

1.1. RECURSOS HÍDRICOS

O ciclo hidrológico funciona como um sistema global fechado, responsável pelo fluxo contínuo de água entre a atmosfera e a superfície terrestre (seres vivos, corpos d'água e solo). As mudanças climáticas estão ampliando os extremos de temperatura, alterando as características e os fluxos do ciclo hidrológico, resultando em chuvas mais intensas, inundações mais frequentes e secas mais severas (Arnell & Gosling, 2016; IPCC, 2021). O Brasil possui grande estoque de água, mas sua distribuição é desigual, com a maior escassez ocorrendo na região Sudeste devido ao aumento da demanda. No Brasil, embora haja um grande estoque de água, sua distribuição desigual e o aumento da demanda, impulsionado pelo crescimento populacional e pela intensificação de atividades econômicas, têm causado estresse hídrico, especialmente na região Sudeste (Dela Costa et al, 2022). A crescente demanda de água, impulsionada pelo aumento populacional e pelas atividades econômicas, principalmente abastecimento humano, irrigação e indústria (ANA, 2020), tem gerado estresse hídrico, exacerbado pela urbanização desordenada (Marengo et al., 2017) e mudanças climáticas. No Espírito Santo, o setor agropecuário é o maior consumidor de água no estado (94% da demanda), acima da média nacional de 80% (ANA, 2019). Para garantir a segurança hídrica, a gestão dos recursos hídricos deve considerar, além de dados históricos, a vulnerabilidade das populações locais e as ameaças das mudanças climáticas, evitando decisões erradas no uso da água (Lima et al., 2014; Marengo et al., 2017).

1.1.1. Uma perspectiva global e nacional dos riscos relacionados aos recursos hídricos

As mudanças climáticas podem intensificar, acelerar ou fortalecer o ciclo hidrológico global devido ao aumento da temperatura média da Terra (Field et al., 2012; IPCC, 2014; IPCC, 2018). Esse aumento de temperatura altera a distribuição espacial e temporal das precipitações, resultando em maior frequência de eventos extremos, como tempestades e secas prolongadas.

Estudos indicam que os estados brasileiros são vulneráveis às alterações climáticas, com impacto no regime de chuvas e nos recursos hídricos (Lucena et al., 2009; Marengo et al., 2017; De Paula, 2020; Brêda et al., 2020).

Modelos hidrológicos são ferramentas importantes para projetar a dinâmica dos cursos d'água em função das projeções climáticas. Esses modelos ajudam a entender como as alterações climáticas podem influenciar os recursos hídricos em escalas globais, continentais e regionais.

Schewe et al. (2014) efetuaram uma estimativa global da variação do armazenamento de água com base em diversos modelos do sistema terrestre e hidrológicos. O estudo mostra que algumas áreas do planeta (altas latitudes do hemisfério norte, África Subsaariana, Índia e China) terão um aumento nas vazões dos rios, enquanto outras, como a América do Sul, enfrentarão uma redução das vazões.

Por outro lado, amplas frações do planeta enfrentarão reduções das vazões, como a América do Sul. Brêda et al. (2020) estimaram as alterações médias das precipitações e das vazões dos rios

na América do Sul considerando uma média do conjunto (*ensemble*) dos resultados de 25 modelos climáticos globais (GCMs). Seguindo a tendência em escala global, a maior parte da América do Sul apresenta tendência futura de redução da precipitação média e das vazões.

Na região Sudeste do Brasil, as projeções para o rio Doce, considerando o cenário RCP 4.5, apresentam uma grande variabilidade, de forma que não há uma concordância entre os modelos em relação ao aumento ou redução das vazões. Entretanto, para o cenário RCP 8.5, mais pessimista, os modelos concordam entre si (ao menos 2/3 dos GCMs) com a redução das vazões no futuro. Portanto, assumindo que as projeções dos GCMs estejam corretas e que a média e a mediana do conjunto de modelos sejam um indicador aceitável do clima futuro, percebe-se que a combinação da redução na precipitação com o aumento da evapotranspiração é responsável pelas maiores alterações esperadas nas vazões do rio Doce e de rios em outras bacias no Espírito Santo.

1.1.2. Impacto das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica no Espírito Santo

O clima no Espírito Santo apresenta alta variabilidade devido a presença de duas regiões naturais distintas: a região litorânea e a região serrana. Além disso, o regime de precipitação é fortemente afetado por diversos fenômenos atmosféricos, dentre eles o El Niño Oscilação Sul (ENOS) nas fases El Niño (EN) e La Niña (LN), as Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). O ASAS é mais presente durante o inverno no estado, favorecendo a criação de condições com baixa umidade e temperatura e, conseqüentemente, uma menor ocorrência de chuvas. (Satyamurty et al., 1998, Regoto et al., 2018). As ZCAS se estabelecem durante o verão e favorece a formação de nebulosidade e chuvas (Kodama, 1992; Regoto et al. 2018). Já o ENOS tem duas componentes oceânicas conhecidas como EN e LN (modos de variabilidade climática natural com uma periodicidade de 2 a 7 anos) (Reboita et al., 2021; Pereira et al. 2017). O EN é caracterizado pelo aquecimento anômalo das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial, enquanto o comportamento oposto caracteriza a formação da LN.

