



A Região de MATOPIBA (Brasil) e o Nexus Água-Energia-Alimentos

Water-Energy-Food Nexus in the MATOPIBA Region (Brazil)

Paulo Renato SILVA^{1*}, João Nildo Souza VIANNA¹

¹ Universidade de Brasília (UnB), Brasília, DF, Brasil.

* E-mail de contato: ecpaulo@gmail.com

Artigo recebido em 7 de dezembro de 2020, versão final aceita em 21 de outubro de 2021, publicado em 2 de junho de 2022.

RESUMO: No âmbito da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, a água, a energia e os alimentos estão identificados como áreas prioritárias de atuação. O estudo de caso apresentado centra-se nos grandes empreendimentos de agricultura irrigada na região de MATOPIBA e nas grandes barragens de geração de energia hidrelétrica implantadas nas principais regiões hidrográficas (RH) desta fronteira agrícola. Com base na abordagem *Nexus*, o objetivo do trabalho foi o de identificar potenciais conflitos no uso da água nos grandes complexos agrícolas e na geração de energia. Foram coletados dados quantitativos de consumo de água pelo setor agrícola, da geração de energia nas principais bacias hidrográficas e dados da evolução da instalação de pivôs-centrais para agricultura irrigada. Os resultados da análise foram interpretados qualitativamente sob a perspectiva *Nexus*, amparada por uma reflexão sob a ótica dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O recurso água, enquanto eixo estruturante e insubstituível dos dois setores econômicos, apresentou resultados evidentes de sobrexploração, designadamente na RH do São Francisco. O setor agropecuário, principal consumidor de água no Brasil, foi responsável em 2017 por 46,10% da retirada total e de 67,10% da vazão de consumo total. Por seu lado, as duas principais RH que integram a região em estudo, representavam em 2017 43% do total de participação no volume útil dos reservatórios do Sistema Interligado Nacional (SIN). O protagonismo demonstrado pelos setores agrícola e de hidroenergia revelaram a urgente necessidade de revisão dos campos de ação inscritos no *Nexus* tendo em vista a promoção das seguranças hídrica, alimentar e energética, o crescimento sustentável e a preservação de um meio ambiente resiliente e produtivo. Deverão estabelecer-se novos mecanismos de diálogo e de ação que mobilizem nas diferentes escalas territoriais as autoridades públicas, o setor privado e os diferentes grupos sociais, para que se coloquem em prática as linhas orientadoras da abordagem *Nexus*.

Palavras-chave: MATOPIBA; Nexus; segurança hídrica; segurança alimentar; segurança energética.

ABSTRACT: Under the 2030 Agenda for Sustainable Development, water, energy, and food are identified as priority areas for action. The case study focuses on large irrigated agriculture projects in the MATOPIBA region and large hydroelectric power dams located in the main river basins of this agricultural frontier. Based on the Nexus approach, our main objectives were to identify potential *trade-offs* and synergies in the water resource usage in large agricultural complexes and the hydroelectric energy production. We collected quantitative data on water consumption by the agricultural sector, hydroelectric power generation in the main river basins, and the installation of pivots for irrigation. The results showed evident water overexploitation, namely in the São Francisco river basin, where there is the continued growth of pivots installation and where important hydroelectric plants of the SIN system are located. The agricultural sector, as the central water consumer in Brazil, was responsible in 2017 for 46.10% of the total withdrawal and 67.10% of the absolute consumption flow. In turn, the two main river basins in MATOPIBA (São Francisco and Tocantins-Araguaia) accounted in 2017 for 43% of the total share in the useful volume of SIN reservoirs. Agricultural and hydro energy sectors revealed the urgent need to review Nexus' fields of action to promote water, food, and energy security, sustainable growth, and the preservation of a resilient and productive environment. New mechanisms for dialogue and action should be established to mobilize public authorities, the private sector, and different social groups at different territorial scales and put into practice the guidelines of the *Nexus* approach.

Keywords: MATOPIBA; Nexus; water security; food security; energy security.

1. Introdução

Sabemos que o mundo enfrentará desafios significativos de adaptação a um futuro em que a demanda por água continuará crescendo e que a sua oferta permanecerá limitada. Além dos impactos provocados pelas mudanças climáticas, os recursos hídricos são geralmente afetados por outros fatores de pressão, como a ocupação e sobreexploração das bacias hidrográficas, o aumento da demanda urbana, agrícola e de geração de energia, a intensificação de processos que comprometem a qualidade da água e ainda problemas na própria gestão deste recurso natural (UNESCO, 2017).

A análise e o tratamento destes problemas se revelam críticos para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) adotados pelas Nações Unidas em 2015. O ODS 6, relativo à água, inclui metas genéricas, como a melhoria de acesso ao saneamento básico, a redução da poluição, a melhoria da eficiência no uso da água e um uso mais

sustentável dos recursos hídricos (ONU, 2015).

Por sua vez, a água, pelo seu caráter único nos modos de produção econômicos, produzirá impactos no atingimento de metas em outros ODS, notadamente àqueles que se relacionam com a segurança alimentar, a segurança energética e a proteção dos ecossistemas. Assim, a visão expressa nos ODS deverá exigir mudanças profundas no modo como a água tem sido gerenciada. Essas mudanças estão muito além das soluções *business as usual*, obrigando a uma melhor e mais ampla coordenação entre setores produtivos que dependam deste recurso natural (World Bank, 2016; ICSU, 2017).

