



Avaliação de Cenários de Mudanças Climáticas no Planejamento dos Recursos Hídricos do Sistema de Águas da Região Metropolitana Rio de Janeiro e do Baixo Paraíba do Sul

Evaluation of Climate Change Scenarios in Water Resources Planning of Rio de Janeiro Metropolitan Region and Paraíba do Sul Lower Course Water Systems

Amanda Carneiro Marques & Daniel Andrés Rodriguez

Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil,

Av. Athos da Silveira Ramos 149, 21941-909, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mails: amanda.marques@coc.ufrj.br; daniel.andres@coc.ufrj.br

Recebido em: 08/05/2019 Aprovado em: 16/08/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_4_249_258

Resumo

O presente estudo visa a análise do sistema hídrico da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) e da região do Baixo Paraíba do Sul, que se faz de extrema importância uma vez que a crise hídrica de 2014-2015 evidenciou a questão complexa relacionada à transposição de parcela das águas do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu em períodos de estiagem. Além disso, o estudo objetiva a incorporação da análise exploratória de cenários de projeções climáticas no planejamento de longo prazo dos recursos hídricos. O estudo propõe uma análise de vazões provenientes de cenários de projeções climáticas do MHD-INPE (Modelo Hidrológico Distribuído – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), alimentado com os dados simulados de modelos atmosféricos regionais e globais, para três estações localizadas na bacia do rio Paraíba do Sul: Santa Cecília, Sobragi e Simplicio. Foram estimadas as demandas para o abastecimento humano e as atividades econômicas na transposição para o rio Guandu e no baixo curso do rio Paraíba do Sul. Foi feita uma análise em relação às projeções de oferta provenientes dos modelos e as demandas, a fim de identificar a vulnerabilidade hídrica do sistema. Os cenários de mudanças climáticas analisados neste estudo indicam que o sistema, tanto na RMRJ como no Baixo Paraíba do Sul, apresenta possibilidade de déficit, especialmente em situações de escassez, ou seja, quando as vazões mínimas são analisadas. Conclui-se que a análise de cenários de projeções futuras de oferta de água é fundamental para possibilitar aos gestores a incorporação de propostas, permitindo a identificação das principais incertezas relativas ao sistema e dos potenciais impactos das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Cenários de Planejamento; Mudanças Climáticas; Gestão de Recursos Hídricos

Abstract

This study aims to analyze the water system embracing the Metropolitan Region of Rio de Janeiro and the Lower Paraíba do Sul river Region, which acquired deeper importance since the 2014-2015 water crisis. Such calamity highlighted the multifaceted issue of transposing water from the Paraíba do Sul river to the Guandu river during drought periods. In addition, the study aims to incorporate exploratory analysis of climate projection scenarios into long-term water resources planning. The study proposes the analysis of flows from climate projection scenarios of the hydrological model MHD-INPE (Distributed Hydrological Model - National Space Research Institute). Such model was entered with simulated data from regional and global atmospheric models, for three stations located in the Paraíba do Sul river basin: Santa Cecília, Sobragi and Simplicio. Demands for human supply and economic activities in the transposition to the Guandu river and the low course of the Paraíba do Sul river were estimated. The relationship between supply projections and water demand was assessed in order to identify the system vulnerability. The climate change scenarios analyzed in this study indicate that the system, both in the Metropolitan Region of Rio de Janeiro and in the Lower Paraíba do Sul, presents a possibility of deficit, especially in situations of scarcity, which means, when the minimum flows are analyzed. The analysis of future water supply projection scenarios is concluded to be fundamental for enabling policy-makers to incorporate proposals that address main system uncertainties and potential climate change impacts.

Keywords: Planning Scenarios; Climate Change; Water Resources Management



1 Introdução

Problemas históricos relacionados a água, como a diferença entre a crescente demanda e a capacidade de oferta, a manutenção precária de infraestrutura e o abastecimento intermitente vêm sendo agravados devido às mudanças climáticas (Britto *et al.*, 2019). Outros fatores que afetam a disponibilidade hídrica em uma bacia hidrográfica são os relacionados às mudanças no uso e na cobertura do solo, à implantação de barragens e à irrigação, fatores presentes durante o processo histórico de evolução da ocupação e de transformação nas atividades produtivas na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (Oliveira, 2013). Além disso, com o crescimento populacional, torna-se necessário o maior investimento em infraestrutura, com o objetivo de melhorar a gestão, as condições de saúde pública, estabilizar a oferta de alimentos e aumentar o potencial de desenvolvimento industrial (Oki & Kanae, 2006). A ineficiência das políticas públicas e dos investimentos em infraestrutura potencializa o problema, complexo e crescente, de insuficiência de água para abastecimento urbano, forçado pela variabilidade e tendências do clima (Xylem, 2013).

A sustentabilidade na gestão dos recursos hídricos propõe a priorização igualitária das dimensões relativas à equidade social, eficiência econômica e sustentabilidade ambiental (Tortajada & Fernandez, 2018). O planejamento de cenários ajuda os gestores a incorporarem propostas de mudanças em seus processos de decisão, possibilitando a identificação das principais incertezas e dos potenciais impactos e respostas do sistema (Symstad *et al.*, 2017).

Para iniciar o planejamento de recursos hídricos de determinada região, é necessário reconhecer a complexidade do sistema proposto. A região Sudeste do Brasil ganhou visibilidade a partir da crise hídrica que afetou as áreas urbanas mais populosas do país em 2014-2015, trazendo a questão do abastecimento de água na região ao centro de um debate nacional (Britto *et al.*, 2019). A crise prejudicou principalmente o sistema hídrico baseado na bacia do rio Paraíba do Sul, causando, em especial, um conflito entre os estados de São Paulo e do Rio de Janeiro. A problemática decorreu-se do fato do abastecimento

da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) basear-se na particular transposição das águas da bacia do rio Paraíba do Sul para a bacia hidrográfica do rio Guandu.

