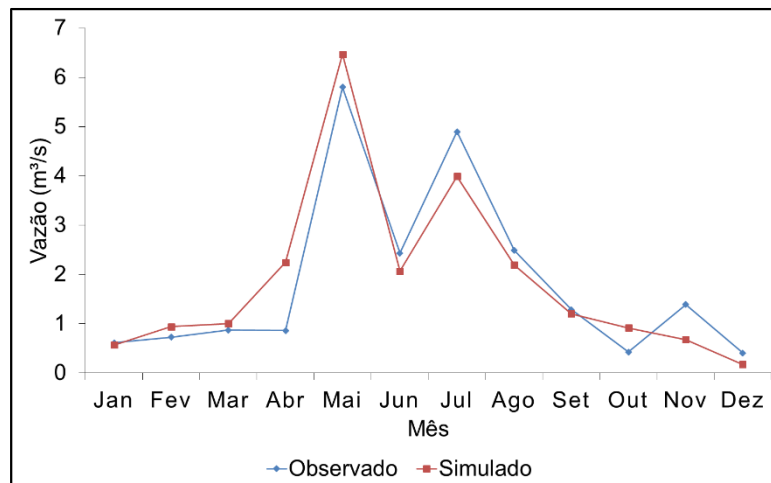
Para a vazão sazonal simulada na validação, o valor médio foi de $1,87\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $6,47\text{m}^3/\text{s}$, e o valor mínimo de $0,17\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de Abril a Agosto apresentaram valores maiores, enquanto demais meses com valores reduzidos (Figura 21b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram aumento de 1% e 12%, nos valores de vazão média e máxima, respectivamente. Porém, a variabilidade sazonal da vazão na sub-bacia foi representada.

No posto de Catende a série temporal mensal da vazão simulada na validação apresentou valor médio de $5,28\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $21,13\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,85\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 22a). Portanto, os dados simulados na validação apresentaram redução de 34%, 35% e 57% nos valores de vazão média, máxima e mínima, respectivamente. Com isso, na avaliação do modelo tem-se valores de: 0,45 para NS; 0,68 para R2; e 0,34 para PBIAS.

Figura 21. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de validação para o período 2011 a 2014 no posto fluviométrico de Belém de Maria.



(a)

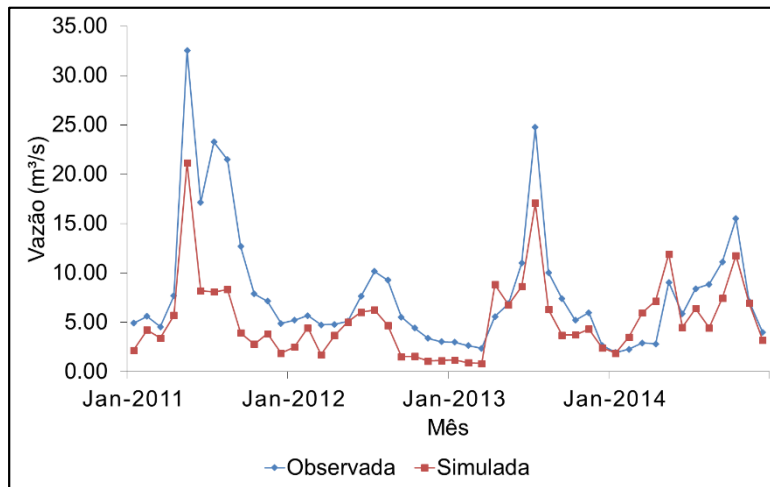


(b)

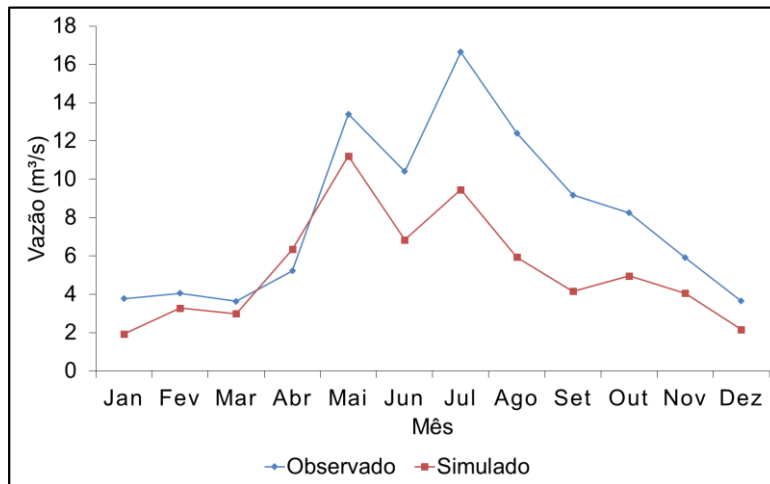
Fonte: Autor, 2019.

Para a vazão sazonal simulada na validação, o valor médio foi de $5,28\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $11,21\text{m}^3/\text{s}$, e o valor mínimo de $1,94\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de Abril a Agosto apresentaram valores maiores, enquanto demais meses com valores reduzidos (Figura 22b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram redução de 34%, 33% e 47%, nos valores de vazão média, máxima e mínima, respectivamente. Porém, a variabilidade sazonal da vazão na sub-bacia foi representada.

Figura 22. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de validação para o período 2011 a 2014 no posto fluviométrico de Catende.



(a)



(b)

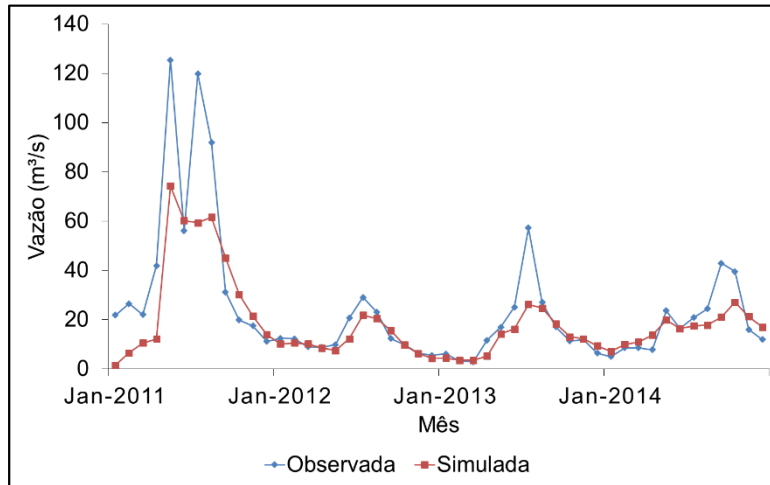
Fonte: Autor, 2019.

No posto de Palmares a série temporal mensal da vazão simulada na validação apresentou valor médio de $18,46\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $74,28\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $1,62\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 23a). Portanto, os dados simulados na validação apresentaram redução de 24%, 41% e 45% nos valores de vazão média, máxima e mínima, respectivamente. Com isso, na avaliação do modelo tem-se valores de: 0,65 para NS; 0,78 para R2; e 0,24 para PBIAS.

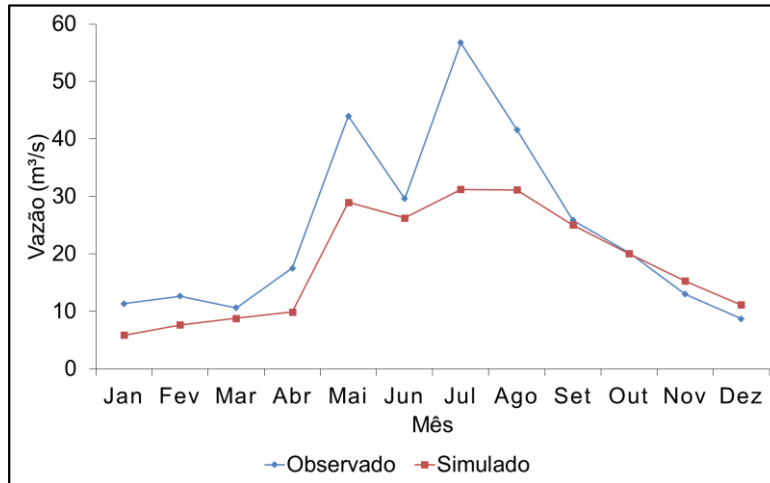
Para a vazão sazonal simulada na validação, o valor médio foi de $18,46\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $31,23\text{m}^3/\text{s}$, e o valor mínimo de $5,87\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de Maio a Setembro apresentaram valores maiores, enquanto demais

meses com valores reduzidos (Figura 23b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram redução de 24%, 45% e 33%, nos valores de vazão média, máxima e mínima, respectivamente. Porém, a variabilidade sazonal da vazão na sub-bacia foi representada.

Figura 23. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões observada e simulada no processo de validação para o período 2011 a 2014 no posto fluviométrico de Palmares.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2019.

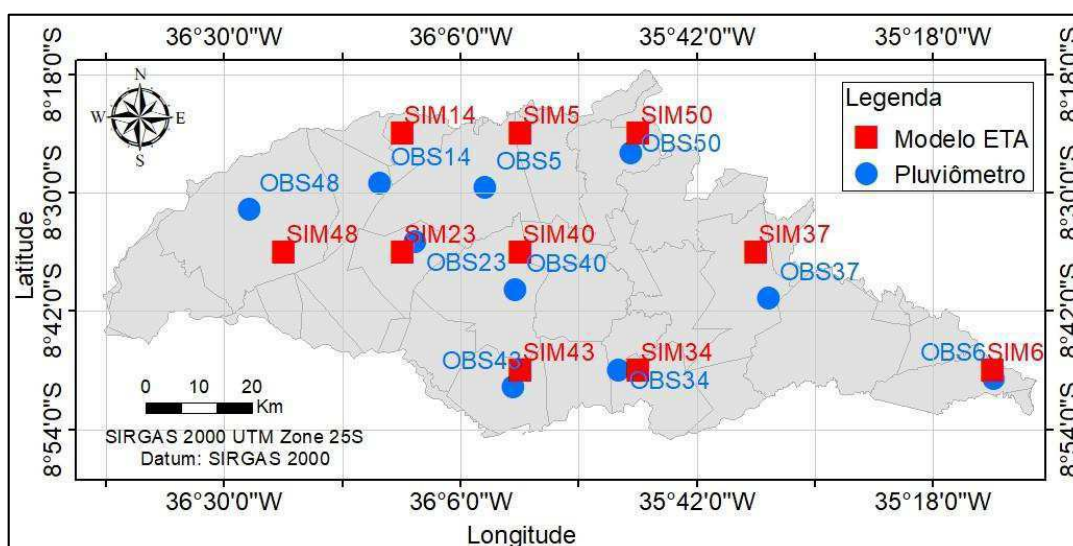
Santos et al. (2015) realizou uma análise espaço-temporal dos processos hidrossedimentológicos na bacia do rio Tapacurá, localizada no Estado de Pernambuco, Nordeste brasileiro. A modelagem da bacia, pelo modelo SWAT, apresentou bons resultados, com valores de R^2 , NSE e PBIAS de 0,72, 0,71 e -

23,73 para o período de calibração da vazão, e valores respectivos de 0,86, 0,85 e -11,94 para o período de verificação da vazão observada com a simulada.

4.4 Análise e correção de erro sistemático dos cenários climáticos

A precipitação foi a variável considerada para realizar, de forma pontual, a correção dos erros sistemáticos dos cenários climáticos abordados neste estudo. E, como o modelo atmosférico gera informações em célula de grade (quadricula), fez-se necessário encontrar postos pluviométricos (pluviômetros) inseridos na célula e considerar, para associação, as coordenadas geográficas do centroide da quadricula, conforme pode ser observado na Figura 24.

Figura 24. Localização dos pluviômetros e dos centroides da célula de grade dos modelos climáticos, na bacia hidrográfica do rio Una.



Fonte: Autor, 2019.

Portanto a análise da correção dos erros consistiu na comparação da climatologia mensal da precipitação e no cálculo do coeficiente de determinação, entre os dados observados, considerando o período de 1963 a 1990, e os dados gerados pelos modelos climáticos, considerando o período de 2020 a 2047.

Dessa forma, a Tabela 4 apresenta 10 (dez) postos, identificados por município e com nomenclaturas representativas da fonte dos dados, sendo: dado observado (Obs) e dado simulado (Sim), que corresponde aos dados do modelo

EtaMiroc5 (Mir) e do modelo climático EtaHadgem (Had). A numeração está de acordo com o Anexo A.

Tabela 4. Relação dos postos com coordenadas geográficas associadas.

Município	Observado	Simulado	EtaMiroc5	EtaHadgem
Altinho	Obs5	Sim5	Mir5	Had5
Barreiros	Obs6	Sim6	Mir6	Had6
Cachoeirinha	Obs14	Sim14	Mir14	Had14
Ibirajuba	Obs23	Sim23	Mir23	Had23
Maraial	Obs34	Sim34	Mir34	Had34
Palmares	Obs37	Sim37	Mir37	Had37
Panelas	Obs40	Sim40	Mir40	Had40
Quipapá	Obs43	Sim43	Mir43	Had43
São Bento do Una	Obs48	Sim48	Mir48	Had48
São Joaquim do Monte	Obs50	Sim50	Mir50	Had50

Fonte: Autor, 2019.

4.4.1 Período de 1963 a 1990

No município de Altinho, a climatologia mensal da precipitação observada (Obs5) apresentou valor médio de 50,53mm, com valor máximo de 90mm e valor mínimo de 12mm. Os maiores valores de precipitação ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 25a).

Na precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir5) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio climatológico foi de 35,98mm, o valor máximo de 74,78mm e o valor mínimo de 4,41mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 29%, 17% e 65%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Dezembro (Figura 25a).

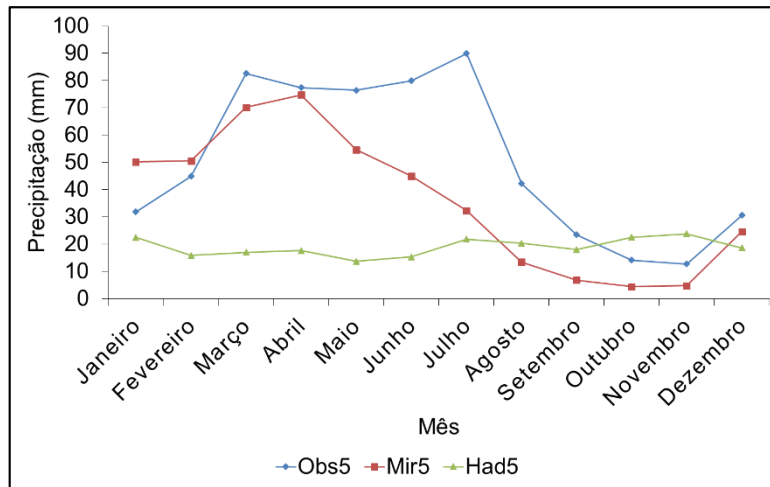
Para a climatologia mensal da precipitação simulada pelo EtaHadgem (Had5) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio foi de 18,95mm, o valor máximo de 23,82mm e o valor mínimo de 13,73mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 62%, 74% e 8%, respectivamente. Não

foi observado valores com diferenças significativas entre os meses, que possibilitasse a identificação dos mais chuvosos ou secos (Figura 25a).

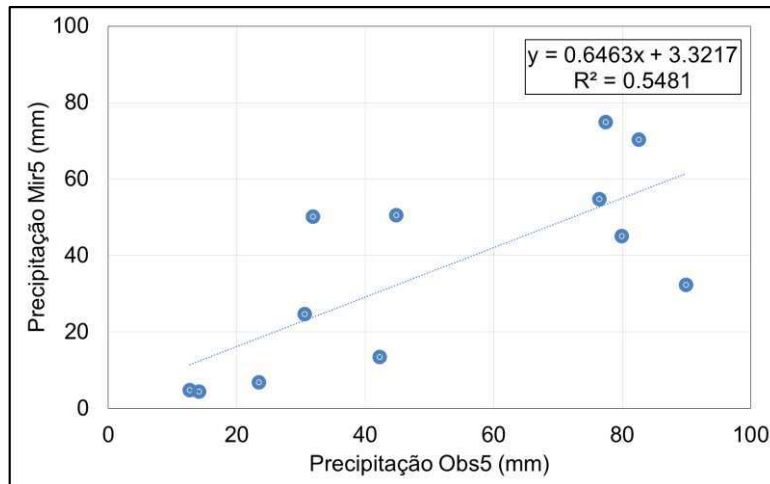
O gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs5) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaMiroc5 (Mir5) está apresentado na Figura 25b. Neste, observa-se que o modelo gerou valores menores em relação aos valores observados, de forma que o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,55, representando uma correlação baixa entre as variáveis.

Na Figura 25c apresenta o gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs5) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaHadgem (Had5). Neste, observa que o modelo gerou valores menores em relação aos valores observados, de forma que o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,30, que representa uma correlação baixa entre as variáveis.

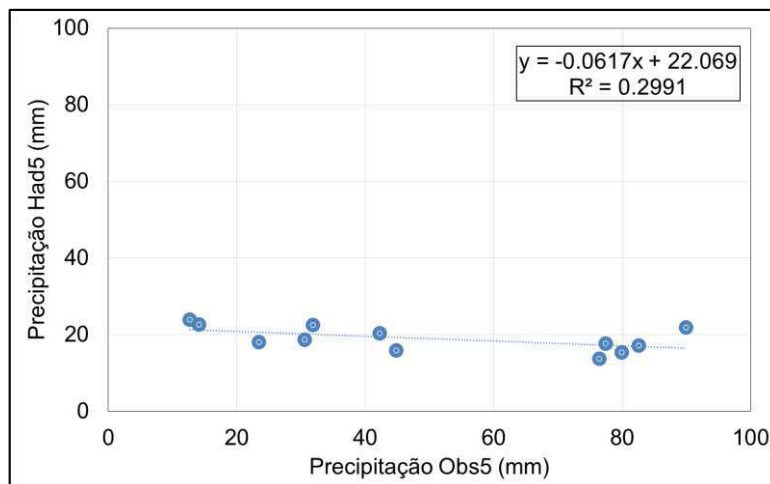
Figura 25. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de Altinho no período de 1963 a 1990.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autor, 2019.

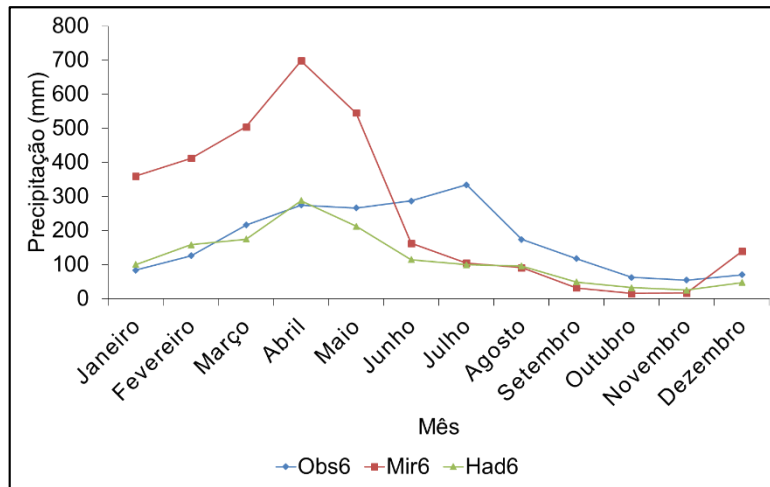
No município de Barreiros, a climatologia mensal da precipitação observada (Obs6) apresentou valor médio de 172,38mm, com valor máximo de 334,36mm e valor mínimo de 54,63mm. Os maiores valores de precipitação ocorreram nos meses de Abril a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Março (Figura 26a).

Na precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir6) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio climatológico foi de 256,90mm, o valor máximo de 698,19mm e o valor mínimo de 15,72mm, que corresponde a aumento na precipitação observada de 49%, 109%, para vazão média e máxima e redução de 71% na vazão mínima. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Dezembro (Figura 26a).

