

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito



NEXO ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTO NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (PCJ)

Tamires Lima da Silva

Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, São Paulo, Brasil
Tamires.l.silva@unesp.br

Rodrigo Máximo Sánchez Román

Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, São Paulo, Brasil
Rodrigo.roman@unesp.br

Resumo: Na última década, a abordagem água-energia-alimento (AEA) *nexus* (nexo, em português) emergiu como um campo de estudo capaz de permitir uma maior compreensão em torno do elo e interdependências existentes entre recursos hídricos, geração e consumo de energia e produção de alimentos, permitindo uma integração entre gestão e governança e entre diferentes escalas e setores, que ao atuarem juntos, podem planejar políticas e ações em consonância com o desenvolvimento socioeconômico sustentável. Esta pesquisa teve como objetivo modelar o nexo AEA nas Bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) sob condições históricas e cenários de mudanças climáticas. Para tal, modelos foram criados nos programas WEAP (“*Water Evaluation and Planning*” System) com recorte temporal de 1995 a 2019 para a condição histórica e de 2020 a 2070 para as projeções de mudança climática. No WEAP, as alterações na vazão das Bacias PCJ em virtude das mudanças climáticas foram modeladas por meio da inserção de dados provenientes do Modelo Climático Regional Eta, cenários RCP4.5 e RCP8.5. Na validação do modelo hidrológico criado no WEAP, obteve-se 0,79 para o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe, 0,46 para a razão entre o desvio padrão e a raiz do Erro Quadrático Médio e porcentagem de viés (PBIAS) igual a 6,2%, esses resultados, analisados em conjunto, enquadram o modelo criado como “muito bom”, com o valor positivo da PBIAS indicando uma superestimativa da vazão simulada. As alterações de vazão nos cenários RCP4.5 e RCP8.5, indicam um comprometimento na geração de energia hidrelétrica nas Bacias PCJ. No cenário RCP 4.5 foi previsto o percentual de atendimento de apenas 12,9% do potencial de geração de energia elétrica pela Usina Hidrelétrica (UH) Americana, sendo ele equivalente à geração de 3,9 MW. Para a UH Salto Grande, a menor previsão de atendimento correspondeu ao percentual de 64,0%, equivalente à geração 2,9 MW, enquanto para a UH Jaguari, esse valor correspondeu à 53,8%, equivalente à geração de 6,3 MW. No cenário RCP8.5, as menores previsões para o percentual de atendimento das potências instaladas nas usinas foram: 10,4% para UH Americana, equivalente à geração de 3,1 MW, 51,4% para a UH Salto Grande, equivalente à geração 2,3 MW, e 43,2% para a UH Jaguari, equivalente à geração de 5,1 MW. Constata-se uma maior sensibilidade da UH Americana

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

frente às alterações climáticas previstas pelos cenários RCP4.5 e RCP8.5. O comprometimento da geração de energia hidrelétrica nas Bacias PCJ influencia o custo de geração de energia elétrica, ocasionando incrementos, o que poderá aumentar os custos de produção das lavouras agrícolas irrigadas.

Palavras-chave: irrigação, geração de energia, produção de alimentos, recursos hídricos.

1. INTRODUÇÃO

Getirana, Libonati e Cataldi (2021) [1] destacam a estreita relação existente no Brasil entre geração de energia e produção de alimentos com a disponibilidade hídrica, uma vez que a matriz energética nacional é majoritariamente dependente da geração de energia por hidrelétricas. Ao mesmo tempo, a agricultura irrigada vem se expandindo, sendo ela dependente do uso de energia elétrica. Dessa forma, episódios de seca afetam a produção de energia, podendo encarecer os custos de produção agrícola.

Segundo o “Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2020 a 2035” [2], existem 13 (treze) hidrelétricas em operação nas Bacias PCJ, que somam uma potência instalada de 59,3 MW.

A modelagem do nexos água-energia-alimento sob condições históricas e de cenários de mudanças climáticas poderá contribuir com a gestão sustentável dos recursos hídricos nas Bacias PCJ, posto que é possível sua integração ao Plano de Recursos Hídricos, que é um dos instrumentos de gestão presentes na Lei N° 9.433 de 1997[3].