A crise revelou também a deficiência no sistema hídrico da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Uma das opções para o aumento da oferta de água incluía a transferência de 5 m³/s do reservatório Jaguari, localizado na bacia do rio Paraíba do Sul, para o reservatório Atibainha, localizado na bacia hidrográfica do PCJ (Piracicaba, Capivari e Jundiaí), principal responsável pelo abastecimento hídrico da RMSP. A razão para a escolha da alternativa baseou-se no fato de que o sistema que transferiria água da bacia do rio Paraíba do Sul para a bacia hidrográfica do PCJ era a alternativa que levaria menos tempo para ser implementada. A medida resultou em um conflito entre o Governo do Estado do Rio de Janeiro e o Governo do Estado de São Paulo. Após mediação da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Governo Federal, ambas as partes aceitaram a solução (Kelman, 2015), que foi parcialmente concluída em 2018.

Além disso, outra questão complexa dentro do estado do Rio de Janeiro foi evidenciada pela diminuição do volume de água no rio Paraíba do Sul: Pelo lado da transposição para o Guandu em Santa Cecília, encontra-se o abastecimento da RMRJ, indústrias e outros usuários; por outro lado, localizados a jusante da transposição e junto ao rio Paraíba do Sul, existem as cidades e usuários da região do Baixo Paraíba do Sul. A crise evidenciou a forte dependência da RMRJ em relação à transposição das águas do rio Paraíba do Sul, uma vez que o abastecimento de cerca de 8,6 milhões de habitantes é realizado exclusivamente pelo Sistema Guandu/Lajes/Acari (Governo do Estado do Rio de Janeiro, 2018). Além disso, no trecho final do rio Guandu, denominado Canal de São Francisco, mesmo com as indústrias captando uma vazão bem menor para o desempenho de suas atividades econômicas, a vazão deve ser de 60 m³/s para conter a influência da intrusão salina (Comitê da Bacia Hidrográfica do Guandu, 2018). As regiões industriais de Itaguaí e Santa Cruz, sofreram com o problema de avanço da cunha salina no rio Guandu pela redução das vazões de água doce,

durante a crise hídrica de 2014-2015 (Governo do Estado do Rio de Janeiro, 2018). Também existem danos para a região do Baixo Paraíba do Sul, trazendo como consequência o assoreamento em grandes trechos do rio. A diminuição de vazão no rio Paraíba do Sul, com alterações na quantidade e qualidade de suas águas, também afetou as condições de captação para abastecimento da população de determinados municípios, como São João da Barra que se localiza na foz da bacia (COHIDRO, 2014).

Do ponto de vista das mudanças climáticas, o Quinto Relatório de Avaliação (*Assessment Report - AR5*) do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) (IPCC, 2014) afirma que, no período de 1901 a 2010, a média global do nível do mar subiu 0,19 metros (de 0,17 m a 0,21 m, considerando o erro), o que pode intensificar a problemática da captação de água na foz, devido à possibilidade de maior intrusão salina, tanto no Canal de São Francisco quanto na foz do rio Paraíba do Sul. Ainda de acordo com o AR5, os impactos de eventos extremos recentes relacionados ao clima, como ondas de calor, secas, inundações, ciclones e incêndios florestais, revelam uma vulnerabilidade significativa e exposição de alguns ecossistemas e muitos sistemas humanos à variabilidade climática atual (confiança muito alta) (IPCC, 2014). A fim de minimizar essa vulnerabilidade, o futuro desenvolvimento da hidrologia requer o aprimoramento da comunicação entre cientistas e tomadores de decisão, para garantir que estudos hidrológicos se traduzam em ações para tornar a gestão dos recursos hídricos mais sustentável (Okí & Kanae, 2006). Sendo assim, ressalta-se a importância da geração de cenários plausíveis, considerando projeções climáticas, que subsidiem a avaliação de riscos e a tomada de decisões (Dessai *et al.*, 2009). Faz-se indispensável a análise de projeções futuras, para que os impactos em situações de escassez que venham a ser vivenciadas sejam minimizados, através do aprimoramento de respostas para o sistema.

2 Materiais e Métodos

O presente estudo propõe a análise de vazões provenientes de cenários de projeções climáticas do MHD-INPE (Modelo Hidrológico Distribuído – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; Lima et

al., 2014), integrado com resolução horizontal de 10 km. Os autores utilizaram dados hidrometeorológicos observados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do INPE e do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), utilizando vazões naturais para a calibração do modelo. O período escolhido para calibração do modelo foi de 1970 a 1990, atingindo valores de coeficientes de desempenho de Nash-Sutcliffe adequados, acima de 0,71 em todas as estações analisadas (Lima *et al.*, 2014; Queiroz *et al.*, 2016).

As projeções hidrológicas foram geradas baseadas nos cenários SRES (*Special Report Emission Scenarios*) A1B do IPCC, utilizando dados simulados de modelos atmosféricos regionais (Eta - 40 e 20 km) e globais (GFCM21 – *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory CM 2.1*, HADCM3 – *Hadley Centre for Climate Prediction*, MPEH5 – *Max Planck Institute for Meteorology ECHAM5*, MRCGCM – *Meteorological Research Institute CGCM2.3.2*, NCCCSM – *NCAR Community Climate System Model*) para os diferentes membros nos períodos de 1961 a 1990, 2011 a 2040, 2041 a 2070, 2071 a 2099, como base para a criação de cenários futuros de oferta de água na região.