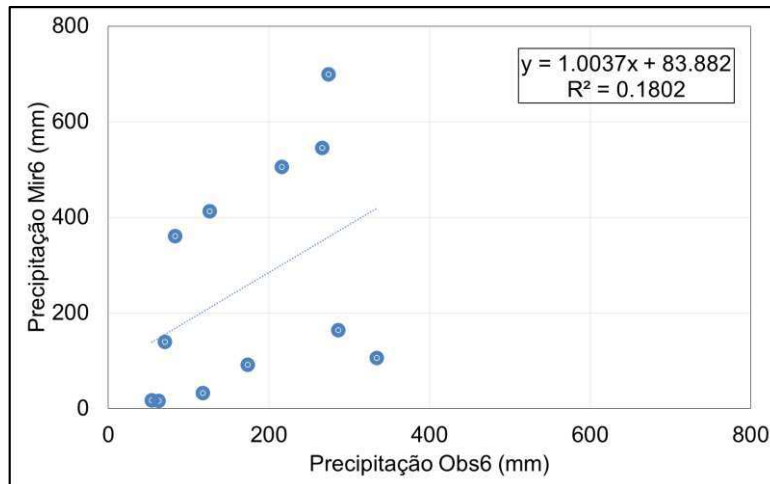
Para a climatologia mensal da precipitação simulada pelo EtaHadgem (Had6) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio foi de 116,66mm, o valor máximo de 287,70mm e o valor mínimo de 25,58mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 32%, 14% e 53%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Março a Maio e menores valores nos meses de Junho a Fevereiro (Figura 26a).

O gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs6) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaMiroc5 (Mir6) está apresentado na Figura 26b. Neste, observa-se que o modelo gerou valores maiores em relação aos valores observados, de forma que o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,18, representando uma correlação baixa entre as variáveis.

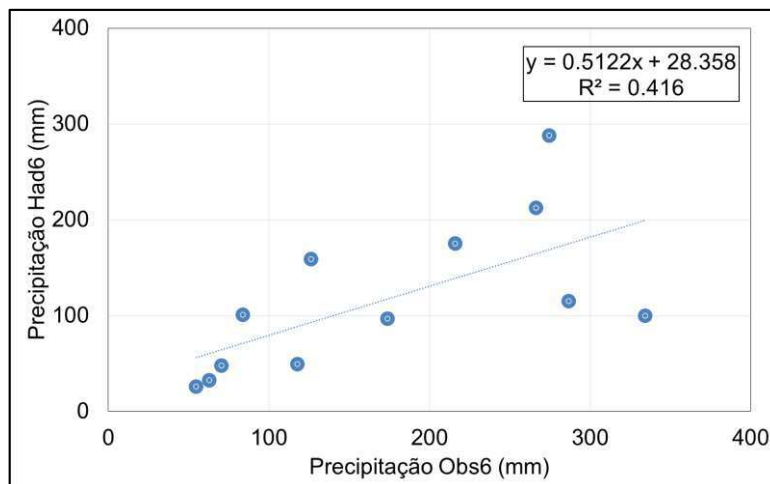
Figura 26. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de Barreiros no período de 1963 a 1990.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 26c apresenta o gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs6) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaHadgem (Had6). Neste, observa que o modelo gerou valores menores em relação aos valores observados, de forma que o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,42, que representa uma correlação baixa entre as variáveis.

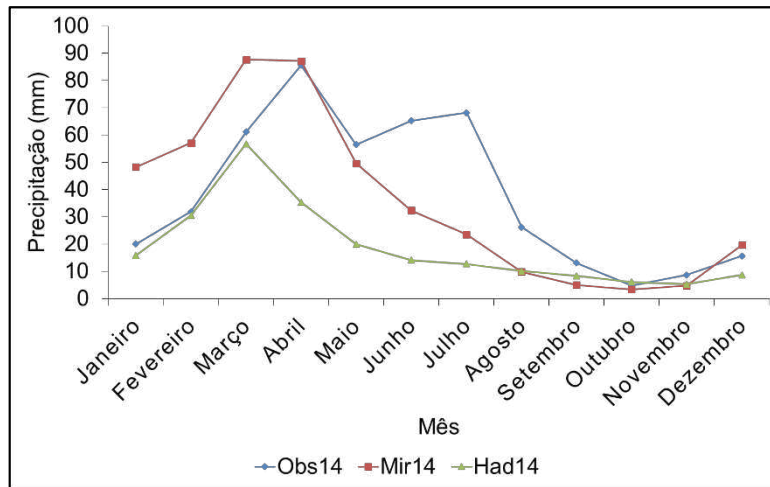
No município de Cachoeirinha, a climatologia mensal da precipitação observada (Obs14) apresentou valor médio de 38,13mm, com valor máximo de 85,62mm e valor mínimo de 4,83mm. Os maiores valores de precipitação ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 27a).

Na precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir14) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio climatológico foi de 35,74mm, o valor máximo de 87,68mm e o valor mínimo de 3,48mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 6%, 28%, para vazão média e mínima e aumento de 2% na vazão máxima. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Dezembro (Figura 27a).

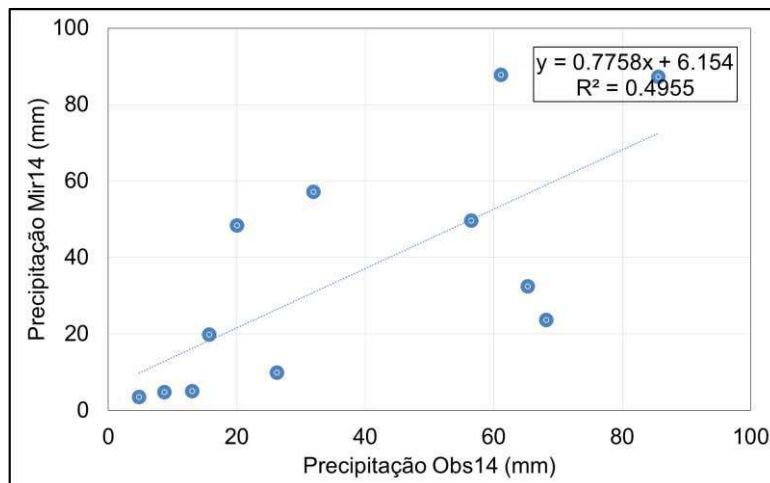
Para a climatologia mensal da precipitação simulada pelo EtaHadgem (Had14) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio foi de 18,67mm, o valor máximo de 56,82mm e o valor mínimo de 5,30mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 51%, 34%, para vazão média e máxima e aumento de 10% na vazão mínima. Os maiores valores ocorreram nos meses de Fevereiro a Abril e menores valores nos meses de Maio a Janeiro (Figura 27a).

O gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs14) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaMiroc5 (Mir14) está apresentado na Figura 27b. Neste, observa-se que o modelo gerou valores maiores em relação aos valores observados, de forma que o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,50, representando uma correlação baixa entre as variáveis.

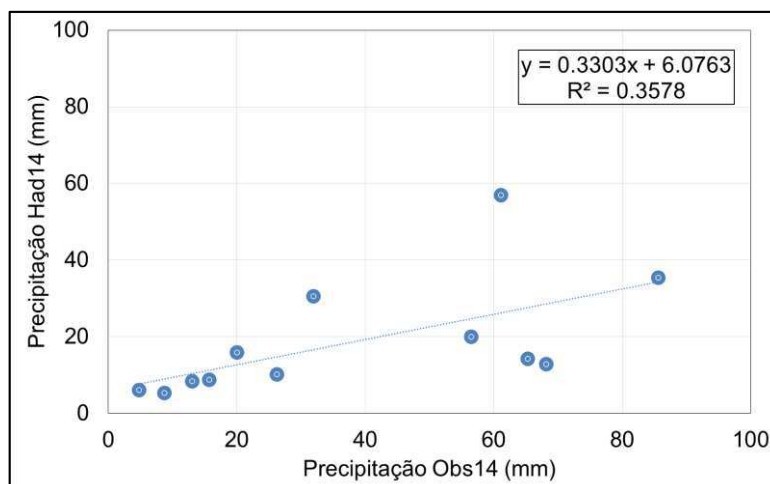
Figura 27. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de Cachoeirinha no período de 1963 a 1990.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 27c apresenta o gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs14) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaHadgem (Had14). Neste, observa que o modelo gerou valores menores em relação aos valores observados, de forma que o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,36, que representa uma correlação baixa entre as variáveis.

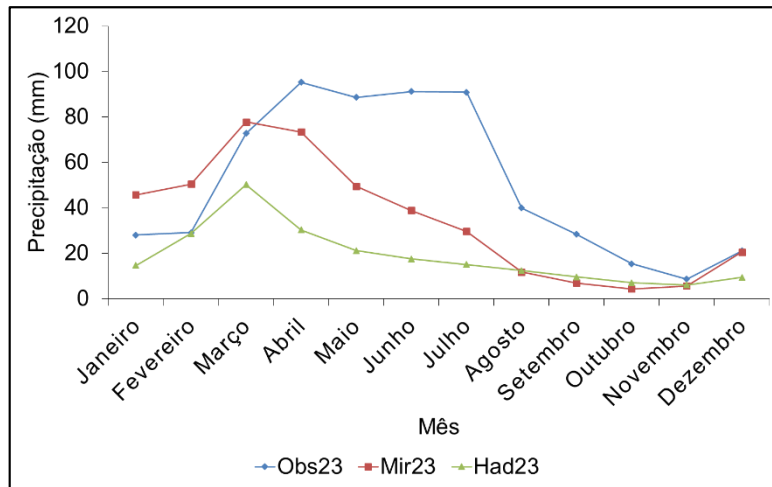
No município de Ibirajuba, a climatologia mensal da precipitação observada (Obs23) apresentou valor médio de 50,80mm, com valor máximo de 95,30mm e valor mínimo de 8,65mm. Os maiores valores de precipitação ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 28a).

Na precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir23) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio climatológico foi de 34,56mm, o valor máximo de 77,86mm e o valor mínimo de 4,30mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 32%, 18% e 50%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Dezembro (Figura 28a).

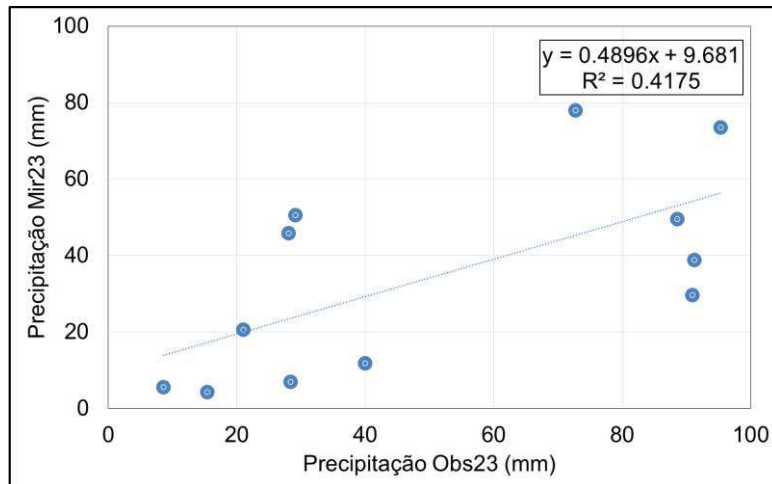
Para a climatologia mensal da precipitação simulada pelo EtaHadgem (Had23) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio foi de 18,51mm, o valor máximo de 50,20mm e o valor mínimo de 6,06mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 64%, 47% e 30%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Fevereiro a Abril e menores valores nos meses de Maio a Janeiro (Figura 28a).

O gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs23) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaMiroc5 (Mir23) está apresentado na Figura 28b. Neste, observa-se que o modelo gerou valores menores em relação aos valores observados, de forma que o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,42, representando uma correlação baixa entre as variáveis.

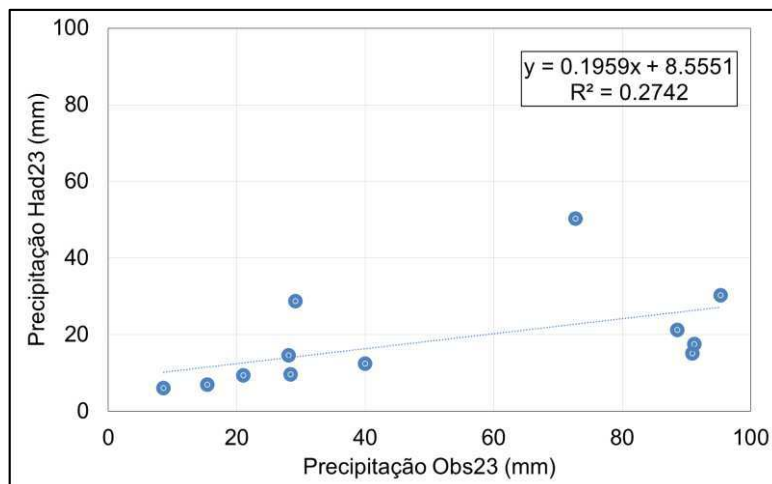
Figura 28. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de Ibirajuba no período de 1963 a 1990.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 28c apresenta o gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs23) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaHadgem (Had23). Neste, observa que o modelo gerou valores menores em relação aos valores observados, de forma que o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,27, que representa uma correlação baixa entre as variáveis.

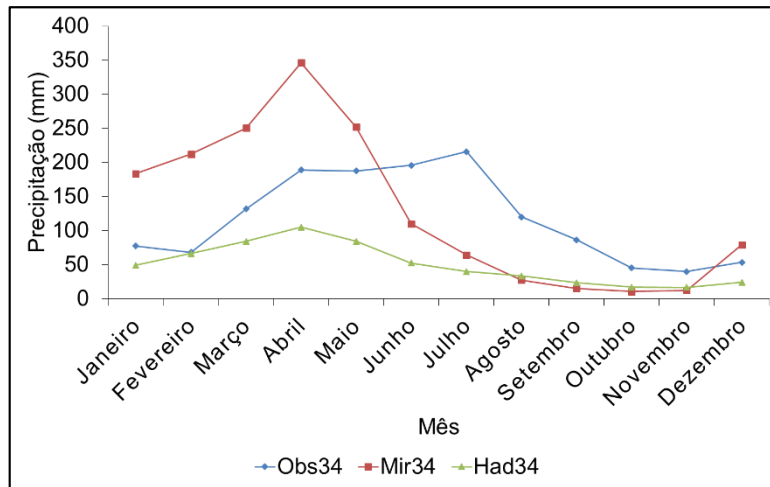
No município de Maraial, a climatologia mensal da precipitação observada (Obs34) apresentou valor médio de 117,54mm, com valor máximo de 215,64mm e valor mínimo de 39,98mm. Os maiores valores de precipitação ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 29a).

Na precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir34) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio climatológico foi de 130,20mm, o valor máximo de 346,16mm e o valor mínimo de 10,43mm, que corresponde a aumento na precipitação observada de 11% e 61% para vazão média e máxima e redução de 74% para vazão mínima. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Dezembro (Figura 29a).

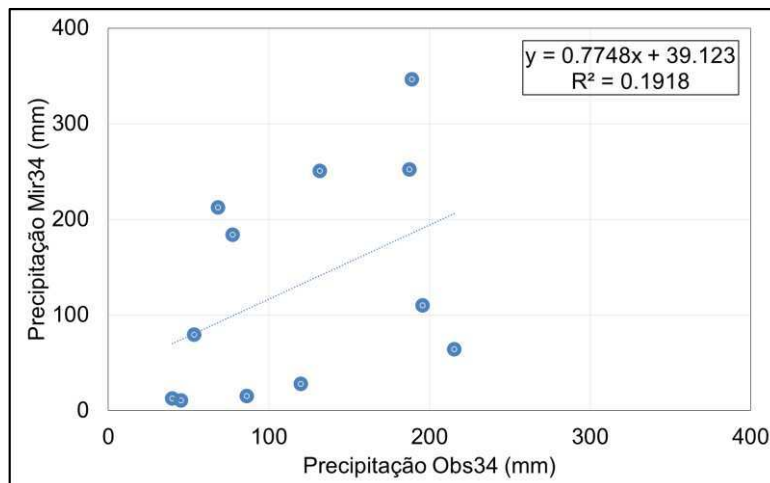
Para a climatologia mensal da precipitação simulada pelo EtaHadgem (Had34) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio foi de 49,67mm, o valor máximo de 104,98mm e o valor mínimo de 16,56mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 58%, 51% e 59%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Março a Maio e menores valores nos meses de Junho a Fevereiro (Figura 29a).

O gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs34) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaMiroc5 (Mir34) está apresentado na Figura 29b. Neste, observa-se que o modelo gerou valores maiores em relação aos valores observados, de forma que o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,19, representando uma correlação baixa entre as variáveis.

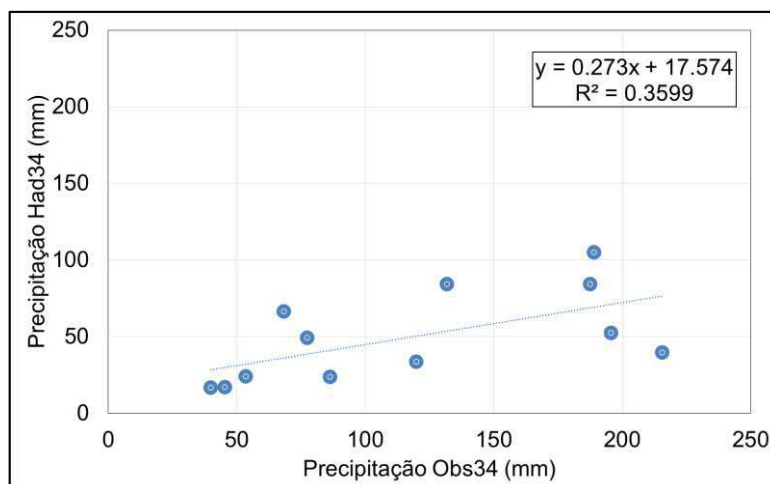
Figura 29. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de Maraial no período de 1963 a 1990.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 29c apresenta o gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs34) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaHadgem (Had34). Neste, observa que o modelo gerou valores menores em relação aos valores observados, de forma que o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,36, que representa uma correlação baixa entre as variáveis.

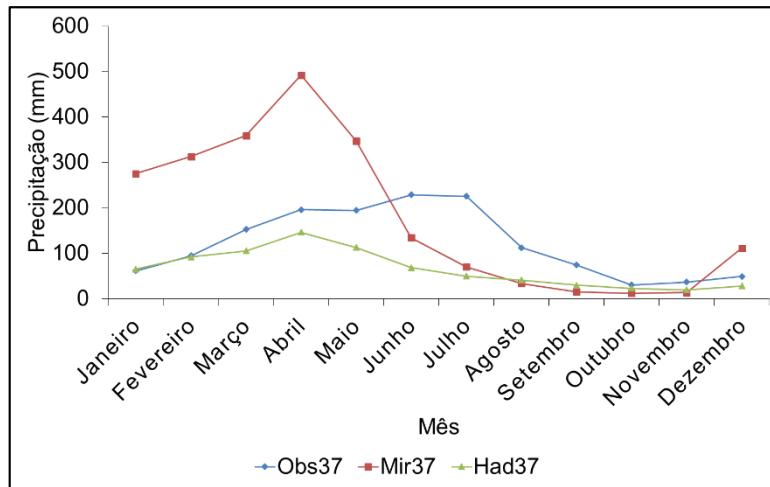
No município de Palmares, a climatologia mensal da precipitação observada (Obs37) apresentou valor médio de 121,26mm, com valor máximo de 228,48mm e valor mínimo de 30,36mm. Os maiores valores de precipitação ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 30a).

Na precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir37) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio climatológico foi de 181,36mm, o valor máximo de 492,21mm e o valor mínimo de 11,96mm, que corresponde a aumento na precipitação observada de 50% e 115% para vazão média e máxima e redução de 61% para vazão mínima. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Dezembro (Figura 30a).

