

NEXUS ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTO COM USO DE ELETRICIDADE HÍBRIDA SOLAR E HÍDRICA NA USINA DE SOBRADINHO

Érica Ferraz de Campos ^[1], Enio Bueno Pereira ^[1], Pieter van Oel ^[2], Fernando Ramos Martins ^[3],
Rodrigo Santos Costa ^[2], André Rodrigues Gonçalves ^[2]

[1] Centro de Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CCST - INPE)

[2] Water Resources Management Group at Wageningen University

[3] Departamento de Ciência Marinha da Unisversidade Federal de São Paulo (UNIFESP)

RESUMO: Água, energia e alimento são recursos essenciais para a sociedade. Seu gerenciamento integrado, a partir de suas inter-relações, é determinante para atender à demanda no longo prazo. Na última década, uma seca severa atingiu o semiárido brasileiro e, conseqüentemente, as atividades dependentes das águas do rio São Francisco. Durante a seca, apesar da baixa precipitação e intensa demanda de água para uso humano e irrigação, os níveis históricos de vazão defluente de Sobradinho foram mantidos, o que levou à depleção de sua reserva hídrica. Ao mesmo tempo, a irradiação solar é uma das principais características da região do semiárido, e começa a ser aproveitada em seu potencial de gerar eletricidade. Assim, com base no conceito Nexus Água-Energia-Alimento, esse estudo analisa a influência da adoção de painéis fotovoltaicos flutuantes na usina de Sobradinho para a dinâmica de alocação de água no rio São Francisco. Duas intensidades de usina solar foram propostas: 10 e 50 GWh. Os resultados foram analisados em garantia de segurança hídrica e energética.

Palavras-chave: Nexus WEF; Solar energy; Hybrid hydro-solar system; Water management.

ABSTRACT: Water, energy, and food are essential resources for society. Their integrated management, based on synergies and trade-offs, is determinant to meet the demand in the long-term. In the last decade, a severe drought affected the Brazilian semiarid and activities that depend on the São Francisco river. During the drought, despite the low rainfall and intense water demand for human use and irrigation, the historical levels of outflow at Sobradinho were maintained, which led to the depletion of the water reserve. At the same time, solar irradiation is one of the main characteristics of the semiarid region and its potential to generate electricity is starting to be used. Thus, based on the Nexus Water-Energy-Food concept, this study analyzes the influence in water allocation of São Francisco River by adopting floating photovoltaic panels in the Sobradinho power plant. Two intensities of a solar plant were proposed: 10 and 50 GWh. The results were analyzed to guarantee water and energy security.

Keywords: Nexus WEF; Solar energy; Hybrid hydro-solar system; Water management

INTRODUÇÃO

As estratégias de uso dos recursos água, energia e alimento permitem alcançar melhores níveis de sustentabilidade nas atividades humanas. O Nexus Água, Energia e Alimento estabelece que compreender os impactos associados ao uso dos recursos naturais e suas inter-relações permite criar estratégias para alcançar melhores resultados ambientais, sociais e econômicos em conservação dos ecossistemas e bem-estar da população (HOFF, 2011; BAZILIAN et al., 2011). Os estudos em Nexus buscam alternativas que atendam ao melhor desempenho nos parâmetros suscetíveis do sistema e, por sua capacidade de avaliar os recursos de forma integrada e evidenciar as sinergias, o Nexus tem adequada aplicação na proposição de políticas públicas e no monitoramento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (FAO, 2014).

O estoque de água em reservatórios de hidrelétricas representa recursos para gerar eletricidade, abastecer a população rural e urbana, e viabilizar atividades agrícolas. Entretanto, períodos de baixa precipitação reduzem a disponibilidade de água, intensificam a evaporação de cursos d'água e reservatórios e ampliam a demanda pela agricultura. Em longos episódios de baixa precipitação, a

escassez hídrica cria situações de conflito entre os usos múltiplos. No semiárido brasileiro, a hidrelétrica de Sobradinho possui reservatório de 34 bilhões de metros cúbicos. Essa reserva de água permitiu a instalação do cultivo de frutas ao seu redor. Nos dias de hoje, o polo de fruticultura Petrolina-Juazeiro representa importante atividade econômica na região, tendo gerado cerca de R\$ 2,6 bilhões em 2018 (IBGE, 2019).