Nesse contexto, esta pesquisa teve como objetivo modelar o nexos entre água, energia e alimento nas Bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) sob condições históricas e cenários de mudanças climáticas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A modelagem do nexos AEA de forma quantitativa nas Bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá ocorreu por meio do uso do programa WEAP, que permite a criação de modelos hidrológicos holísticos, sendo ele desenvolvido pelo Instituto Ambiental de Estocolmo. Instituições públicas, organizações sem fins lucrativos e pesquisadores de países em desenvolvimento têm acesso gratuito ao WEAP, sendo somente necessário a criação de um cadastro para a obtenção da licença com validade de um (1) ano, que poderá ser renovada conforme solicitação do usuário.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

Nos modelos criados no WEAP, a condição histórica das Bacias PCJ correspondeu ao período 1995-2019. Já as projeções de mudança climática corresponderam ao período 2020-2070.

A vazão simulada pelo modelo criado no programa WEAP com dados da condição histórica foi comparada à vazão observada na estação fluviométrica Artemis, que abrange uma área de drenagem de 10.900 km², e está localizada nas coordenadas geográficas (graus decimais): -22,67 (latitude Sul); -47,77 (longitude Oeste), próximo ao exutório das Bacias PCJ que deságua no Rio Tietê.

O coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE), a porcentagem de viés (PBIAS) e a razão entre o desvio padrão e a raiz do Erro Quadrático Médio (RSR) foram analisados em conjunto para a verificação da performance do modelo criado em simular a vazão das Bacias PCJ. Essas métricas são calculadas automaticamente pelo programa WEAP. A classificação da performance do modelo por meio dos resultados obtidos para essas métricas seguiu a classificação proposta por [4].

Os dados mensais de precipitação (mm) das Bacias PCJ referentes à condição histórica (1995-2019) foram obtidos do site do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) do estado de São Paulo. As falhas presentes na série histórica mensal de precipitação foram preenchidas por meio do método de Regressão Linear Múltipla. Os dados de temperatura (°C) mensal foram obtidos do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO). Enquanto os dados mensais de umidade relativa (%), velocidade do vento (m/s), fração de cobertura de nuvens (%) e albedo, foram obtidos da Plataforma NASA Power (*Prediction of Worldwide Energy Resources*) Project [5].

Os dados de projeções de mudanças climáticas para precipitação, temperatura, velocidade do vento e umidade relativa foram obtidos da Plataforma Web Projeta-“Projeções de Mudança do Clima para a América do Sul Regionalizadas pelo modelo Eta” [6], modelo Climático Regional Eta 5 km de resolução, produto SudesteD2-BR, HADGEM2-ES. Os dados foram corrigidos pelo método de Escalonamento Linear (Linear Scaling) [7], empregando na correção de viés dados diários obtidos da NASA Power Project.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta as métricas de validação da vazão simulada pelo modelo criado no WEAP para a condição histórica nas Bacias PCJ (1995-2019). Verifica-se uma boa performance do modelo, uma vez que se obteve o valor de 0,79 para o coeficiente NSE, 0,46 para a RSR e PBIAS igual a 6,1%, esses resultados, analisados em conjunto, enquadram o modelo criado como “muito bom” segundo a classificação proposta por Moriasi et al. (2007) [4]. Destaca-se que o valor positivo da PBIAS indica uma superestimativa da vazão simulada em relação à vazão observada.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

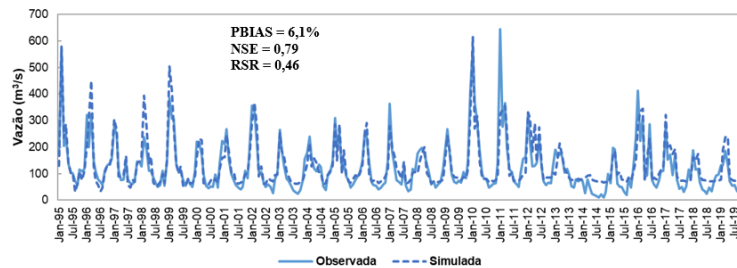


Figura 1. Comparação entre a vazão observada e a simulada no WEAP com apresentação de métricas de validação (período jan. 1995- dez. 2019)

A Figura 2 apresenta a vazão simulada para os cenários de mudança climática RCP4.5 e RCP8.5 (jan. 2020 a dez. 2070). Observa-se que em comparação com os dados históricos (Figura 1), a vazão mensal simulada para os cenários de mudança climática, como semelhança, apresenta períodos de pico e declínio e, como diferença, mantém-se no patamar de até 50 m³/s na maior parte do tempo, enquanto nas observações históricas, a vazão, mesmo que variável, manteve-se na maior parte do tempo no intervalo de 100 a 200 m³/s.