Os membros do modelo regional Eta foram gerados a partir das projeções globais do HADCM3 (Marengo *et al.*, 2012). Esses membros são provenientes das perturbações dos parâmetros na atmosfera e nos componentes do sistema oceano-gelo e têm o objetivo de gerar amostras das incertezas dos processos climáticos (Marengo *et al.*, 2012). Lima *et al.* (2014) corrigiram os erros sistemáticos nas variáveis meteorológicas simuladas pelos modelos atmosféricos no período histórico (1960-1990) utilizando comparações com dados observados e aplicando o método descrito por Bárdossy & Pegram (2011).

Os SRES representam cenários socioeconômicos que levam em consideração o desenvolvimento da sociedade, o crescimento populacional e a intensidade das emissões de gases de efeito estufa. O cenário com alta emissão é o A2 e o cenário com baixa emissão é o B2. O cenário A1B, utilizado neste estudo, é um cenário intermediário, representando uma emissão média (Knutti & Sedlacek, 2013).

Os modelos atmosféricos globais representam aproximações numéricas de equações representativas das leis físicas, e podem ser utilizados para projeções climáticas. Os modelos atmosféricos regionais são modelos de área limitada, usados frequentemente para “reduzir a escala” (*downscaling*) de modo dinâmico, objetivando o fornecimento de informações mais detalhadas (Lima *et al.*, 2014). O modelo Eta é um modelo atmosférico regional complexo em sua representação dos processos físico-dinâmicos da atmosfera (Chou *et al.*, 2014).

No presente trabalho, foram calculadas as vazões médias de 30 anos projetadas por diferentes modelos, para três estações (Santa Cecília, Sobragi e Simplicio) localizadas na bacia do Paraíba do Sul, apresentada na Figura 1.

O rio Paraíba do Sul nasce da confluência dos rios Paraíba e Paraitinga. O rio tem sua nascente no estado de São Paulo e seu curso d’água percorre regiões de Minas Gerais e do Rio de Janeiro, até desaguar no Oceano Atlântico, em São João da Barra (RJ). É nele que estão localizados importantes reservatórios de usinas hidrelétricas. A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul está localizada entre os maiores polos industriais e populacionais do Brasil, o que lhe atribui um importante papel (ANA, 2019).

Neste trabalho foi desenvolvido também o cálculo de curvas de permanência, a fim de observar as vazões mínimas correspondentes a Q90, vazão com permanência de 90% no tempo para cada modelo. A vazão de demanda atual para a estação de Santa Cecília também foi estimada, assim como a vazão de



Figura 1 Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul com localização aproximada das Estações Santa Cecília (representada em preto), Sobragi (representada em vermelho) e Simplicio (representada em verde) (Fonte: modificado de CEIVAP, 2019).

demanda atual para o Baixo Paraíba do Sul, a fim de estabelecer um limiar de comparação para identificar situações de atenção na bacia. A análise da estação Santa Cecília foi realizada também separadamente, para que a avaliação da quantidade de água necessária na transposição para o rio Guandu, incluindo a água demandada pela RMRJ, fosse discutida de maneira mais detalhada, a fim de dar uma dimensão dos possíveis impactos diretos na RMRJ.

3 Resultados e Discussão

A Figura 2, apresentada a seguir, indica os valores de vazões médias de 30 anos projetados por diferentes modelos. Ela retrata também a atual demanda por água que depende da oferta em Santa Cecília. De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro, a demanda atual total na bacia do rio Guandu considerando o abastecimento humano, a indústria, a mineração e a agropecuária é de aproximadamente 95 m³/s, já levando em consideração o valor da vazão ecológica, estabelecido como 25 m³/s no rio Guandu (COPPETEC, 2014). Porém, é necessário considerar ainda, para as águas que são transpostas para o rio Guandu em Santa Cecília, o valor de 60 m³/s para conter a

influência da intrusão salina no canal de São Francisco e não comprometer a captação de água pelas indústrias instaladas na região (Comitê da Bacia Hidrográfica do Guandu, 2018). Como o rio Paraíba do Sul recebe a contribuição de águas de outros rios até sua chegada na região do Baixo Paraíba do Sul, será utilizada a parcela destinada à demanda para o Baixo Paraíba em Santa Cecília igual àquela considerada como a que atende as condições normais do sistema, estabelecida nas Resoluções para operação dos reservatórios, disponíveis no portal da ANA, que seria de 71 m³/s para jusante de Santa Cecília (ANA, 2015). Sendo assim, será considerado que o valor de demanda atual para a água que chega a Santa Cecília seria de 201 m³/s, uma vez que a vazão ecológica pode ser considerada como parcela daquela que chega a foz para conter a intrusão salina, já que tem que permanecer no rio para manutenção dos ecossistemas aquáticos (Baptista & Hora, 2013).

A partir da análise da Figura 2, pode-se observar que levando em consideração a relação entre as projeções de oferta e a demanda atual estimada em Santa Cecília, apesar das limitações associadas a aproximação realizada, conclui-se que as projeções provenientes do GFCM21 simularam vazões abaixo da demanda atual para grande parte do período.

Figura 2
Comparação das vazões médias mensais (m³/s) para períodos de 30 anos da Estação Santa Cecília (2011-2099).



