

AVALIAÇÃO DE POSSÍVEIS CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA BACIA DO RIO PONTAL, UTILIZANDO O MODELO SWAT¹

ASSESSMENT OF POSSIBLE CLIMATE CHANGE SCENARIOS IN THE PONTAL RIVER BASIN, USING THE SWAT MODEL

Túlio Victor de Moura Santana²

Orientação: Dra. Josicleda Domiciano Galvêncio³

RESUMO

As mudanças climáticas têm o potencial de causar impactos significativos na disponibilidade dos recursos hídricos. Quaisquer mudanças nas variáveis climáticas podem ter efeitos na economia e na qualidade de vida da população. Os modelos climáticos globais e regionais são as principais ferramentas disponíveis para o estudo dessas mudanças. O objetivo deste trabalho foi analisar simulações geradas pelo modelo hidrológico SWAT, em cenários de emissões intermediário e pessimista para a bacia do Rio Pontal, localizada no extremo oeste de Pernambuco. Foi utilizado o modelo climático regional ETA – HadGEM2-ES, de onde foi extraído os dados de temperatura, precipitação, umidade, vento e insolação, que serviram de entrada para o modelo SWAT já calibrado para a bacia. Foram geradas simulações para o período histórico de 1980 a 2019 e para o período futuro, de 2020 a 2050. As variáveis climáticas selecionadas para análise foram a temperatura, a precipitação e o escoamento superficial. Em relação ao período histórico, observou-se um aumento de temperatura máxima em 1,8°C até 2050, para o cenário mais pessimista, e em 1,4°C para o intermediário. Em relação a precipitação e ao escoamento superficial houve redução nos dois cenários analisados. Para conter esses impactos são necessárias medidas de adaptação e mitigação.

Palavras-chave: SWAT; modelo climático; mudanças climáticas; semiárido.

ABSTRACT

Climate change has potential to impact the availability of water resources. Any changes in climate variables can have effects on the economy and on people's life quality.

¹ Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geografia Bacharelado da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), cuja banca de defesa foi composta pelos seguintes membros: Prof^a. Dra. Josicleda Domiciano Galvêncio; Prof^o. Dr. Rodrigo de Queiroga Miranda; Prof^o. Me. Edilson Amaral Tavares Coutinho, na seguinte data: 10 de maio de 2023.

² Graduando em Geografia Bacharelado na UFPE.

³ Professora do Curso de Geografia Bacharelado da UFPE.

Global and regional climate models are the main tools available for studying these changes. The goal of this work was to analyze simulations generated by the SWAT hydrology model, in intermediate and pessimistic emissions scenarios for the Pontal River basin, located in the extreme west of Pernambuco. The regional climate model ETA – HadGEM2-ES was used, from which temperature, precipitation, humidity, wind and insolation data were extracted, which served as input for the SWAT model already calibrated. Simulations were generated for historical period from 1980 to 2019 and for future period, from 2020 to 2050. The climate variables selected for analysis were temperature, precipitation and surface runoff. In comparison to the historical period, a maximum temperature increase of 1.8°C was observed until 2050, for the most pessimistic scenario, and of 1.4°C for the intermediate one. Regarding precipitation and surface runoff, there was a reduction in the two analyzed scenarios. To contain these impacts, adaptation and mitigation measures are necessary.

Keywords: SWAT; climate model; climate change; semiarid.

1. INTRODUÇÃO

O Semiárido brasileiro é um dos maiores e mais populosos do mundo, com cerca de 30 milhões de habitantes e área de aproximadamente um quinto do território nacional. Com base na Resolução 150/2021 da Sudene, o total de municípios é de 1.427 cidades. A expressão Semiárido é usada para descrever o clima e as regiões onde ocorrem precipitações médias anuais entre 250 e 500 mm e cuja vegetação é composta prioritariamente por arbustos que perdem as folhas nos meses mais secos ou por pastagens que secam na época da estiagem (CIRILO et al., 2008; SUDENE, 2021).

A vegetação predominante no Semiárido brasileiro é a caatinga que é constituída por um complexo vegetacional que abrange uma área de 735.000 km² (SANTOS et al., 2011). Esse tipo de vegetação proporciona uma alta taxa de escoamento superficial, acelerando o processo de evaporação, além de apresentar áreas com predominância de solo argiloso, onde não há infiltração suficiente, dificultando a recarga dos aquíferos (AMARAL, 2003).

Além da vegetação, a incidência de energia solar e as altas temperaturas dadas a proximidade da linha do equador, elevam ainda mais o alto potencial para evaporação da água. Marengo (2008) afirma que esses fatores naturais, associados a mudança do clima decorrente do aquecimento global, resultarão na acentuação da escassez da água, com sérias consequências para a sustentabilidade do desenvolvimento regional, mesmo tomando um cenário otimista de aumento de temperatura entre 1 e 3°C até o final do século XXI.

Tendo em mente essas dificuldades, torna-se necessário a realização de estudos hidrológicos em bacias hidrográficas para compreender o funcionamento do balanço hídrico, os processos que controlam o movimento da água e os impactos de mudanças do uso da terra sobre a quantidade e qualidade da água. A execução desses estudos é dificultada pela escassez e imprecisões de dados. Por isso, pesquisadores têm desenvolvido vários modelos hidrológicos que têm por definição uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes em alguma parte da superfície do solo ou subsolo (SHUTTLEWORTH, 1993).

A modelagem hidrológica é uma importante ferramenta de apoio a gestão e a tomada de decisões sobre o uso do solo e da água, pois permite a previsão de situações futuras e apresenta a vantagem do baixo custo e da rapidez do processamento (CASTRO, 2013).

Um dos modelos mais utilizados atualmente é o SWAT (Soil and Water Assessment Tool), que vem sendo desenvolvido desde a década de 90 pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) com parceria da Texas A&M University. O SWAT tem capacidade para desenvolver simulações de escoamento superficial, percolação, fluxo lateral e subterrâneo, evapotranspiração, neve e fluxo de rede de drenagem, análises em reservatórios, ciclo hidrossedimentológico, aspectos climáticos, temperatura do solo, crescimento vegetal, nutrientes, pesticidas e bactérias, práticas agrícolas e aspectos de qualidade da água (Neitsch et al., 2005; Dhar, 2009).

O modelo SWAT será utilizado nesse trabalho, com o objetivo de analisar a influência das mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global, em algumas variáveis do clima, como a temperatura, a precipitação e o escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Pontal, em diversos possíveis cenários.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Mudanças Climáticas

Um dos principais fatores para que a vida na terra seja possível é o aquecimento global, que faz com que a média da temperatura na terra seja adequada para o desenvolvimento dos seres vivos. A atmosfera terrestre é constituída por vários gases, entre eles os chamados Gases de Efeito Estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e o vapor d'água (H₂O), que retém calor na atmosfera, impedindo a perda de calor demasiado irradiado para o espaço, principalmente a noite, mantendo a terra aquecida (SANTOS, 2006).

A média na temperatura da terra tem variações ao longo do tempo por diversos fatores naturais e pela interferência antrópica. É isto que vem mostrando as evidências ao longo dos últimos anos. As atividades humanas alteraram a concentração de GEE (Figura 1) e esse acúmulo é a causa mais provável das mudanças climáticas observadas (IPCC, 2022).