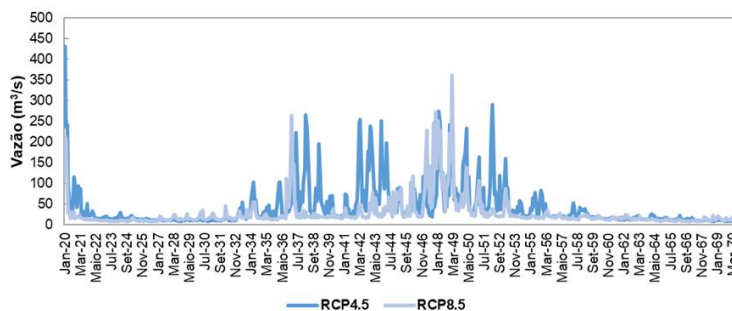


Figura 2. Vazão simulada no WEAP para o período de mudanças climáticas RCP4.5 e RCP8.5 (2020-2070)

A observação dos dados de vazão (Figuras 1 e 2) é importante para a quantificação do nexos existente entre água e energia, visto que a disponibilidade hídrica nas Bacias PCJ irá influenciar na geração de energia hidrelétrica. A Figura 3 apresenta o percentual de atendimento da geração de energia elétrica pelas usinas hidrelétricas Americana, Jaguari e Salto Grande na condição histórica (1995-2019) e em cenários de mudança climática (2020-2070). Verifica-se que a Usina Hidrelétrica (UH) Americana, que apresenta a maior potência, é a que mais apresentou percentual de não atendimento, chegando ao menor valor, no período histórico, em agosto de 1995, em que gerou apenas 30% do seu potencial de geração de energia, o que representa a geração de 9,0 MW de eletricidade.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

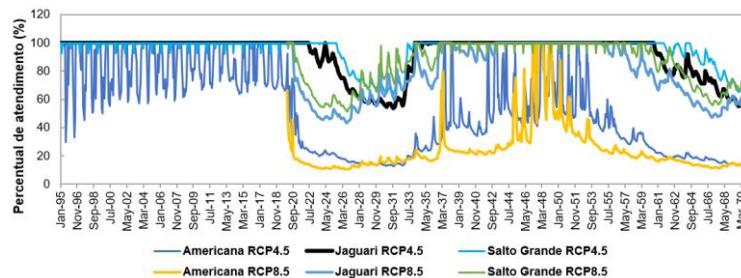


Figura 3. Percentual de atendimento do potencial de geração de energia hidrelétrica nas Bacias PCJ em condição histórica (jan. 1995- dez. 2019) e de mudanças climáticas (jan. 2020-dez. 2070)

Esse percentual refere-se à verificação se a disponibilidade hídrica (vazão) permite o atendimento ou não do potencial de geração de energia levando em consideração a vazão turbinada de cada UH. A UH Americana tem o potencial de geração de 30,0 MW, utilizando uma vazão turbinada de $117,00 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; a UH Salto Grande apresenta potencial de geração de energia igual a 4,6 MW, utilizando uma vazão turbinada de $21,45 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; e a UH Jaguari possui potencial de geração de energia igual a 11,8 MW, utilizando uma vazão turbinada de $34,90 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Constata-se períodos de não atendimento do potencial de geração de energia em todas as UHs nos cenários RCP4.5 e RCP8.5 e uma maior sensibilidade da UH Americana. A geração de energia hidrelétrica nas Bacias PCJ estará comprometida, chegando à menor previsão de atendimento no cenário RCP 4.5 (Figura 3) em outubro de 2031, em que foi previsto o percentual de atendimento de 12,9% para UH Americana, equivalente à geração de 3,9 MW, 64,0% para a UH Salto Grande, equivalente à geração 2,9 MW, e 53,8% para a UH Jaguari, equivalente à geração de 6,3 MW. No cenário RCP8.5 (Figura 3), a menor previsão foi projetada para agosto de 2026, com um percentual de atendimento de apenas 10,4% para UH Americana, equivalente à geração de 3,1 MW, 51,4% para a UH Salto Grande, equivalente à geração 2,3 MW, e 43,2% para a UH Jaguari, equivalente à geração de 5,1 MW.