Mesmo que os outros modelos não apresentem vazões médias de 30 anos abaixo da demanda atual, é necessário levar em consideração que essa demanda aumenta ao longo do tempo, devido inclusive ao aumento populacional. Na análise, foi considerado o cenário hipotético de melhor oferta de água para o sistema em estudo, ou seja, aquele de vazões naturalizadas. Entende-se ser um cenário que permite isolar os efeitos da demanda na RMRJ. Também é necessário fazer uma comparação do valor da demanda atual com as vazões mínimas Q90 para todos os modelos, concluindo-se que, ainda que a média das vazões mensais atenda a demanda atual, nos períodos de grandes estiagens, onde o corpo hídrico contaria com a presença de vazões mínimas, o sistema apresentaria uma situação alarmante.

A abordagem em relação a Q90 fica melhor representada na Figura 3, onde análise similar à do cálculo da média foi realizada, considerando a análise da curva de permanência para cada período de 30 anos. A partir da obtenção de Q90 correspondente

a cada período, traçou-se um gráfico com o resultado dos modelos e a demanda atual estimada para Santa Cecília, onde pode ser observada a criticidade do sistema para períodos de estiagem, pois todas as projeções para as vazões mínimas Q90 são inferiores a demanda atual em Santa Cecília.

A fim de realizar análise semelhante para a região do Baixo Paraíba do Sul, foram consideradas as projeções para Santa Cecília, Simplício e Sobragi. O esquema das estações, fornecido pela ANA, encontra-se na Figura 4.

Com o objetivo de identificar a relação entre as projeções de oferta de água e a demanda por água no Baixo Paraíba, foi realizado um somatório entre as projeções de Santa Cecília, Sobragi e Simplício e a subtração da demanda por água destinada ao rio Guandu e da demanda direta por água do rio Paraíba do Sul dos municípios situados entre Santa Cecília e Simplício. A demanda atual no rio Guandu é considerada, para esta análise, 130 m³/s, levando em consideração o valor estimado anteriormente nes-

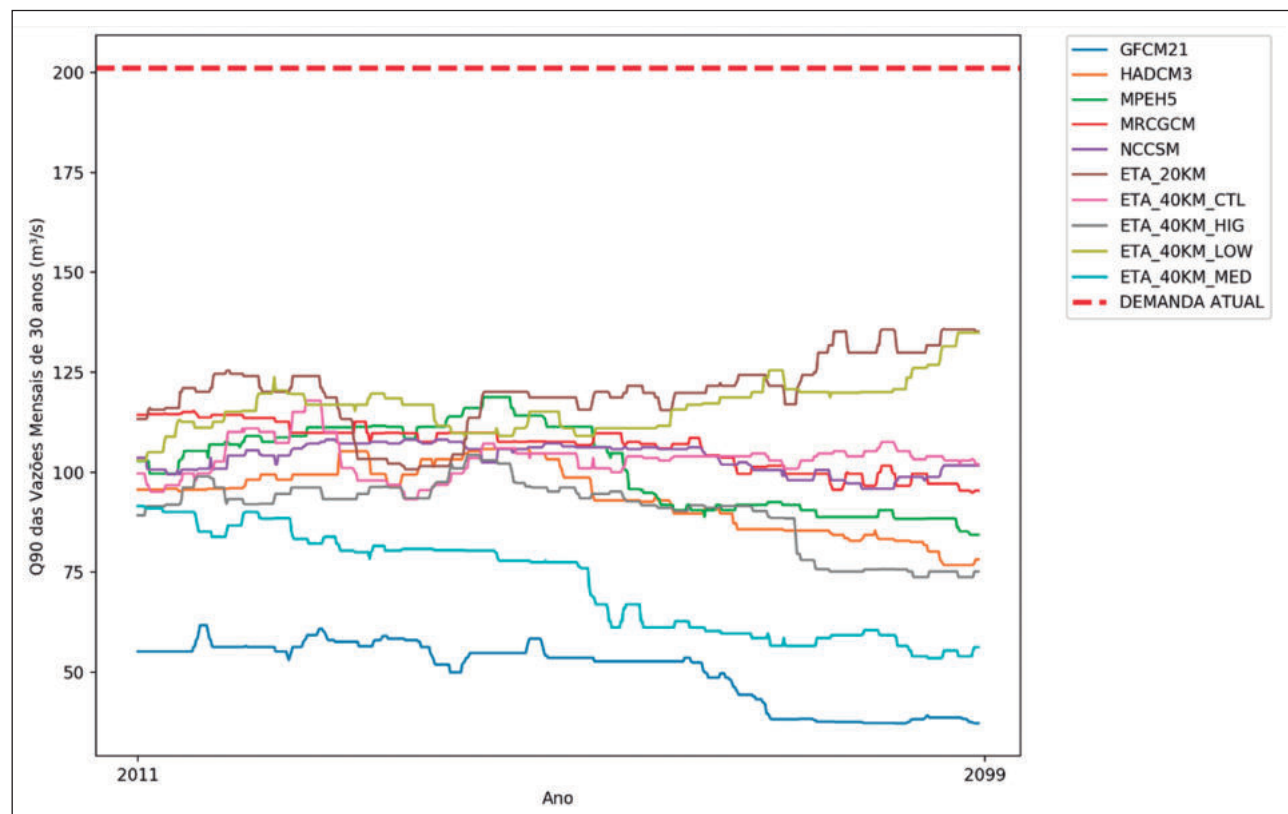


Figura 3 Q90 das vazões mensais (m³/s) para períodos de 30 anos da Estação Santa Cecília (2011-2099).