A formulação de políticas públicas de água, energia e alimentos é frequentemente desenvolvida dentro de uma relação de conflito inerente entre os três setores. Além disso, a ênfase limitada nas interfaces das seguranças hídrica, energética e alimentar geralmente conduz a intervenções contraditórias e ao uso ineficiente dos recursos naturais (Howells *et al.*, 2013).

Reforçado por uma narrativa apoiada em repetidas crises hídricas, energéticas e de preços dos alimentos em muitos países emergentes, o conceito *Nexus Água-Energia-Alimentos* ganhou relevância em termos de governança e da possibilidade de redesenho de políticas públicas, sendo utilizado para se referir a uma abordagem que visa integrar esses três setores, fazendo emergir a importância de os tratar de forma coordenada e interdependente (Hoff, 2011; Artioli *et al.*, 2017; J. Dai *et al.*, 2018).

Após revisarem a maior parte da literatura sobre a abordagem *Nexus*, Simpson & Jewitt (2019) chegaram a uma definição dominante que consiste na seguinte afirmação: “...o *Nexus Água-Energia-Alimentos* é o estudo das conexões entre estes três setores de recursos, juntamente com as suas sinergias, conflitos e *trade-offs*, que surgem do modo como estes são geridos, ou seja: água para alimentos e alimentos para água, energia para água e água para energia e alimentos para energia e energia para alimentos”.

Esta definição representa de alguma forma o entendimento teórico dominante da abordagem *Nexus*, enquanto ferramenta analítica, catalisadora de pesquisas técnicas e científicas sobre o uso de recursos e sua segurança (Simpson & Jewitt, 2019).

A partir de uma análise empírica de dados em escala regional, a motivação deste trabalho foi a de identificar pontos em comum e percepções sinópticas de potenciais conflitos no uso do recurso água, por mudanças de uso da terra para instalação de grandes complexos de agricultura irrigada bem como pela geração de energia hidrelétrica em grandes barragens.

O estudo de caso apresentado centra-se no MATOPIBA (Figura 1), uma região composta por 337 municípios nos estados do Maranhão (MA),

Tocantins (TO), Piauí (PI) e Bahia (BA), considerada a última fronteira agrícola do Brasil, com uma extensão de 731.700 km² (dos quais 665.400 km² no bioma Cerrado) e integrada por 4 importantes Regiões Hidrográficas (RH) (São Francisco, Tocantins-Araguaia, Atlântico Nordeste Ocidental e Parnaíba) (Brasil, 2015).

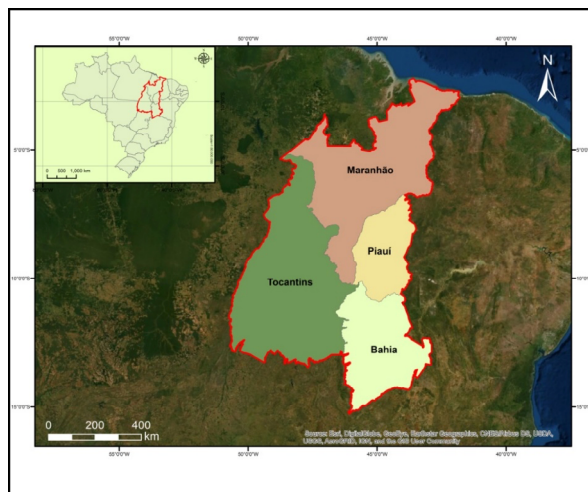


FIGURA1 – Mapa de localização e da composição estadual do MATOPIBA.

FONTE: Construção dos Autores.

A região delimitada pelo MATOPIBA foi estabelecida pela Portaria nº 244 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), de 12 de novembro de 2015. Atualmente, esta região apresenta-se como um dos grandes polos nacionais de produção agrícola, com municípios onde se concentram empreendimentos de agricultura irrigada entre 100 e 300 km² e superiores a 300 km² (ANA, 2017).

Entre 1985 e 2017, a área irrigada por pivôs

centrais aumentou mais de 100 vezes, permitindo o desenvolvimento de cultivos agrícolas intensivos mesmo em épocas de estiagem prolongada (EMBRAPA, 2016; ANA, 2019a).

Devido, em particular, à expansão do agronegócio, tem-se verificado um aumento no desmatamento e na contaminação dos solos e dos corpos hídricos, com a consequente perda de biodiversidade, bem como de mudanças, em diferentes escalas, no balanço hídrico de diversas RH (ANA, 2017).

Esta região tem apresentado uma dinâmica diferenciada, com crescimentos de produção agropecuários muito superiores à produção média nacional. E para os próximos 10 anos, os quatro estados que compõem o MATOPIBA deverão atingir uma produção de grãos de 25,4 milhões de toneladas, numa área plantada estimada de 88.000 km² em 2027/28 (MAPA, 2018).

A operação de grandes infraestruturas para geração de energia hidrelétrica ou a instalação de grandes complexos de agricultura irrigada podem agravar ameaças de escassez já existentes em determinada região, como o acesso desigual aos recursos, as incertezas quanto à segurança alimentar e os meios de subsistência das populações mais vulneráveis (Smajgl & Ward 2013; Middleton *et al.*, 2015; Smajgl *et al.*, 2016).

Como veremos em seguida, cada um destes problemas são já evidentes e tendem a se agudizar no MATOPIBA, região marcada pela expansão de grandes complexos agrícolas voltados para a exportação de *commodities*, seguindo um modelo de produção intensamente mecanizado, e pela operação de grandes usinas hidrelétricas.