Na última década, a bacia do rio São Francisco passou por uma seca severa (MARENGO et al., 2017). Os anos de 2012, 2014 e 2015 apresentaram precipitação 30% abaixo da média dos últimos 60 anos (FUNCEME, 2020), o que reduziu a vazão do rio, enquanto a vazão de defluência de Sobradinho foi mantida em níveis históricos, superiores à vazão afluente até 2015 (ONS, 2019). Como consequência, a reserva chegou a ~2% do volume morto em dezembro de 2015 e novembro de 2017 (ONS, 2019). A vazão de defluência mínima (média mensal) foi reduzida para 1.100 m³/s em abril de 2013, e paulatinamente reduzida até 550 m³/s em julho de 2017. Com pouca disponibilidade de água, as atividades de produzir de frutas e gerar eletricidade foram colocadas em risco. Como medida de redução da demanda, em junho de 2017, a retirada de água dos corpos hídricos e a irrigação de áreas agrícolas foi proibida durante as quartas-feiras. A restrição passou a ser quinzenal em julho de 2018, o que perdurou até dezembro de 2018. Adotada a política de operação com restrição da vazão, a energia gerada reduziu de 5.113 GWh em 2007 para 1.162 GWh em 2017 (ONS, 2019). Desta forma, a participação dessa hidrelétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) de eletricidade ficou comprometido, e sua infraestrutura, subutilizada.

Ao mesmo tempo, a irradiação solar é um recurso vasto no semiárido. Com índices acima de 5,5 kWh/m².dia (PEREIRA et al., 2017), o potencial de geração de eletricidade por fonte solar no nordeste brasileiro vem sendo ampliada pelos leilões nacionais de expansão da matriz elétrica. Assim, a pesquisa propõe incorporar o sistema fotovoltaico à usina de Sobradinho, o que faz uso de um recurso abundante para economizar um recurso escasso. Além disso, usinas híbridas, com uso de duas ou mais fontes energéticas, figuram como alternativa para otimizar a infraestrutura instalada e evitar novos investimentos em transmissão de energia.

Dentro desse contexto, esta pesquisa propõe incorporar diferentes intensidades de fonte solar à hidrelétrica de Sobradinho para analisar sua influência na alocação de água no rio São Francisco de 2009 a 2018. Avaliou-se os efeitos da medida na garantia de segurança hídrica – aumento da reservas - e energética – aumento da geração para o sistema elétrico nacional.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para simular a dinâmica de uso e conservação do recurso hídrico, foi adotado o software WEAP (Water Evaluation and Planning), versão 2019.2, desenvolvido pelo SEI (Stockholm Environment Institute). Com base em um modelo conceitual do ciclo hidrológico, o programa permite associar a disponibilidade de água com sua alocação entre diversos usos e componentes do sistema. Inicialmente, criamos no WEAP o sistema em análise: o rio São Francisco, as três hidrelétricas com reservatório (Três Marias, Sobradinho e Itaparica), e as hidrelétricas a fio d'água (Complexo Paulo Afonso e Xingo), conforme ilustra a Figura 1. Para recriar a distribuição de água de 1999 a 2018, foram inseridos no software dados das características físicas das hidrelétricas e dos reservatórios (CHESF, 2018), o volume de água contido nos reservatórios no primeiro dia da simulação (ONS, 2019) e as entradas e saídas de água do sistema.

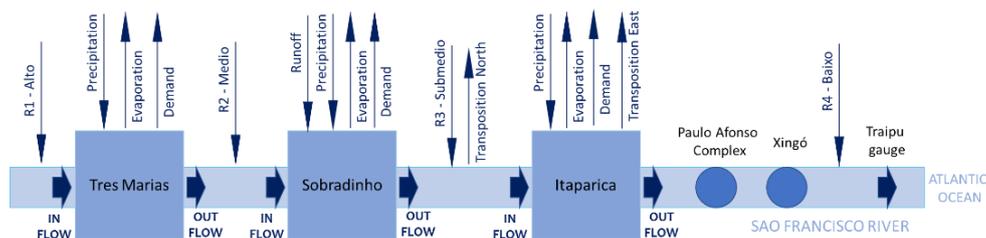


Figura 1 – Componentes do modelo.

Para as entradas de água, assumimos a vazão incremental. Essa vazão consiste na diferença de vazão entre dois pontos como resultado dos processos ocorridos entre estes ao longo da calha do rio: precipitação direta, escoamento, cursos d'água contribuintes; retirada pelos usos múltiplos, evaporação; e transferência entre calha e lençol freático. Os nódulos do sistema R1, R2, R3 e R4 representam a vazão incremental, e seus valores foram estimados com base nos dados de afluência e defluência dos três reservatórios e da estação fluviométrica de Traipu, próximo da foz do rio São Francisco (ANA, 2019; ONS, 2019). Na área de lago dos reservatórios, foram incorporadas estimativas de precipitação direta em função da área (FUNCEME, 2020), taxa mensal de evaporação (FUNCEME, 2020) e retirada direta de água com base nas outorgas (ANA, 2020). Para Sobradinho, incluímos o escoamento das laterais do reservatório (FUNCEME, 2020), pois essa área não estaria coberta pelo cálculo de vazão incremental.