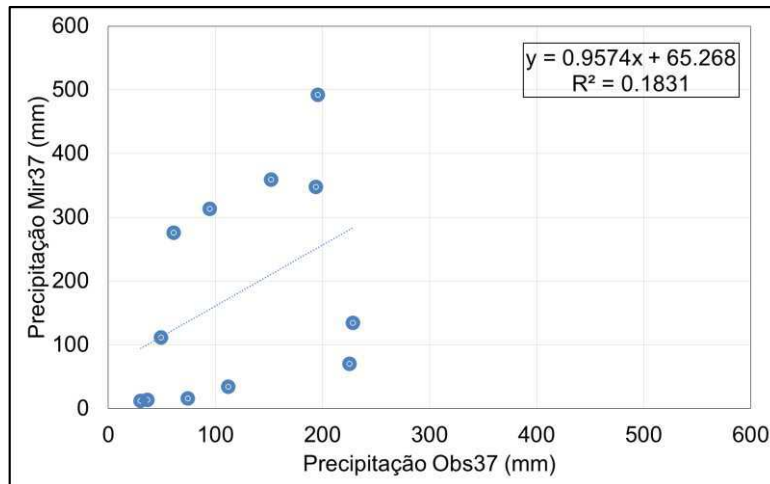
Para a climatologia mensal da precipitação simulada pelo EtaHadgem (Had37) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio foi de 65,11mm, o valor máximo de 146,25mm e o valor mínimo de 19,86mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 46%, 36% e 35%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Março a Maio e menores valores nos meses de Junho a Fevereiro (Figura 30a).

O gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs37) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaMiroc5 (Mir37) está apresentado na Figura 30b. Neste, observa-se que o modelo gerou valores maiores em relação aos valores observados, de forma que o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,18, representando uma correlação baixa entre as variáveis.

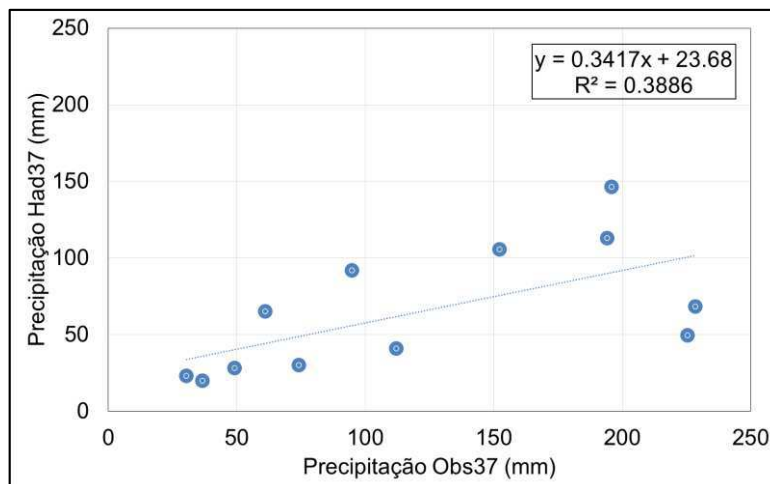
Figura 30. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de Palmares no período de 1963 a 1990.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 30c apresenta o gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs37) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaHadgem (Had37). Neste, observa que o modelo gerou valores menores em relação aos valores observados, de forma que o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,39, que representa uma correlação baixa entre as variáveis.

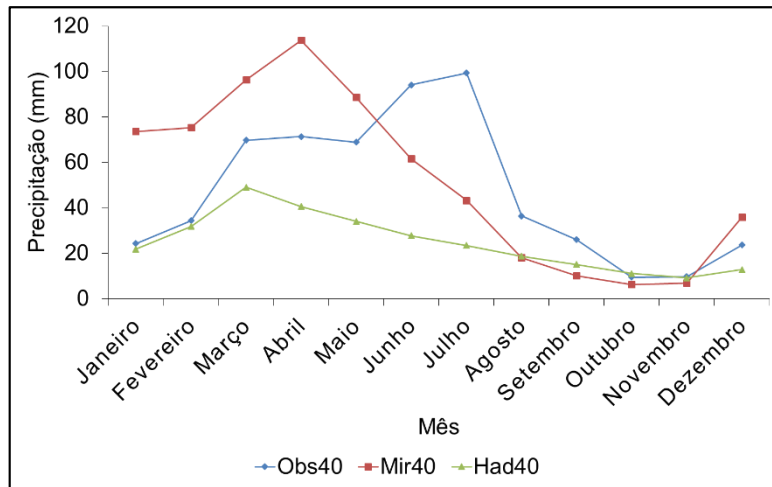
No município de Panelas, a climatologia mensal da precipitação observada (Obs40) apresentou valor médio de 47,29mm, com valor máximo de 99,36mm e valor mínimo de 9,46mm. Os maiores valores de precipitação ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 31a).

Na precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir40) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio climatológico foi de 52,49mm, o valor máximo de 113,74mm e o valor mínimo de 6,28mm, que corresponde a aumento na precipitação observada de 11% e 14% para vazão média e máxima e redução de 34% para vazão mínima. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Dezembro (Figura 31a).

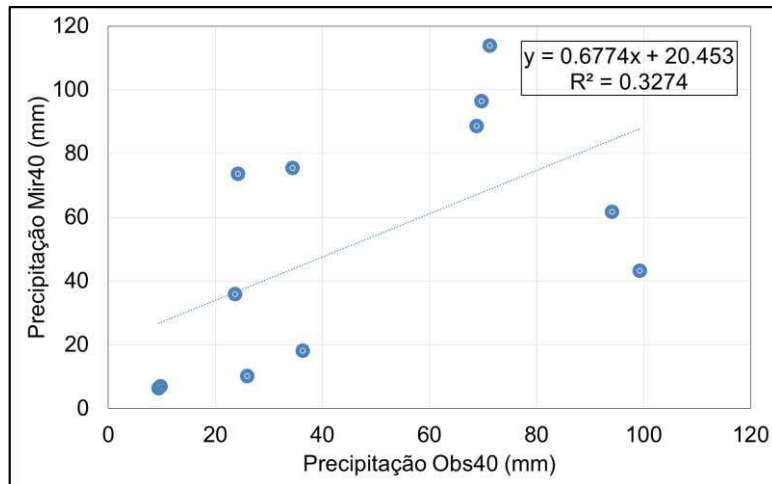
Para a climatologia mensal da precipitação simulada pelo EtaHadgem (Had40) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio foi de 24,61mm, o valor máximo de 49,04mm e o valor mínimo de 9,14mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 48%, 51% e 3%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Fevereiro a Abril e menores valores nos meses de Maio a Janeiro (Figura 31a).

O gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs40) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaMiroc5 (Mir40) está apresentado na Figura 31b. Neste, observa-se que o modelo gerou valores maiores em relação aos valores observados, de forma que o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,33, representando uma correlação baixa entre as variáveis.

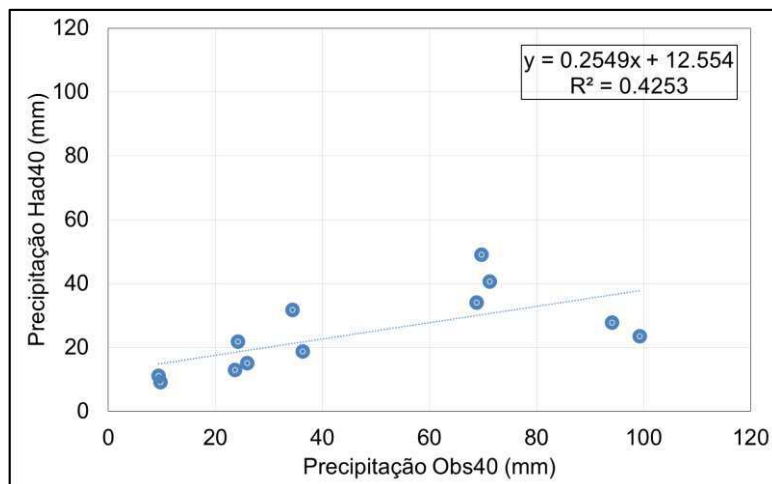
Figura 31. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de Panelas no período de 1963 a 1990.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 31c apresenta o gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs40) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaHadgem (Had40). Neste, observa que o modelo gerou valores menores em relação aos valores observados, de forma que o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,42, que representa uma correlação baixa entre as variáveis.

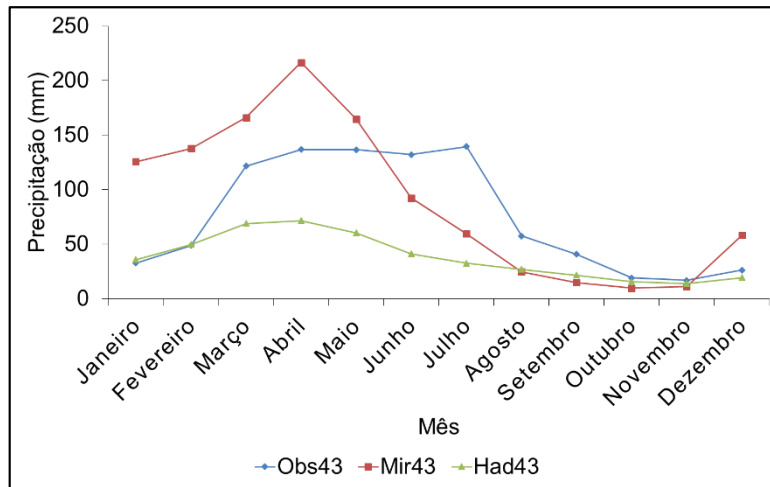
No município de Quipapá, a climatologia mensal da precipitação observada (Obs43) apresentou valor médio de 75,72mm, com valor máximo de 139,43mm e valor mínimo de 16,83mm. Os maiores valores de precipitação ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 32a).

Na precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir43) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio climatológico foi de 90,09mm, o valor máximo de 216,53mm e o valor mínimo de 9,69mm, que corresponde a aumento na precipitação observada de 19% e 55% para vazão média e máxima e redução de 42% para vazão mínima. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Dezembro (Figura 32a).

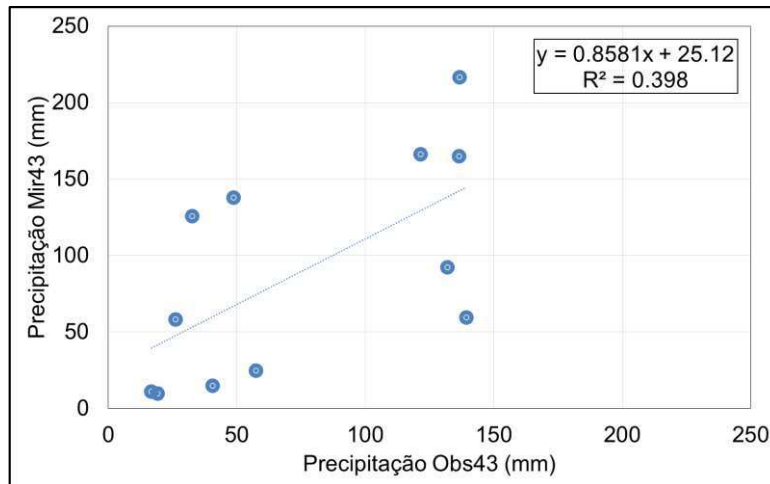
Para a climatologia mensal da precipitação simulada pelo EtaHadgem (Had43) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio foi de 38,16mm, o valor máximo de 71,60mm e o valor mínimo de 13,88mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 50%, 49% e 18%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Fevereiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Janeiro (Figura 32a).

O gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs43) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaMiroc5 (Mir43) está apresentado na Figura 32b. Neste, observa-se que o modelo gerou valores maiores em relação aos valores observados, de forma que o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,40, representando uma correlação baixa entre as variáveis.

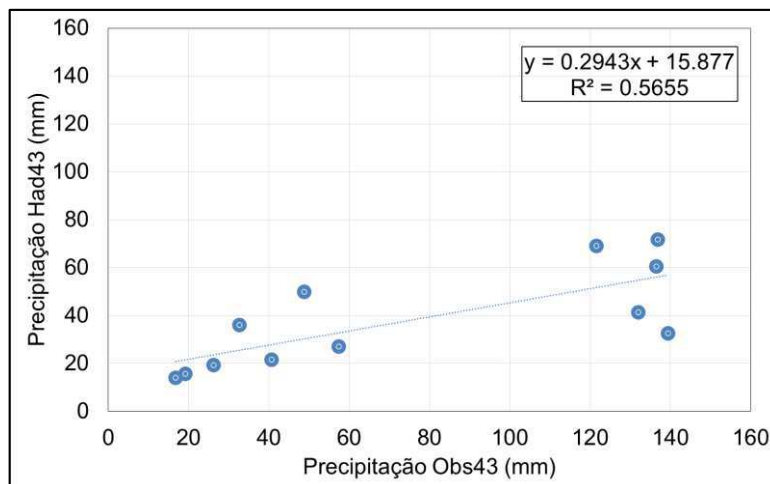
Figura 32. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de Quipapá no período de 1963 a 1990.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 32c apresenta o gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs43) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaHadgem (Had43). Neste, observa que o modelo gerou valores menores em relação aos valores observados, de forma que o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,56, que representa uma correlação baixa entre as variáveis.

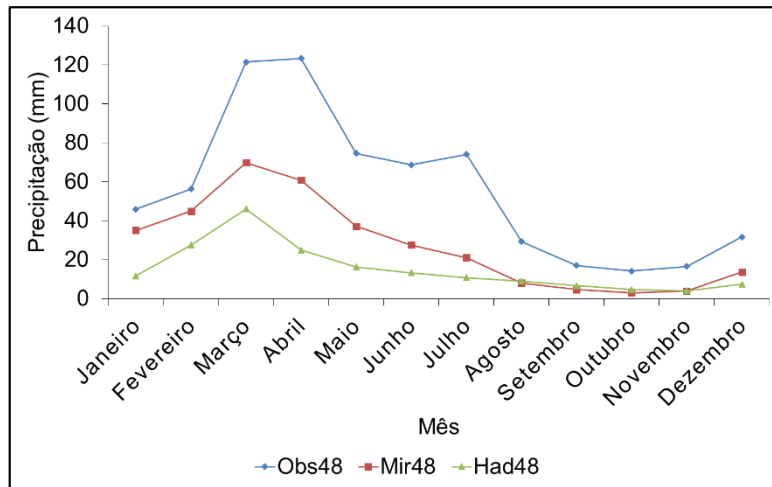
No município de São Bento do Una, a climatologia mensal da precipitação observada (Obs48) apresentou valor médio de 56,18mm, com valor máximo de 123,41mm e valor mínimo de 14,25mm. Os maiores valores de precipitação ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 33a).

Na precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir48) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio climatológico foi de 27,54mm, o valor máximo de 69,93mm e o valor mínimo de 3,11mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 51%, 43% e 78%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Dezembro (Figura 33a).

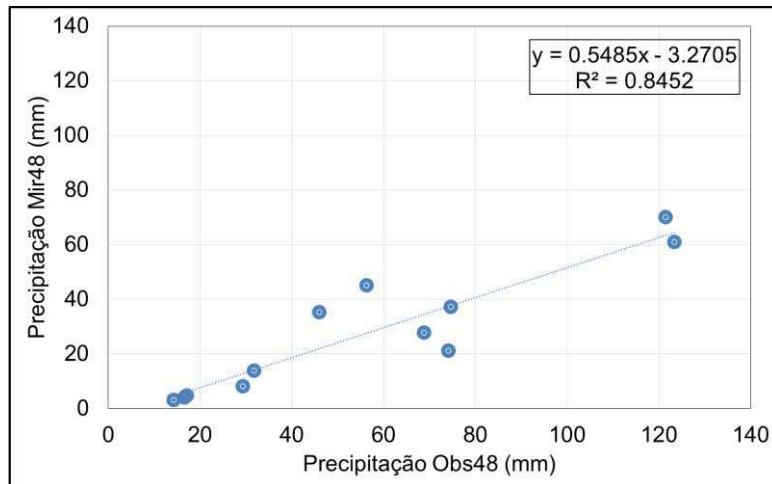
Para a climatologia mensal da precipitação simulada pelo EtaHadgem (Had48) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio foi de 15,25mm, o valor máximo de 46,08mm e o valor mínimo de 4,14mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 73%, 63% e 71%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Fevereiro a Abril e menores valores nos meses de Maio a Janeiro (Figura 33a).

O gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs48) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaMiroc5 (Mir48) está apresentado na Figura 33b. Neste, observa-se que o modelo gerou valores próximos aos valores observados, de forma que o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,84, representando uma correlação alta entre as variáveis.

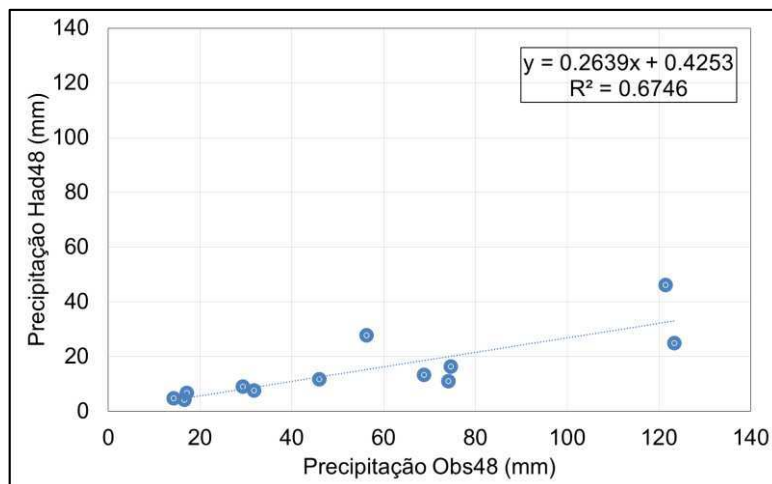
Figura 33. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de São Bento do Una no período de 1963 a 1990.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 33c apresenta o gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs48) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaHadgem (Had48). Neste, observa que o modelo gerou valores menores em relação aos valores observados, mas o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,67, que representa uma correlação boa entre as variáveis.

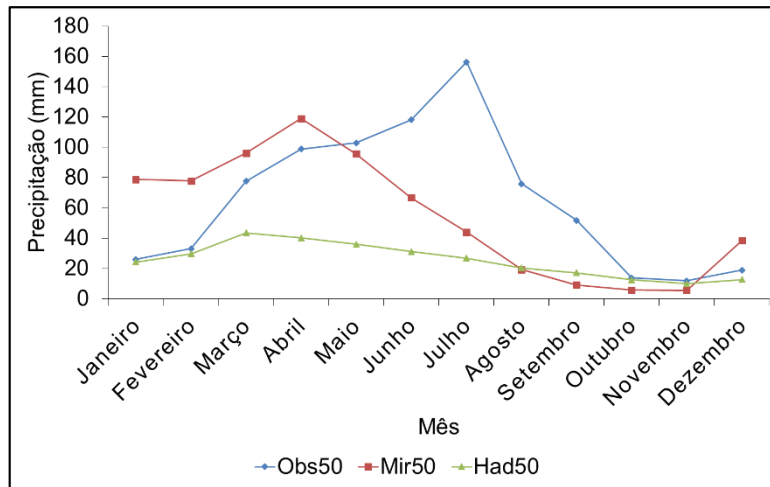
No município de São Joaquim do Monte, a climatologia mensal da precipitação observada (Obs50) apresentou valor médio de 65,44mm, com valor máximo de 156,35mm e valor mínimo de 11,89mm. Os maiores valores de precipitação ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 34a).

Na precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir50) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio climatológico foi de 54,67mm, o valor máximo de 119,02mm e o valor mínimo de 5,63mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 16%, 24% e 53%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Dezembro (Figura 34a).

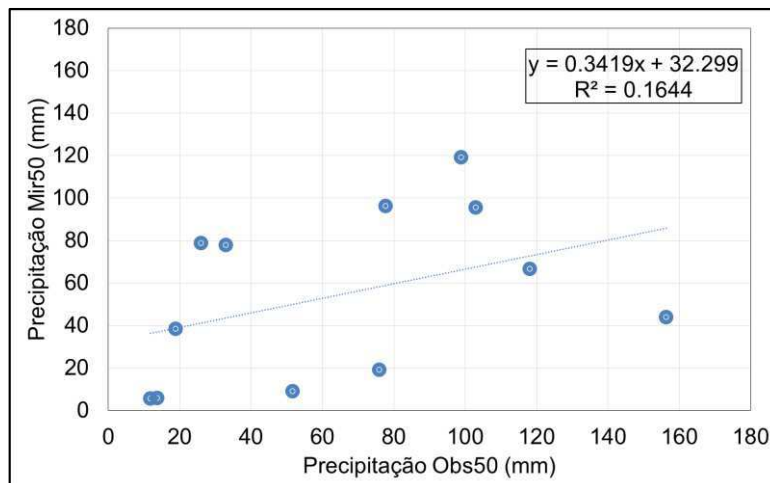
Para a climatologia mensal da precipitação simulada pelo EtaHadgem (Had50) e sem correção dos erros sistemáticos, o valor médio foi de 25,32mm, o valor máximo de 43,5mm e o valor mínimo de 9,87mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 61%, 72% e 17%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Fevereiro a Abril e menores valores nos meses de Maio a Janeiro (Figura 34a).

O gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs50) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaMiroc5 (Mir50) está apresentado na Figura 34b. Neste, observa-se que o modelo gerou valores menores aos valores observados, de forma que o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,16, representando uma correlação baixa entre as variáveis.

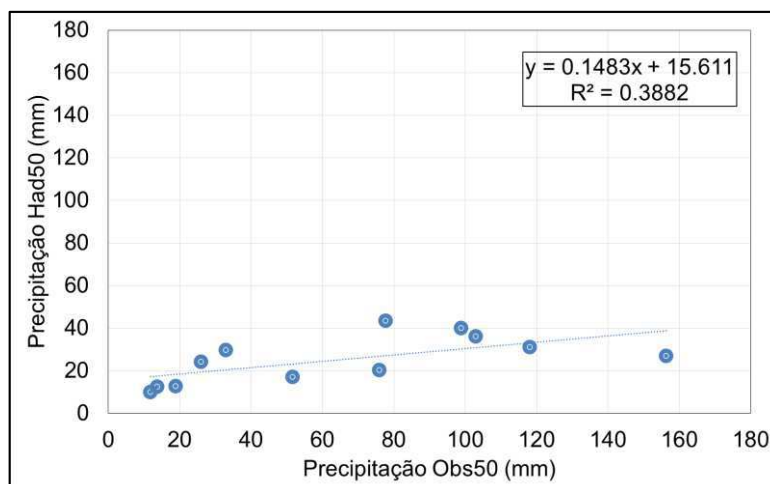
Figura 34. Climatologia mensal da precipitação observada e simulada pelos modelos (a), e sua respectiva dispersão, considerando o EtaMiroc5 (b) e o EtaHadgem (c), para o município de São Joaquim do Monte no período de 1963 a 1990.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 34c apresenta o gráfico de dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada (Obs50) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerado pelo modelo climático EtaHadgem (Had50). Neste, observa que o modelo gerou valores menores em relação aos valores observados, mas o valor calculado do coeficiente de determinação foi de 0,39, que representa uma correlação baixa entre as variáveis.

4.4.2 Período de 2020 a 2047

No município de Altinho, a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir5rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos, apresentou valor médio climatológico de 33,37mm, valor máximo de 80,88mm e valor mínimo de 2,35mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 34%, 10% e 82%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Dezembro (Figura 35a).

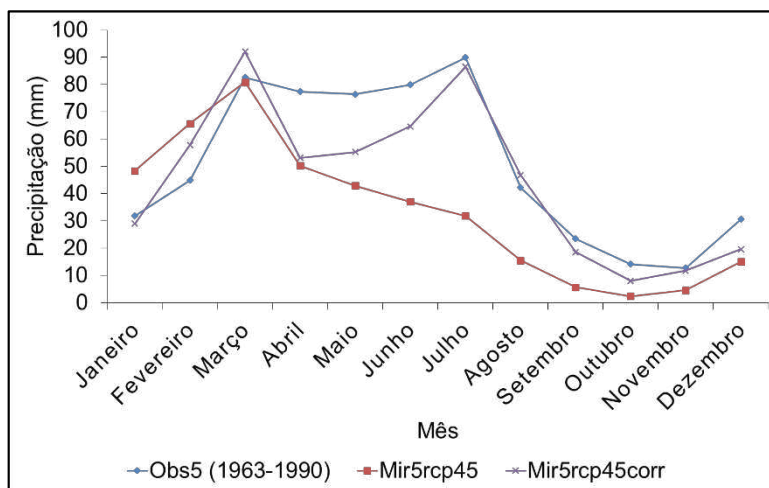
Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir5rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de 45,28mm, valor máximo de 92,07mm e valor mínimo de 8,03mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 10% e 37% nos valores médio e mínimo, respectivamente, e aumento de 2% no valor máximo. Os maiores valores ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 35a).

A Figura 35b apresenta a precipitação gerada pelo EtaHadgem (Had5rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos. O valor médio foi de 18,14mm, o valor máximo de 36,28mm e o valor mínimo de 6,98mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 64%, 60% e 45%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Fevereiro a Abril e menores valores nos meses de Maio a Janeiro.

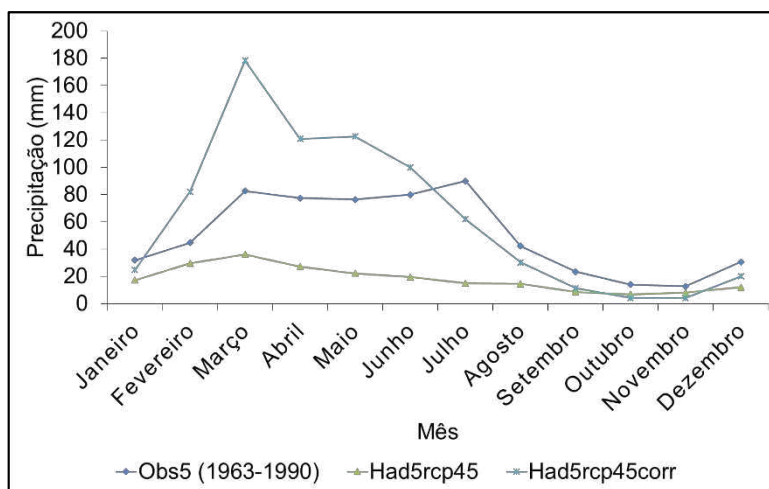
Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaHadgem (Had5rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de 63,43mm, valor máximo de 178,44mm e valor mínimo de 4,25mm, que corresponde a aumento na precipitação observada de 26% e 98% nos valores média e máxima, respectivamente, e redução de 67% no valor mínima. Os

maiores valores ocorreram nos meses de Março a Junho e menores valores nos meses de Julho a Fevereiro (Figura 35b).

Figura 35. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs5) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHadgem (b) no período de 2020 a 2047, para o município de Altinho.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 5 apresenta o valor do coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada para o período de 1963 a 1990 (Obs5) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerados pelos modelos climáticos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o período de 2020 a 2047. Nesta observa-se os valores antes e após o processo de correção dos erros sistemáticos.

Para os dados do modelo EtaMiroc5 tem-se: antes (Mir5rcp45) do processo de correção, valor de 0,43; e após (Mir5rcp45corr) o processo, valor de 0,85. Para os dados do modelo EtaHadm tem-se: antes (Had5rcp45) do processo de correção, valor de 0,46; e após (Had5rcp45corr) o processo, valor de 0,71.

Tabela 5. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de Altinho.

Cenário / Coeficiente de determinação	Antes da correção	Após a correção
Mir5rcp45	0,43	
Mir5rcp45corr		0,85
Had5rcp45	0,46	
Had5rcp45corr		0,71

Fonte. Autor, 2019.

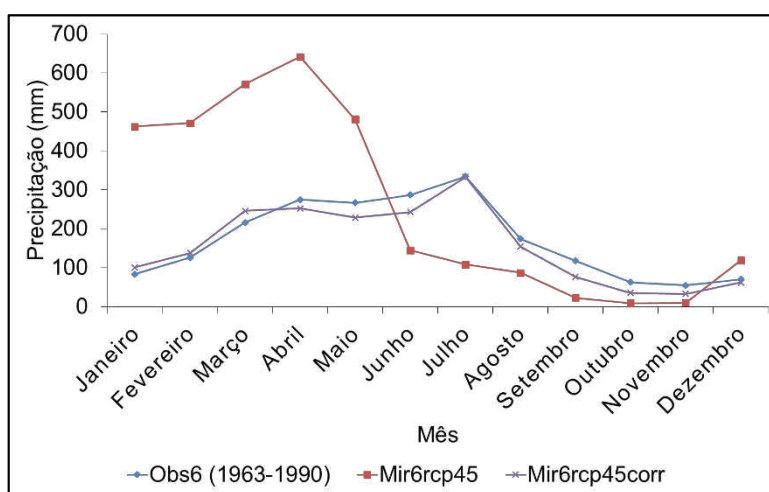
No município de Barreiros, a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir6rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos, apresentou valor médio climatológico de 260,87mm, valor máximo de 641,57mm e valor mínimo de 8,95mm, que corresponde a aumento na precipitação observada de 51% e 92% nos valores médio e máximo, respectivamente, e redução de 84% no valor mínimo. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Dezembro (Figura 36a).

Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir6rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de 158,77mm, valor máximo de 333,12mm e valor mínimo de 32,67mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 8% e 40% nos valores médio e mínimo, respectivamente, e sem alteração no valor máximo. Os maiores valores ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 36a).

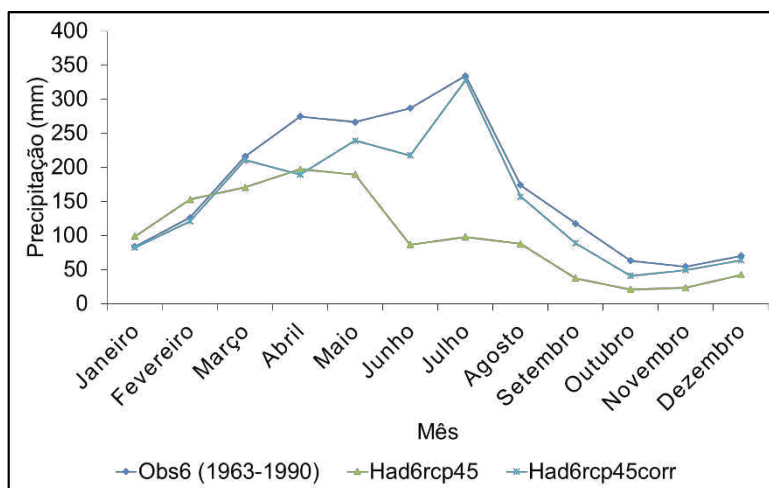
A Figura 36b apresenta a precipitação gerada pelo EtaHadm (Had6rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos. O valor médio foi de 100,52mm, o valor máximo de 197,00mm e o valor mínimo de 20,97mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 42%, 41% e 62%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Fevereiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Janeiro.

Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaHadm (Had6rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de 149,06mm, valor máximo de 327,88mm e valor mínimo de 41,11mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 14%, 2% e 25%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 36b).

Figura 36. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs6) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHadm (b) no período de 2020 a 2047, para o município de Barreiros.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 6 apresenta o valor do coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada para

o período de 1963 a 1990 (Obs6) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerados pelos modelos climáticos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o período de 2020 a 2047. Nesta observa-se os valores antes e após o processo de correção dos erros sistemáticos.

Para os dados do modelo EtaMiroc5 tem-se: antes (Mir6rcp45) do processo de correção, valor de 0,12; e após (Mir6rcp45corr) o processo, valor de 0,94. Para os dados do modelo EtaHadgem tem-se: antes (Had6rcp45) do processo de correção, valor de 0,40; e após (Had6rcp45corr) o processo, valor de 0,93.

Tabela 6. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de Barreiros.

Cenário / Coeficiente de determinação	Antes da correção	Após a correção
Mir6rcp45	0,12	
Mir6rcp45corr		0,94
Had6rcp45	0,40	
Had6rcp45corr		0,93

Fonte. Autor, 2019.

No município de Cachoeirinha, a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir14rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos, apresentou valor médio climatológico de 36,05mm, valor máximo de 101,70mm e valor mínimo de 1,92mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 5% e 60% nos valores médio e mínimo, respectivamente, e aumento de 19% no valor máximo. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Dezembro (Figura 37a).

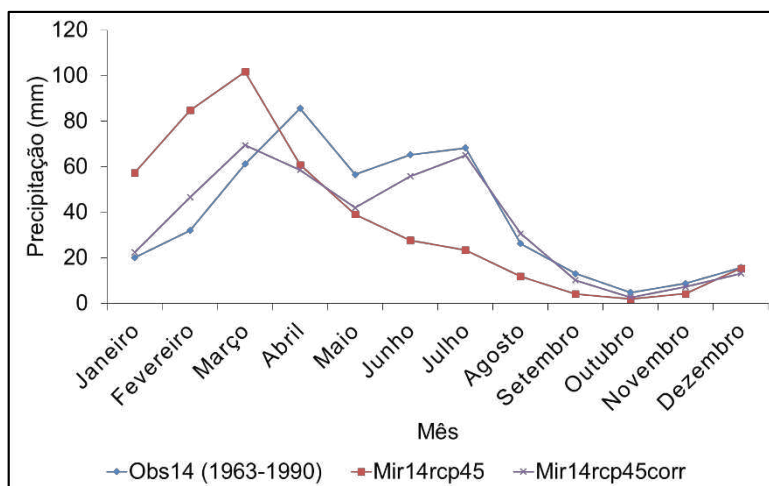
Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir14rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de 35,33mm, valor máximo de 69,46mm e valor mínimo de 2,69mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 7%, 19% e 44%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Fevereiro a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Janeiro (Figura 37a).

A Figura 37b apresenta a precipitação gerada pelo EtaHadgem (Had14rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos. O valor médio foi de 18,44mm, o valor máximo de 47,66mm e o valor mínimo de 5,09mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 52% e 44%, para valores

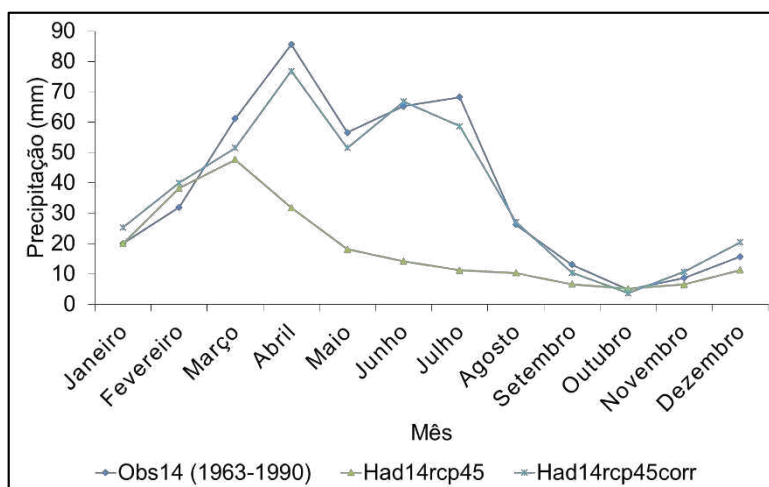
médio e máximo, respectivamente, e aumento de 5% no valor mínimo. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Abril e menores valores nos meses de Maio a Dezembro.

Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaHdgem (Had14rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de 36,93mm, valor máximo de 76,83mm e valor mínimo de 3,70mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 3%, 10% e 23%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 37b).

Figura 37. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs14) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHdgem (b) no período de 2020 a 2047, para o município de Cachoeirinha.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 7 apresenta o valor do coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada para o período de 1963 a 1990 (Obs14) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerados pelos modelos climáticos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o período de 2020 a 2047. Nesta observa-se os valores antes e após o processo de correção dos erros sistemáticos.

Para os dados do modelo EtaMiroc5 tem-se: antes (Mir14rcp45) do processo de correção, valor de 0,25; e após (Mir14rcp45corr) o processo, valor de 0,85. Para os dados do modelo EtaHadgem tem-se: antes (Had14rcp45) do processo de correção, valor de 0,27; e após (Had14rcp45corr) o processo, valor de 0,96.

Tabela 7. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de Cachoeirinha.

Cenário / Coeficiente de determinação	Antes da correção	Após a correção
Mir14rcp45	0,25	
Mir14rcp45corr		0,85
Had14rcp45	0,27	
Had14rcp45corr		0,96

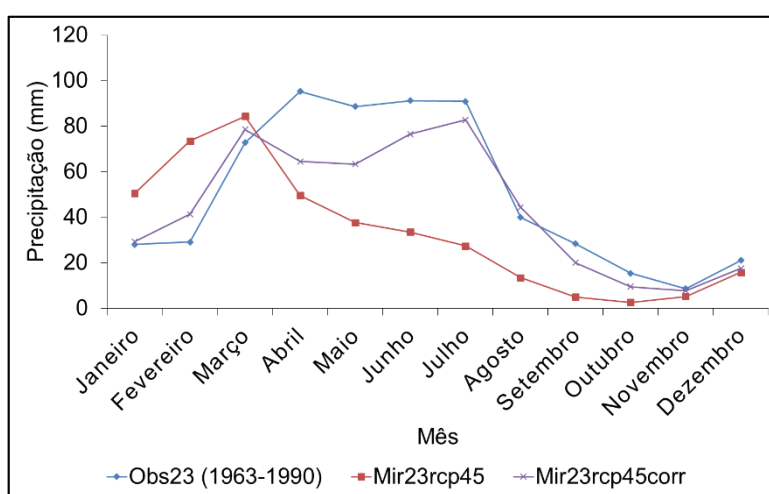
Fonte. Autor, 2019.

No município de Ibirajuba, a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir23rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos, apresentou valor médio climatológico de 33,24mm, valor máximo de 84,36mm e valor mínimo de 2,64mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 35%, 12% e 69%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Dezembro (Figura 38a).

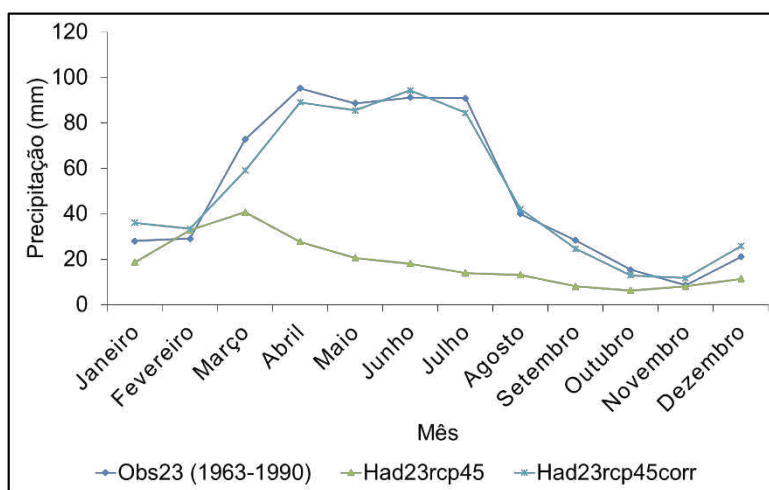
Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir23rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de 44,63mm, valor máximo de 82,73mm e valor mínimo de 7,79mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 12%, 13% e 10%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 38a).

A Figura 38b apresenta a precipitação gerada pelo EtaHadgem (Had23rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos. O valor médio foi de 18,34mm, o valor máximo de 40,70mm e o valor mínimo de 6,25mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 64%, 57% e 28%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Abril e menores valores nos meses de Maio a Dezembro.

Figura 38. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs23) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHadgem (b) no período de 2020 a 2047, para o município de Ibirajuba.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2019.

Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaHadgem (Had23rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de

49,89mm, valor máximo de 94,31mm e valor mínimo de 11,73mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 2% e 1%, nos valores médio e máximo, respectivamente, e aumento de 36% no valor mínimo. Os maiores valores ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 38b).

A Tabela 8 apresenta o valor do coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada para o período de 1963 a 1990 (Obs23) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerados pelos modelos climáticos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o período de 2020 a 2047. Nesta observa-se os valores antes e após o processo de correção dos erros sistemáticos.

Para os dados do modelo EtaMiroc5 tem-se: antes (Mir23rcp45) do processo de correção, valor de 0,17; e após (Mir23rcp45corr) o processo, valor de 0,88. Para os dados do modelo EtaHadgem tem-se: antes (Had23rcp45) do processo de correção, valor de 0,21; e após (Had23rcp45corr) o processo, valor de 0,97.

Tabela 8. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de Ibirajuba.

Cenário / Coeficiente de determinação	Antes da correção	Após a correção
Mir23rcp45	0,17	
Mir23rcp45corr		0,88
Had23rcp45	0,21	
Had23rcp45corr		0,97

Fonte. Autor, 2019.

No município de Maraial, a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir34rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos, apresentou valor médio climatológico de 126,91mm, valor máximo de 302,73mm e valor mínimo de 6,45mm, que corresponde a aumento na precipitação observada de 8% e 40% nos valores médio e máximo e redução de 84% no valor mínimo. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Dezembro (Figura 39a).

Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir34rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de 106,12mm,

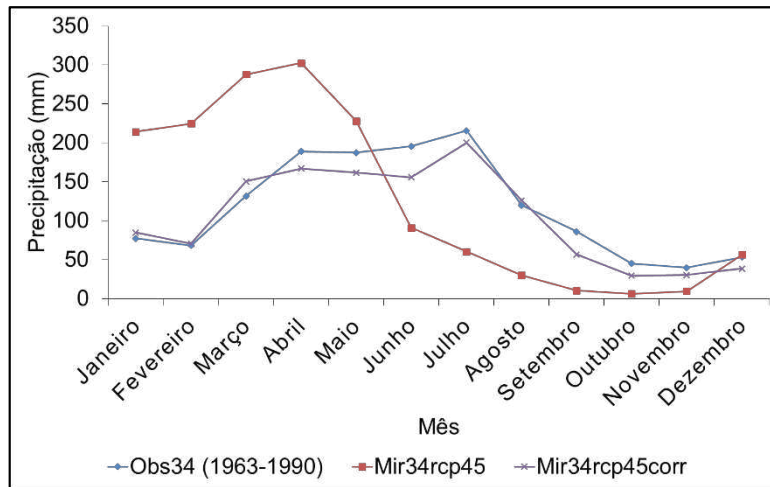
valor máximo de 200,29mm e valor mínimo de 29,49mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 10%, 7% e 26%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 39a).

A Figura 39b apresenta a precipitação gerada pelo EtaHadgem (Had34rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos. O valor médio foi de 44,52mm, o valor máximo de 82,72mm e o valor mínimo de 15,31mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 62% em todos os valores. Os maiores valores ocorreram nos meses de Fevereiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Janeiro.

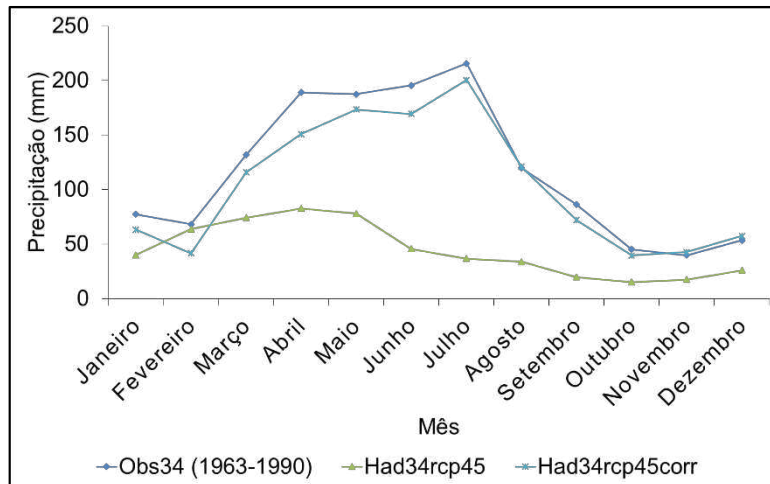
Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaHadgem (Had34rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de 104,01mm, valor máximo de 200,61mm e valor mínimo de 39,73mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 12%, 7% e 1%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 39b).

A Tabela 9 apresenta o valor do coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada para o período de 1963 a 1990 (Obs34) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerados pelos modelos climáticos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o período de 2020 a 2047. Nesta observa-se os valores antes e após o processo de correção dos erros sistemáticos.

Figura 39. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs34) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHadgem (b) no período de 2020 a 2047, para o município de Maraiá.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2019.

Para os dados do modelo EtaMiroc5 tem-se: antes (Mir34rcp45) do processo de correção, valor de 0,13; e após (Mir34rcp45corr) o processo, valor de 0,93. Para os dados do modelo EtaHadgem tem-se: antes (Had34rcp45) do processo de correção, valor de 0,34; e após (Had34rcp45corr) o processo, valor de 0,97.

Tabela 9. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de Maraial.

Cenário / Coeficiente de determinação	Antes da correção	Após a correção
Mir34rcp45	0,13	
Mir34rcp45corr		0,93
Had34rcp45	0,34	
Had34rcp45corr		0,97

Fonte. Autor, 2019.

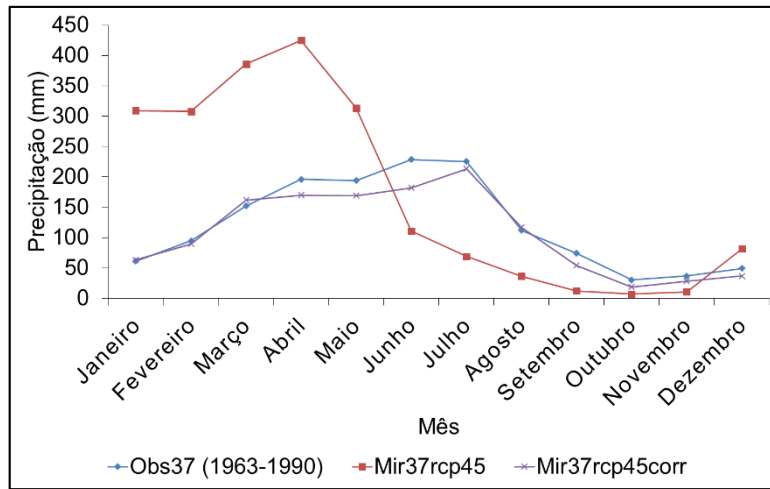
No município de Palmares, a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir37rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos, apresentou valor médio climatológico de 172,41mm, valor máximo de 424,82mm e valor mínimo de 6,97mm, que corresponde a aumento na precipitação observada de 42% e 86% nos valores médio e máximo e redução de 77% no valor mínimo. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Dezembro (Figura 40a).

Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir37rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de 108,66mm, valor máximo de 213,39mm e valor mínimo de 18,90mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 10%, 7% e 38%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 40a).

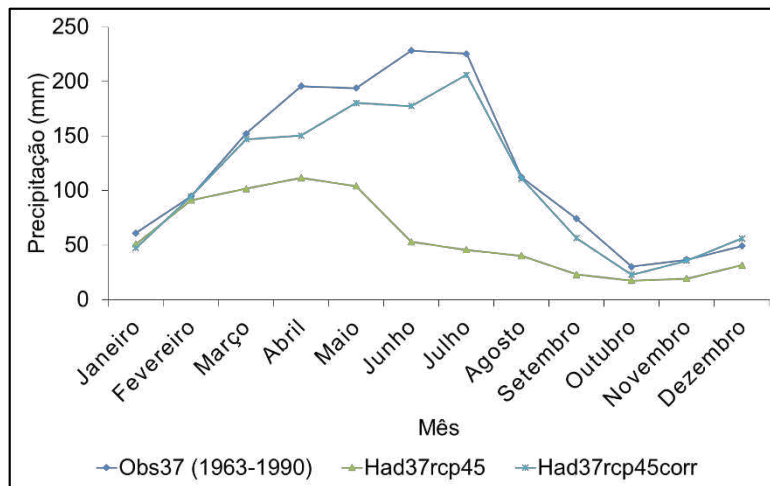
A Figura 40b apresenta a precipitação gerada pelo EtaHadm (Had37rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos. O valor médio foi de 57,61mm, o valor máximo de 111,91mm e o valor mínimo de 17,52mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 52%, 51% e 42%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Fevereiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Janeiro.

Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaHadm (Had37rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de 107,20mm, valor máximo de 206,30mm e valor mínimo de 22,86mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 12%, 10% e 25%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 40b).

Figura 40. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs37) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHadgem (b) no período de 2020 a 2047, para o município de Palmares.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 10 apresenta o valor do coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada para o período de 1963 a 1990 (Obs37) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerados pelos modelos climáticos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o período de 2020 a 2047. Nesta observa-se os valores antes e após o processo de correção dos erros sistemáticos.

Para os dados do modelo EtaMiroc5 tem-se: antes (Mir37rcp45) do processo de correção, valor de 0,15; e após (Mir37rcp45corr) o processo, valor

de 0,96. Para os dados do modelo EtaHadgem tem-se: antes (Had37rcp45) do processo de correção, valor de 0,35; e após (Had37rcp45corr) o processo, valor de 0,96.

Tabela 10. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de Palmares.

Cenário / Coeficiente de determinação	Antes da correção	Após a correção
Mir37rcp45	0,15	
Mir37rcp45corr		0,96
Had37rcp45	0,35	
Had37rcp45corr		0,96

Fonte. Autor, 2019.

No município de Panelas, a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir40rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos, apresentou valor médio climatológico de 48,45mm, valor máximo de 106,75mm e valor mínimo de 3,67mm, que corresponde a aumento na precipitação observada de 2% e 7% nos valores médio e máximo e redução de 61% no valor mínimo. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Dezembro (Figura 41a).

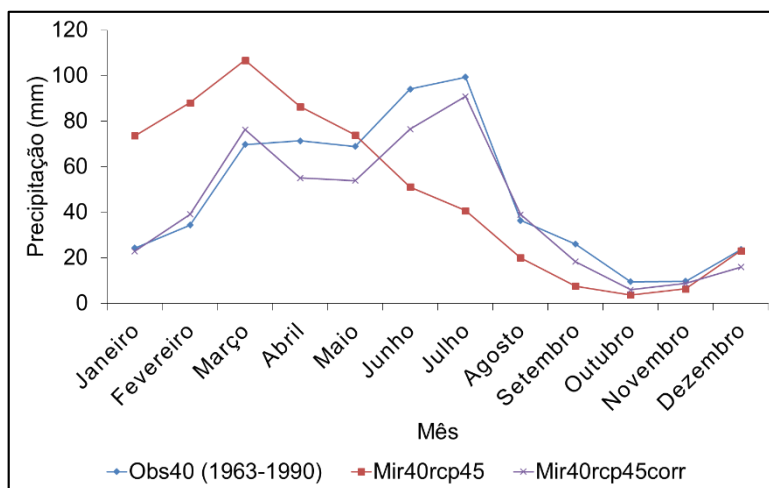
Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir40rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de 41,88mm, valor máximo de 90,88mm e valor mínimo de 5,92mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 11%, 9% e 37%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 41a).

A Figura 41b apresenta a precipitação gerada pelo EtaHadgem (Had40rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos. O valor médio foi de 23,26mm, o valor máximo de 40,53mm e o valor mínimo de 9,51mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 51% e 59% nos valores médio e máximo, respectivamente, e aumento de 1% no valor mínimo. Os maiores valores ocorreram nos meses de Fevereiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Janeiro.

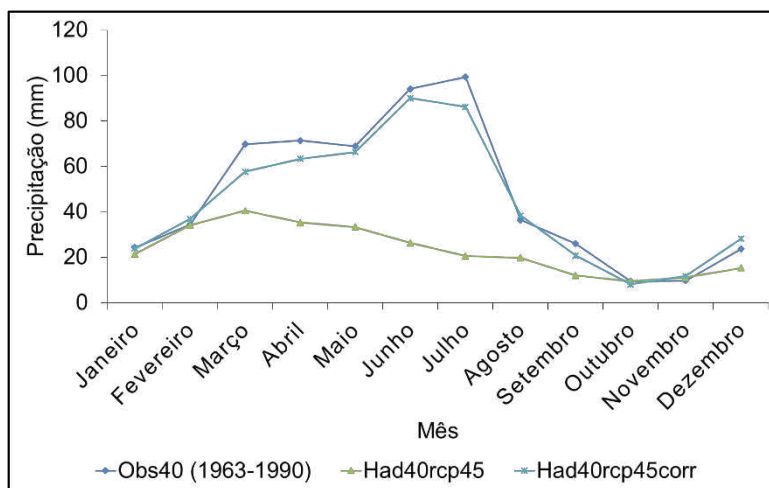
Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaHadgem (Had40rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de

44,29mm, valor máximo de 90,05mm e valor mínimo de 8,14mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 6%, 9% e 14%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 41b).

Figura 41. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs40) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHadgem (b) no período de 2020 a 2047, para o município de Panelas.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 11 apresenta o valor do coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada para o período de 1963 a 1990 (Obs40) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerados pelos modelos climáticos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o

período de 2020 a 2047. Nesta observa-se os valores antes e após o processo de correção dos erros sistemáticos.

Para os dados do modelo EtaMiroc5 tem-se: antes (Mir40rcp45) do processo de correção, valor de 0,26; e após (Mir40rcp45corr) o processo, valor de 0,94. Para os dados do modelo EtaHadgem tem-se: antes (Had40rcp45) do processo de correção, valor de 0,37; e após (Had40rcp45corr) o processo, valor de 0,98.

Tabela 11. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de Panelas.

Cenário / Coeficiente de determinação	Antes da correção	Após a correção
Mir40rcp45	0,26	
Mir40rcp45corr		0,94
Had40rcp45	0,37	
Had40rcp45corr		0,98

Fonte. Autor, 2019.

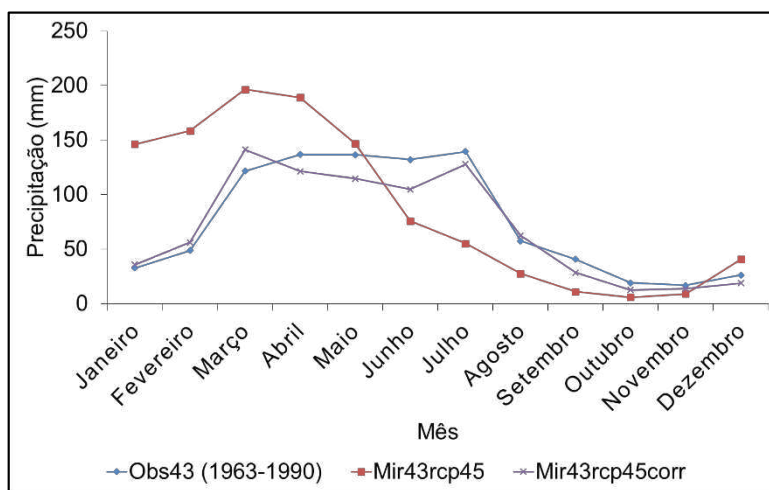
No município de Quipapá a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir43rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos, apresentou valor médio climatológico de 88,63mm, valor máximo de 196,58mm e valor mínimo de 6,04mm, que corresponde a aumento na precipitação observada de 17% e 41% nos valores médio e máximo e redução de 64% no valor mínimo. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Dezembro (Figura 42a).

Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir43rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de 69,88mm, valor máximo de 141,42mm e valor mínimo de 12,67mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 8% e 25%, nos valores médio e mínimo, respectivamente, e aumento de 1% no valor máximo. Os maiores valores ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 42a).

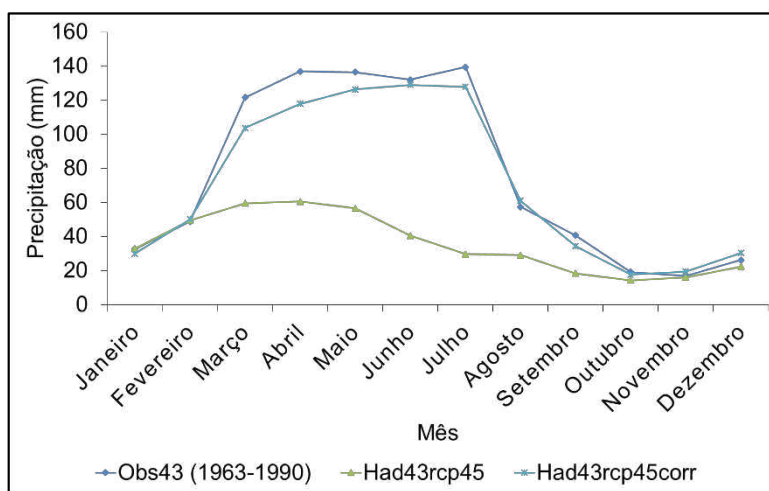
A Figura 42b apresenta a precipitação gerada pelo EtaHadgem (Had43rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos. O valor médio foi de 88,63mm, o valor máximo de 196,58mm e o valor mínimo de 6,04mm, que corresponde a aumento na precipitação observada de 17% e 41% nos valores

médio e máximo, respectivamente, e redução de 64% no valor mínimo. Os maiores valores ocorreram nos meses de Fevereiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Janeiro.

Figura 42. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs43) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHadgem (b) no período de 2020 a 2047, para o município de Quipapá.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2019.

Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaHadgem (Had43rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de 70,69mm, valor máximo de 129,04mm e valor mínimo de 17,72mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 7%, no valores médio e mínimo e aumento de 5% no valor máximo. Os maiores valores ocorreram nos

meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 42b).

A Tabela 12 apresenta o valor do coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada para o período de 1963 a 1990 (Obs43) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerados pelos modelos climáticos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o período de 2020 a 2047. Nesta observa-se os valores antes e após o processo de correção dos erros sistemáticos.

Para os dados do modelo EtaMiroc5 tem-se: antes (Mir43rcp45) do processo de correção, valor de 0,29; e após (Mir43rcp45corr) o processo, valor de 0,94. Para os dados do modelo EtaHadgem tem-se: antes (Had43rcp45) do processo de correção, valor de 0,54; e após (Had43rcp45corr) o processo, valor de 0,99.

Tabela 12. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de Quipapá.

Cenário / Coeficiente de determinação	Antes da correção	Após a correção
Mir43rcp45	0,29	
Mir43rcp45corr		0,94
Had43rcp45	0,54	
Had43rcp45corr		0,99

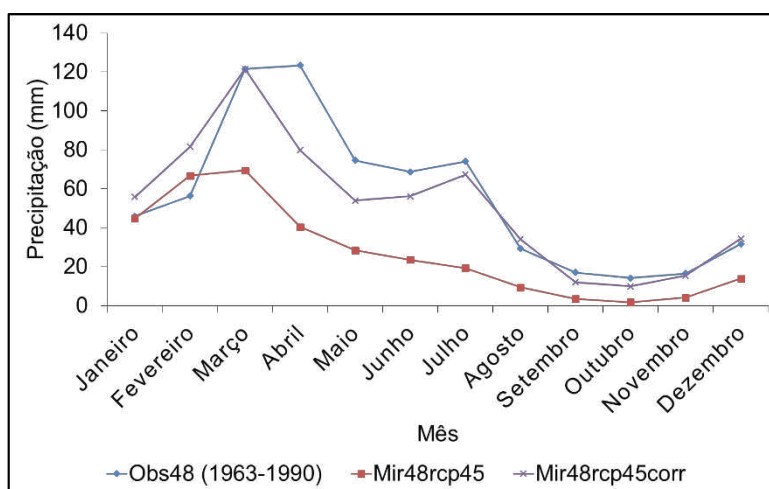
Fonte. Autor, 2019.

No município de São Bento do Una, a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir48rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos, apresentou valor médio climatológico de 27,15mm, valor máximo de 69,45mm e valor mínimo de 1,84mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 52%, 44% e 87%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Dezembro (Figura 43a).

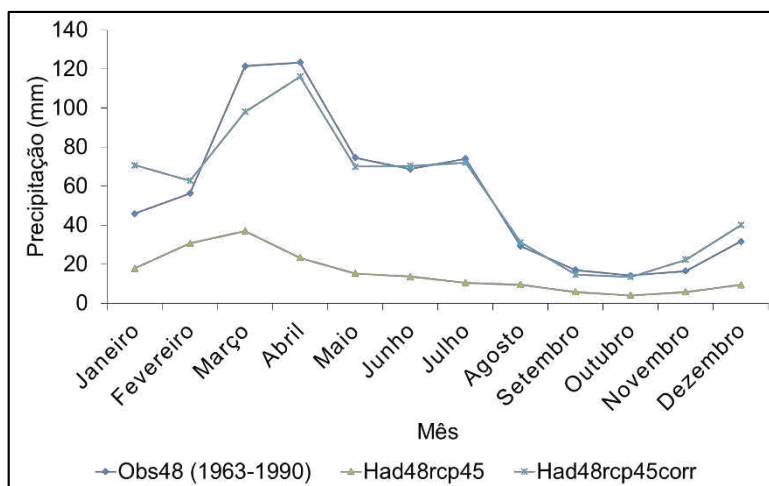
Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir48rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de 51,88mm, valor máximo de 121,54mm e valor mínimo de 10,00mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 8%, 2% e 30%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Fevereiro a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Janeiro (Figura 43a).