Tendo por base compromissos internacionais assumidos pelo Brasil, como a Agenda 2030 e o Acordo de Paris, realizou-se uma reflexão crítica

sobre os conflitos, riscos, sinergias e possíveis compensações (*trade-offs*) dos três setores *Nexus*, que envolvem de modo direto o ODS 2, o ODS 6 e o ODS 7.

O ODS 2 visa erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável; o ODS 6 aspira a garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos; por fim, o ODS 7 intenta assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível da energia para todos (ONU, 2015).

Amparado pela abordagem *Nexus*, buscou-se aprofundar o conhecimento quanto à problemática enfrentada na região do MATOPIBA relacionada ao conflito de uso de recursos naturais, tanto na perspectiva física e técnica quanto na perspectiva político-institucional.

2. *Materiais e métodos*

No presente estudo, os dados coletados dizem respeito a três grupos distintos: 1) a distribuição setorial do uso da água no Brasil, por retirada e por consumo; 2) a participação na geração de energia hidrelétrica do volume útil total do Sistema Interligado Nacional (SIN), por RH; 3) a evolução das áreas equipadas por pivôs centrais para agricultura irrigada, por RH (1985-2017).

Usaram-se os dados mais recentes relativos ao consumo e retirada de água, com base nas publicações disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas (ANA), com destaque para o Informe Anual “Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2019”.

Relativamente às informações sobre geração de energia consultou-se o Balanço Energético Na-

cional (BEN), publicação anual de competência da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), subordinada ao Ministério de Minas e Energia (MME). Foram usados para este estudo os dados disponíveis no BEN 2020, que tem por ano base 2019.

Os dados correspondentes à evolução das áreas equipadas por pivôs centrais para agricultura irrigada foram obtidos no Portal de Metadados da ANA e no Portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Estes dados encontram-se, por sua vez, compilados no documento “Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil – 2ª Edição”, publicado em 2019 pela ANA.

Complementarmente, foram consultados os dados do balanço hídrico superficial da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco, publicados em 2016 pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco no Plano de Recursos Hídricos (PRH) 2016-2025.

De forma genérica pode-se formular a abordagem *Nexus* a partir dos seguintes tópicos (Hoff, 2011; Dai *et al.*, 2018):

- Entender a interdependência dos três setores com foco na eficiência, mais do que na produtividade de setores individuais, fornecendo soluções integradas que contribuam para os objetivos das políticas de água, energia e alimentos;

- Reconhecer a interdependência entre a água, energia e alimentos e promover a tomada de decisão economicamente racional e o uso eficiente destes recursos de uma forma ambientalmente responsável;

- Identificar soluções de políticas integradas para minimizar os *trade-offs* (compensações) e maximizar as sinergias, encorajando respostas mutuamente benéficas que melhorem o potencial de cooperação entre setores;

- Assegurar a coerência entre políticas e a coordenação entre setores e partes interessadas, para construir sinergias e contribuir para uma sustentabilidade de longo prazo com impactos ambientais limitados;

- Valorizar o capital natural da terra, da água, da energia e dos ecossistemas, incentivando os negócios na transição para a sustentabilidade.

Apresenta-se na Figura 2 um enquadramento ilustrativo dos diversos conceitos, campos de ação e tendências globais que podem influenciar a abordagem *Nexus*.

Dadas as tendências globais de forte concentração urbana, do crescimento populacional e das alterações climáticas, os três setores do *Nexus* evidenciam diversas externalidades que comprometem fortemente o uso dos recursos hídricos disponíveis (FAO, 2018).

De modo concomitante, a articulação dos três campos de ação Sociedade-Economia-Ambiente, condiciona por sua vez os recursos hídricos disponíveis, obrigando a promover uma melhor governança entre setores, um crescimento sustentável, equilibrado e equitativo e um meio ambiente resiliente e produtivo (Hoff, 2011; ESRC, 2015).

Embora reconheçam a complexidade de modelar a abordagem *Nexus*, (ou seja, uma modelagem baseada em computação), Daher *et al.* (2017) enfatizam que não existe um modelo universal para resolver todos os problemas relacionados a Água-Energia-Alimentos.

Além disso, estes autores reforçam que a localização e a respectiva contextualização de uma determinada avaliação a partir da abordagem *Nexus* é fundamental para, por exemplo, analisar possíveis *trade-offs* (compensações) e sinergias.