Nas regras de simulação, utilizamos como critério a garantia da segurança hídrica, alimentar e ecológica. Foram estabelecidos como prioridade para a alocação de água: atendimento à demanda dos usos múltiplos (segurança hídrica), incluindo a irrigação (segurança alimentar). Com o objetivo de garantir a qualidade da água e evitar a cunha salina (segurança ecológica), a vazão à jusante de Sobradinho foi fixada conforme resolução da Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), que estabelece a vazão mínima em $800 \text{ m}^3/\text{s}$ na faixa de operação de atenção ($30\% < \text{volume útil} < 60\%$). Para a segurança energética, avaliamos se os cenários com adição da fonte solar mantiveram os valores de eletricidade observada em Sobradinho e no conjunto de hidrelétricas do rio São Francisco entre 2009 e 2018.

A partir do cenário referência (séries históricas), simulamos cenários alternativos com a inserção da fonte solar em duas intensidades: 10 e 50 GWh mensais, respectivamente, PV-10 e PV-50. A partir do conceito de manter em estoque a água “economizada” em razão da adoção da fonte solar, estimamos o volume de água necessário para gerar a energia produzida pelas placas solares. O volume equivalente foi mantido no reservatório de Sobradinho. Nessa estimativa, usamos os dados médios mensais de vazão turbinada e de eletricidade gerada por Sobradinho. A produtividade média entre 1999 e 2018 resultou em $61,15 \text{ Wh}/\text{m}^3$. Portanto, ao gerar 10 GWh/mês por fonte solar (Cenário PV-10), foi mantido no reservatório $0,64 \times 10^9 \text{ m}^3$ ($62 \text{ m}^3/\text{s}$).

Nas regras de simulação, a vazão defluente foi programada para reproduzir a série histórica de 1999 a 2008 e, a partir de 2009, essa vazão foi reduzida de acordo com a intensidade de geração solar, em 62 (PV-10) ou 311 m^3/s (PV-50), até o limite da vazão mínima de $800 \text{ m}^3/\text{s}$ (ANA, 2017). O volume de água adicionado ao sistema (R1-R4) e as demandas dos usos múltiplos foram mantidos segundo a série histórica. A regra de distribuição de água foi fixada em igual prioridade para os três reservatórios. Assumimos a infraestrutura instalada na hidrelétrica de Sobradinho como limitante para o despacho de eletricidade ao SIN. Portanto, a soma das fontes solar e hídrica foi limitada à potência instalada em Sobradinho de 1,05GW, equivalente e média mensal de 767GWh.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presença da fonte solar no episódio recente de seca severa teria proporcionado melhores condições em segurança hídrica e energética apenas no cenário PV-50. Na dimensão hídrica, ao reduzir a vazão defluente do reservatório de Sobradinho, o estoque de água manteve-se acima do volume verificado para ambos os cenários entre 2010 e 2016. No cenário PV-10 (Figura 2A), a água acumulada foi utilizada para manter a vazão do rio em $800 \text{ m}^3/\text{s}$ em 2017-2018, anos em que a vazão do cenário referência esteve inferior, atingindo até $550 \text{ m}^3/\text{s}$ (ONS, 2019). Como resultado, o estoque de água em

Sobradinho foi esgotado em 2017. No cenário PV-50 (Figura 2B), o estoque sofreu intensa redução em 2017, porém a água acumulada nos anos anteriores permitiu mantê-lo acima de $14 \times 10^9 \text{ m}^3$ (30% do volume útil). Esse volume equivaleria a 1,7 anos se somada a demanda do reservatório de Sobradinho e as retiradas diretas do rio São Francisco desde Sobradinho até a foz (ANA, 2020).

Na dimensão energética, ao analisar apenas a hidroeletricidade, a geração em Sobradinho aumentou 3% em ambos os cenários. Em valores médios anuais, no cenário referência foram produzidos 2.675 GWh (ONS, 2019); o cenário PV-10 gerou 2.761 GWh e o cenário PV-50 somou 2.754 GWh. Os resultados foram similares ao referência porque a água acumulada nos anos iniciais do estudo sustentou vazões turbinadas superiores nos anos finais. Na comparação entre os cenários, vazões turbinadas mais baixas no PV-50 foram compensadas por picos de geração após o enchimento do reservatório, como pode ser visto em 2011 e 2012, na Figura 2B. Na soma solar e hídrica, os cenários tiveram incremento: 8% no PV-10 (2.881 GWh/ano) e 25% no PV-50 (3.354 GWh/ano).