O aumento de temperatura devido às mudanças climáticas afeta esses fenômenos atmosféricos, intensificando eventos extremos como chuvas intensas e secas prolongadas. Embora a precipitação total média no estado esteja diminuindo, as chuvas intensas (curta duração) estão se tornando mais frequentes. Há um antagonismo entre eventos de inundações e secas, com diferentes regiões do estado afetadas de forma diversa: o norte e centro-oeste com mais secas e estiagens, e o sul e leste com mais inundações e alagamentos.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHES) projeta aumento da demanda de água em todos os setores (irrigação, abastecimento urbano e indústria), com três situações possíveis (que podem ser associadas aos Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (SSPs)):

- Cenário “Remando Contra A Corrente” (Pessimista): O Brasil e o Espírito Santo permanecem inseridos nas redes de comercialização de commodities (petróleo, minérios, madeira, etc.) e de produtos alimentícios não processados (café, cana, etc.),

sem aumentos de eficiência, sem agregação de valor, em uma economia com baixo nível de inovação;

- Cenário “Flutuando em Águas Conhecidas” (Tendencial): que busca “Reproduzir com crescimento”, no qual o futuro repete o passado e a evolução das principais demandas hídricas decorre de simples extrapolações do que ocorreu em passado recente;
- Cenário “Navegando em Águas Revoltas” (Otimista): que busca “Avançar com inovação” considerando processo de desenvolvimento sustentável, no qual o crescimento econômico é conciliado com o alcance da equidade social, o que envolve a proteção ambiental.

Nessas três situações, o PERHES indica a irrigação visivelmente dominante na demanda dos recursos hídricos, seguida pelo abastecimento urbano e pela indústria. Embora haja uma projeção real de aumento da demanda pela água, o PERHES ainda não considerou efeitos possíveis e esperados das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos onde há uma tendência de redução da precipitação total média em todo o estado. Essa alteração no regime de precipitação impacta diretamente na disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas do estado (Figura 1).

A partir dessa análise preliminar, percebe-se que em todos os cenários há uma tendência de redução das vazões médias diárias (Figura 2), bem como das vazões mínimas (não apresentado aqui). No cenário SSP2-4.5 a maioria dos rios das bacias do estado apresentam tendência de redução de até -10% na vazão média, mas podendo chegar a -15% nas partes baixas das bacias dos rios Itaúnas, São Mateus, Barra Seca e porção sul da bacia do rio Riacho. Já no cenário SSP585 verifica-se redução de até -10% nas vazões médias em praticamente todas as bacias, exceto nas dos rios Itapemirim e Itabapoana, nas quais a redução média varia de -5% a -10%. Por outro lado, as porções baixas das bacias dos rios Itaúnas, São Mateus e Barra Seca podem ter suas vazões médias diárias reduzidas em até -20%.

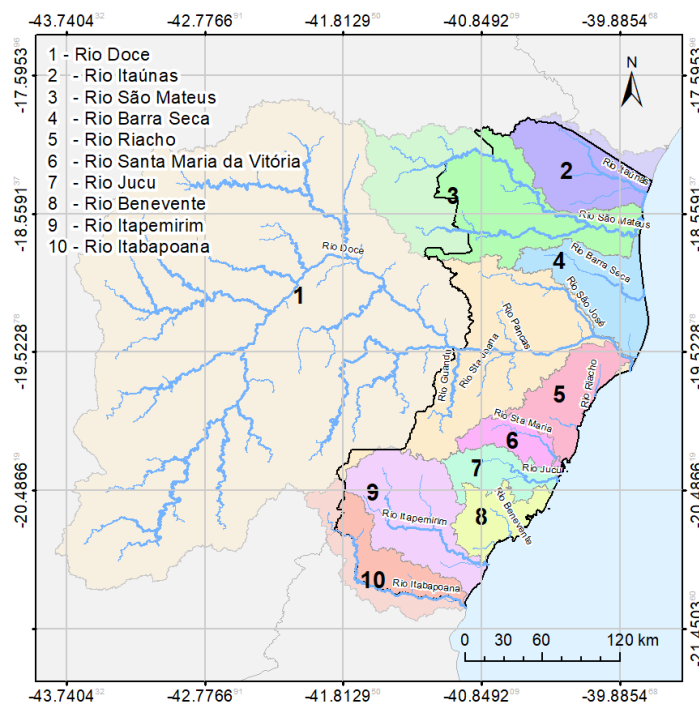


Figura 1 Bacias hidrográficas que compõem a região hidrográfica do Espírito Santo. Fonte: autoria própria.

