
A IMPORTÂNCIA DA ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO PLANEJAMENTO DE LONGO PRAZO DOS RECURSOS HÍDRICOS – ESTUDO DE CASO: SANTA CECÍLIA

Amanda Carneiro Marques^{1, x}, Daniel Andrés Rodriguez¹

(¹COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Athos da Silveira Ramos, 149, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, CEP: 21941-909; ^xAutor de correspondência: amanda.marques@coc.ufrj.br)

INTRODUÇÃO

Problemas relacionados à água, à comida, à saúde e à pobreza estão interligados em muitos países em desenvolvimento, especialmente nas áreas onde a água doce é um recurso escasso (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). Problemas históricos 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.* 2018).

Sustentabilidade na gestão dos recursos hídricos propõe a priorização igualitária de questões econômicas e ambientais, abrangendo as seguintes dimensões: equidade social, eficiência econômica e sustentabilidade ambiental (Tortajada & Fernandez 2018). O planejamento de cenários ajuda os gestores a incorporarem propostas de mudanças em prol do desenvolvimento sustentável em sua tomada de decisão por meio de um processo estruturado, possibilitando a identificação das principais incertezas e dos potenciais impactos e respostas do sistema (Symstad *et al.* 2017).

A fim de dar início ao planejamento de recursos hídricos de determinada região, faz-se necessário o reconhecimento das características físicas, da complexidade e de possíveis problemáticas englobadas no sistema proposto. No caso Brasil, apesar da grande disponibilidade, a distribuição dos recursos hídricos é bastante desigual em termos geográficos e populacionais (ANA 2007). Além da distribuição desigual dos recursos hídricos em relação à distribuição populacional, a vulnerabilidade hídrica tornou-se questão ainda mais relevante, à medida que as secas severas afetam as diferentes regiões do país. A região Sudeste ganhou visibilidade a partir da crise hídrica que afetou especialmente 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 amplo e complexo (Britto *et al.* 2018).

A crise prejudicou principalmente o sistema hídrico baseado na grande bacia interestadual do rio Paraíba do Sul, causando um conflito entre os três principais estados do Sudeste (Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais) e especialmente entre os dois primeiros. 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), que precisava aumentar a oferta de água (Kelman 2015). Uma das opções para esse aumento 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 foi simples: o sistema que transferiria água da bacia do rio Paraíba do Sul para a bacia hidrográfica do PCJ

levaria menos tempo para ser implementado. A medida resultou em um conflito entre o Governo do Estado do Rio de Janeiro e o Governo do Estado de São Paulo (Kelman 2015).

A diminuição do volume de água do corpo hídrico no período também evidenciou uma questão complexa dentro do Estado do Rio de Janeiro: Por um lado encontra-se o abastecimento de cerca de nove milhões de pessoas da RMRJ, indústrias e outros usuários; por outro lado, porém, localizados a jusante da transposição e junto ao rio Paraíba do Sul, existem outras cidades e usuários (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 nove 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, no chamado canal de São Francisco, a vazão deve ser de 60 m³/s para conter a influência da intrusão salina, mesmo com os industriais captando uma vazão bem menor do que a citada anteriormente para o desempenho de suas atividades econômicas (Comitê de Bacia Hidrográfica do Guandu 2017). 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). Essas indústrias representam uma parcela importante da utilização da água transposta do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu, em Santa Cecília.

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. Tal diminuição ainda permitiu que a intrusão da cunha salina alcançasse regiões anteriormente livres dessa interferência, o que provocou o aumento da salinidade, dificultando ou, às vezes, inviabilizando o uso da água para abastecimento humano (COHIDRO 2014).

Do ponto de vista das mudanças climáticas, o Quinto Relatório do 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). Propõe ainda, com alta confiança, que a taxa de crescimento desde a metade do século XIX é maior que a taxa média durante os dois milênios anteriores. Além disso, é provável que níveis do mar extremos, como os vivenciados durante as tempestades, tenham aumentado desde 1970. O aumento do nível do mar pode intensificar a problemática da captação de água na foz, devido à possibilidade de maior intrusão salina, tanto na região industrial da foz do Guandu quanto para os usuários localizados na foz do rio Paraíba do Sul.