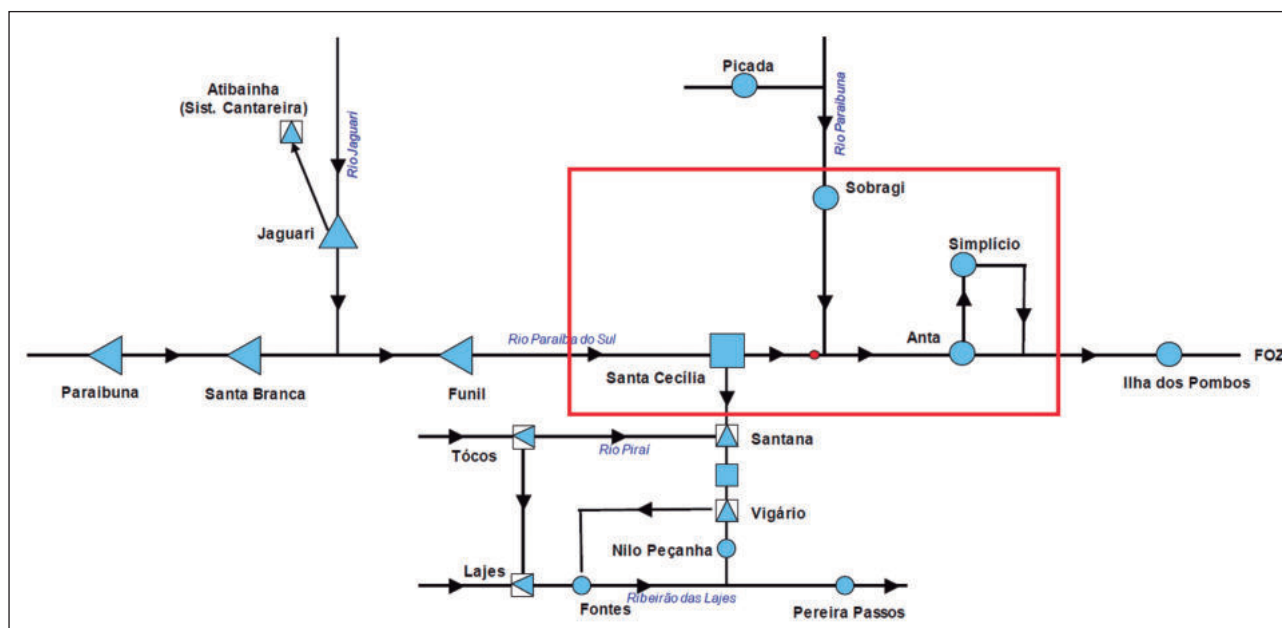


Figura 4 Esquema Reservatórios ANA (Fonte: modificado de ANA, 2019).

te trabalho, desconsiderando no cálculo os $71 \text{ m}^3/\text{s}$ estabelecidos nas Resoluções para operação dos reservatórios, disponíveis no portal da ANA, para jusante de Santa Cecília (ANA, 2015). A demanda do consumo direto do rio Paraíba do Sul entre Santa Cecília e Simplicio é de $0,62 \text{ m}^3/\text{s}$, informação obtida a partir do ATLAS Brasil (ANA, 2010). Esses valores de demanda serão subtraídos das somas das projeções. Já para a demanda atual do Baixo Paraíba do Sul, será considerado o valor de $15,41 \text{ m}^3/\text{s}$, para uso industrial, agropecuário e para as atividades de saneamento no Baixo Paraíba (COPPETEC, 2010), somado ao valor de $252 \text{ m}^3/\text{s}$, necessário para conter intrusão salina na captação dos municípios da foz e evitar o assoreamento dos rios (COHIDRO, 2014). Sendo assim, a demanda do Baixo Paraíba do Sul será de $267,41 \text{ m}^3/\text{s}$. A relação entre as médias de 30 anos e a demanda atual do Baixo Paraíba do Sul pode ser representada pela Figura 5.

A partir da análise da Figura 5, pode ser observado que todas as vazões médias de 30 anos atenderiam a demanda atual na região do Baixo Paraíba do Sul. É importante, conforme mencionado anteriormente, levar em consideração que a demanda futura será diferente, e por isso faz-se necessária uma análise mais detalhada de cenários futuros de demanda. Também é fundamental ressaltar que

a comparação realizada é para projeções de vazões médias, ou seja, ainda não seriam estimativas das vazões que estariam presentes no corpo hídrico em períodos de seca.

A fim de aprimorar a análise para períodos de escassez hídrica, foi realizada a relação entre as vazões mínimas Q90 de 30 anos e a demanda atual do Baixo Paraíba do Sul pode ser representada pela Figura 6 a seguir.

A partir da análise da Figura 6, pode-se concluir que a maioria dos modelos apresentaria situações de atenção em determinados momentos analisando as projeções de vazões mínimas Q90 em comparação com a demanda atual. Entretanto, existem modelos que apresentam anomalias positivas, como é, em parte, o caso das simulações com modelo Eta, que apresentam projeções maiores que a demanda (Lima *et al.*, 2014).