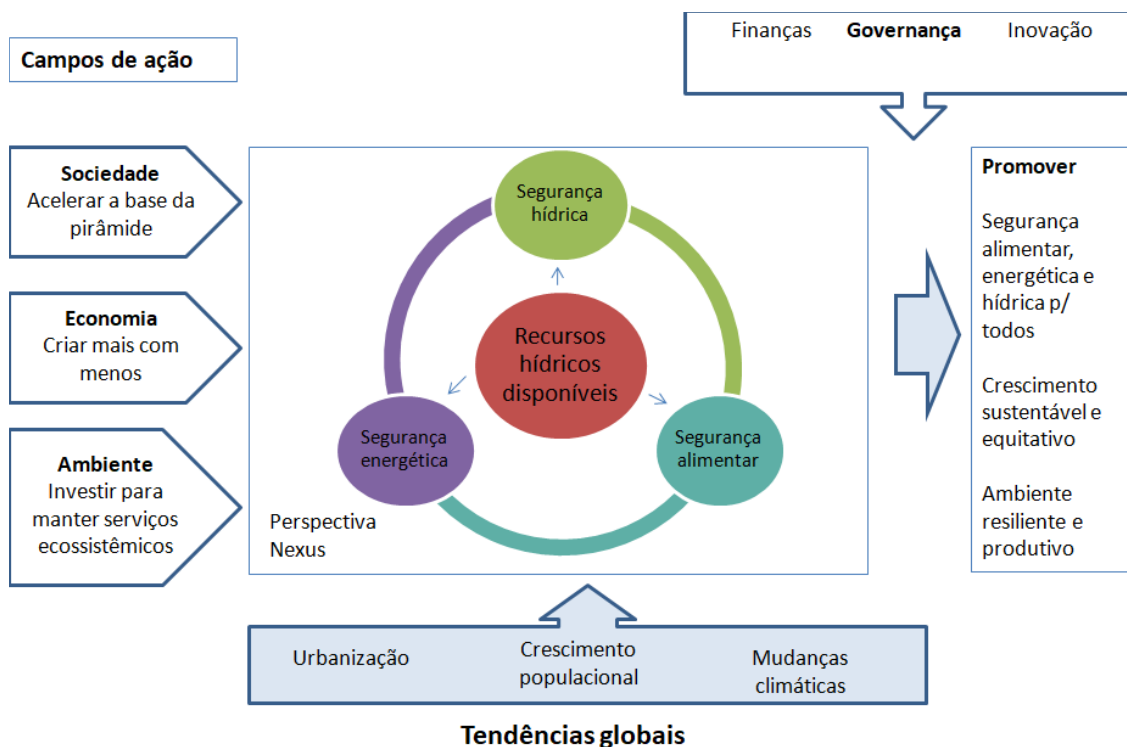


FIGURA 2 – O *Nexus* água, energia e alimentos.

FONTE: Construção dos Autores, com base em Hoff, 2011.

Não existe, portanto, uma metodologia clara e sistematizada do *Nexus*. O conceito não fornece, ainda, um conjunto preciso de premissas ou definições iniciais e os limites e objetivos das análises desta abordagem variam de caso para caso (SEI, 2018; Stylianopoulou; Papapostolou; Kondili, 2020).

No estudo de caso que aqui se apresenta, não foram usadas ferramentas específicas no processo de análise. Contudo, de modo a facilitar a conceituação utilizada, expõe-se na Figura 3 o esquema metodológico que sintetiza a ordem sequencial do passo a passo aplicado.

3. Resultados

A perspectiva *Nexus*, que integra como vimos as seguranças hídrica, energética e alimentar, reúne no recurso água o seu eixo central e estruturante. Será oportuno reter para a discussão duas definições distintas deste recurso natural: a água verde (green water) e a água azul (blue water).

A água verde refere-se à água no solo que resulta diretamente da precipitação e que fica disponível para as plantas, suportando os ecossistemas naturais e agrícolas, sendo fundamentalmente ge-

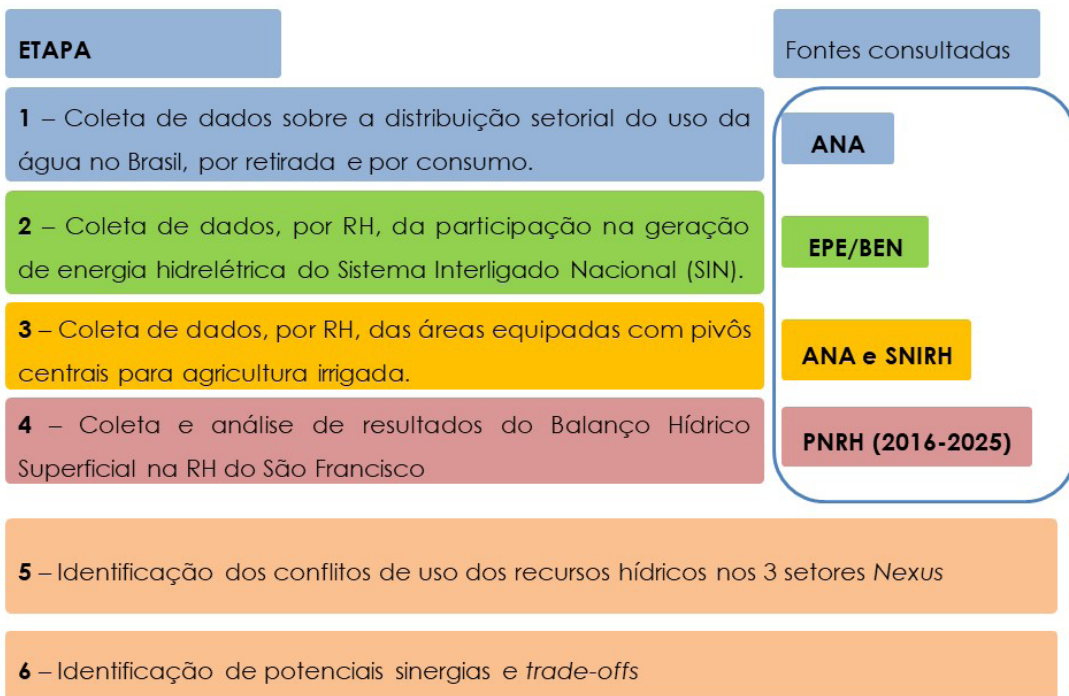


FIGURA 3 – Esquema metodológico com a ordem sequencial do passo a passo aplicado.

FONTE: Construção dos Autores.

renciada por meio de políticas públicas de uso dos solos e pelas práticas agrícolas. Por seu lado, a água azul refere-se à água nos rios, lagos e aquíferos, que estão disponíveis para irrigação, usos municipais, como abastecimento humano e saneamento básico, e fins industriais. Este tipo e uso de água é normalmente gerenciado por meio de infra-estruturas hidráulicas (Falkenmark *et al.*, 2009; Steffen *et al.*, 2015).