Ainda de acordo com o Quinto Relatório sobre Mudanças Climáticas do IPCC (AR5), a evidência dos impactos observados nas mudanças climáticas é mais forte e mais abrangente para os sistemas naturais. Em muitas regiões, mudanças na precipitação ou derretimento de neve e gelo estão alterando os sistemas hidrológicos, afetando os recursos hídricos em termos de quantidade e qualidade (confiança média) (IPCC 2014). 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 uma melhor 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 (Oki & Kanae 2006).

A região Sudeste do Brasil, onde está localizada a bacia do rio Paraíba do Sul, é considerada uma região de baixa previsibilidade climática, dadas as características dos principais fenômenos que modulam seu clima (Alves *et al.* 2002, Cuadra & Rocha 2006). Além disso, as incertezas inerentes ao conhecimento desses fenômenos e à estrutura dos modelos climáticos resultam numa importante dispersão de resultados na avaliação dos potenciais impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos (Marengo *et al.* 2014). 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).

MATERIAL E MÉTODOS

Do ponto da segurança hídrica, no âmbito do Governo Federal, a fim de promover uma gestão sustentável dos recursos hídricos, é necessário garantir que todos os que dependam das águas sejam atendidos, inclusive em períodos de escassez (Ribeiro 2017). Além disso, é fundamental ter em vista a quantidade de água necessária para manutenção dos sistemas aquáticos, que recebe o nome de vazão ecológica (Baptista & Hora 2013). É necessário avaliar o sistema no contexto das mudanças climáticas, onde grandes alterações na disponibilidade hídrica podem acontecer. Sendo assim, faz-se indispensável a análise de projeções futuras, para que os impactos em situações de escassez que venham a ser vivenciados sejam minimizados, através de aprimoração de respostas para o sistema.

O presente estudo propõe uma análise de vazões provenientes de cenários de projeções climáticas do modelo hidrológico MHD-INPE. O modelo foi alimentado com os dados simulados de modelos atmosféricos regionais (Eta - 40 e 20 km) e globais (GFCM21, HADCM3, MPEH5, MRCGCM, NCCCSM) 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 (ANEEL 2012). Os dados das projeções foram gerados baseados nos cenários SRES A1B do IPCC. 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 é intermediário, representando uma emissão média (Marengo *et al.* 2014).

Os modelos atmosféricos globais representam aproximações numéricas de equações matemáticas representativas das leis físicas e podem ser utilizados para projeções climáticas (Marengo *et al.* 2014). 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 (Marengo *et al.* 2014). O modelo Eta é um modelo atmosférico regional complexo em sua representação dos processos físico-dinâmicos da atmosfera. Como aspecto positivo, modelos regionais são computacionalmente mais econômicos que os modelos globais na resolução mais alta, uma vez que os cálculos se limitam a região desejada (Chou *et al.* 2014). Para a simulação dos dados analisados neste trabalho, o modelo Eta foi simulado para quatro membros subdivididos por períodos, pois isso auxiliaria no momento de tratar algumas incertezas provenientes das simulações. Esses membros são provenientes das perturbações dos parâmetros na atmosfera e nos componentes do sistema oceano-gelo e tem o objetivo de gerar amostras das incertezas dos processos climáticos. Tais membros receberam as seguintes nomenclaturas: Control (membro sem perturbações), Low, Medium e High. Para o caso dos modelos globais, foi empregado apenas o membro Control (ANEEL 2012).

O modelo hidrológico distribuído MHD-INPE representa os processos de transformação da chuva em vazão utilizando os componentes do balanço hídrico e da propagação de escoamento na bacia. A abordagem envolve a discretização dos componentes em grades regulares. Cada unidade de grade recebe o nome de célula, onde são simuladas as trocas de matéria e energia entre a superfície e a atmosfera, variações de armazenamento no meio saturado e não-saturado e escoamentos horizontais. O escoamento é propagado através da conectividade entre as células, cuja direção e sentido são definidos pela rede de drenagem da bacia (INPE 2016). A calibração do modelo MHD-INPE, cujos dados de saída foram analisados neste trabalho, foi conduzida por funções-objetivo. Dentre elas, o erro relativo de volume baseado na integração das vazões mensais (ΔV) foi calculado e considerado de 1,8% para a estação em estudo (Santa Cecília) (ANEEL 2012).