Além de levar em consideração que a demanda futura seria diferente da atual, é necessário ressaltar a importância da adoção de medidas a fim de minimizar a vulnerabilidade hídrica e o risco de déficit no sistema em períodos de escassez. Podemos observar também uma grande dispersão nas projeções hidrológicas dos diferentes modelos. Isso

Avaliação de Cenários de Mudanças Climáticas no Planejamento dos Recursos Hídricos do Sistema de Águas da Região Metropolitana Rio de Janeiro e do Baixo Paraíba do Sul

Amanda Carneiro Marques & Daniel Andrés Rodríguez

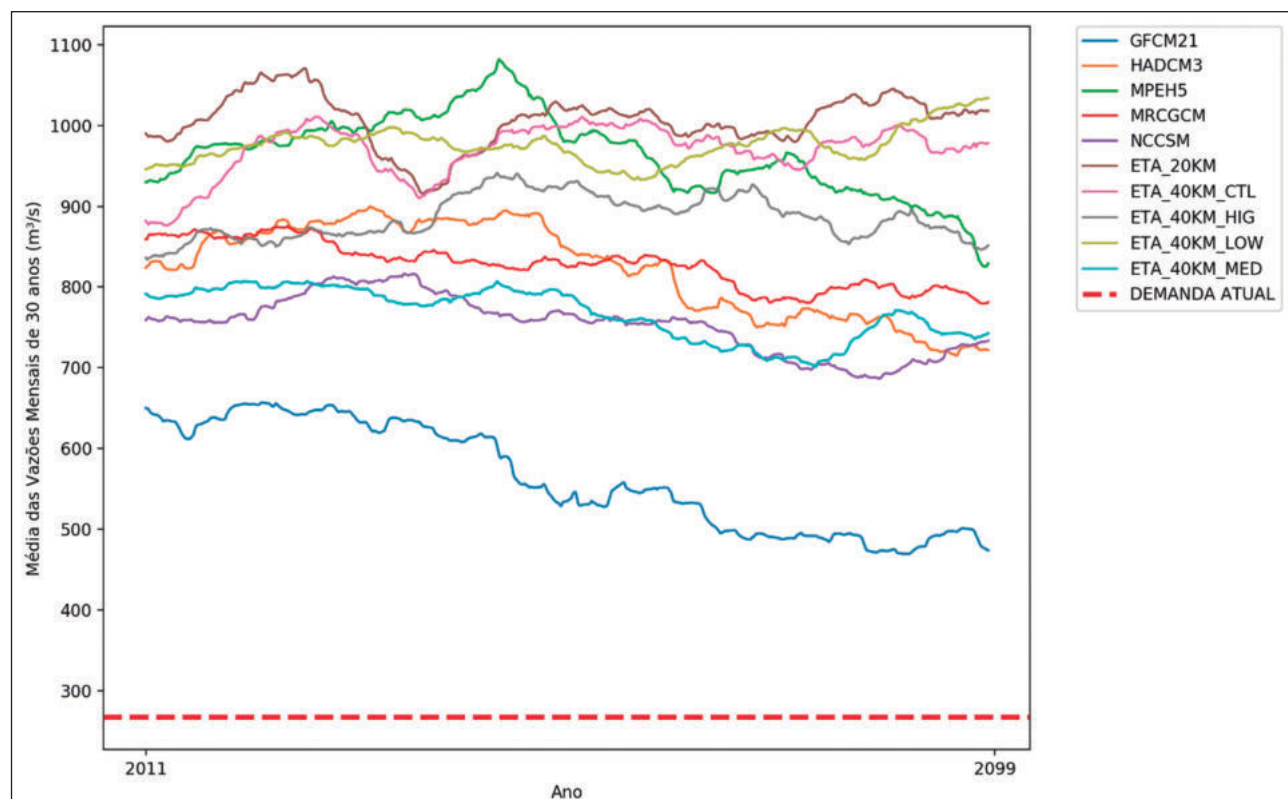


Figura 5 Comparação das vazões médias mensais (m^3/s) para períodos de 30 anos (2011-2099) e da demanda atual no Baixo Paraíba do Sul.