Em situações em que a disponibilidade hídrica para geração de energia hidrelétrica é baixa, ou seja, a geração de energia está abaixo do potencial da usina hidrelétrica (Figura 3), há a necessidade de ativação de usinas termelétricas, cujo custo de operação é superior ao das usinas hidrelétricas. Por conta disso, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabeleceu desde 2015 o Sistema de Bandeiras Tarifárias a fim de informar ao consumidor o aumento na tarifa praticada.

Esse sistema define que em condições favoráveis de geração de energia hidrelétrica, a tarifa normal deve ser praticada, sendo essa a Bandeira Verde. A Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) que é a principal provedora de energia elétrica nas Bacias PCJ apresenta os valores das Bandeiras Tarifárias usualmente

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

praticados por ela, os quais são: Bandeira Amarela- acréscimo de 0,0187 reais (R\$) por quilowatt-hora (KWh) consumido, representa condições menos favoráveis, em que as usinas termelétricas são acionadas a um custo de operação no intervalo de R\$ 211,28 a R\$ 422,56 por megawatt-hora (MWh); Bandeira Vermelha-Patamar 1- acréscimo de R\$ 0,0416 por KWh consumido em situações em que as termelétricas precisam ser acionadas a um custo acima de R\$ 422,56/MWh chegando até R\$ 610,0/MWh; e Bandeira Vermelha-Patamar 2- acréscimo de R\$ 0,0949 por KWh consumido quando o custo de acionamento das usinas termelétricas é maior ou igual a R\$ 610,0/MWh [8].

Percebe-se a influência das alterações na disponibilidade hídrica na geração e custo de energia elétrica nas Bacias PCJ, o que poderá aumentar os custos de produção das lavouras agrícolas irrigadas.

4. CONCLUSÃO

O comprometimento da geração de energia hidrelétrica nas Bacias PCJ influencia o custo de geração de energia elétrica, ocasionando incrementos, o que poderá aumentar os custos de produção das lavouras agrícolas irrigadas.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida por meio do processo 143899/2019-8 e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de doutorado sanduiche por meio do Código de Financiamento 88887.716749/2022-00 à primeira autora.

REFERÊNCIAS

- [1] GETIRANA, A.; LIBONATI, R.; CATALDI, M. Brazil is in water crisis: it needs a drought plan. **Nature**, Londres, v. 600, p. 218-220, 9 dez. 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-021-03625-w>. Acesso em: 26 ago. 2023.
- [2] COMITÊS PCJ; AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2020 a 2035: Relatório Final**. Piracicaba, SP: Consórcio Profill-Rhama, 2020. 747 p. Executado por Consórcio Profill-Rhama e organizado por Comitês PCJ/Agência das Bacias PCJ. Disponível em:

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

https://www.comitespcj.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=957:pb-pcj-2020-2035. Acesso em: 2 out. 2023.

- [3] BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF: Presidência da República, 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 03 fev. 2023.
- [4] MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. **Transactions of The Asabe**, St. Joseph, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.23153>. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp??JID=3&AID=23153&CID=t2007&v=50&i=3&T=1>. Acesso em: 18 ago. 2023.
- [5] NASA POWER. **The POWER Project**: data access viewer, 2023. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Acesso em: 18 jun. 2023.
- [6] HOLBIG, C. A.; MAZZONETTO, A.; BORELLA, F.; PAVAN, W.; FERNANDES, J. M. C.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; CHOU, S. C. PROJETA platform: accessing high resolution climate change projections over Central and South America using the Eta model. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 26, n. 1, p. 71-81, 21 dez. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v26i1.26366>. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/agrometeoros/article/view/26366>. Acesso em: 28. ago. 2023.
- [7] LENDERINK, G.; BUIHAND, A.; VAN DEURSEN, W.: Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. **Hydrology and Earth System Science**, Goettingen, v. 11, n. 3, p. 1145-1159, 3 maio 2007. Copernicus GmbH. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/hess-11-1145-2007>. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/11/1145/2007/>. Acesso em: 28. ago. 2023.
- [8] CPFL. **Bandeiras Tarifárias**, 2023. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 28. ago. 2023.