As curvas de duração das vazões correspondentes ao período histórico resultante das simulações utilizando informações meteorológicas dos modelos atmosféricos foram comparadas à FDC (Flow Duration Curve) das vazões naturalizadas na estação Santa Cecília, a fim de ter uma abordagem das incertezas inerentes à modelagem. As vazões projetadas considerando os dados de saída provenientes de cada modelo atmosférico foram comparadas àquelas simuladas no período histórico. 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, e a Q95, vazão com permanência de 95% no tempo, para cada modelo. A vazão de demanda atual para a estação de Santa Cecília também foi estimada, a fim estabelecer um limiar de comparação para identificar situações de atenção na bacia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir de dados obtidos através do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), a série histórica de vazões naturais em Santa Cecília foi elaborada e está representada pela Figura 1 a seguir.

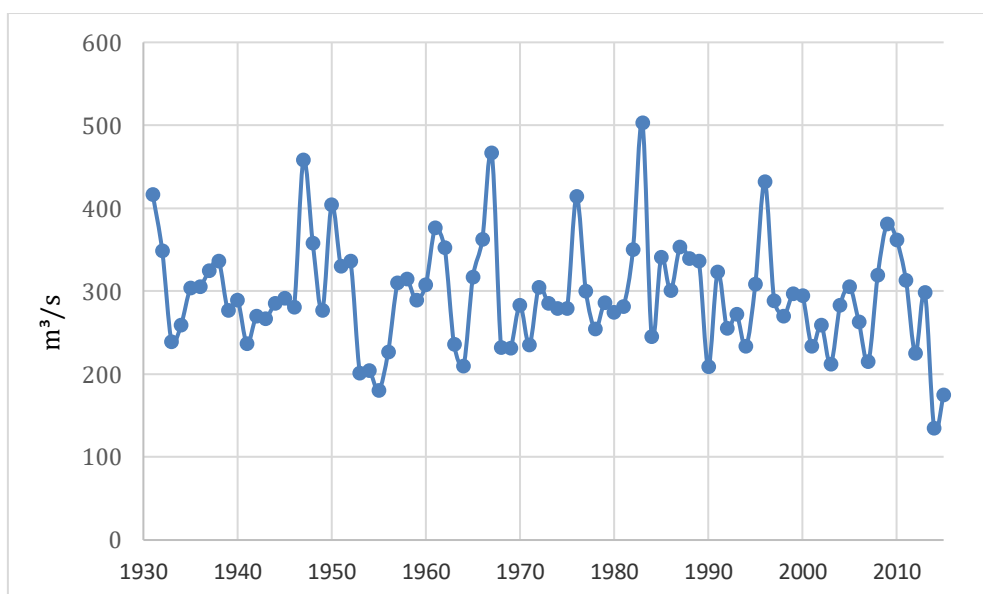


Figura 1: Série Histórica de Vazões Naturais em Santa Cecília (1931-2015)

A partir da análise das vazões médias anuais, pode-se observar o período de crise hídrica de 2014-2015, onde a situação de fragilidade do sistema foi evidenciada, no qual as vazões médias calculadas são as menores retratadas na série durante todo o período (1931-2015).

A Figura 2 apresenta as curvas de permanência para os dados históricos dos modelos e para os dados de vazões naturais fornecidos pelo ONS, no período de 1961 a 1990. A figura é uma representação gráfica da incerteza das simulações dos modelos. As formas das curvas FDCs simuladas são similares àquela das vazões naturais, principalmente na parte média, entre 20% e 80%. A Tabela 1 apresenta a diferença percentual entre as vazões naturais e as vazões simuladas para o período histórico de cada modelo. Os modelos tendem a produzir a superestimação dos valores máximos e a subestimação dos mínimos, mostrando cenários conservativos em ambos os casos. Nas vazões médias a maior variação é de 5,9%, a menor variação é de 0,7% e a variação média, considerando os valores absolutos, é de 2,7%. Na avaliação das vazões mínimas, a maior variação entre os valores de Q90 é 32,9%, a menor é de 12,1% e a média de variação é de 22,8%. Já para a Q95, a variação máxima é de 42,9%, a mínima é de 11,8% e a média é de 26,8%.