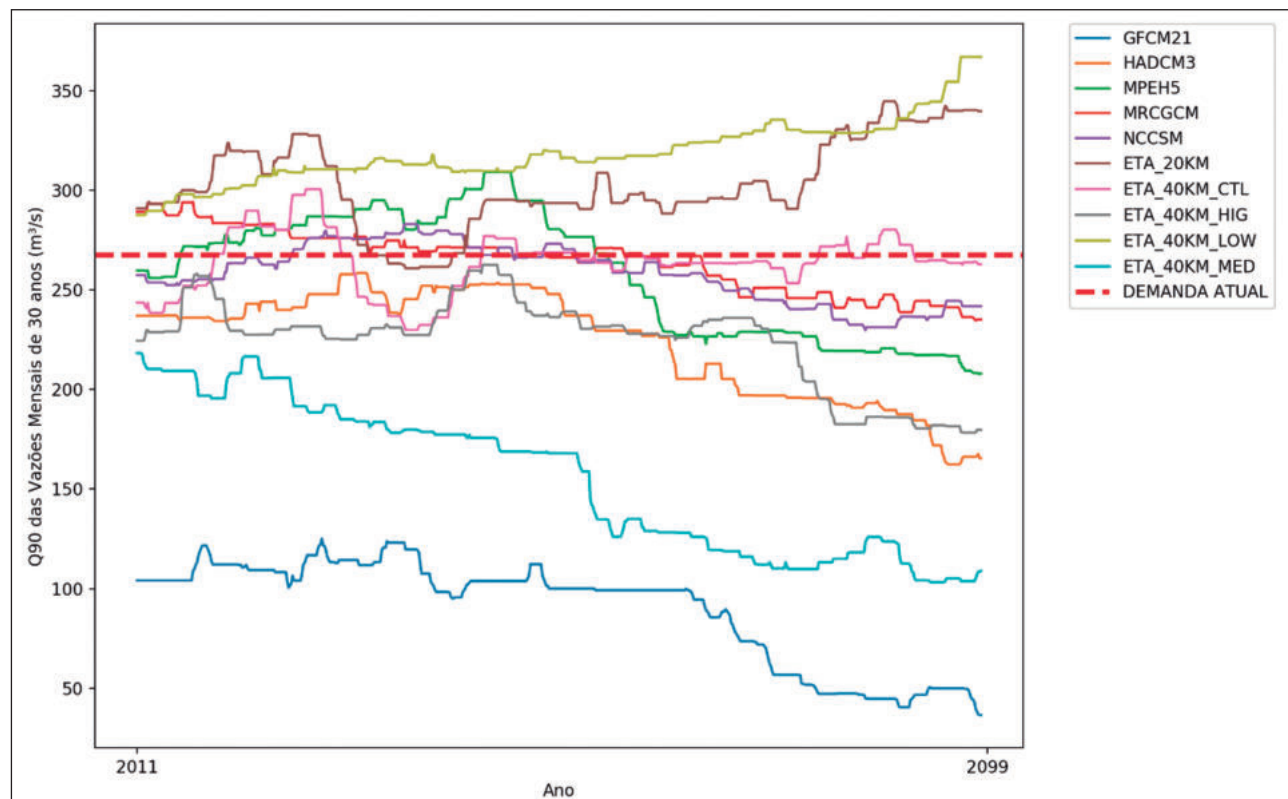


Figura 6 Q90 das vazões mensais para períodos de 30 anos (2011-2099) e da demanda atual no Baixo Paraíba do Sul.

ocorre porque a precisão das previsões climáticas é limitada por incertezas, em outras palavras, mais de um resultado é consistente com as expectativas. As incertezas podem ser provenientes de limitações no conhecimento, da aleatoriedade de variáveis climáticas, e das tomadas de decisão, por terem efeitos significativos no clima e na vulnerabilidade futuros (Dessai *et al.*, 2009). O modelo global GFCM21 apresenta os menores valores de vazões projetadas. Um dos modelos globais que apresenta os maiores valores de vazões projetadas é o MPEH5. Já os modelos regionais apresentam valores de vazões projetadas dentre os maiores simulados e em uma ordem de grandeza próxima, com exceção do Eta 40km_MED, que apresenta os menores valores comparados aos modelos regionais. É importante ressaltar que os modelos apresentam uma diferença em relação aos dados de saída, mesmo quando alimentados com os mesmos dados de entrada, fornecendo assim resultados diferentes para as projeções.

Esta análise é importante para retratar que existem diferenças entre os resultados de modelos, ainda que esses utilizem os mesmos dados de entrada e os mesmos cenários em suas projeções. Além disso, por mais refinada que seja a modelagem, existem diferenças entre os valores simulados pelos modelos e os valores reais observados. Porém, a importância da modelagem na análise de cenários futuros baseados em tendências de padrões comportamentais da sociedade e aspectos climáticos é evidente pois possibilita a identificação de incertezas e possíveis impactos no sistema, além de permitir que os gestores desenvolvam alternativas de resposta, adaptando o sistema para períodos de estiagem.

4 Conclusões

Os cenários de mudanças climáticas analisados neste estudo indicam, através da comparação de projeções de oferta hídrica provenientes de modelos e da demanda por água, que o sistema em estudo, tanto na RMRJ como no Baixo Paraíba do Sul, apresenta possibilidade de déficit em determinados momentos, especialmente em situações de escassez, ou seja, quando as vazões mínimas são analisadas, o que afeta diretamente a sustentabilidade do sistema hídrico da região.

Com o objetivo de melhorar a avaliação das incertezas e dos possíveis impactos no sistema, através da análise de cenários de projeções climáticas, outros estudos podem ser conduzidos, tais como: a identificação de mais cenários plausíveis, englobando outros padrões comportamentais que desencadeariam em diferentes projeções do estado do sistema hídrico; inclusão de mudanças no uso e na cobertura do solo nos modelos, a fim de avaliar os impactos de forma mais abrangente; e avaliação de possíveis cenários futuros de demanda por água, baseados em políticas públicas, com o objetivo de possibilitar uma análise mais complexa sobre o potencial balanço hídrico futuro do sistema.

A fim de alcançar uma gestão sustentável dos recursos hídricos, faz-se necessário aos tomadores de decisão a adoção de medidas com o propósito de garantir o acesso a água para todos os que dependam dela, especialmente em períodos de escassez hídrica. A avaliação de cenários plausíveis é necessária para garantir o planejamento sustentável dos recursos hídricos através da exploração de riscos, uma vez que a simulação do sistema é limitada por incertezas (Dessai *et al.*, 2009). Com o objetivo de minimizar a vulnerabilidade hídrica, políticas públicas e medidas de adaptação como respostas às possíveis mudanças climáticas devem ser avaliadas e a importância da análise de cenários de projeções futuras de oferta de água deve ser ressaltada como mecanismo de implantação de propostas, pois permite aos gestores a incorporação de modificações, a identificação de incertezas e dos potenciais impactos das mudanças climáticas no sistema.