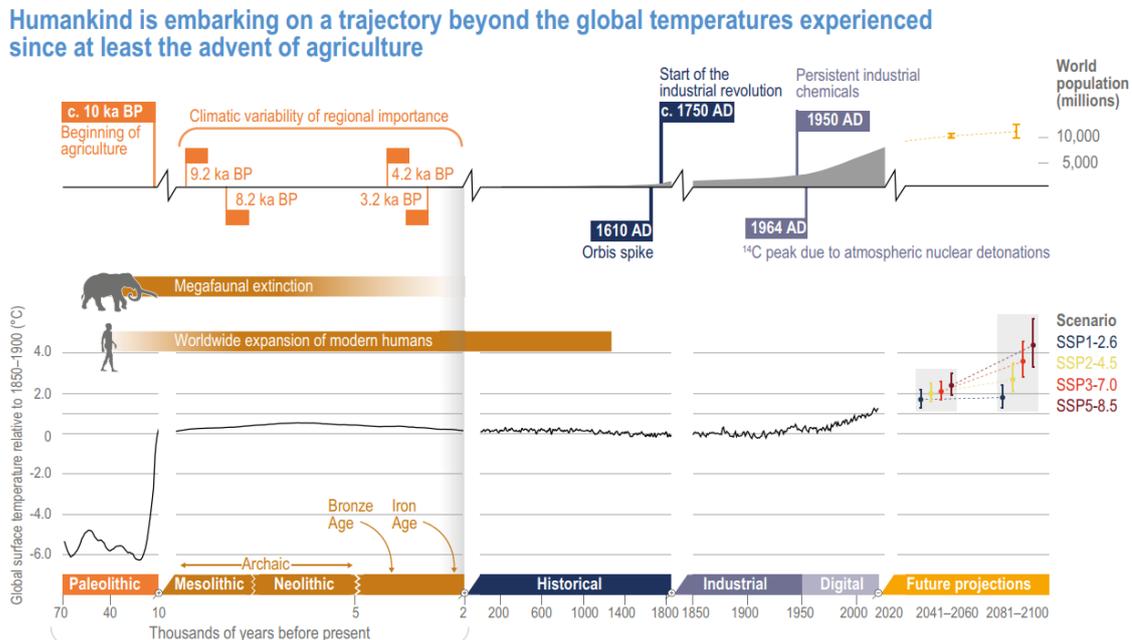


Figura 1: Média da temperatura na Terra desde o surgimento da agricultura. Fonte: IPCC (2022).

De acordo com o IPCC⁴ (2013), mudanças climáticas consistem em variações estatisticamente significativas de variáveis do clima, como precipitação, temperatura, umidade do ar, entre outras; essa variabilidade pode ser natural e/ou resultado das atividades humanas. O acúmulo de Gases do Efeito Estufa (GEE) devido a queima de combustíveis fósseis, principalmente depois do início do período industrial, fez com que a temperatura média da terra se elevasse em uma taxa sem precedentes.

Adam e Collischonn (2013) afirmam que alterações climáticas podem gerar diversos impactos sobre o ciclo hidrológico, como aumento das cheias em consequência de chuvas mais extremas, maiores períodos de seca, erosão, redução na qualidade da água e na diversidade dos ecossistemas.

O Relatório Mundial das Nações Unidas (ONU) sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos de 2020 mostra que o consumo mundial de água aumentou em seis vezes nos últimos 100 anos, resultado de um aumento populacional que foi de 2 bilhões de pessoas no início do século XX para 8 bilhões em 2023, somado a mudanças no padrão de consumo e do desenvolvimento econômico. Ainda de acordo com o relatório, em regiões onde a escassez de água é presente, as mudanças climáticas provocarão ainda mais estresse hídrico, já que muitas vezes o fenômeno da falta de água é sazonal, e não crônico. Essa disponibilidade sazonal de água pode ser afetada com as alterações climáticas (WWAP, 2020).

Além das mudanças climáticas globais, o clima de uma região pode ser afetado em escala regional pelo mau uso dos ecossistemas e do desflorestamento. O semiárido nordestino é um exemplo de ecossistema que pode ser afetado ainda mais drasticamente por meio da soma das ações produzidas pelos GEE com o mau uso e desflorestamento dos ecossistemas locais (SANTOS, 2006).

2.2 Modelos Climáticos

A compreensão das mudanças climáticas é de extrema importância para que ações de mitigação e prevenção sejam tomadas, principalmente na região do semiárido brasileiro que sofre com problemas graves relacionados à escassez hídrica (FARIAS et al., 2020).

⁴IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change. Comitê composto de centenas de cientistas de todo o mundo, fundado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente para estudar e produzir relatórios sobre o clima e as mudanças climáticas.

Segundo Santos (2019), a região do semiárido registrou nos últimos anos um longo período de seca que acarretou uma redução de disponibilidade dos recursos hídricos, afetando as atividades agrícolas, a economia e a sociedade em geral. Dados do IPCC mostram que a região poderá ter um aquecimento de +1,7°C a +6,7°C na média de temperatura e uma redução na precipitação que pode chegar até 22% até o final do século XXI (IPCC, 2013).

O quinto relatório do IPCC (AR5) levantou quatro alternativas de projeções teóricas de cenários climáticos futuros, com projeção até 2100. Os cenários descrevem quatro (4) diferentes trajetórias de emissões e concentrações de gases de efeito estufa, emissões de poluentes atmosféricos e uso da terra (IPCC, 2014).

Esses cenários ajudam no estudo de análises da mudança do clima e são utilizados como entrada para modelagem climática nos experimentos numéricos do CMIP5⁵ (RODRIGUES, 2017). Os RCPs (Representative Concentration Pathways), como são chamados os cenários, incluem o RCP 2.6, projeção mais otimista, onde mitigações seriam mais rigorosas; o RCP 4.5 e 6.0, projeções intermediárias, e o RCP 8.5, projeção mais pessimista, cenário onde houve pouco esforço para restringir as emissões dos GGE (Figura 2) (IPCC, 2014).

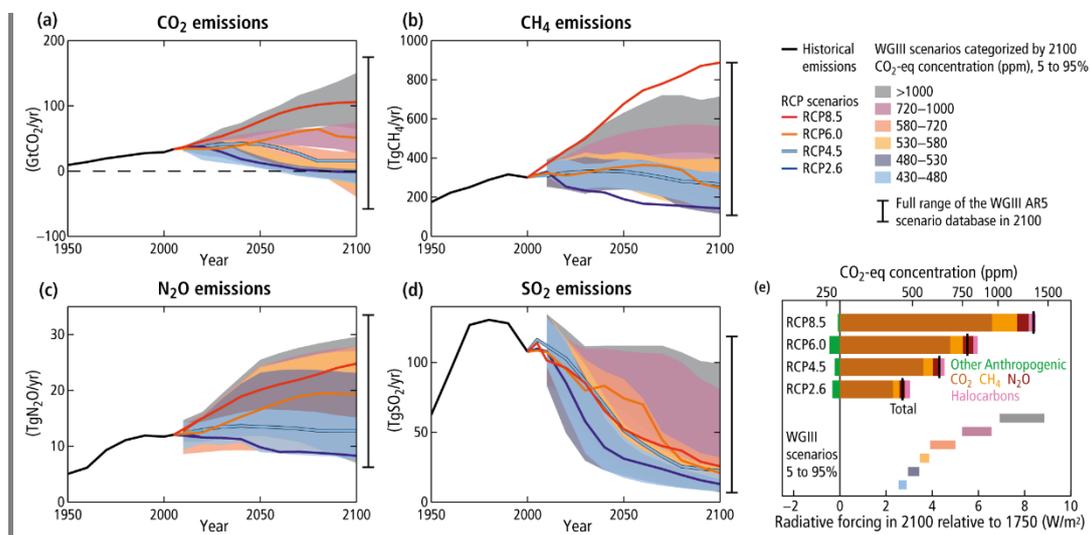


Figura 2: Cenários de emissões e concentrações de GGE. Fonte: IPCC (2014).