Diferentemente das vazões médias, percebe-se que em todos os cenários há uma tendência de aumento das vazões máximas diárias, exceto na porção inferior das bacias dos rios Itaúnas e São Mateus, os quais podem ter redução das vazões máximas. No cenário SSP245 a maioria dos rios das bacias do estado apresentam tendência de aumento de até 10% na vazão máxima, mas podendo chegar a 15% nas bacias dos rios Itaúnas e São Mateus. Já no cenário SSP585 verifica-se aumento de até 10% nas vazões máximas em praticamente todas as bacias. Por outro lado, as porções baixas das bacias dos rios Itaúnas, São Mateus e Barra Seca podem ter suas vazões máximas diárias reduzidas em até -10%.

Importante considerar que os resultados apresentados são as médias dos resultados dos 19 GCMs, mas a variabilidade entre os resultados individuais de cada modelo é elevada, de forma que a variação nas vazões pode ser ainda maior. Um estudo mais aprofundado e detalhado deve ser realizado para avaliar a faixa de variação das anomalias de vazão. Por outro lado, independentemente do modelo considerado, percebe-se que recorrência de eventos extremos tem aumentado ao longo dos anos e tendem a se intensificar com os efeitos das mudanças climáticas.

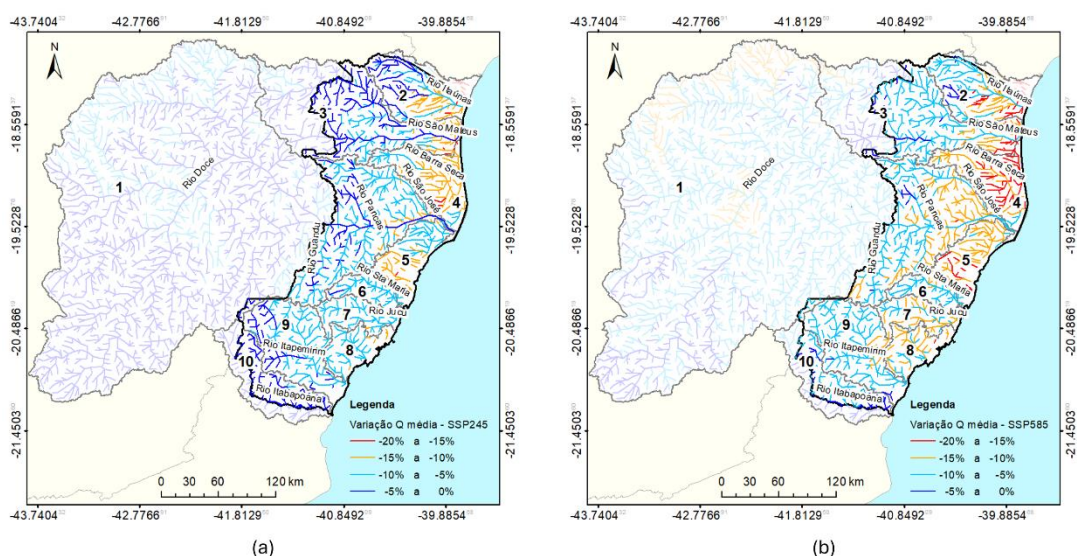


Figura 2 Variação da vazão média diária calculada como a média do conjunto de resultados (ensemble) no período futuro (2015-2085) em relação ao período histórico (1979-2014), para os cenários (a) SSP2-4.5 e (b) SSP5-8.5 do CMIP6. Fonte: autoria própria.

Segundo Dela Costa (2022), os cenários climáticos futuros podem afetar significativamente a precipitação na bacia do rio Doce, uma das bacias federais que desaguam no Espírito Santo. O estudo realizado por Dela Costa (2022) utilizou o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias - MGB (Collischonn; Tucci, 2001; Collischonn et al., 2007, Pontes et al., 2017) e as projeções futuras do MCR Eta (Marengo et al., 2011) aninhado aos modelos globais BESM, MIROC5, CanESM2 e HadGEM2-ES e avaliou os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.

O estudo mostrou que a bacia do rio Doce pode sofrer sérios problemas com redução da precipitação média ao longo do século 21 e, nos períodos avaliados, poderá haver grande redução das vazões, acima de 70% a depender do modelo regional considerado, comprometendo o abastecimento humano, bem como a disponibilidade de água para agricultura, indústria e geração de energia. Tais impactos são previstos porque os modelos projetam um aumento considerável nas temperaturas médias da bacia do rio Doce ao longo dos próximos anos até o fim do século 21, especialmente no cenário pessimista RCP 8.5.