Estes dois tipos de água têm diferentes custos de oportunidade, sendo a água verde apenas consumida pelos ecossistemas naturais e agrícolas, enquanto a água azul poderá ser alocada para diferentes usos, podendo até ser reciclada (Hoff, 2011).

A agricultura é o principal consumidor de

água a nível global, sendo que no Brasil este setor da economia é responsável por 46,10% da retirada total (2.105 m³/s) e de 67,10% da vazão de consumo total (1.110 m³/s), conforme se observa na Figura 4. A utilização da água no setor agrícola é ainda mais relevante quando se considera as características desse consumo, uma vez que o retorno direto ao corpo hídrico é muito baixo quando comparado aos demais usos (ANA, 2017).

Dito de outro modo, a irrigação é definida como um uso consuntivo por alterar as condições de disponibilidade deste recurso no meio ambiente, uma vez que a maior parte da água é consumida pela evapotranspiração das plantas e do solo, não retornando diretamente aos corpos hídricos. Embora

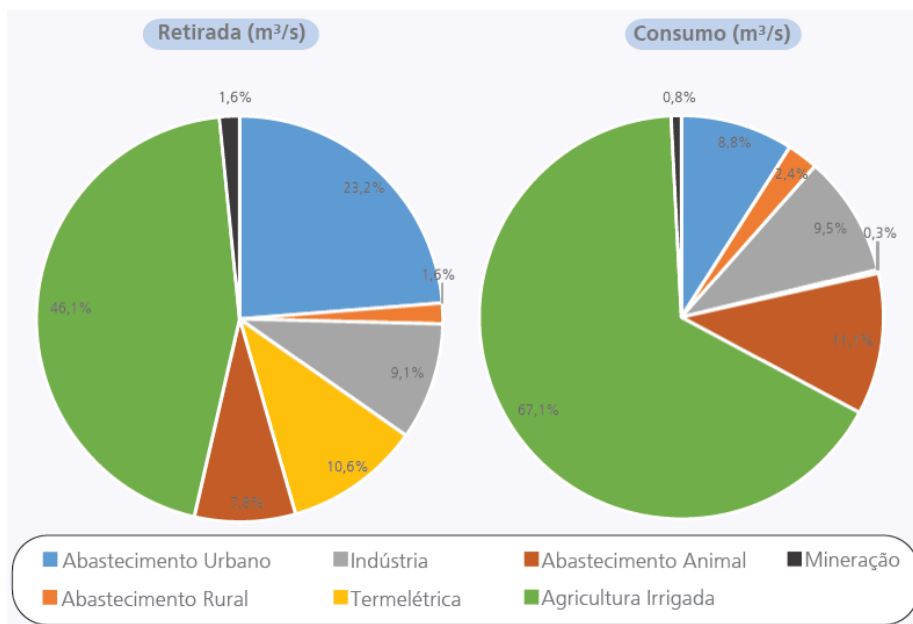


FIGURA 4 – Distribuição setorial do uso da água no Brasil em porcentagem (retirada e consumo)

FONTE: ANA, 2017

o ciclo hidrológico seja fechado, este uso consuntivo se traduz pela indisponibilidade da água para outros fins numa determinada região, durante um período de tempo (ANA, 2019a; ANA, 2019b).

Um dos métodos mais utilizados na agricultura irrigada é o pivô central. Até 2017 o Brasil dispunha de mais de 23.000 pontos-pivô, totalizando uma área superior a 1.4 milhões de hectares, correspondendo a aproximadamente 20% da área irrigada total e 30% da área irrigada mecanizada. Este sistema de irrigação foi também o que mais cresceu nos últimos anos no Brasil, devendo essa tendência se manter ou mesmo se intensificar até 2030 (ANA, 2019c).

A Figura 5 ilustra a evolução dos pivôs centrais nas 12 RH do Brasil, entre 1985 e 2017. Esse

recorte temporal de 33 anos demonstra um crescimento percentual elevado em todo o território, porém com especial concentração em três RH: Tocantins-Araguaia (140 mil ha), São Francisco (434 mil ha) e Paraná (622 mil ha), estando as duas primeiras na região do MATOPIBA. Somadas, estas três RH representam aproximadamente 81% da área total equipada com pivôs centrais no Brasil (ANA, 2019a).

Apenas a RH do São Francisco concentra 29,5% desse total, estando os pivôs centrais mais concentrados na região do Oeste Baiano (bacias dos rios Grande e Correntes), que integra na sua totalidade o MATOPIBA, e a bacia do rio Paracatu, que desagua no rio São Francisco e que tem os rios Entre-Ribeiros e Preto como afluentes de

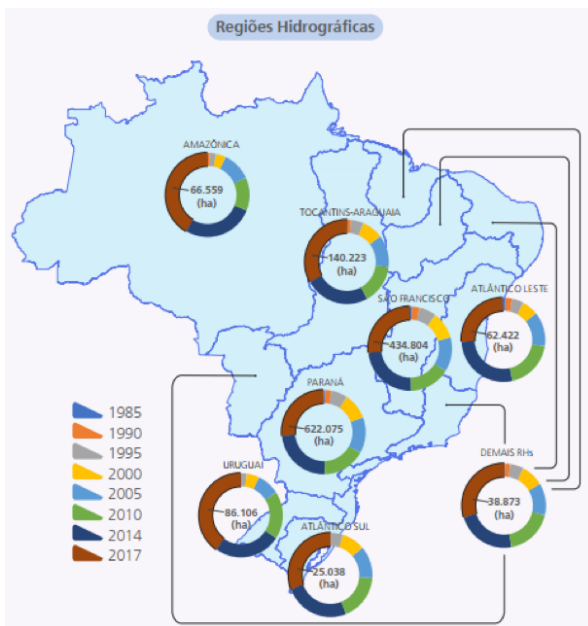


FIGURA 5 – Área equipada por pivôs centrais por Região Hidrográfica (1985-2017).