Os Modelos Climáticos Globais (GCM) são representações matemáticas dos principais componentes do sistema climático, atuando como principais ferramentas

⁵ CMIP5: Coupled Model Intercomparison Project Phase 5.

disponíveis para estudar as mudanças climáticas a longo prazo em escala global (macroescala), mas esses modelos têm baixa resolução, limitando simulações pela perda de detalhes, o que dificulta o estudo de climas regionais (CHOU et al., 2012). O aumento de resolução espacial pode ser alcançado com técnicas avançadas de *downscaling*, gerando um Modelo Climático Regional (MCRs), o que permite representações dos processos físicos em menor escala, consequentemente tendo um resultado mais detalhado (FESER et al., 2011).

Para realização de estudos de alterações climáticas em bacias hidrográficas, é necessário a inclusão de dados das previsões dos modelos climáticos globais/regionais em modelos hidrológicos (FARIAS et al., 2020).

Um dos modelos hidrossedimentológicos mais utilizado no mundo é o SWAT, um modelo distribuído que trabalha dentro de um SIG (Sistemas de Informação Geográfica), que considera a variabilidade espacial das características físicas da bacia hidrográfica (SILVA, 2014).

Como outros modelos hidrológicos, o SWAT requer uma calibração. A calibração é um processo pelo qual os parâmetros de um modelo podem ser aproximados para um intervalo mais realista, dadas as condições locais (KHAKBAZ et al., 2012).

A Bacia Hidrológica do Rio Pontal, que é a bacia de estudo do presente trabalho, foi calibrada por Miranda (2017) com dados adquiridos através de técnicas de sensoriamento remoto, para suprir a baixa disponibilidade dos dados mensurados em campo e apresentou valores de Nash-Sutcliffe obtidos por ET (0,61 e 0,63 para calibração e validação, respectivamente) e IAF (0,67 e 0,78) equiparáveis a outros estudos em vegetações similares.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo é a bacia hidrográfica do riacho do Pontal (Unidade de Planejamento Hídrico - UP13), que tem uma área total de 6.015,33 km², o que corresponde a 6,12% da área total de Pernambuco e está localizada no extremo oeste do Estado, entre 8° 19' 00" e 09° 13' 24" de latitude sul, e 40° 11' 42" e 41° 20' 39" de longitude oeste (Figura 3).

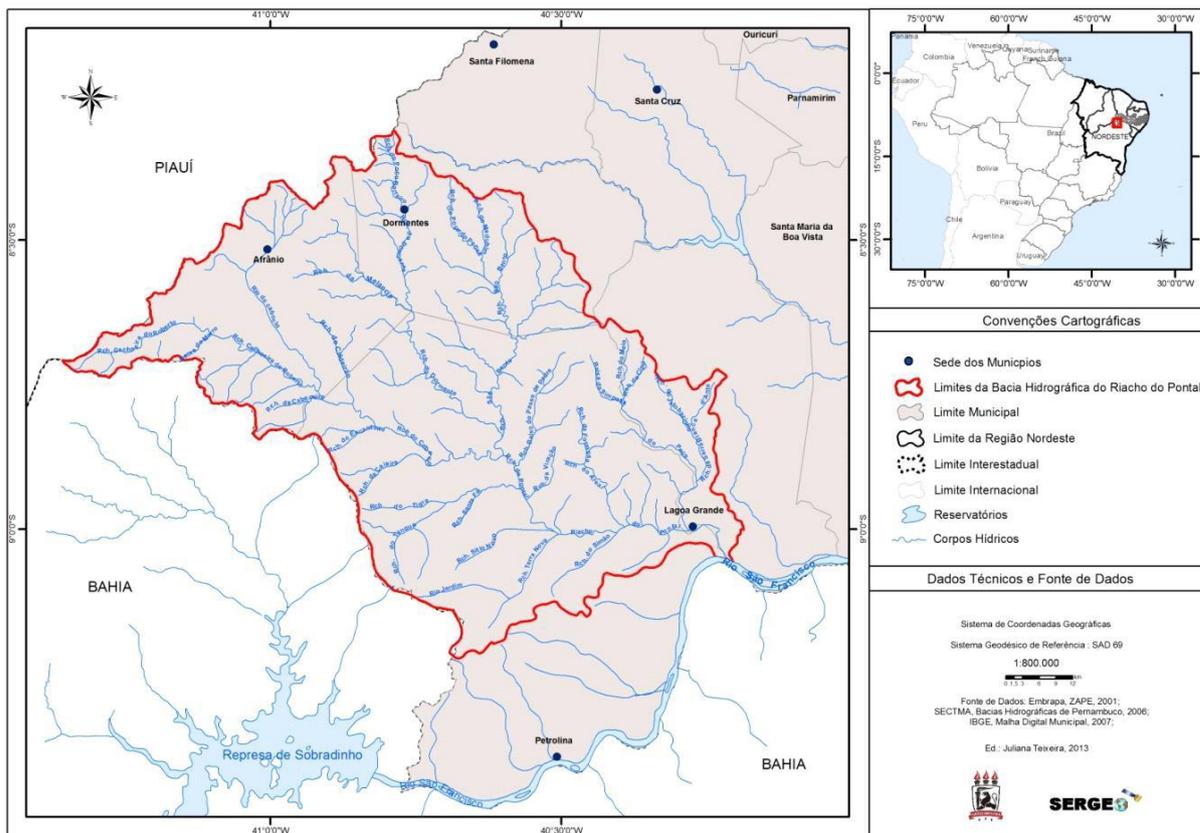


Figura 3: Mapa de localização da Bacia do Rio Pontal. Fonte: SILVA et al, (2016).

A área de drenagem do rio envolve 4 municípios: Dormentes, Lagoa Grande, Petrolina e Afrânio, este último totalmente inserido na bacia (APAC, 2023).

O riacho Pontal tem nascente no extremo oeste de Pernambuco, no município de Afrânio, entre os limites dos estados do Piauí e Bahia. Na nascente, o riacho se chama Cachoeira do Roberto e passa ser chamado pelo nome que é dado a bacia hidrográfica a partir do município de Petrolina, percorrendo uma distância de aproximadamente 200 km antes de desembocar na margem esquerda do rio São Francisco (APAC, 2023).

O rio principal é o riacho do Dormente no município de mesmo nome, com área de drenagem correspondente a 34% da bacia do riacho Pontal. Nesta bacia estão sendo construídos diversos açudes pelo Poder Público, dos quais se destacam o Cruz de Salinas, o Vira Beiju e o Caititu (CODEVASF, 2007a).

A bacia está inserida numa área com grande desenvolvimento econômico no semiárido pernambucano, devido a agricultura irrigada, dada a disponibilidade hídrica do Rio São Francisco, tornando-a uma das maiores produtoras de uva do Brasil (GOMES; ARAÚJO; GALVÍNIO, 2021).