A Figura 43b apresenta a precipitação gerada pelo EtaHadgem (Had48rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos. O valor médio foi de 15,32mm, o valor máximo de 37,15mm e o valor mínimo de 4,12mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 73%, 70% e 71%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Abril e menores valores nos meses de Maio a Dezembro.

Figura 43. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs48) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHadgem (b) no período de 2020 a 2047, para o município de São Bento do Una.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2019.

Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaHadgem (Had48rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de

56,89mm, valor máximo de 116,23mm e valor mínimo de 13,63mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 6% e 4%, nos valores máximo e mínimo, respectivamente, e aumento de 1% no valor médio. Os maiores valores ocorreram nos meses de Março a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Fevereiro (Figura 43b).

A Tabela 13 apresenta o valor do coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada para o período de 1963 a 1990 (Obs48) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerados pelos modelos climáticos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o período de 2020 a 2047. Nesta observa-se os valores antes e após o processo de correção dos erros sistemáticos.

Para os dados do modelo EtaMiroc5 tem-se: antes (Mir48rcp45) do processo de correção, valor de 0,50; e após (Mir48rcp45corr) o processo, valor de 0,80. Para os dados do modelo EtaHadgem tem-se: antes (Had48rcp45) do processo de correção, valor de 0,60; e após (Had48rcp45corr) o processo, valor de 0,92.

Tabela 13. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de São Bento do Una.

Cenário / Coeficiente de determinação	Antes da correção	Após a correção
Mir48rcp45	0,50	
Mir48rcp45corr		0,80
Had48rcp45	0,60	
Had48rcp45corr		0,92

Fonte. Autor, 2019.

No município de São Joaquim do Monte, a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir50rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos, apresentou valor médio climatológico de 48,77mm, valor máximo de 103,94mm e valor mínimo de 3,07mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 25%, 34% e 74%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Janeiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Dezembro (Figura 44a).

Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaMiroc5 (Mir50rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de 57,94mm,

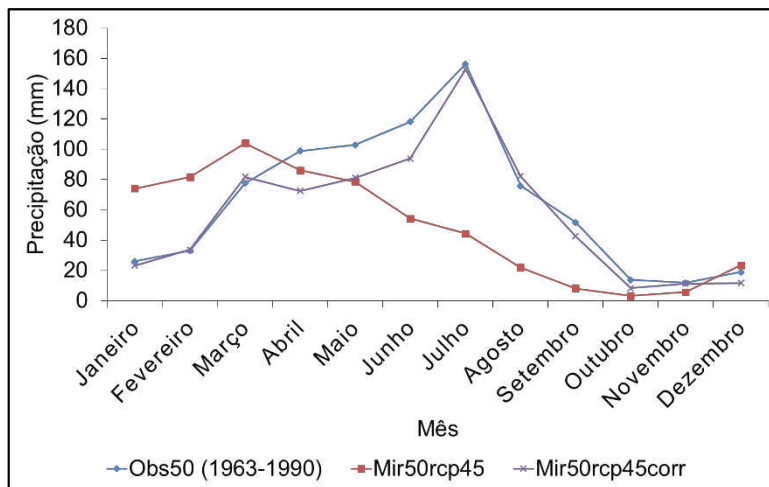
valor máximo de 152,75mm e valor mínimo de 8,30mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 11%, 2% e 30%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Março a Agosto e menores valores nos meses de Setembro a Fevereiro (Figura 44a).

A Figura 44b apresenta a precipitação gerada pelo EtaHadgem (Had50rcp45), antes da correção dos erros sistemáticos. O valor médio foi de 23,22mm, o valor máximo de 37,02mm e o valor mínimo de 9,73mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 65%, 76% e 18%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Fevereiro a Maio e menores valores nos meses de Junho a Janeiro.

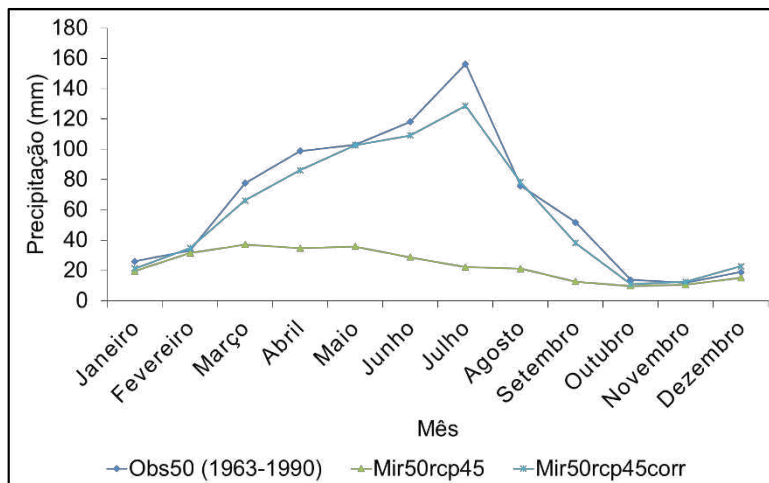
Após a correção dos erros sistemáticos, a precipitação gerada pelo EtaHadgem (Had50rcp45corr), apresentou valor médio climatológico de 59,29mm, valor máximo de 128,61mm e valor mínimo de 10,91mm, que corresponde a redução na precipitação observada de 9%, 18% e 8%, respectivamente. Os maiores valores ocorreram nos meses de Abril a Julho e menores valores nos meses de Agosto a Março (Figura 44b).

A Tabela 14 apresenta o valor do coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre os dados da climatologia mensal da precipitação observada para o período de 1963 a 1990 (Obs50) e os dados da climatologia mensal da precipitação gerados pelos modelos climáticos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o período de 2020 a 2047. Nesta observa-se os valores antes e após o processo de correção dos erros sistemáticos.

Figura 44. Climatologia mensal da precipitação observada (Obs50) no período de 1963 a 1990, e simulada pelo EtaMiroc5 (a) e pelo EtaHadgem (b) no período de 2020 a 2047, para o município de São Joaquim do Monte.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2019.

Para os dados do modelo EtaMiroc5 tem-se: antes (Mir50rcp45) do processo de correção, valor de 0,14; e após (Mir50rcp45corr) o processo, valor de 0,95. Para os dados do modelo EtaHadgem tem-se: antes (Had50rcp45) do processo de correção, valor de 0,32; e após (Had50rcp45corr) o processo, valor de 0,97.

Tabela 14. Coeficiente de determinação calculado pela dispersão entre a climatologia mensal da precipitação observada e gerada pelos modelos, para o município de São Joaquim do Monte.

Cenário / Coeficiente de determinação	Antes da correção	Após a correção
Mir50rcp45	0,14	
Mir50rcp45corr		0,95
Had50rcp45	0,32	
Had50rcp45corr		0,97

Fonte. Autor, 2019.

Souza et al. (2019) avaliaram, para o Estado do Tocantins, as mudanças climáticas projetadas pelo modelo climático regional ETA aninhado pelos modelos globais HadGEM2-ES e MIROC5. No estudo foi considerado os período de tempo de: de 2011 a 2040 e 2041 a 2070, e as trajetórias representativas de concentração, RCP 4.5 e RCP 8.5. Dessa forma, indicaram possibilidade de redução da precipitação na região.

4.5 Cenário de vazão para o período de 2020 a 2047.

No processo de simulação de cenário de vazão, fez-se necessário utilizar o modelo hidrológico ajustado pelos parâmetros calculados no processo de calibração. Neste, considerou-se dados de cenários climáticos dos modelos EtaHadm e EtaMiroc5, para o período de 2020 a 2047. A simulação foi realizada nos 5 (cinco) postos fluviométricos, sendo eles: Cachoeirinha, Capivara, Belém de Maria, Catende e Palmares.

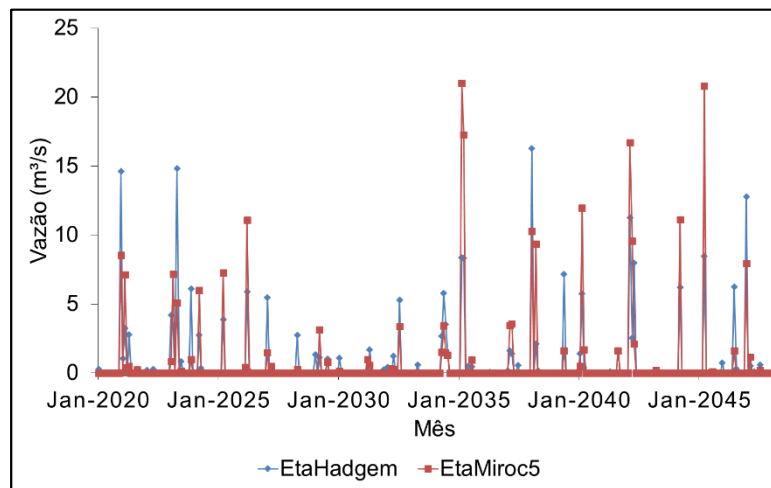
No posto de Cachoeirinha a série temporal mensal da vazão simulada com dado do modelo EtaHadm apresentou valor médio de 0,64m³/s, com valor máximo de 16,28m³/s e valor mínimo de 0,0m³/s. Enquanto, na série temporal mensal da vazão simulada com dado do modelo EtaMiroc5, o valor médio foi de 0,68m³/s, com valor máximo de 21,02m³/s e valor mínimo de 0,0m³/s (Figura 45a).

Para a vazão sazonal simulada com dado do modelo EtaHadm, o valor médio foi de 0,64m³/s, o valor máximo de 1,5m³/s, e o valor mínimo de 0,0m³/s. Os meses de Janeiro a Abril apresentaram valores maiores, enquanto os meses de Maio a Dezembro valores reduzidos (Figura 45b). Dessa forma, os valores

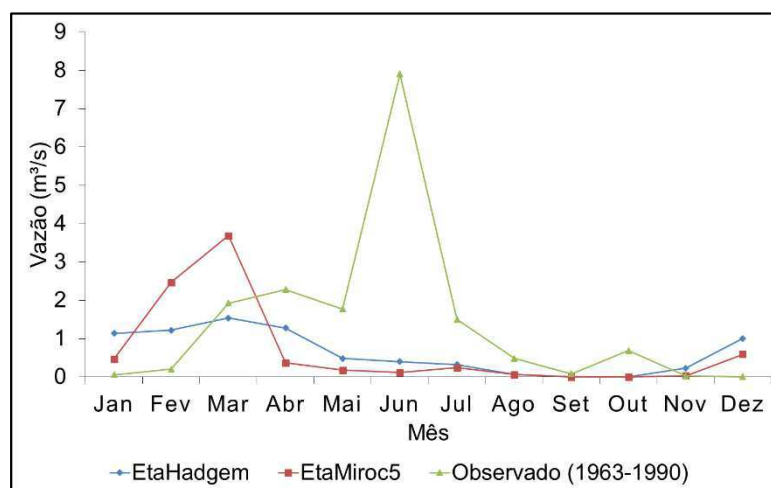
simulados apresentaram redução de 55% e 81%, nos valores de vazão média e máxima, respectivamente.

Para a vazão sazonal simulada com dado do modelo EtaMiroc5, o valor médio foi de $0,68\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $3,7\text{m}^3/\text{s}$, e o valor mínimo de $0,0\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de Janeiro a Abril apresentaram valores maiores, enquanto os meses de Maio a Dezembro valores reduzidos (Figura 45b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram redução de 51% e 53%, nos valores de vazão média e máxima, respectivamente.

Figura 45. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões simuladas, considerando os modelos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o período 2020 a 2047 no posto fluviométrico de Cachoeirinha.



(a)

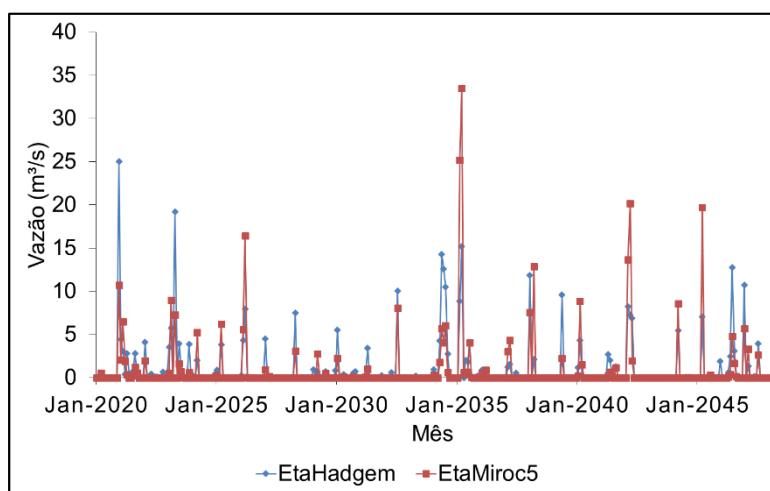


(b)

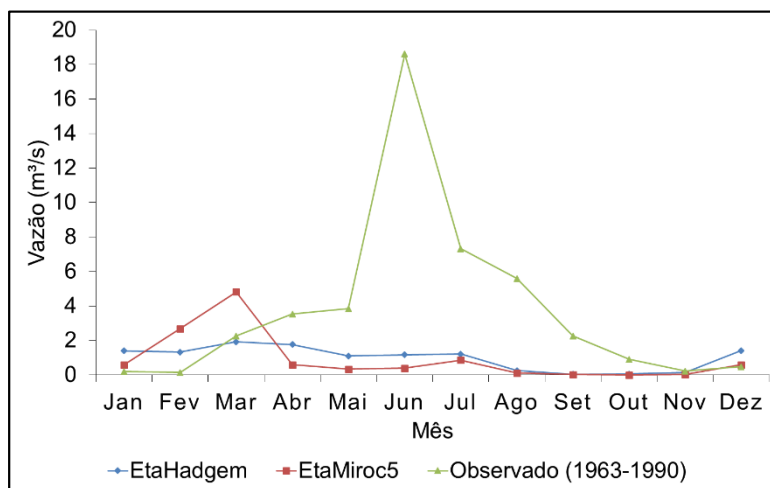
Fonte: Autor, 2019.

No posto de Capivara a série temporal mensal da vazão simulada com dado do modelo EtaHadgem apresentou valor médio de $0,99\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $25,03\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,0\text{m}^3/\text{s}$. Enquanto, na série temporal mensal da vazão simulada com dado do modelo EtaMiroc5, o valor médio foi de $0,92\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $33,52\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,0\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 46a).

Figura 46. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões simuladas, considerando os modelos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o período 2020 a 2047 no posto fluviométrico de Capivara.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2019.

Para a vazão sazonal simulada com dado do modelo EtaHadgem, o valor médio foi de $0,99\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $1,92\text{m}^3/\text{s}$, e o valor mínimo de $0,4\text{m}^3/\text{s}$.

Os meses de Janeiro a Julho apresentaram valores maiores, enquanto os meses de Maio a Dezembro valores reduzidos (Figura 46b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram redução de 74% e 90%, nos valores de vazão média e máxima, respectivamente.

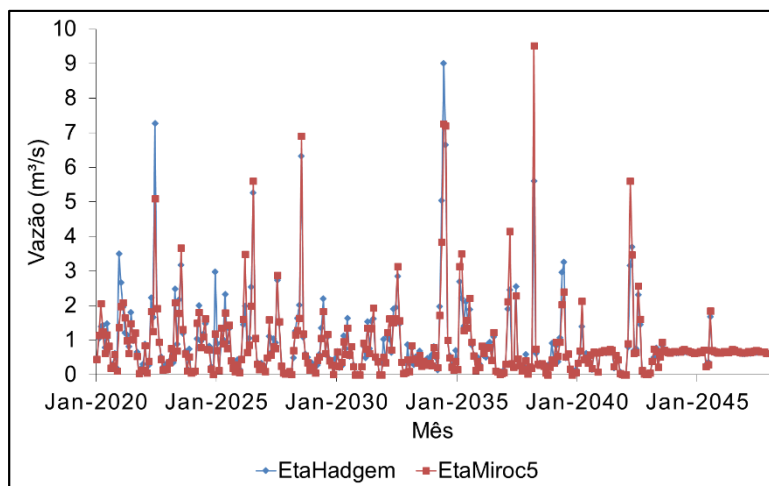
Para a vazão sazonal simulada com dado do modelo EtaMiroc5, o valor médio foi de $0,92\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $4,82\text{m}^3/\text{s}$, e o valor mínimo de $0,0\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de Janeiro a Abril apresentaram valores maiores, enquanto os meses de Maio a Dezembro valores reduzidos (Figura 46b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram redução de 76% e 74%, nos valores de vazão média e máxima, respectivamente.

No posto de Belém de Maria a série temporal mensal da vazão simulada com dado do modelo EtaHadgem apresentou valor médio de $0,88\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $9,01\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,0\text{m}^3/\text{s}$. Enquanto, na série temporal mensal da vazão simulada com dado do modelo EtaMiroc5, o valor médio foi de $0,86\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $9,51\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,0\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 47a).

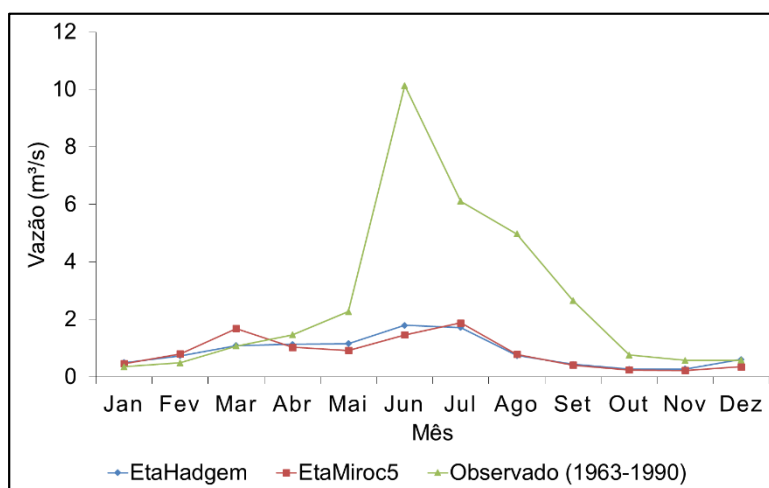
Para a vazão sazonal simulada com dado do modelo EtaHadgem, o valor médio foi de $0,88\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $1,80\text{m}^3/\text{s}$, e o valor mínimo de $0,27\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de Março a Agosto apresentaram valores maiores, enquanto os meses de Setembro a Fevereiro valores reduzidos (Figura 47b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram redução de 67% e 82%, nos valores de vazão média e máxima, respectivamente.

Para a vazão sazonal simulada com dado do modelo EtaMiroc5, o valor médio foi de $0,86\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $1,88\text{m}^3/\text{s}$, e o valor mínimo de $0,23\text{m}^3/\text{s}$. Os meses de Março a Julho apresentaram valores maiores, enquanto os meses de Agosto a Fevereiro valores reduzidos (Figura 47b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram redução de 67% e 81%, nos valores de vazão média e máxima, respectivamente.

Figura 47. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões simuladas, considerando os modelos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o período 2020 a 2047 no posto fluviométrico de Belém de Maria.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2019.

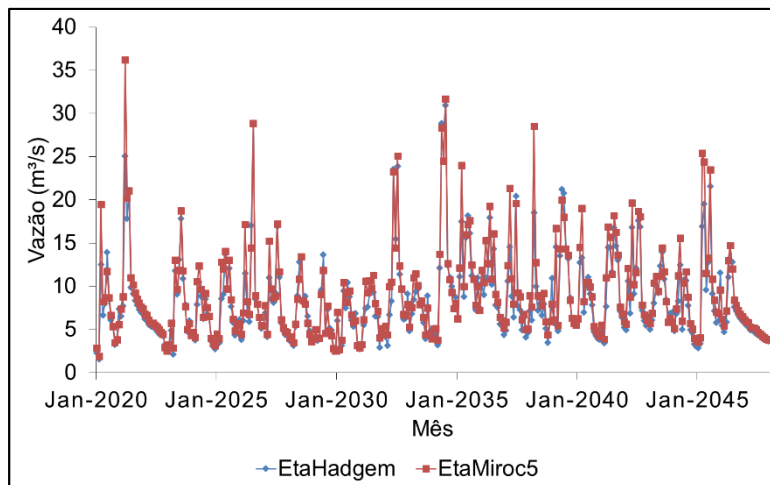
No posto de Catende a série temporal mensal da vazão simulada com dado do modelo EtaHadgem apresentou valor médio de $8,32\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $30,94\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $1,57\text{m}^3/\text{s}$. Enquanto, na série temporal mensal da vazão simulada com dado do modelo EtaMiroc5, o valor médio foi de $9,05\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $36,19\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $1,89\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 48a).