FORNTE: ANA, 2019a.

expressiva concentração de pivôs centrais (ANA, 2019a; 2019c).

Conforme já referido, o ODS 7 envolve o pleno acesso a fontes de energia modernas, sustentáveis e confiáveis. Este ODS se apoia em três metas principais: a garantia de acesso universal a serviços energéticos, o aumento da participação de fontes renováveis na matriz energética de cada país e uma maior eficiência energética (ONU, 2015).

O potencial hidrelétrico de um determinado corpo hídrico pode definir-se como aquele que é possível de ser economicamente aproveitado nas condições tecnologicamente disponíveis, sendo medido em termos de energia firme. Esta energia é entendida como a geração máxima contínua, na

hipótese de repetição futura do período hidrológico crítico. A inventariação deste potencial hidrelétrico reúne todas as usinas em operação ou construção e os aproveitamentos disponíveis estudados nos níveis de inventário, viabilidade e projeto básico. Sublinhe-se ainda que os valores estimados de avaliação do potencial hidrelétrico dos corpos hídricos são bastante conservadores, situando-se normalmente 35% abaixo do valor final inventariado (BEN, 2020).

O Brasil dispõe de uma matriz de energia elétrica de origem predominantemente renovável, com especial destaque para a geração hidrelétrica, que responde por cerca de 65% da oferta interna (Figura 6) (BEN, 2020). Este sistema é fortemente dependente da disponibilidade hídrica de médio e longo prazo para a produção da energia firme e, portanto, para garantir o atendimento do SIN.

Em relação à produção de energia hidrelétrica, a maior capacidade de armazenamento de água, considerando o volume útil total dos 160 reser-

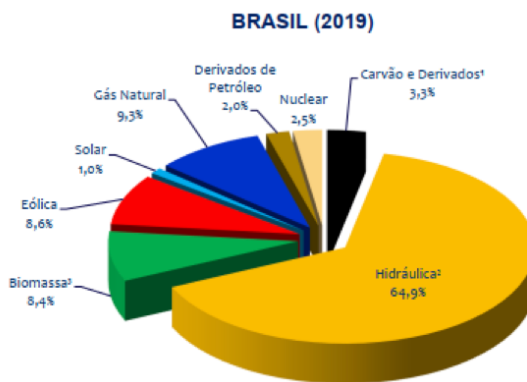


FIGURA 6 – Matriz de energia elétrica no Brasil, ano base 2019.

FORNTE: Balanço Energético Nacional (BEN), 2020.

vatórios integrantes do SIN, concentra-se em três RH: Paraná, Tocantins-Araguaia e São Francisco (as duas últimas com importância direta na área em estudo). As três RH totalizam mais de 266 bilhões de m³, o que representa cerca de 88% da capacidade de armazenamento do SIN (ANA, 2019c).

Respeitante à área de estudo em análise, a Figura 7 permite observar que as RHs do Tocantins-Araguaia e São Francisco, juntas, representavam em 2017 cerca de 43% do total de participação no volume útil dos reservatórios do SIN (ANA, 2017). Este valor expressa bem a influência determinante das duas RH na oferta interna de energia, a partir da geração hidráulica.

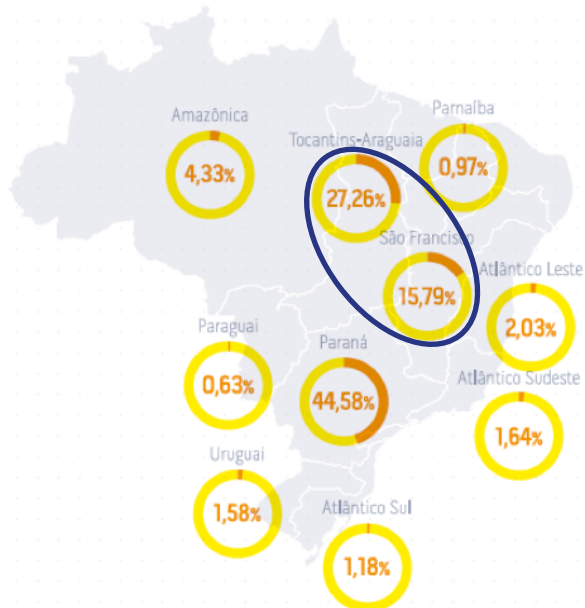


FIGURA 7 – Participação no volume útil total do SIN por Região Hidrográfica.

FONTE: ANA, 2017

Por fim, destaquem-se nesta análise os resultados do balanço hídrico na RH do São Francisco.

Conforme se pode verificar pela Figura 8, os dados do balanço hídrico superficial já evidenciavam em 2016 situações de sobreexploração dos recursos hídricos disponíveis, com os consequentes conflitos de utilização da água.

Estes sinais de sobreexploração são decorrentes da dificuldade em compatibilizar a satisfação da demanda para usos consuntivos com as exigências de geração de energia elétrica.