O clima da região da bacia do rio Pontal é marcado pela escassez e irregularidade de chuvas, assim como forte evaporação por conta das altas temperaturas. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é o BSw^h, correspondendo a semiárido. A precipitação média anual é 550 mm, com chuvas concentradas entre dezembro e abril, sendo influenciada pelos oceanos tropicais e fatores de circulação atmosférica de escala global e regional, destacando-se os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS), Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e linhas de instabilidade (derivadas de frentes frias de sudeste) (MELLO; SAKAMOTO; TORSANI, 1996). Além da grande variabilidade sazonal, o semiárido é marcado por grandes flutuações interanuais que provocam fenômenos extremos como grandes secas ou enchentes.

A cobertura vegetal da área constitui-se de caatinga hiperxerófila constituída por formações arbóreo-arbustivas que possuem como principal característica a caducidade foliar (SANTANA et al., 2011). Os municípios de Petrolina e Lagoa Grande apresentam a mesma fitofisionomia, observando-se uma vegetação típica de caatinga com fisionomia predominantemente arbustiva com elementos arbóreos, podendo ser densa ou aberta, com um estrato arbustivo variando 3 a 4 metros de altura (CODEVASF, 2007b).

De acordo como Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE), os solos dominantes na área da bacia do Riacho Pontal são os Latossolos, Argissolos (Amarelo, Vermelho-Amarelo, Vermelho Escuro), Cambissolos, Planossolos, Luvisolos, Vertissolos, além da classe dos Neossolos (Flúvicos, Quartzarênicos, Regolíticos e Litólicos) (SILVA et al., 2001).

Para implantação dos perímetros irrigados na área, foram estudados cerca de 97.000 ha, dos quais foram considerados irrigáveis cerca de 54.000 ha. As áreas irrigáveis constituem-se em locais alternativos para o desenvolvimento da agricultura irrigada (SILVA, 2016). Observa-se também na região da bacia, uma rápida expansão da agricultura irrigada de uva, manga e goiaba, o que ameaça gravemente áreas de florestas nativas (MIRANDA, 2017).

3.2 Modelagem Hidrológica para a Bacia do Rio Pontal

O organograma estrutural apresenta as etapas para análise dos dados observados e o desenvolvimento das simulações com os cenários selecionados (Figura 04).

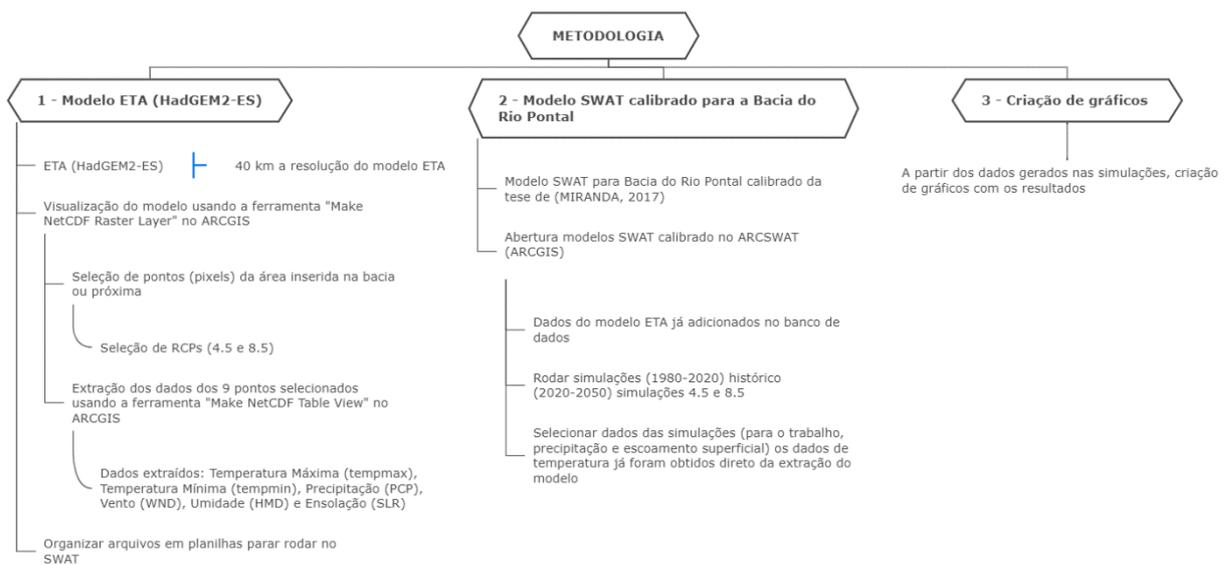


Figura 4 – Organograma estrutural da metodologia.

3.2.1 – Modelo ETA (HadGEM2-ES)

O Modelo Climático Regional utilizado foi o ETA - HadGEM2-ES, a resolução espacial do modelo ETA foi de 40 km. Os RCPs selecionados foram o 4.5 (intermediário) e o 8.5 (pessimista).

Para visualização dos dados do modelo ETA, foi usado o software *ArcGIS* versão 10.2.2; a ferramenta *Make NetCDF Raster Layer* permitiu observar espacialmente os dados do modelo e a ferramenta *Make NetCDF Table View* permitiu a extração desses dados. Foram selecionados 9 pontos, chamados de S1, S2, S3..., S9; inseridos ou muito próximos da Bacia do Rio Pontal (Figura 5). Os dados extraídos do modelo foram: Temperatura Máxima (tempmax), Temperatura Mínima (tempmin), Precipitação (PCP), Vento (WND), Umidade (HMD) e Insolação (SLR).

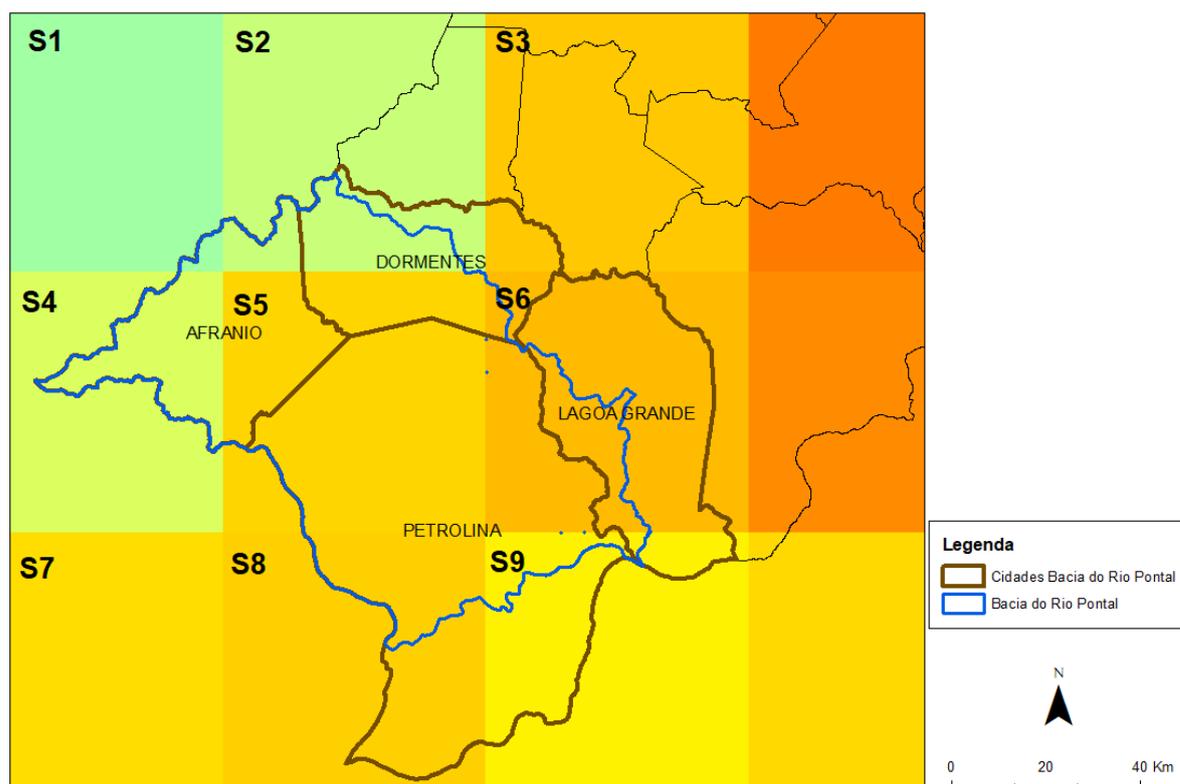


Figura 5: Visualização do modelo ETA especializado na bacia do Rio Pontal. Fonte: Autor (2023).