A inserção da fonte solar otimizou as linhas de transmissão em Sobradinho: o fator de capacidade aumentou de 0,27 no cenário referência para 0,30 no PV-10 e 0,34 no PV-50. Entretanto, apesar do incremento em Sobradinho, ao analisar a contribuição do conjunto de usinas hidrelétricas instaladas no rio São Francisco, a contenção da vazão reduziu a geração em nas usinas à jusante. Como resultado, mesmo com a adição da fonte solar, a geração média de eletricidade advinda do rio São Francisco de 33,0 TWh no cenário referência, sofreu leve aumento no PV-10 para 33,6 TWh; entretanto, foi reduzida em 4,5% no PV-50 para 31,6 TWh.

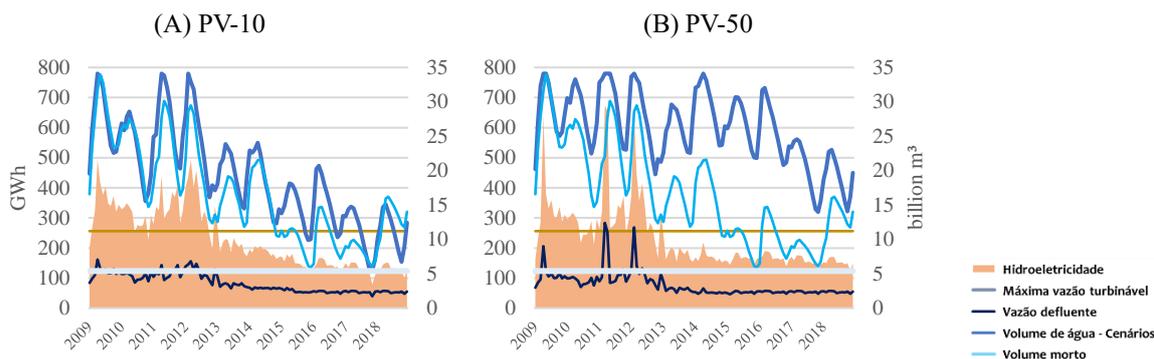


Figura 2: Eletricidade gerada (eixo primário) e volume de água armazenado (eixo secundário) nos cenários de intensidade solar (A) PV-10 e (B) PV-50 GWh.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de cenários com base no conceito Nexus permite compreender as compensações ao adotar diferentes estratégias e elencar os melhores resultados globais para os recursos críticos do sistema em estudo. A adoção dos sistemas fotovoltaicos em Sobradinho permite usar recurso em abundância no semiárido e alterar as estratégias de alocação da água no rio São Francisco, com o objetivo de priorizar o consumo humano, as atividades econômicas locais e quesitos ambientais. Nos cenários analisados, a menor adição de fonte solar (PV-10) não foi suficiente para garantir a segurança hídrica dos usos múltiplos, enquanto a maior adição (PV-50) promoveu melhores condições em reserva de água, porém reduziu a contribuição do rio São Francisco ao Sistema Interligado Nacional. Análises futuras, com cenários de adição solar intermediários, poderão identificar melhores estratégias para as seguranças hídrica, energética e alimentar associadas à inserção da fonte solar em Sobradinho. A pesquisa avança em identificar cenários que otimizem a inserção da fonte solar para a segurança hídrica e energética.

REFERÊNCIAS

ANA. RESOLUÇÃO Nº 2.081, DE 04 DE DEZEMBRO DE 2017. 2017.

ANA. **HIDROWEB** - Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em:

*IX Simpósio da Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
São José dos Campos, Brasil
8 a 11 de Dezembro de 2020*

http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/mapa_hidroweb.jsf. Acesso em: 21 fev. 2019.

ANA. **Outorgas de Direito de Uso de Recursos Hídricos**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/gestao-da-agua/outorga-e-fiscalizacao/principais-servicos/outorgas-emitidas/outorgas-emitidas>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

BAZILIAN, M. et al. Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. **Energy Policy**, v. 39, n. 12, p. 7896–7906, dez. de 2011.

CHESF. **Sistema Chesf Sistemas de Geração**. Disponível em: www.chesf.gov.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao. Acesso em: 6 out. 2018.

FAO. **Walking the Nexus Talk: Assessing the Water-Energy-Food Nexus in the Context of the Sustainable Energy for All Initiative**. Rome: 2014.

FUNCEME. **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos**. Disponível em: <Comunicação pessoal>.

HOFF, H. **Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus**. Stockholm : 2011.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 30 set. 2019.

MARENGO, J. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, ago. de 2017.

ONS. **Geração de Energia**. Disponível em: <http://ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx>. Acesso em: 30 set. 2018.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: 2017.