Para a vazão sazonal simulada com dado do modelo EtaHadgem, o valor médio foi de $8,32\text{m}^3/\text{s}$, o valor máximo de $13,08\text{m}^3/\text{s}$, e o valor mínimo de

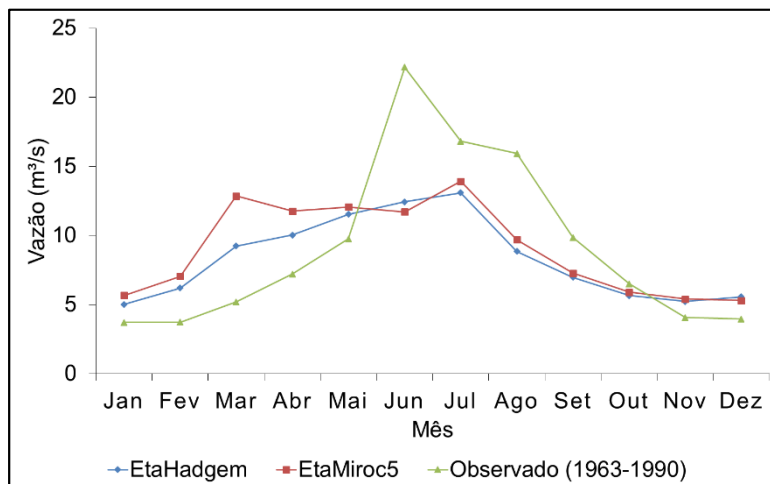
5,02m³/s. Os meses de Março a Agosto apresentaram valores maiores, enquanto os meses de Setembro a Fevereiro valores reduzidos (Figura 48b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram redução de 8% e 41%, nos valores de vazão média e máxima, respectivamente.

Para a vazão sazonal simulada com dado do modelo EtaMiroc5, o valor médio foi de 9,05m³/s, o valor máximo de 13,92m³/s, e o valor mínimo de 5,30m³/s. Os meses de Março a Julho apresentaram valores maiores, enquanto os meses de Agosto a Fevereiro valores reduzidos (Figura 48b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram redução de 37% no valor de vazão máxima.

Figura 48. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões simuladas, considerando os modelos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o período 2020 a 2047 no posto fluviométrico de Catende.



(a)

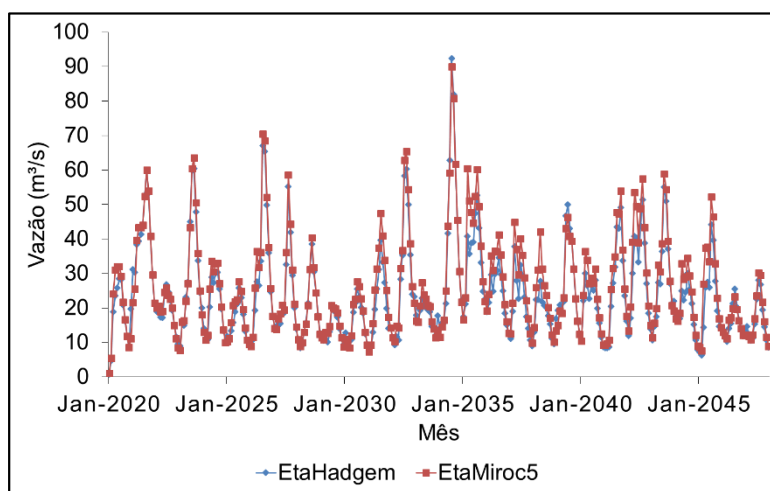


(b)

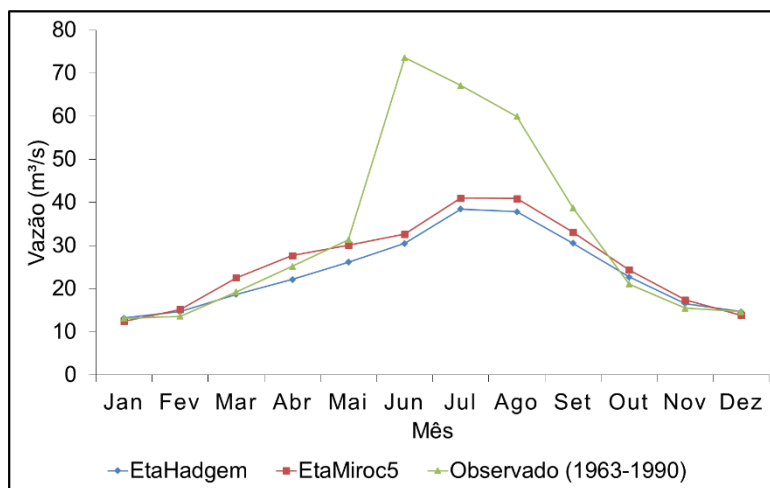
Fonte: Autor, 2019.

No posto de Palmares a série temporal mensal da vazão simulada com dado do modelo EtaHadgem apresentou valor médio de $23,87\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $92,42\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $0,81\text{m}^3/\text{s}$. Enquanto, na série temporal mensal da vazão simulada com dado do modelo EtaMiroc5, o valor médio foi de $25,95\text{m}^3/\text{s}$, com valor máximo de $89,90\text{m}^3/\text{s}$ e valor mínimo de $1,17\text{m}^3/\text{s}$ (Figura 49a).

Figura 49. Série temporal (a) e sazonalidade (b) das vazões simuladas, considerando os modelos EtaMiroc5 e EtaHadgem para o período 2020 a 2047 no posto fluviométrico de Palmares.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2019.

Para a vazão sazonal simulada com dado do modelo EtaHadgem, o valor médio foi de 23,87m³/s, o valor máximo de 38,49m³/s, e o valor mínimo de 13,24m³/s. Os meses de Maio a Setembro apresentaram valores maiores, enquanto os meses de Outubro a Abril valores reduzidos (Figura 49b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram redução de 27% e 48%, nos valores de vazão média e máxima, respectivamente.

Para a vazão sazonal simulada com dado do modelo EtaMiroc5, o valor médio foi de 25,95m³/s, o valor máximo de 41,04m³/s, e o valor mínimo de 12,48m³/s. Os meses de Maio a Setembro apresentaram valores maiores, enquanto os meses de Outubro a Abril valores reduzidos (Figura 49b). Dessa forma, os valores simulados apresentaram redução de 21% e 44%, nos valores de vazão média e máxima, respectivamente.

Mittal et al. (2016) avaliaram a alteração hidrológica causada pela construção de barragens e mudanças climáticas em uma bacia de mesoescala, propensa a secas e inundações, e utilizaram quatro modelos climáticos regionais de alta resolução para o período de 2021 a 2050. Os resultados indicaram que a variabilidade da vazão foi significativamente reduzida devido à construção da barragem. E que as mudanças climáticas podem reduzir vazões máximas, por outro lado, a combinação de barragens e mudanças climáticas pode reduzir significativamente a variabilidade, afetando tanto vazão máximas e mínimas.

4.6 Análise das curvas de permanência nos cenários de vazão

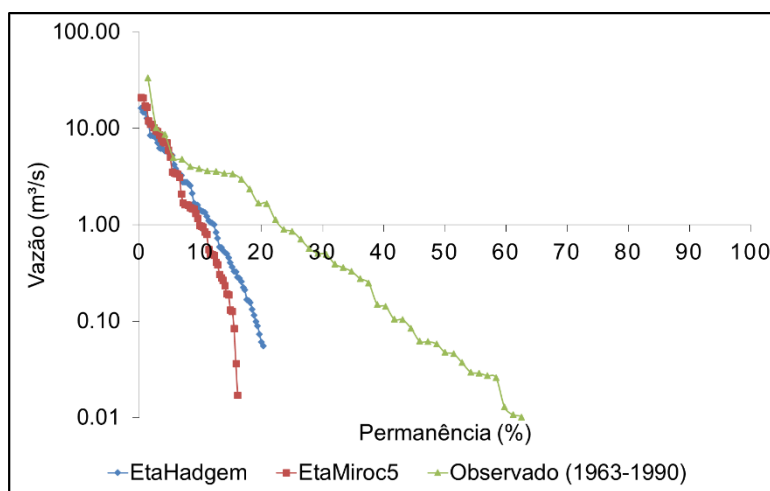
A curva de permanência relaciona a vazão com a probabilidade de ocorrência ao longo do tempo, e foram geradas a partir dos cenários de vazão para o período 2020 a 2047, considerando os modelos climáticos EtaHadgem e EtaMiroc5, e a partir dos dados observados de vazão para o período de 2005 a 2010.

Na análise das curvas, considerou-se as probabilidade de ocorrência (permanência) de: 10%, correspondente as vazões cheias; 50%, correspondente as vazões médias; e 90%, correspondente a vazões frequentes. E, para melhor compreensão das informações, a vazão foi apresentada em escala logarítmica.

O processo foi realizado nos 5 (cinco) postos fluviométricos, sendo eles: Cachoeirinha, Capivara, Belém de Maria, Catende e Palmares.

No posto de Cachoeirinha, conforme apresentado na Figura 50, tem-se a curva de permanência para todo o período analisado, em que: para a vazão observado de 1,0m³/s observa-se permanência de 24%. Por outro lado, para o mesmo valor de vazão no cenário EtaHadgem observa-se permanência de 12,2%, e no cenário EtaMiroc5 observa-se permanência de 9,8%. Portanto, ao longo do tempo, há uma redução nas vazões para ambos os cenários.

Figura 50. Curvas de permanência das vazões simulada e observada no posto fluviométrico de Cachoeirinha.



(a)

Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 15 apresenta valores da vazão de acordo com a permanência, e tem-se: para a permanência de 10%, a vazão é de 1,44m³/s no cenário EtaHadgem, e de 0,98m³/s no cenário EtaMiroc5. Quando comparado com a vazão observada tem-se redução de 2,4m³/s e de 2,86 m³/s no cenário EtaHadgem e EtaMiroc5, respectivamente.

Para a permanência de 50%, a vazão é de 0,00m³/s no cenário EtaHadgem, e de 0,00m³/s no cenário EtaMiroc5. Quando comparado com a vazão observada tem-se redução de 0,05m³/s e de 0,05 m³/s no cenário EtaHadgem e EtaMiroc5, respectivamente.

Para a permanência de 90%, a vazão é de 0,00m³/s no cenário EtaHadgem, e de 0,00m³/s no cenário EtaMiroc5. Quando comparado com a vazão observada não houve redução.

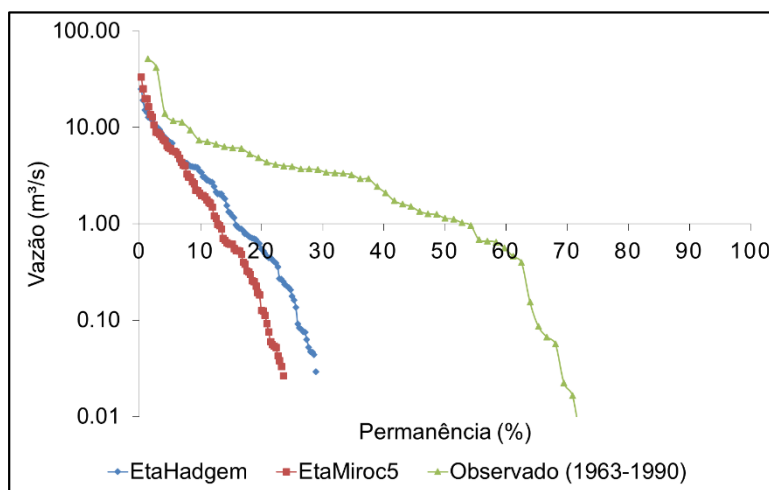
Tabela 15. Valores de vazão nos percentis 10, 50 e 90%, da curva de permanência das vazões simulada e observada no posto de Cachoeirinha.

Vazão (m ³ /s)	Período	Permanência (%)		
		10	50	90
Observada	1963-1990	3,84	0,05	0,00
EtaHadgem	2020 - 2047	1,44	0,00	0,00
EtaMiroc5	2020 - 2047	0,98	0,00	0,00

Fonte: Autor, 2019.

No posto de Capivara, conforme apresentado na Figura 51, tem-se a curva de permanência para todo o período analisado. Para a vazão observada de 1,0m³/s tem-se permanência de 53%. Por outro lado, para o mesmo valor de vazão no cenário EtaHadgem observa-se permanência de 15,8%, e no cenário EtaMiroc5 observa-se permanência de 12,8%. Portanto, ao longo do tempo, há uma redução nas vazões para ambos os cenários.

Figura 51. Curvas de permanência das vazões simulada e observada no posto fluviométrico de Capivara.



(a)

Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 16 apresenta valores da vazão de acordo com a permanência, e tem-se: para a permanência de 10%, a vazão é de 3,55m³/s no cenário EtaHadgem, e de 2,10m³/s no cenário EtaMiroc5. Quando comparado com a

vazão observada tem-se redução de 3,86m³/s e de 5,31 m³/s no cenário EtaHadgem e EtaMiroc5, respectivamente.

Para a permanência de 50%, a vazão é de 0,00m³/s no cenário EtaHadgem, e de 0,00m³/s no cenário EtaMiroc5. Quando comparado com a vazão observada tem-se redução de 1,14m³/s e de 1,14 m³/s no cenário EtaHadgem e EtaMiroc5, respectivamente.

Para a permanência de 90%, a vazão é de 0,00m³/s no cenário EtaHadgem, e de 0,00m³/s no cenário EtaMiroc5. Quando comparado com a vazão observada não houve redução.

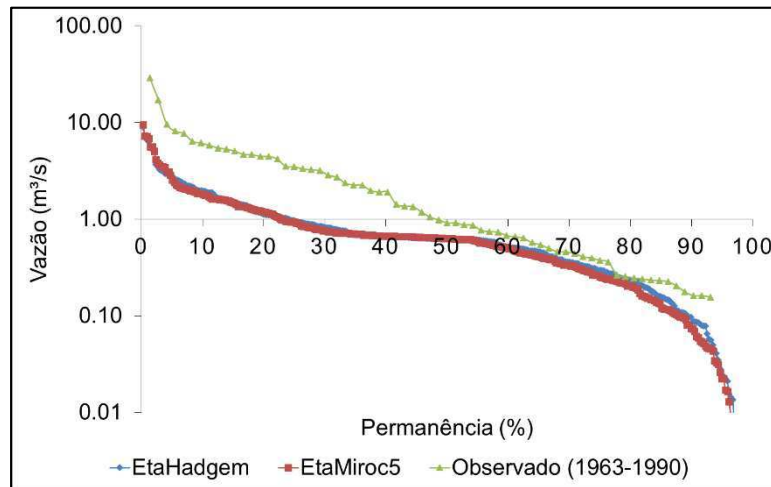
Tabela 16. Valores de vazão nos percentis 10, 50 e 90%, da curva de permanência das vazões simulada e observada no posto de Capivara.

Vazão (m ³ /s)	Período	Permanência (%)		
		10	50	90
Observada	1963-1990	7,41	1,14	0,00
EtaHadgem	2020 - 2047	3,55	0,00	0,00
EtaMiroc5	2020 - 2047	2,10	0,00	0,00

Fonte: Autor, 2019.

No posto de Belém de Maria, conforme apresentado na Figura 52, tem-se a curva de permanência para todo o período analisado. Para a vazão observada de 1,0m³/s tem-se permanência de 49%. Por outro lado, para o mesmo valor de vazão no cenário EtaHadgem observa-se permanência de 24,1%, e no cenário EtaMiroc5 observa-se permanência de 22,9%. Portanto, ao longo do tempo, há um amortecimento nas vazões médias para ambos os cenários.

Figura 52. Curvas de permanência das vazões simulada e observada no posto fluviométrico de Belém de Maria.



(a)

Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 17 apresenta valores da vazão de acordo com a permanência, e tem-se: para a permanência de 10%, a vazão é de 1,98m³/s no cenário EtaHadam, e de 1,84m³/s no cenário EtaMiroc5. Quando comparado com a vazão observada tem-se redução de 4,18m³/s e de 4,32m³/s no cenário EtaHadam e EtaMiroc5, respectivamente.

Para a permanência de 50%, a vazão é de 0,63m³/s no cenário EtaHadam, e de 0,63m³/s no cenário EtaMiroc5. Quando comparado com a vazão observada tem-se redução de 0,29m³/s e de 0,29m³/s no cenário EtaHadam e EtaMiroc5, respectivamente.

Para a permanência de 90%, a vazão é de 0,10m³/s no cenário EtaHadam, e de 0,07m³/s no cenário EtaMiroc5. Quando comparado com a vazão observada tem-se redução de 0,08m³/s e de 0,10m³/s no cenário EtaHadam e EtaMiroc5, respectivamente.

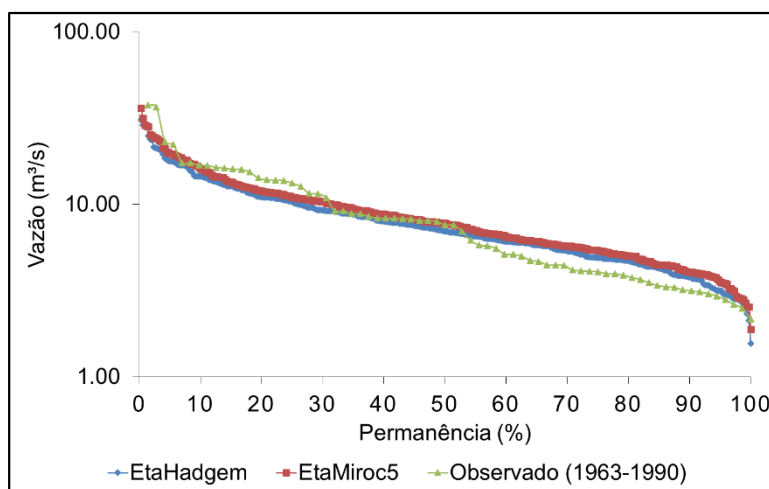
Tabela 17. Valores de vazão nos percentis 10, 50 e 90%, da curva de permanência das vazões simulada e observada no posto de Belém de Maria.

Vazão (m ³ /s)	Período	Permanência (%)		
		10	50	90
Observada	1963-1990	6,16	0,92	0,18
EtaHadgem	2020 - 2047	1,98	0,63	0,10
EtaMiroc5	2020 - 2047	1,84	0,63	0,07

Fonte: Autor, 2019.

No posto de Catende, conforme apresentado na Figura 53, tem-se a curva de permanência para todo o período analisado, e observa-se similaridade no padrão das vazões observadas e simuladas. Dessa forma não há alteração significativa nos cenários de vazão.

Figura 53. Curvas de permanência das vazões simulada e observada no posto fluviométrico de Catende.



(a)

Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 18 apresenta valores da vazão de acordo com a permanência, e tem-se: para a permanência de 10%, a vazão é de 14,56m³/s no cenário EtaHadgem, e de 16,26m³/s no cenário EtaMiroc5. Quando comparado com a vazão observada tem-se redução de 2,32m³/s e de 0,62m³/s no cenário EtaHadgem e EtaMiroc5, respectivamente.

Para a permanência de 50%, a vazão é de 6,97m³/s no cenário EtaHAdgem, e de 7,78m³/s no cenário EtaMiroc5. Quando comparado com a vazão observada tem-se redução de 0,63m³/s e aumento de 0,18m³/s no cenário EtaHAdgem e EtaMiroc5, respectivamente.

Para a permanência de 90%, a vazão é de 3,79m³/s no cenário EtaHAdgem, e de 4,07m³/s no cenário EtaMiroc5. Quando comparado com a vazão observada tem-se aumento de 0,59m³/s e de 0,87m³/s no cenário EtaHAdgem e EtaMiroc5, respectivamente.

Tabela 18. Valores de vazão nos percentis 10, 50 e 90%, da curva de permanência das vazões simulada e observada no posto de Catende.