Estação	Latitude	Longitude	Elevação
S1	-8.25	-41.25	381,3
S2	-8.25	-40.75	615,6
S3	-8.25	-40.25	518,1
S4	-8.75	-41.25	529,7
S5	-8.75	-40.75	443,7
S6	-8.75	-40.25	504,7
S7	-9.25	-41.25	434,9
S8	-9.25	-40.75	407,5
S9	-9.25	-40.25	376,7

Tabela 1: Nomes, coordenadas e elevações dos pontos seleccionados do modelo ETA para a Bacia do Rio Pontal. Fonte: Autor (2023).

3.2.2 – Modelo SWAT calibrado para a Bacia do Rio Pontal

O Modelo SWAT calibrado para a bacia do Rio Pontal foi cedido por Miranda (2017), modelo que foi resultado da sua tese de doutorado. O SWAT requer dados observados de relevo, clima, solos e uso e cobertura da terra. Os dados de relevo foram obtidos da base de dados da EMBRAPA Relevo; os dados de clima do INMET

(Instituto Nacional de Meteorologia), nos quais foram selecionadas as estações meteorológicas de Petrolina e Afrânio; os dados de solo foram obtidos através do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE) e da EMBRAPA Solos e, por último, os dados de uso e cobertura da terra foram resultados de técnicas de sensoriamento remoto produzidas pelo próprio autor (MIRANDA, 2017).

Foram inseridos no banco de dados da bacia os dados extraídos do modelo ETA (tempmax, tempmin, prec, rhs, wnd e slr) e executadas as simulações. Começando com a simulação do intervalo histórico de 1980 a 2019, com um período de aquecimento de 5 anos. Em seguida foram feitas as simulações para o período futuro de 2021 a 2050 nos RPCs 4.5 e 8.5, também com 5 anos de aquecimento.

Os resultados gerados nas simulações foram transformados em gráficos. As variáveis climáticas selecionadas foram: Escoamento Superficial, Precipitação e Temperatura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A média das temperaturas mínimas e máximas do período histórico observado de 1980-2019 mostra que os meses mais frios da bacia do Rio Pontal são junho, julho e agosto (Figura 6). A mínima no 4.5 e no 8.5 foi de 20,2°C, no mês de agosto. As temperaturas máximas são registradas nos meses de setembro, outubro e novembro, atingindo o valor máximo de 34,6°C, novamente nos dois RCPs, no mês de outubro. Os meses de dezembro e janeiro têm uma pequena diferença nas máximas, nos RCPs 4.5 e 8.5, cerca de 0,5°C.

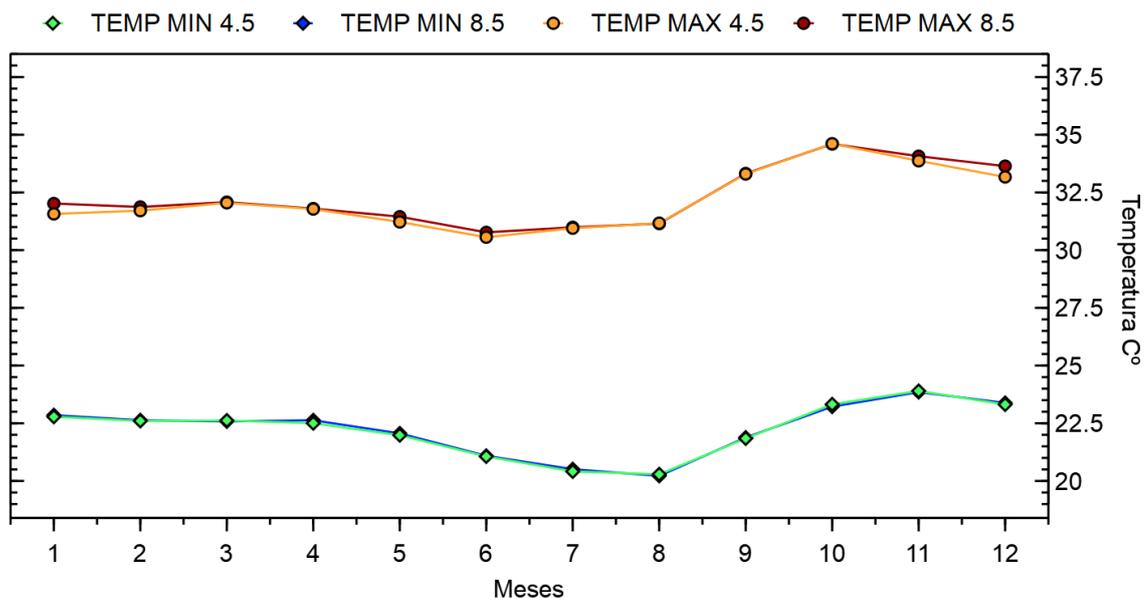


Figura 6: Média de temperaturas máximas e mínimas para o período histórico observado 1980 – 2019 nos RCPs 4.5 e 8.5.

A média das temperaturas máximas e mínimas para o período simulado 2020-2050 e os efeitos das mudanças climáticas já são visíveis na (Figura 7). A temperatura mínima no RCP 4.5 é a menor em todos os meses do ano, equiparado ao cenário 8.5; a mínima passa de 20,2°C no período histórico para 21,6°C, um acréscimo de 1,4°C no cenário 4.5; já no cenário 8.5 o incremento é maior, aproximadamente 1,8°C.

Em relação às temperaturas máximas do período simulado, a variação dos cenários 4.5 e 8.5 é mais evidente, principalmente no outono e no primeiro mês do inverno, em que a diferença de temperatura entre os cenários pode chegar a 1,2°C. Comparando com o período histórico, a temperatura no mês de outubro sobe de 34,6°C para 36°C no RCP 4.5 e 36,4°C no RCP 8.5.