Observando-se com atenção a Figura 8, verifica-se que as sub-bacias com classificação de balanço hídrico superficial “Muito crítica” envolvem toda a

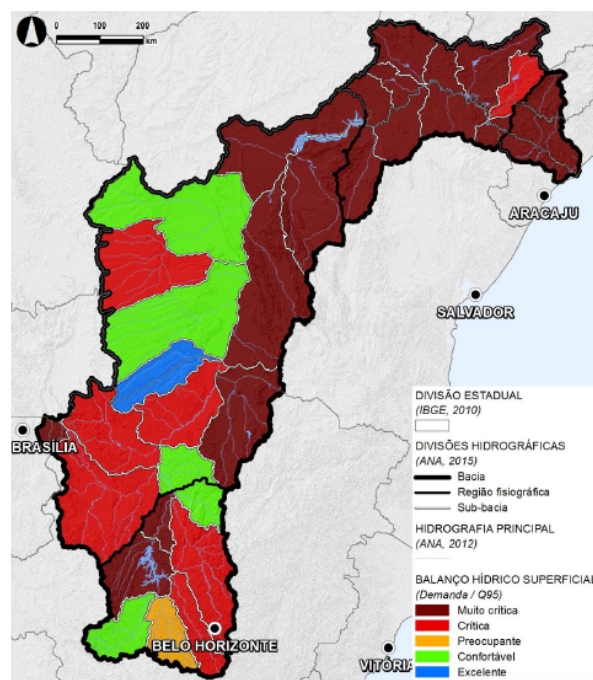


FIGURA 8 – Balanço Hídrico Superficial da Bacia do rio São Francisco. FONTE: PRH-SF - Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco 2016-2025 (PRH-SF, 2016b).

TABELA 1 – Matriz ordenada do *Nexus* Água-Energia-Alimentos e respectivos conflitos, sinergias e *trade-offs* na região do MATOPIBA.

Nexus Água-Energia-Alimentos	Conflitos	Sinergias	Trade-offs (Compensações)
1) Água para Alimentos e Alimentos para Água	1- Desmatamento intenso dos biomas Cerrado, Caatinga e Amazônia	1- Reflorestamento de áreas degradadas e/ou abandonadas pela agropecuária com vegetação nativa de cada bioma	1- Prestação de serviços ecossistêmicos
	2- Destruição da integridade dos habitats originais	2- Recuperação de áreas de cabeceira de nascentes	2- Recuperação do balanço hídrico superficial nas RH da região do MATOPIBA
	3- Degradação de áreas de cabeceira de nascentes	3- Recuperação dos habitats originais	3- Preservação e revitalização de mananciais
	4- Alteração do ciclo hidrológico devido ao intenso desmatamento dos biomas	4- Promoção/reforço de políticas públicas no âmbito da agricultura familiar	4- Preservação de ecossistemas terrestres e fluviais
	5- Perda dos níveis de evapotranspiração produzidos pelas florestas nativas	5- Revisão da distribuição das vazões outorgadas de água superficial	5- Pagamento por serviços ambientais no meio rural
	6- Contaminação de águas superficiais e lençóis freáticos com fertilizantes e agrotóxicos		
2) Água para Energia e Energia para Água	1- Operação das usinas hidrelétricas devido ao elevado volume de água afeto à produção de energia		1- Recuperação do balanço hídrico superficial nas RH da região do MATOPIBA
	2- Perturbação da integridade dos habitats originais		2- Preservação e revitalização de mananciais
	3- Subordinação da geração de energia hidrelétrica à dinâmica estabelecida pelo Sistema Interligado Nacional (SIN)	1- A região do MATOPIBA tem elevada incidência de radiação solar e elevado nº de dias/ano de exposição solar	3- Preservação de ecossistemas terrestres e fluviais
	4- Uso do território nas margens pelas comunidades ribeirinhas	2- Oportunidade de inserção na matriz energética da geração de energia solar fotovoltaica e centrais de biomassa	4- A energia produzida a partir de painéis fotovoltaicos permite uma economia de água nos reservatórios, já que a demanda pela geração de eletricidade nas usinas hidrelétricas se reduz
	5- A própria existência dos barramentos (usinas) tem efeitos nocivos para os ecossistemas terrestres e fluviais		5- Diminuição da imprevisibilidade das vazões, evitando a sua redução em períodos de escassez hídrica
	6- Intensificação das mudanças climáticas		

3) Energia para Alimentos e Alimentos para Energia

1- Operação das usinas hidrelétricas devido ao elevado volume de água afeto à produção de energia

2- Produção agrícola em monocultura intensiva e de larga escala, ocupando campos extensos

3- Intensificação das mudanças climáticas

4- Danos à pesca artesanal para as populações ribeirinhas

1- Incentivo à diversificação da matriz energética (geração de energia solar fotovoltaica e centrais de biomassa)

2- Definição de critérios de compatibilização entre os usos da água na agricultura e no setor energético e de restrições de operação das usinas hidrelétricas

3- Revisão da distribuição das vazões outorgadas de água superficial

4- Fortalecimento dos programas de aquisição e comercialização de alimentos à agricultura familiar

1- Cobrança pela água virtual que é exportada para outros países por meio dos alimentos

2- Reforço da segurança alimentar na população residente na região do MATOPIBA, com prevalência de insegurança alimentar grave

3- Recuperação do balanço hídrico superficial nas RH da região do MATOPIBA

FONTE: Construção dos Autores.

área a montante do lago de Sobradinho até à foz do rio São Francisco, notadamente onde estão implantadas as principais usinas hidrelétricas deste corpo hídrico: Sobradinho, Itaparica e Paulo Afonso.