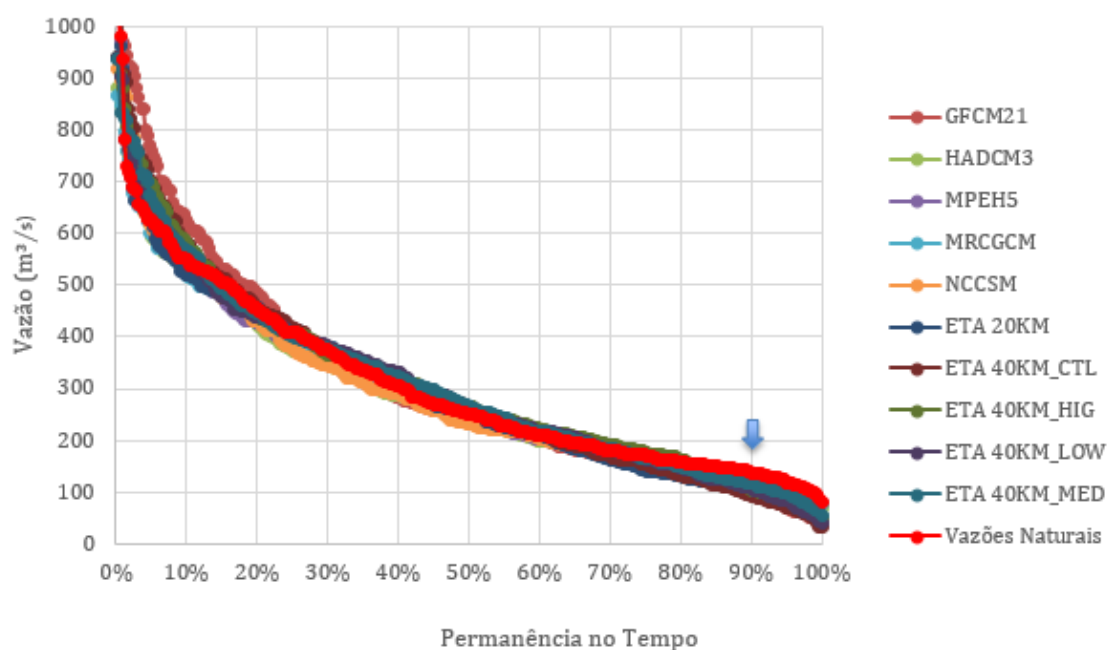


Figura 2: Curvas de Permanência - 1961-1990

Tabela 1: Comparação entre os Dados de Vazão Natural e os Dados Históricos dos Modelos - Diferença Percentual

	GFCM21	HADCM3	MPEH5	MRCGCM	NCCSM	ETA 20KM	ETA 40KM CTL	ETA 40KM HIG	ETA 40KM LOW	ETA 40KM MED
Vazão Correspondente a Média das Vazões Mensais (m ³ /s)	-1.0	5.6	3.9	3.9	5.3	3.9	-0.7	-1.6	0.7	-0.7
Q90 (m ³ /s)	29.3	21.4	26.4	12.1	17.9	25.7	32.9	22.9	22.9	16.4
Q95 (m ³ /s)	42.9	21.8	27.7	11.8	17.6	34.5	40.3	23.5	30.3	17.6

A Tabela 2 a seguir apresenta, para o período de 1961 a 1990, a média das vazões mensais e as vazões mínimas Q90 e Q95 calculadas pelo método da curva de permanência para os dados de vazões naturais.

Tabela 2: Vazão Média, Q90 e Q95 para as Vazões Naturais (1961-1990)

	Vazões Naturais
Vazão Correspondente a Média das Vazões Mensais (m ³ /s)	304
Q90 (m ³ /s)	140
Q95 (m ³ /s)	119

As Tabelas 3 e 4 a seguir retratam uma análise similar para as vazões de saída dos modelos. A Tabela 3 representa a análise da vazão média e das vazões mínimas para o período histórico do modelo (1961-1990), a ser comparada com os dados das vazões naturais, usadas para calibração. A Tabela 4, por sua vez, representa as análises realizadas para as vazões projetadas pelos modelos (2011-2099), para os 30 anos mais secos no período simulado. Os 30 anos mais críticos foram obtidos através do cálculo da média móvel das vazões mensais correspondentes a cada período de 30 anos. A partir da identificação do período mais seco, a análise das vazões médias e mínimas foi realizada para o período selecionado.