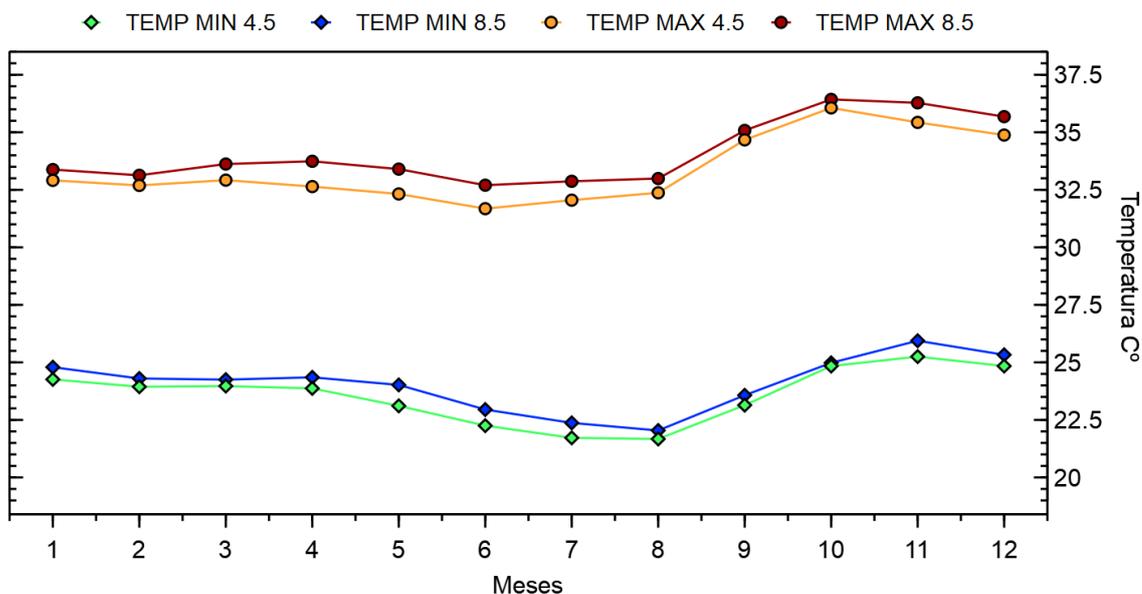


Figura 7: Média de temperaturas máximas e mínimas para o período futuro simulado 2020 – 2050 nos RCPs 4.5 e 8.5.

Ocorrem maiores temperaturas médias no cenário mais pessimista, nos anos de 2039 e 2048, a média de temperatura chega aos 30°C, valores nunca antes registrados em nenhum dos cenários desde o início do período observado, onde o maior valor foi 28,8°C em 2015 (Figura 8). No RPC 4.5, o maior valor de temperatura registrado foi no ano de 2045, onde a média atingiu 29,8°C. Os dois cenários apresentam valores de tendência crescente para a temperatura média.

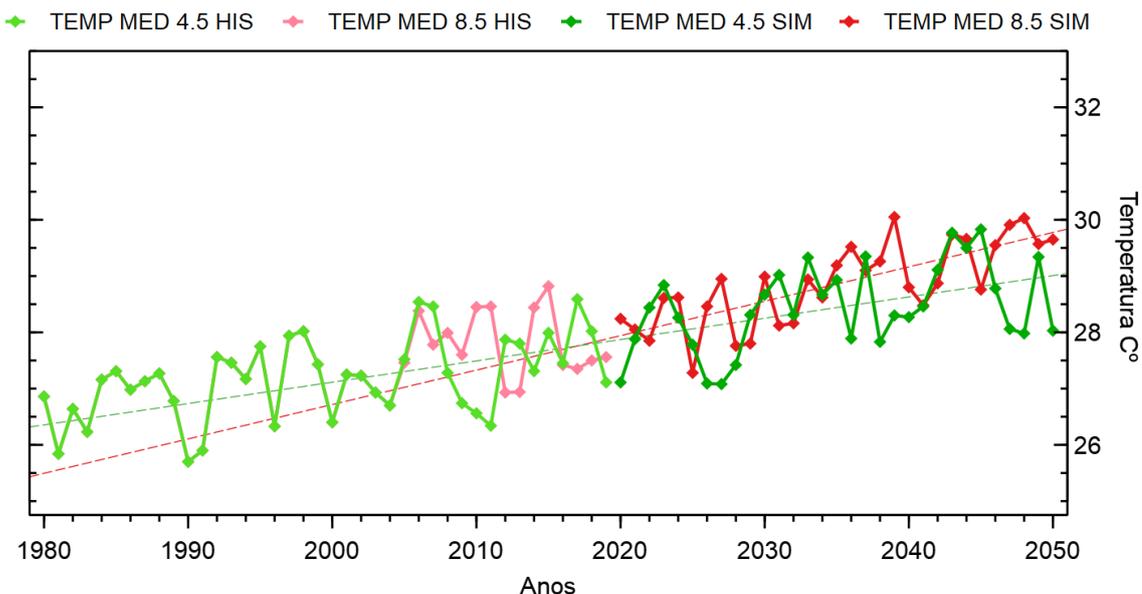


Figura 8: Média de temperatura anual de todo o período, observado 1980-2019 e simulado 2020-2050 para os RCPs 4.5 e 8.5.

Além da temperatura, observou-se mudanças nos regimes de precipitação da bacia do Rio Pontal em relação ao período histórico (Figura 9a). No RPC 8.5, o resultado é mais expressivo, com redução de cerca de 7,3% da precipitação, além disso haverá mais anos com chuva abaixo da média da bacia que é de 550 mm. Enquanto isso, no RPC 4.5 a mudança é mais sutil, a redução é de cerca de 2,7% e os anos com chuva abaixo da média histórica será menor (Figura 9b). Como a bacia do Rio Pontal está inserida numa região de escassez hídrica, qualquer redução na precipitação faz falta para a população que vive na região da bacia e para o ecossistema local.