5 Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

6 Referências

- ANA. 2010. Agência Nacional de Águas. ATLAS Brasil – Abastecimento Urbano de Água. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Home.aspx>>. Acesso em: 30 Mai. 2019.
- ANA. 2015. Agência Nacional de Águas. Resolução Conjunta

Avaliação de Cenários de Mudanças Climáticas no Planejamento dos Recursos Hídricos do Sistema de Águas da Região Metropolitana Rio de Janeiro e do Baixo Paraíba do Sul

Amanda Carneiro Marques & Daniel Andrés Rodríguez

- ANA/DAEE/IGAM/INEA n° 1382, de 07 de Dezembro de 2015.
- ANA. 2019. Agência Nacional de Águas. Boletim de Monitoramento da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/sala-de-situacao/paraiba-do-sul/paraiba-do-sul-boletim-diario>>. Acesso em: 30 Mai. 2019.
- Baptista, R.S. & Hora, M.A.G.M. 2013. Estimated Ecological Flow of the Preto River by the Wetted Perimeter Method. *Global Journal of Researches in Engineering*, 13: 9-12.
- Bárdossy, A. & Pegram, G. 2011. Downscaling precipitation using regional climate models and circulation patterns toward hydrology. *Water Resources Research*, 47(4): 1-18.
- Britto, A.L.; Maiello, A. & Quintslr, S. 2019. Water supply system in the Rio de Janeiro Metropolitan Region: open issues, contradictions, and challenges for water access in an emerging megacity. *Journal of Hydrology*, 573: 1007-1020.
- CEIVAP. 2019. Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Dados Geoambientais. Disponível em: <<http://www.ceivap.org.br/geoambientais.php>>. Acesso em: 28 Ago. 2019.
- Chou, S.C.; Lyra, A.; Gomes, J.L.; Marengo, J.A. & Alves, L.M. 2014. Modelos Climáticos Regionais Futuros com Modelo Eta. In: LIMA, J.W.M.; COLLISCHONN, W. & MARENGO, J.A., Efeitos das Mudanças Climáticas na Geração de Energia Elétrica. São Paulo, p. 65-94.
- COHIDRO. 2014. Cohidro Consultoria, Estudos e Projetos. Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdyy/~edisp/inea0062195.pdf>>. Acesso em: 20 Set. 2019
- Comitê da Bacia Hidrográfica do Guandu. 2018. Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim. Disponível em: <http://www.comiteguandu.org.br/conteudo/AGVP_GUANDU_PRRH-RF01_R01.pdf>. Acesso em: 20 Set. 2019.
- COPPETEC. 2014. Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos. Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Disponível em: <<http://www.ceivap.org.br/downloads/cadernos/GT-FOZ.pdf>>. Acesso em: 20 Set. 2019.
- Dessai, S.; Hulme, M.; Lempert, R. & Pielke, R. 2009. Climate prediction: a limit to adaptation? In: ADGER, W.N.; LORENZONI, I. & O'BRIEN, K.L., *Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance*. Cambridge University Press, p. 64-78.
- Governo do Estado do Rio de Janeiro. 2018. Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro - TOMO I. Disponível em: <<https://www.modelarametropole.com.br/wp-content/uploads/2018/09/Produto-18-Tomo-1.pdf>>. Acesso em: 20 Set. 2019.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. Mudanças Climáticas 2014: Relatório Síntese. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf>. Acesso em: 20 Set. 2019.
- Kelman, J. 2015. Water supply to the two largest Brazilian metropolitan regions. *Aquatic Procedia*, 5: 13-21.
- Knutti, R. & Sedlacek, J. 2013. Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Nature Climate Change*, 3: 369-373.
- Lima, J.W.M.; Collischonn, W. & Marengo, J.A. 2014. Efeitos das Mudanças Climáticas na Geração de Energia Elétrica. AES Tietê, São Paulo, 420p. ISBN 978-85-68717-00-4.
- Marengo, J.A.; Chou, S.C.; Kay, G.; Alves, L.M.; Pesquero, J.F.; Soares, W.R.; Santos, D.C.; Lyra, A.A.; Sueiro, G.; Betts, R.; Chagas, D.J.; Gomes, J.L.; Bustamante, J.F. & Tavares, P. 2012. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. *Climate Dynamics*, 38: 1829-1848.
- Marengo, J.A.; Alves, L.M.; Torres, R.R.; Chou, S.C. & Lyra, A. 2014. Bases para Modelagem de Mudanças Climáticas. In: LIMA, J.W.M.; COLLISCHONN, W. & MARENGO, J.A. Efeitos das Mudanças Climáticas na Geração de Energia Elétrica. São Paulo, p. 23-64.
- Oki, T. & Kanae, S. 2006. Global Hydrological Cycles and World Water Resources. *Science*, 313: 1068-1072.
- Oliveira, F.J.G. 2013. Eletrificação e formação do patrimônio territorial da Light na cidade do Rio de Janeiro e no Médio Vale do Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Econômica*, 3: 1-20.
- Queiroz, A.R.; Lima, L.M.M.; Silva, B.C. & Scianni, L.A. 2016. Climate change impacts in the energy supply of the Brazilian hydro-dominant power system. *Renewable Energy*, 99: 379-389.
- Symstad, A.J.; Fisichelli, N.A.; Miller, B.W.; Rowland, E. & Schuurman, G.W. 2017. Multiple methods for multiple futures: Integrating qualitative scenario planning and quantitative simulation modeling for natural resource decision making. *Climate Risk Management*, 17: 78-91.
- Tortajada, C. & Fernandez, V. 2018. Towards Global Water Security: A Departure from the Status Quo? In: WORLD WATER COUNCIL, *Global Water Security*. Singapura, Springer, p. 1-19.
- Xylem. 2013. Soluções para um futuro com escassez de água. Xylem's Contribution to Urban Resilience. 2 ed. Xylem Inc. Disponível em: <https://vertassets.blob.core.windows.net/download/46cf4e54/46cf4e54-2792-4f81-8609-2d198eea5371/xb028waterscarceurbanresiliencebrochure_sm.pdf>. Acesso em: 22 Set. 2019.