Tabela 3: Vazão Média, Q90 e Q95 para Vazões Simuladas para o Período Histórico dos Modelos (1961-1990)

	GFCM21	HADCM3	MPEH5	MRCGCM	NCCSM	ETA 20KM	ETA 40KM CTL	ETA 40KM HIG	ETA 40KM LOW	ETA 40KM MED
Vazão Correspondente a Média das Vazões Mensais (m ³ /s)	307	287	292	292	288	292	306	309	302	306
Q90 (m ³ /s)	99	110	103	123	115	104	94	108	108	117
Q95 (m ³ /s)	68	93	86	105	98	78	71	91	83	98

Tabela 4: Vazão Média, Q90 e Q95 para Vazões dos 30 Anos Mais Secos Projetados pelos Modelos (2011-2099)

	GFCM21	HADCM3	MPEH5	MRCGCM	NCCSM	ETA 20KM	ETA 40KM CTL	ETA 40KM HIG	ETA 40KM LOW	ETA 40KM MED
Vazão Correspondente a Mínima Média das Vazões Mensais de 30 anos (m ³ /s)	164	262	294	273	248	330	312	297	326	248
Q90 (m ³ /s)	37	77	84	95	96	101	95	89	111	59
Q95 (m ³ /s)	30	59	69	80	81	83	79	73	84	46

A partir da análise das tabelas, pode-se concluir que alguns modelos, como o Eta 20km, Eta 40km_CTL e Eta40km_LOW, apresentam valores de vazões médias para o período mais crítico projetado maiores do que as vazões médias dos dados históricos. Em contrapartida, os outros modelos apresentam valores de vazões médias para o horizonte simulado inferiores aos dados históricos. Este último cenário, somado ao fato de que todas as vazões mínimas simuladas para o período mais crítico são inferiores às vazões mínimas dos dados históricos, pode indicar uma situação de alerta para o sistema.

De acordo com essa metodologia de análise, é possível estimar a diferença entre os dados projetados por cada modelo e a possibilidade de ocorrência de vazões futuras nesta ordem, para condições similares às quais os cenários de projeções foram desenvolvidos.

A Figura 3, apresentada a seguir, indica a diferença entre os valores de vazões médias de 30 anos projetados por diferentes modelos. 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 pelos industriais instalados na região (Comitê de Bacia Hidrográfica do Guandu 2017). 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 condições normais do sistema, estabelecida nas Resoluções para operação dos reservatórios, disponíveis no portal da Agência Nacional de Águas, 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).

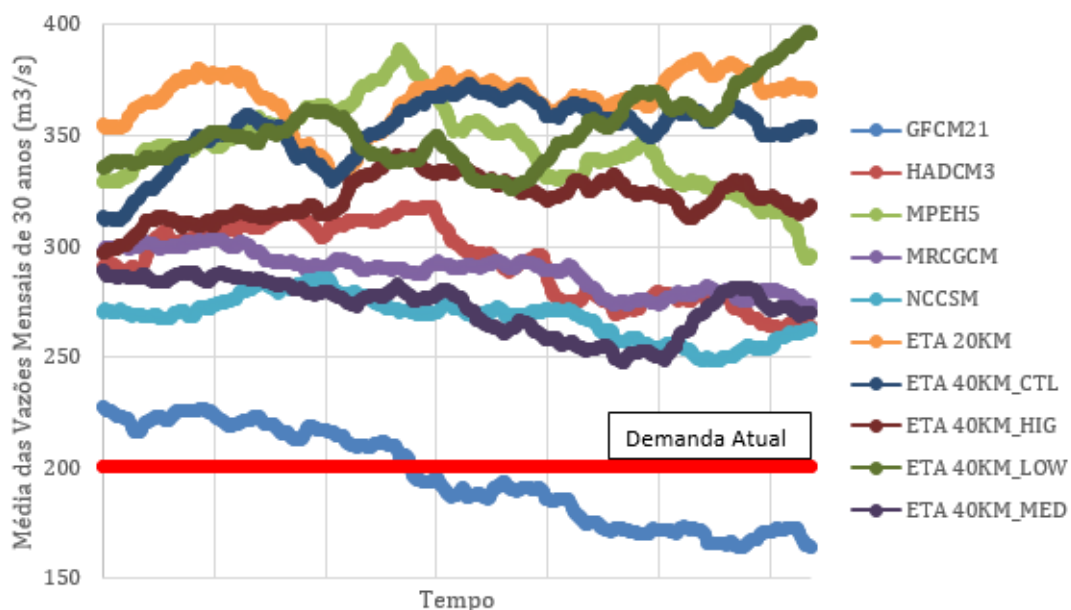


Figura 2: Comparação das Vazões Médias Mensais para Períodos de 30 Anos (2011-2099)