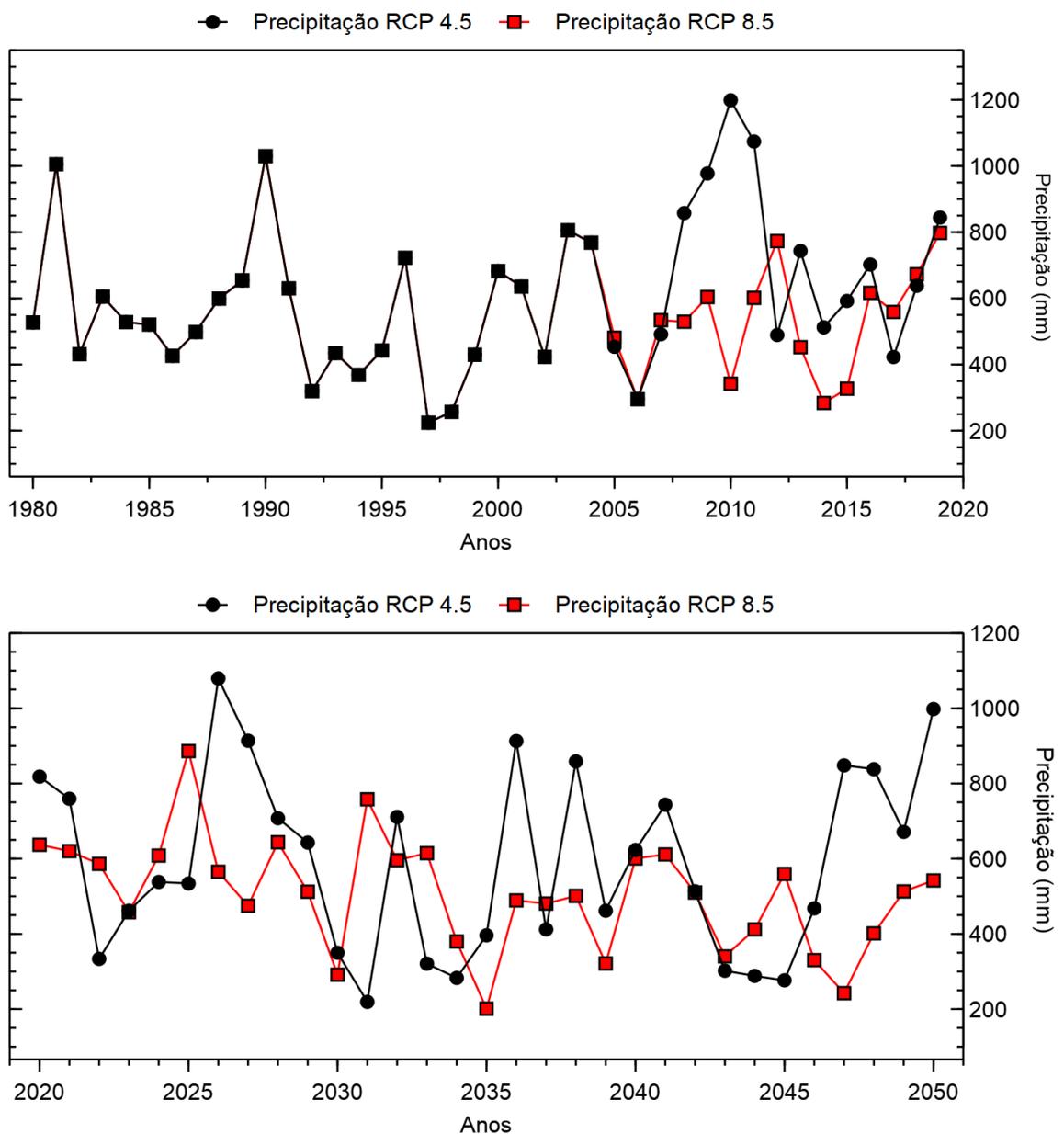


Figura 9: (a) precipitação média anual período histórico 1980-2019; (b) precipitação média anual período simulado 2020-2050 RCPs 4.5 e 8.5.

A última variável analisada foi o escoamento superficial. De acordo com as simulações, o cenário pessimista vai ter uma redução na precipitação maior (Figura 10a) e conseqüentemente a vazão da bacia também será menor comparada ao cenário intermediário (Figura 10b). De acordo com Ferreira et al. (2017), a maior parte da bacia é composta pelos Argissolos, esses solos no semiárido costumam ser menos profundos e ter maior pedregosidade. Somando isso ao aumento da temperatura, visto nas análises de simulações anteriores, qualquer variação na precipitação influenciará no aumento ou diminuição do escoamento superficial.

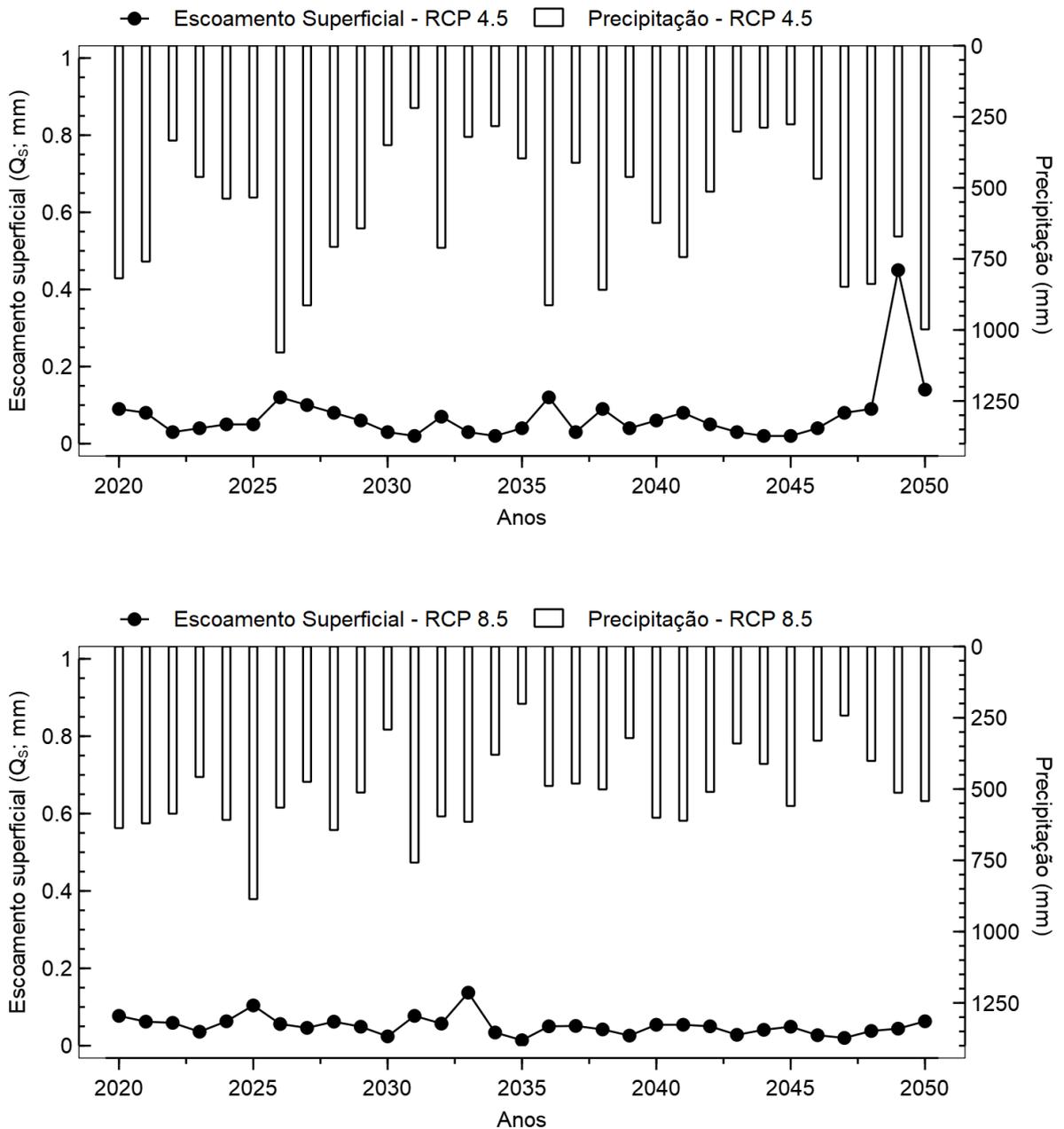


Figura 10: (a) precipitação e escoamento superficial simulado RCP 4.5; (b) precipitação e escoamento superficial simulado RCP8.5.

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados gerados através de simulações no modelo SWAT, utilizando o Modelo Climático Regional ETA - HadGEM2-ES, ficou claro o impacto que as mudanças climáticas podem causar na bacia do Rio Pontal. Em ambos os cenários de emissões, há um aumento da temperatura média, principalmente no RPC 8.5 em que a temperatura média em alguns anos pode chegar a 30°C, temperatura nunca registrada na bacia de acordo com os dados históricos.

Em relação a precipitação, também haverá uma redução na média anual, influenciando diretamente outra variável climática que é o escoamento superficial. Novamente no cenário mais pessimista, essa redução é mais intensa. Esses resultados se aproximam e reforçam as projeções feitas pelo IPCC em seu último relatório o AR6, lançado no ano de 2022.

As mudanças climáticas têm o potencial de causar impactos significativos na disponibilidade dos recursos hídricos na bacia do rio Pontal. Por ser uma região que depende da água principalmente para a agricultura e abastecimento da população, quaisquer mudanças na precipitação das chuvas, aumento da temperatura e padrões de fluxo de água podem ter efeitos diretos e indiretos na economia local e na qualidade de vida da população.