É importante destacar que, neste documento, foram verificados os impactos sobre os recursos hídricos do estado, em sua grande maioria, analisando as vazões diárias, mas muitos dos problemas com eventos extremos ocorrem em períodos inferiores a 24 horas, especialmente as inundações. Conforme mencionado anteriormente, o estado tem características orográficas que impactam a formação de chuvas e os fenômenos que controlam o regime de chuva no estado têm se intensificado, gerando impactos extremos com grandes volumes de chuva em pouco tempo.

Segundo os Atlas de Riscos Geológicos e Hidrológicos do estado do Espírito Santo, apresentado por Ribeiro (2022), foram registrados 354 decretos municipais de “situação de emergência” e de “estado de calamidade” entre os anos de 2012 e 2020 no Espírito Santo. Desses decretos, 111 estão relacionados à ocorrência dos três principais fenômenos atmosféricos (ENOS, ZCAS e ASAS) que afetam o regime de precipitação do estado (Regoto et al., 2018) e são diretamente afetados pelo aumento da temperatura resultante das mudanças climáticas.

Se por um lado o aumento de temperatura leva ao aumento na intensidade da evaporação, podendo induzir chuvas extremas devido ao aumento da geração e retenção de vapor d'água, esse processo também tende a gerar secas importantes. Como o estado é uma importante região agropecuária e possui um discrepante regime pluviométrico longitudinalmente em seu território, a ocorrência de secas compromete as reservas hídricas e a produtividade local.

Uma redução da disponibilidade hídrica no estado pode levar a danos para a produção de alimentos e até mesmo para a saúde humana, com diversas doenças de veiculação hídrica podendo ser agravadas em decorrência de eventos extremos (cheias e secas) que comprometem a qualidade da água de abastecimento (Confalonieri, 2003; Freitas et al., 2014). O entendimento da variação do regime hidrológico em função das mudanças climáticas tem se mostrado cada vez mais importante para os diversos setores estratégicos do estado, como o setor hidrelétrico, agricultura e o abastecimento urbano.

Baldotto (2022) caracterizou o comportamento espaço-temporal dos eventos secos na região hidrológica de abrangência do estado do Espírito Santo, por meio de dados de sensoriamento remoto e modelagem hidrológica. Com dados de satélite foram identificados 12 períodos secos no período de 202 a 2020, sendo 4 deles com duração maior de 1,5 ano. O de maior severidade nesse período foi o ocorrido entre 2014 até meados de 2017 (mais perceptível na região sul), sucedido pelo evento de 2018 até 2020 (mais perceptível na região norte), com esses dois últimos separados por poucos meses de excesso hídrico. O estudo avalia ainda que a recuperação do evento de 2014 não ocorreu antes do evento seco seguinte. Eventos secos anteriores a 2002 também foram identificados por meio da simulação hidrológica, com alguns com magnitude, severidade e duração tão grande quanto a seca de 2014. Embora sua avaliação

não considere o comportamento futuro das secas frente às projeções climáticas, seus resultados ressaltam a ocorrência das secas no estado, o aumento da magnitude delas e a necessidade de ações de mitigação e adaptação.

Com base nos estudos apresentados, verifica-se que diversos municípios do estado do Espírito Santo se encontram em uma posição vulnerável em relação a eventos hidrológicos. O Estado pode apresentar uma significativa diminuição no volume de chuvas, com tendência de aumento do percentual do número máximo de dias secos consecutivos no ano (CDD). Períodos secos mais intensos tendem a comprometer setores da economia, principalmente a irrigação e o abastecimento de água do estado, especialmente considerando que esse abastecimento depende, prioritariamente, da captação em mananciais superficiais. É necessário buscar medidas de mitigação e adaptação os impactos de uma redução da vazão dos rios, agravada pela redução da precipitação. Nesse contexto, o estado tem planejado a construção de reservatórios por meio do Programa Estadual de Construção de Barragens – SEAG, o qual visa a ampliação da segurança hídrica para atividades agropecuárias e para usos múltiplos, como irrigação, abastecimento e contenção de cheias.

Percebe-se, com clareza, a exposição das diferentes regiões do Espírito Santo em relação a eventos hidrológicos (perigo) que têm sido afetados (vulnerabilidade) pelos efeitos das mudanças climáticas. É necessário buscar medidas de mitigação e adaptação aos impactos de uma redução da vazão dos rios, agravada pela redução da precipitação total média no estado. Uma das estratégias já previstas pelo governo do estado, consiste na construção de reservatórios por meio do Programa Estadual de Construção de Barragens (SEAG) que visa a ampliação da segurança hídrica para atividades agropecuárias e para usos múltiplos, como irrigação, abastecimento e contenção de cheias.