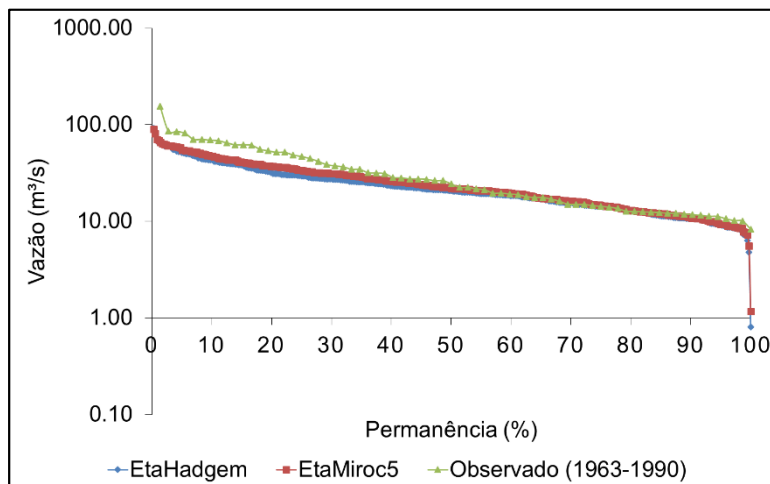
Vazão (m ³ /s)	Período	Permanência (%)		
		10	50	90
Observada	1963-1990	16,88	7,60	3,20
EtaHAdgem	2020 - 2047	14,56	6,97	3,79
EtaMiroc5	2020 - 2047	16,26	7,78	4,07

Fonte: Autor, 2019.

No posto de Palmares, conforme apresentado na Figura 54, tem-se a curva de permanência para todo o período analisado, e observa-se similaridade no padrão das vazões observadas e simuladas. Dessa forma não há alteração significativa nos cenários de vazão.

A Tabela 19 apresenta valores da vazão de acordo com a permanência, e tem-se: para a permanência de 10%, a vazão é de 43,13m³/s no cenário EtaHAdgem, e de 47,37m³/s no cenário EtaMiroc5. Quando comparado com a vazão observada tem-se redução de 26,11m³/s e de 21,87m³/s no cenário EtaHAdgem e EtaMiroc5, respectivamente.

Figura 54. Curvas de permanência das vazões simulada e observada no posto fluviométrico de Catende.



(a)

Fonte: Autor, 2019.

Para a permanência de 50%, a vazão é de 20,64m³/s no cenário EtaHadam, e de 22,10m³/s no cenário EtaMiroc5. Quando comparado com a vazão observada tem-se redução de 3,76m³/s e de 2,30m³/s no cenário EtaHadam e EtaMiroc5, respectivamente.

Para a permanência de 90%, a vazão é de 10,67m³/s no cenário EtaHadam, e de 10,95m³/s no cenário EtaMiroc5. Quando comparado com a vazão observada tem-se redução de 1,22m³/s e de 0,94m³/s no cenário EtaHadam e EtaMiroc5, respectivamente.

Tabela 19. Valores de vazão nos percentis 10, 50 e 90%, da curva de permanência das vazões simulada e observada no posto de Palmares.

Vazão (m ³ /s)	Período	Permanência (%)		
		10	50	90
Observada	1963-1990	69,24	24,40	11,89
EtaHadam	2020 - 2047	43,13	20,64	10,67
EtaMiroc5	2020 - 2047	47,37	22,10	10,95

Fonte: Autor, 2019.

5 CONCLUSÕES

A calibração do modelo SWAT, com a variável vazão, no período 2005 a 2010, e nas sub-bacias analisadas, mostrou similaridade com a variabilidade sazonal da bacia. Porém, na média, houve redução de 24,25% nos valores médios da vazão e de 29,4% nos valores de vazão máxima. Enquanto, para a série temporal do período, houve redução de 25,5% nos valores médios da vazão e de 22,8% nos valores de vazão máxima.

A validação do modelo SWAT, com a variável vazão, no período 2011 a 2014, e nas sub-bacias analisadas, mostrou similaridade com a variabilidade sazonal da bacia. Porém, na média, houve redução de 51,25% nos valores de vazão média e de 58,75% nos valores de vazão máxima. Enquanto, para a série temporal do período, houve redução de 52% nos valores de vazão média e de 56,75% nos valores de vazão máxima.

Considerando corrigidos os erros sistemáticos da precipitação nos modelos climáticos EtaMiroc5 e EtaHadgem, para o cenário RCP 4.5, a climatologia da região foi representada para ambos os períodos analisados: 1963 a 1990 e 2020 a 2047.

No período de 2020 a 2047, o modelo EtaHadgem apresentou, na média, redução de 8,12% nos valores médios da precipitação e de 7,87% nos valores de precipitação máxima. Enquanto o modelo EtaMiroc5 apresentou, na média, redução de 9,5% nos valores médios da precipitação e de 8,4% nos valores de precipitação máxima.

Para os cenários de vazão no período 2020 a 2047, e em 4 sub-bacias analisadas, não houve similaridade com a variabilidade sazonal da bacia. No cenário com o modelo EtaHadgem, houve redução de 46,2% nos valores de vazão média e de 68,4% nos valores de vazão máxima. No cenário com o modelo EtaMiroc5, houve redução de 53,7% nos valores de vazão média e de 57,8% nos valores de vazão máxima.

Na análise da curva de permanência e considerando os percentis de 10, 50 e 90%, nos cenários de vazão pelos modelos EtaHadgem e EtaMiroc5, destaca-se redução nos valores de vazão.

Portanto, pode-se concluir que, devido a redução da precipitação observada nos cenários climáticos e pela capacidade do modelo hidrológico SWAT em simular a variabilidade sazonal da vazão, se faz necessário, e é possível, a gestão hídrica e o planejamento de medidas mitigadoras dos possíveis impactos na bacia hidrográfica do rio Una.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASPOUR, K. C.; ROUHOLAHNEJAD, E.; VAGHEFI, S.; SRINIVASAN, R.; YANG, H.; KLOVE, B. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. **Journal of Hydrology**, v. 524, p. 733-752, May 2015.

ABBASPOUR, K. C.; YANG, J.; MAXIMOV, I.; SIBER, R.; BOGNER, K.; MIELEITNER, J.; ZOBRIST, J.; SRINIVASAN, R. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. **Journal of Hydrology**, v. 333, p. 413-430, February 2007.

ALMEIDA, R. A.; PEREIRA, S. B.; PINTO, D. B. F. Calibration and Validation of the SWAT Hydrological Model for Mucuri River Basin. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, Jaboticabal, v. 38, n. 1, p. 55-63, Jan/Fev 2018.

ANA. **Agência Nacional de Águas**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/>>. Acesso em: Julho 2017.

ANDRADE, C. W. L.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; LIMA, J. R. DE S.; SRINIVASAN, R.; JONES, C. A. Soil moisture and discharge modeling in a representative watershed in northeastern Brazil using SWAT. *Ecohydrology & Hydrobiology*. v. 19. 2019.

APAC. **Agência Pernambucana de Águas e Clima**. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/>>. Acesso em: Julho 2017.

ARAGÃO, R.; CRUZ, M. A. S.; AMORIM, J. R. A.; MENDONÇA, L. C.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. Análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo SWAT e simulação dos processos hidrossedimentológicos em uma bacia no agreste nordestino. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 37, n. 4, p. 1091-1102, 2013.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: Model development, v. 34, n. 1, p. 73-89, February 1998.

ASSIS, J. M. O.; SILVA, R. F., SOUSA, W. S.; IRMÃO, R. A.; CORREIA, A. M. Tendências Climáticas observadas no período chuvoso no sertão de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**. V. 6, N. 2, 2013.

BACK, Á. J.; ZAMBRANO, G. J. D.; CORSEUIL, C. W. Streamflow permanence curve of the river Timbó, Santa Catarina, Brazil. **Acta Brasiliensis**, p. 56-62, 2019.

BRIGHENTI, T. M.; BONUMÁ, N. B.; CHAFFE, P. L. B. Calibração hierárquica do modelo SWAT em uma bacia hidrográfica Catarinense. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 53-64, Jan/Mar 2016.

CALDEIRA, T. L.; OLIVEIRA, V. A.; STEINMETZ, A. A.; VIOLA, M. R.; BESKOW, S. Modelagem Hidrológica Determinística Chuva-Vazão em Bacias Hidrográficas: Uma Abordagem Introdutória. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, Pelotas, v. 5, n. 1, p. 22-32, jul. 2018.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURAO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; MARENGO, J. Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 512-525, 2014a.

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURAO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; NOBRE, P. Evaluation of the Eta

Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 438-454, 2014b.

CUBASCH, U.; WUEBBLES, D.; CHEN, D.; FACCHINI, M. C.; FRAME, D.; MAHOWALD, N.; WINTHER, J-G. Introduction. In: *Climate Change 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge. p. 119-158, 2013.

ESSENFELDER, A. H. **SWAT Weather Database: A Quick Guide**. Version v.0.16.06. [S.l.]: [s.n.], 2016.

FERNANDEZ , J. G. Estimativa de vazão e produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, utilizando o modelo SWAT. **Tese (Doutorado em Geografia)**, p. 185, 2015.

HIDROWEB. **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - Portal HidroWeb**. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acesso em: Julho 2017.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. IPCC. Geneva, p. 151. 2014.

KARLSSON, I. B.; SONNENBORG, T. O.; REFSGAARD, J. C.; TROLLE, D.; BORGESSEN, C. D.; OLESEN, J. E.; JEPPESEN, E.; JENSEN, K. H. Combined effects of climate models, hydrological model structures and land use scenarios on hydrological impacts of climate change. **Journal of Hydrology**, p. 301-317, 2016.

LELIS, T. A.; CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F.; DE LIMA, D. C.; ROCHA, E. O. Análise de Sensibilidade e Calibração do Modelo SWAT aplicado em Bacia

Hidrográfiica da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 623-634, Mar/Abr 2012.

LONDE, L. R.; MARCHEZINI, V.; DA CONCEIÇÃO, R. S.; SILVA, A. E. P.; SANTOS, E. V.; REANI, R. T. Impactos de desastres socioambientais em saúde pública: estudos de casos dos Estados de Santa Catarina em 2008 e Pernambuco em 2010. **Revista Brasileira de Estudos de População**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 3, p. 537-562, set/dez 2015.

MACHADO, C. C. C.; NÓBREGA, R. S.; OLIVEIRA, T. H.; ALVES, K. M. A. S. Distúrbio Ondulatório de Leste como condicionante a Eventos Extremos de Precipitação em Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 11, n. 8, jul/dez 2012.

MILLER, G. T. **Ciência Ambiental**. 11. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

MIRANDA, E. E. D. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. **Brasil em Relevo**, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: Fevereiro 2017.

MIRANDA, R. D. Q. Avaliação integrada da variação espacial e temporal do balanço hídrico na Caatinga utilizando o modelo hidrológico SWAT. **Tese (Doutorado)**. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 122. 2017.

MITTAL, N.; BHAVE, A. G.; MISHRA, A.; SINGH, R. Impact of Human Intervention and Climate Change on Natural Flow Regime. **Water Resour Manage**. 2016.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS GRASSLAND, J. R. **Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009**. Texas A & M University. College Station. 2011. (406).

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Cenários de mudança climática para a América do Sul para o final do século 21. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, 2008.

OSPINA-NORENA, J. E.; DOMINGUEZ-RAMIREZ, C. A.; VEGA-RODRIGUEZ, E. E.; DARGHAN-CONTRERAS, A. E.; RODRIGUEZ-MOLANO, L. E. Analysis of the water balance under regional scenarios of climate change for arid zones of Colombia. **Atmósfera**, v. 30, p. 63-76, 2017.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Blucher, 1976.

PROJETA. **Projeções de Mudanças do Clima para a América do Sul Regionalizados pelo Modelo ETA**. Disponível em: <<https://projeta.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: Fevereiro 2017.

SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. Climate Change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 34, 2007.

SANTOS, J. Y. G. Análise espaço-temporal de processos hidrossedimentológicos na Bacia do Rio Tapacurá (Pernambuco, Brasil). **Tese (Doutorado)**. Universidade Federal de Pernambuco. 2015.

SHEN, M.; CHEN, J.; ZHUAN, M.; CHEN, H.; XU, C.-Y.; XIONG, L. Estimating uncertainty and its temporal variation related to global climate models in quantifying climate change impacts on hydrology. *Journal of Hydrology*. 2018.

SIBCS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs/apresentacao>>. Acesso em: Outubro 2006.

SILVA, V. P. R.; SILVA, M. T.; SINGH, V. P.; SOUZA, E. P.; BRAGA, C. C.; HOLANDA, R. M.; ALMEIDA, R. S. R.; SOUSA, F. A. S.; BRAGA, A. C. R.

Simulation of stream flow and hydrological response to land-cover changes in a tropical river basin. **Catena**, p. 166-176, 2018.

SOUSA, W. S.; SOUSA, F. S. Rede Neural Artificial aplicada à previsão de vazão da bacia hidrográfica do rio Piancó. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 14, n. 2, 2010.

SOUSA, R. M.; VIOLA, M. R.; CHOU, S. C.; ALVES, M. V. G.; AVANZI, J. C. Projeções Climáticas regionalizadas para o Estado do Tocantins, Brasil, nos Cenários RCP 4.5 e 8.5. **Revista Brasileira de Climatologia**. V. 24. Ano 15. 2019.

SOUSA, W. S.; VIANA, J. F. S.; DA SILVA, R. R.; IRMÃO, R. A. Estimativa do balanço hídrico de uma sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema com o Modelo SWAT. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 3, n. 1, p. 146-154, 2018.

TEUTSCHBEIN, C.; SEIBERT, J. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. **Journal of Hydrology**, p. 456-457, 2012.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**: colaboração da Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ ABRH, 2013.

VIANA, J. F. S.; MONTENEGRO, S. M. G.; DA SILVA, B. B.; DA SILVA, R. M.; SOUSA, W. S. Modelagem hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama-PE utilizando o modelo SWAT. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 3, n. 1, p. 155-172, 2018.

VIANA, J. F. S.; MONTENEGRO, S. M. G.; SILVA, B. B.; SILVA, R. M.; SRINIVASSAN, R. Swat Parameterization for Identification of Critical Erosion

Watersheds in the Pirapama River Basin, Brazil. **Journal of Urban and Environmental**. V. 13, N. 1, 2019.

WOOD, A. W.; MAURER, E. P.; KUMAR, A.; LETTENMAIER, D. P. Long-range experimental hydrologic forecasting for the eastern United States. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 107, 2002.

XU, H. ; LUO, Y. Climate Change and its impacts on river discharge in two climate regions in China. **Hydrology and Earth System Sciences**, p. 4609-4618, 2015.

ZAPE. **Zoneamento Agroecológico de Pernambuco**, 2016. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/zape/>>. Acesso em: Março 2016.

ZHANG, Q.; LIU, C.; XU, C.; XU, Y.; JIANG, T. Observed trends of annual maximum water level and streamflow during past 130 years in the Yangtze River basin, China. **Journal of Hydrology**, v. 324, p. 255-265, 2006.

ANEXO A – Relação dos postos pluviométricos convencionais e das plataformas automática de coleta de dados meteorológico da bacia hidrográfica do rio Una.

OBS	Nome da Estação	Lat (°)	Lon (°)	Tipo	Variável	Data Inicial	Data Final
1	Agrestina	-8,46	-35,94	C	P	01/01/1993	09/05/2008
2	Agrestina	-8,46	-35,95	C	P	01/01/1999	31/12/2005
3	Água Preta	-8,71	-35,52	C	P	01/01/1993	31/12/2016
4	Altinho	-8,49	-36,12	C	P	01/01/1999	07/10/1999
5	Altinho	-8,49	-36,06	C	P	01/01/1963	18/06/2007
6	Barreiros	-8,81	-35,20	C	P	01/01/1963	31/12/2016
7	Barreiros	-8,82	-35,19	A	TMax, TMin, UR, RS, VV	19/06/2000	09/03/2015
8	Belém de Maria	-8,62	-35,84	C	P	14/10/1997	17/04/1998
9	Belém de Maria	-8,62	-35,84	C	P	27/07/2001	31/12/2016
10	Bonito	-8,48	-35,74	C	P	01/01/1999	31/08/2001
11	Bonito	-8,48	-35,74	C	P	01/01/1993	18/07/2002
12	Bonito_Fazenda Vila Bela	-8,47	-35,78	C	P	27/07/2001	17/12/2015
13	Bonito_Prata	-8,47	-35,72	A	TMax, TMin, UR, RS, VV	11/04/2000	29/07/2004
14	Cachoeirinha	-8,48	-36,24	C	P	01/01/1963	31/12/2016
15	Calçados	-8,74	-36,33	C	P	14/10/1997	31/12/2015
16	Capoeiras	-8,73	-36,63	C	P	14/10/1997	31/12/2016
17	Catende	-8,67	-35,71	C	P	01/01/2001	09/11/2010
18	Catende_Laje Grande	-8,60	-35,77	C	P	01/10/2001	31/08/2007
19	Catende_Usina Catende	-8,67	-35,58	C	P	01/02/1963	31/12/2015
20	Cupira	-8,61	-35,95	C	P	01/01/1999	30/09/1999
21	Cupira	-8,60	-35,95	C	P	01/01/1993	31/12/2014
22	Cupira_Cha de Painhas	-8,61	-35,89	C	P	01/08/2001	30/04/2002
23	Ibirajuba	-8,58	-36,18	C	P	01/12/1962	18/06/2007
24	Ibirajuba	-8,58	-36,18	C	P	01/01/1999	31/08/2008
25	Jaqueira	-8,73	-35,80	C	P	01/01/1999	20/04/2007
26	Jucati	-8,70	-36,47	C	P	01/12/1962	31/12/2015
27	Jupi	-8,71	-36,42	C	P	01/09/1999	19/09/2001
28	Jurema	-8,72	-36,14	C	P	01/12/1962	18/06/2007

OBS	Nome da Estação	Lat (°)	Lon (°)	Tipo	Variável	Data Inicial	Data Final
29	Lagoa dos Gatos	-8,66	-35,91	C	P	01/01/1993	31/12/2014
30	Lagoa dos Gatos	-8,68	-35,81	C	P	01/01/1999	30/09/1999
31	Lajedo	-8,66	-36,33	C	P	01/01/1993	31/03/2001
32	Lajedo	-8,66	-36,32	C	P	01/11/1962	18/06/2007
33	Maraial	-8,78	-35,81	C	P	01/05/2001	26/07/2011
34	Maraial	-8,80	-35,83	C	P	01/12/1962	30/06/1992
35	Maraial_Usina São Luis	-8,78	-35,81	C	P	01/01/1999	31/12/2016
36	Palmares	-8,68	-35,58	C	P	18/03/1999	25/05/2010
37	Palmares	-8,68	-35,58	C	P	01/06/1920	31/12/2016
38	Palmares	-8,66	-35,57	A	TMax, TMin, UR, RS, VV	26/06/1998	09/03/2015
39	Panelas	-8,66	-36,01	C	P	01/01/1999	30/09/1999
40	Panelas	-8,66	-36,01	C	P	01/02/1934	18/06/2007
41	Pesqueira_Sapo Queimado	-8,48	-36,53	C	P	01/12/1962	28/02/1973
42	Quipapá	-8,83	-36,05	C	P	01/01/1923	31/12/1958
43	Quipapá	-8,83	-36,01	C	P	01/01/1963	31/05/2000
44	Quipapá	-8,83	-36,01	C	P	01/01/2001	31/12/2016
45	São Benedito do Sul_Igarapeba	-8,80	-35,88	C	P	01/08/2001	31/05/2004
46	São Benedito do Sul	-8,67	-35,94	C	P	06/12/1993	31/12/2015
47	São Bento do Una	-8,52	-36,37	C	P	01/05/1920	31/03/2000
48	São Bento do Una	-8,53	-36,46	C	P	01/01/1962	31/12/2016
49	São Bento do Una	-8,53	-36,46	A	TMax, TMin, UR, RS, VV	01/10/1999	09/03/2015
50	São Joaquim do Monte	-8,43	-35,81	C	P	01/12/1962	24/08/2007
51	Xexéu	-8,84	-35,63	C	P	01/12/1962	18/06/2007

Fonte: APAC, 2017.

Obs – Observado; Lat – Latitude; Lon – Longitude; C - Convencional; A – Automático; P – Precipitação; Tmax – Temperatura máxima do ar; Tmin – Temperatura mínima do ar; UR – Umidade relativa do ar; RS – Radiação solar; VV – Velocidade do vento.