Podemos observar na figura acima uma grande dispersão nas projeções hidrológicas dos diferentes modelos. O modelo global GFCM21 apresenta os menores valores de vazões projetadas. O modelo global MPEH5, por sua vez, é o que apresenta os maiores valores de vazões projetadas dentre os modelos globais. 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.

Além disso, comparando os resultados anteriores com a demanda atual estimada em Santa Cecília, apesar das limitações associadas à aproximação realizada, pode-se observar que as projeções do GFCM21 simularam vazões abaixo da demanda atual para grande parte do período. Mesmo que os outros modelos não apresentem vazões médias de 30 anos abaixo da demanda atual, é necessário levar em consideração que a demanda aumente ao longo do tempo, devido inclusive ao aumento populacional. Com o intuito de avaliar a sustentabilidade hídrica do manancial é necessário fazer uma comparação do valor da demanda atual com as vazões mínimas Q90 e Q95 para todos os modelos. Concluiu-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, uma vez que a diferença entre a demanda atual e a maior Q90 simulada pelos modelos para o período mais crítico é de 90 m³/s de déficit.

A abordagem em relação a Q90 fica melhor representada na Figura 4, onde uma 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, evidenciando a criticidade do sistema para períodos de estiagem.

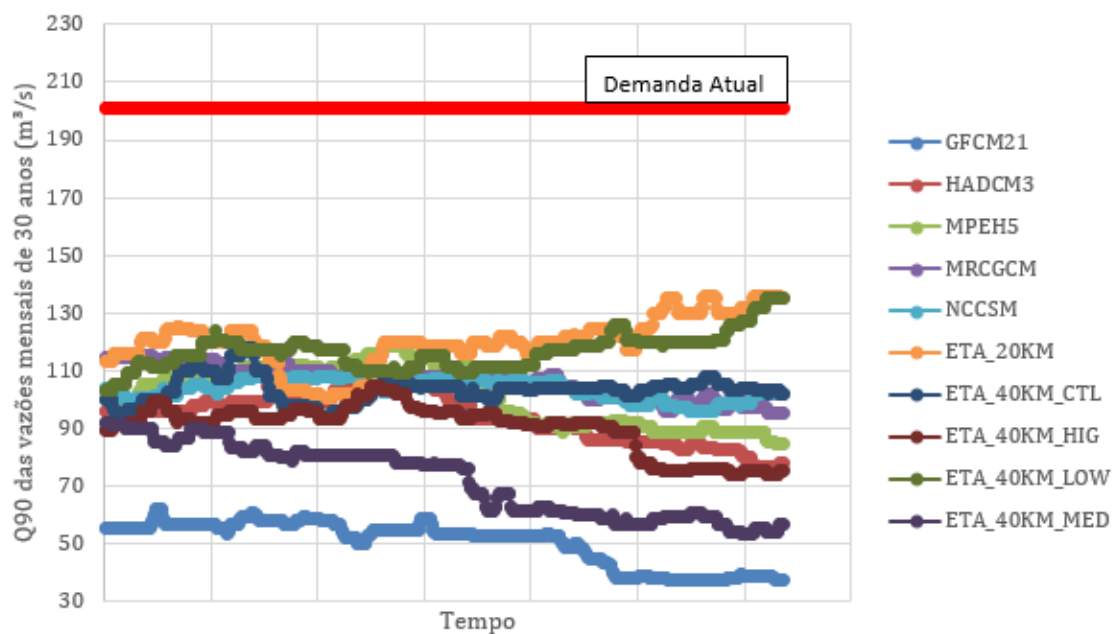


Figura 3: Q90 das Vazões Mensais para Períodos de 30 Anos (2011-2099)

Essa análise é importante para retratar que existem diferenças entre os resultados de modelos, ainda que estes utilizem os mesmos dados de entrada e os mesmos cenários em suas projeções. Além disso, conforme visto anteriormente, 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 crises hídricas.