As consequências também acarretarão um aumento nos custos de infraestrutura para adaptação às mudanças climáticas, assim como perdas financeiras associadas a eventos extremos e diminuição do investimento estrangeiro devido à incerteza climática. As mudanças também devem impactar a biodiversidade local, como por exemplo na perda de habitats naturais, afetando negativamente a fauna e a flora.

Para conter esses impactos são necessárias medidas de adaptação e mitigação. Isso pode incluir a implementação de práticas sustentáveis de gestão de recursos hídricos, o desenvolvimento de infraestruturas resilientes ao clima, o investimento em tecnologias de conservação de água, a promoção de práticas agrícolas sustentáveis e a conscientização sobre a importância da conservação dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

ADAM, K.; COLLISCHONN, W. Análise dos Impactos de Mudanças Climáticas nos Regimes de Precipitação e Vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 69–79, 2013.

AMARAL, J. F. **Reformas estruturais e economia política dos recursos hídricos no Ceará**, 2003. Disponível em: <http://www.iplance.ce.gov.br>. Acesso em: 2 dez. 2018.

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Bacias Hidrográficas – Riacho Pontal**. 2023. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas-riacho-pontal/170-bacias-hidrograficas-riacho-pontal/211-bacia-do-riacho-pontal>. Acesso em: 23 abr. 2023.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional / CODEVASF - **Mais Irrigação é lançado por presidenta Dilma com previsão de investimento de R\$ 10 bi em 538 mil hectares e 16 estados**. In: <http://www.codevasf.gov.br/noticias/2007/mais-irrigacao-elancado-com-previsao-de-investimento-de-r-10-bi-em-538-mil-hectares-e-16-estados>. Brasil, 2007a.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional / CODEVASF - **Estudo de Impacto Ambiental – Projeto Pontal Norte**. Projotec. Volume 1, estudos preliminares, Brasil, 2007b.

CASTRO, K. B. **Avaliação do modelo SWAT na simulação da vazão em bacia agrícola do Cerrado intensamente monitorada**. 2013. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) — Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

CHOU, S. C.; MARENGO, J. A.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; PESQUERO, J. F.; ALVES, L. M.; KAY, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. **Climate Dynamics**, v. 38, n. 3–4, p. 635–653, 2012.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estud. av. [online]**, v. 22, n. 63, p. 61-82, 2008. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200005>.

DHAR, S.; MAZUMDAR, A. Impacts of Climate Change under the Threat of Global Warming for an Agricultural Watershed of the Kangsavati River. **International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering**, v. 03, n. 03, p. 136–145, 2009.

FARIAS, C. W. L. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; LINS, F. C. A.; MONTENEGRO, A. A. Correção de tendência das projeções climáticas futuras simuladas pelo modelo regional Eta-Hadgem2-Es para a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, Nordeste do Brasil Trend correction of future climate projections simulated by the Eta-Hadgem2-Es regional model for the Mundaú River Basin, Northeastern Brazil. **Journal of Environmental Analysis and Progress Journal**, v. 05, n. 03, p. 288–301, 2020.

FESER, F.; ROCKEL, B.; STORCH, H. S.; WINTERFELDT, J.; ZAHN, M. Regional climate models add value to global model data: A review and selected examples. **American Meteorological Society**, v. 92, p. 1181-1192, 2011.

GOMES, V. P.; ARAÚJO, M. S. B.; GALVÍNCIO, J. D. Mudanças espaço-temporais no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Pontal a partir de dados referenciais do Google Earth Pro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 7, p. 4148-4160, 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.7.p4148-4160>

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007, 996 p.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014, 151 pp.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2022, 3056 p., doi: 10.1017/9781009325844.

KHAKBAZ, B.; IMAM, B.; HSU, K.; SOROOSHIAN, S. From lumped to distributed via semi-distributed: Calibration strategies for semi-distributed hydrologic models. **Journal of Hydrology**, v. 418–419, p. 61–77, 2012.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias Estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 149-176, 2008.

MELLO, N. G. S.; SAKAMOTO, M. S.; TORSANI, J. A. Um Estudo de Caso de Um Sistema Convectivo de Mesoescala Observado no Nordeste do Brasil. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9., p. 940-944, 1996, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão, 1996.

MIRANDA, R. Q. **Avaliação Integrada da Variação Espacial e Temporal do Balanço Hídrico na Caatinga**. 2017. 122f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J.R., WILLIAMS, J.R. **Soil and Water Assessment Tool**, Theoretical Documentation Version 2005, 2005. Disponível em: <https://swat.tamu.edu/media/1292/swat2005theory.pdf>.

RODRIGUES, J. A. M. **Impactos Antrópicos no Regime Hidrológico de Tributários Do Rio Tocantins**. 2017. 122 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

SANTANA, D. F. Y.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; FERREIRA, M. A.; SILVA, M. J. DE A.; MARQUES, K. A.; DE MELLO, A. C. L.; SANTOS, D. C. Caracterização da caatinga e da dieta de novilhos fistulados, na época chuvosa, no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 01, p. 69–78, 2011. Doi: 10.1590/S1516-35982011000100010

SANTOS, C. A. S.; ROCHA, F. A.; RAMOS, T. B.; ALVES, L. M.; MATEUS, M.; OLIVEIRA, R. P.; NEVES, R. Using a hydrologic model to assess the performance of regional climate models in a semi-arid Watershed in Brazil. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 01, p. 1–17, 2019. Doi: 10.3390/w11010170.

SANTOS, C. A. C. **Estimativas e tendências de índices de detecção de mudanças climáticas com base na precipitação diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba**. 2006. 98f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

SANTOS, J. C.; LEAL, I. R.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; FERNANDES, G. W.; TABARELLI, M. Caatinga: the scientific negligence experienced by a dry tropical forest. **Tropical Conservation Science**, Menlo Park, v. 4, n. 3, p. 276-286, 2011.

SHUTTLEWORTH, W. J. **Evaporation** In: Maidment, D. R. Handbook of hydrology. New York: McGraw-Hill, 1993.

SILVA, F. B. R.; SANTOS, J. C. P.; SILVA, A. B.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B. B.; BURGOS, N.; PARAHYBA, R. B. V.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SOUSA NETO, N. C.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LOPES, O. F.; LUZ, L. R. Q. P.; LEITE, A. P.; SOUZA, L. G. M. C.; SILVA, C. P.; VAREJÃO-SILVA, M. A.; BARROS, A. H. C. **Zoneamento agroecológico do estado de Pernambuco**. Recife: Embrapa Solos-UEP Recife;

Governo do Estado de Pernambuco – Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária, 2001.

SILVA, M. T. **Mudança no uso de solo e no aporte de sedimentos na bacia hidrográfica do submédio rio São Francisco**. 2014. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

SILVA, E. R. A. C.; MIRANDA, R. Q.; FERREIRA, P. S.; GOMES, V. P.; GALVÍNCIO, J. D. Estimativa do Estresse Hidrológico na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 47, p. 844-861, 2016. Doi: <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2016v26n47p844>.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Delimitação do semiárido – 2021**: Relatório final. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>. Acesso em: 18 de abr. 2023.

WWAP (World Water Assessment Programme). **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2020**. Água E Mudança Climática: Resumo Executivo. 2020. Paris, UNESCO. Disponível em: < https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372882_por >. Acesso em: 15 abr. 2021.