CONCLUSÃO

A fim de alcançar uma gestão sustentável dos recursos hídricos, garantindo a segurança hídrica, é necessário analisar o sistema e adotar as medidas necessárias, a fim de garantir o acesso a água para todos os que dependem dela, especialmente em períodos de escassez hídrica. Por isso, políticas públicas e medidas de adaptação como respostas às possíveis mudanças climáticas devem ser avaliadas a fim de minimizar a vulnerabilidade hídrica. Por fim, ressalta-se a importância da análise de cenários de projeções futuras de oferta de água, com a finalidade de possibilitar aos gestores a incorporação de propostas de mudanças em prol do desenvolvimento sustentável, permitindo a identificação das principais incertezas e dos potenciais impactos das mudanças climáticas no sistema.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas (2007). GEO Brasil Recursos Hídricos: Componente da Série de Relatórios sobre o Estado e Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Brasília.
- Agência Nacional de Águas (2013). Resolução Conjunta ANA/DAEE/IGAM/INEA nº 1382, de 07 de Dezembro de 2015.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (2012). Efeitos de mudanças climáticas no regime hidrológico de bacias hidrográficas e na energia assegurada de aproveitamentos hidrelétricos: Projeto Estratégico de P&D.
- Alves LM, Marengo JA, Castro CAC (2002). Início das Chuvas na Região Sudeste do Brasil: Análise Climatológica. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia: 1403-1410.
- Baptista RS, Hora MAGM (2013). Vazão Ecológica Estimada do Rio Preto pelo Método do Perímetro Molhado. Global Journal of Researches in Engineering 13: 9-12.
- Britto AL, Maiello A, Quintslr S (2018). Sistema de abastecimento de água na Região Metropolitana do Rio de Janeiro: Questões abertas, contradições e desafios para o acesso à água em uma megacidade emergente. Journal of Hydrology: 1-14
- Chou SC, Lyra A, Gomes JL, Marengo JA, Alves LM (2014). Modelos Climáticos Regionais Futuros com Modelo Eta. In: Efeitos das Mudanças Climáticas na Geração de Energia Elétrica. São Paulo: pp. 65-94.
- Cohidro (2014). Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul.

Comitê de Bacia Hidrográfica do Guandu (2017). Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim.

Cuadra SV, Rocha RP (2006). Simulação Numérica do Clima de Verão sobre o Brasil e sua Variabilidade. *Revista Brasileira de Meteorologia*: 271-282

Dessai S, Hulme M, Lempert R, Pielke R (2009). Previsão climática: um limite para a adaptação? In: *Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance*. Cambridge University Press: pp. 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.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2016). Modelo Hidrológico Distribuído MHD-INPE: Manual de Implementação. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). Mudanças Climáticas 2014: Relatório Síntese. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas.

Kelman J (2015). Abastecimento de água para as duas maiores regiões metropolitanas brasileiras. *Aquatic Procedia* 5: 13-21.

Marengo JA, Alves LM, Torres RR, Chan CS, Lyra A (2014). Bases para Modelagem de Mudanças Climáticas. In: *Efeitos das Mudanças Climáticas na Geração de Energia Elétrica*. São Paulo: pp. 23-64.

Oki T, Kanae S (2006). Ciclos Hidrológicos Globais e Recursos Hídricos Mundiais. *Science* 313: 1068-1072.

Ribeiro SL (2017). Primeiras considerações sobre segurança hídrica no Brasil. *Revista Brasileira de Estudos de Defesa* 4: 155-180.

Symstad AJ, Fisichelli NA, Miller BW, Rowland E, Schuurman GW (2017). Múltiplos métodos para múltiplos futuros: Integração de planejamento de cenário qualitativo e modelagem de simulação quantitativa para tomada de decisão de recursos naturais. *Climate Risk Management* 17: 78-91.

Tortajada C, Fernandez V (2018). Rumo à Segurança Global da Água: Uma Partida do Status Quo? In: *Global Water Security*. Singapura: Springer. pp. 1-19.

Xylem (2013). Soluções para um futuro com escassez de água. *Xylem's Contribution to Urban Resilience*. 2 ed. Xylem Inc.