Acresce ainda a competição pela água entre os diversos usos consuntivos, com destaque para a irrigação, como vimos anteriormente, pelo elevado volume de água requerido (PRH-SF, 2016b; ANA, 2019a). E aqui, mais uma vez, parte das sub-bacias do São Francisco com classificação de balanço hídrico superficial “Muito crítica” são confinantes à região do MATOPIBA.

Os múltiplos usos da água em qualquer corpo hídrico com exploração hidrelétrica são condicionados pela operação das usinas, dado que o volume de água necessário para produção de energia elétrica é várias ordens de grandeza superior ao requisitado pelos diversos usos consuntivos.

Conforme observado no balanço hídrico superficial da RH do rio São Francisco, a subordinação

da geração de energia à dinâmica da satisfação da procura no SIN tem conduzido a acentuadas variações da vazão turbinada pelas usinas, acarretando problemas ambientais, sociais e econômicos nas margens e áreas inundáveis do curso principal do rio, envolvendo e influenciando tanto os ecossistemas aquáticos quanto o próprio uso do território pelas populações ribeirinhas (PRH-SF, 2016a; PRH-SF, 2016c).

Em acréscimo ao uso de água para produção de energia, que impede o seu uso para outros fins consuntivos, a própria operação das usinas hidroelétricas tem impactos que as restrições operativas hidráulicas não têm tido capacidade de evitar. São de considerar a imprevisibilidade dos níveis de água devido às variações das vazões turbinadas e a inversão do regime natural de cheias e estiagem como as que mais impactam os ecossistemas e as comunidades ribeirinhas a montante e a jusante das barragens. Na região em estudo, o período de estia-

gem natural do rio São Francisco ocorre de junho a outubro e, com a regularização, o máximo da vazão turbinada registra-se em outubro, um mês que ainda seria de estiagem natural (PRH-SF, 2016a; 2016b).

Apresenta-se na Tabela 1, por meio de uma matriz ordenada, os aspectos do *Nexus* Água-Energia-Alimentos de modo a comparar e visualizar para cada setor os respectivos conflitos, assim como potenciais sinergias e *trade-offs* (compensações).

Para a identificação e distribuição desses conflitos, sinergias e *trade-offs* na região do MATOPIBA seguiu-se a definição já apresentada anteriormente de Simpson & Jewitt (2019), ou seja: 1) água para alimentos e alimentos para água; 2) energia para água e água para energia e 3) alimentos para energia e energia para alimentos.

4. Conclusões

Enquanto a expansão do setor agropecuário e o uso intensivo de recursos naturais têm crescido no bioma do Cerrado de uma forma geral, e em particular na região do MATOPIBA, os resultados apresentados evidenciam já potenciais agravamentos em relação ao uso eficiente, equitativo e ambientalmente equilibrado do recurso água em toda esta vasta região de fronteira agrícola.

E o mesmo se verifica em relação aos resultados apresentados na operação das usinas de geração hidrelétrica. A forte dependência desta fonte primária de energia na matriz energética nacional e, em particular, o lugar de destaque das RH do São Francisco e Tocantins-Araguaia no panorama do SIN, são reveladores dos conflitos de uso da água entre estes setores econômicos, bem como os impactos ambientais e sociais que essa produção

provoca nos ecossistemas aquáticos e nas comunidades próximas do rio.

Em outras palavras, e já no quadro de análise do *Nexus*, o determinante protagonismo demonstrado pelos setores de agropecuária e de produção energética na região do MATOPIBA é um indicador da urgente necessidade de revisão dos campos de ação Sociedade, Economia e Ambiente, tendo em vista a promoção das seguranças hídrica, alimentar e energética para toda a população, o crescimento sustentável e equitativo e a preservação de um meio ambiente resiliente e produtivo.

A abordagem multicêntrica do *Nexus* Água-Energia-Alimentos, em que cada setor é tratado com igual importância, visa identificar respostas que sejam mutuamente benéficas para os três setores, a partir de uma estrutura de análise dos diferentes conflitos que seja efetivamente confiável, permitindo buscar sinergias e *trade-offs* (compensações) que atendam as demandas sem comprometer a sustentabilidade.

Tradicionalmente, na elaboração e aplicação das políticas públicas, estes desafios interligados são discutidos de forma isolada e não raras vezes dentro das fronteiras de cada setor. Um dos principais reflexos desta opção fica de certa forma patente nos resultados apresentados, com as consequentes responsabilidades setoriais fragmentadas, bem como leis e enquadramentos regulatórios inconsistentes e conflitantes.

Embora seja amplamente reconhecida pelos autores citados e pela comunidade científica ligada a esta temática como uma abordagem complexa e extremamente desafiadora, quer em termos de coleta e tratamento de dados quer na articulação política e de governança, o conceito *Nexus* poderá beneficiar de forma decisiva a reformulação e a transversali-

dade das políticas aplicadas nos três setores.

A falta de evidências sobre os resultados de aplicação da abordagem *Nexus* pode ser simplesmente uma questão de tempo. Ou seja, mais estudos de caso deverão ser realizados, discutidos e amplamente disseminados para que o crescente corpo de trabalho empírico do *Nexus* gere os impactos desejados.

E o fato de que a abordagem *Nexus* Água-Energia-Alimentos não pode ter um modelo único de análise significa que deve ser dimensionado ou mesmo modificado (por vezes significativamente) para diferentes avaliações (por exemplo: cidades, regiões ou mesmo países).

Um aspecto muito importante que o conceito *Nexus* evidencia neste estudo é que deverá intensificar-se a construção de novos caminhos de diálogo e mecanismos de ação mais abrangentes que mobilizem, articulem e aprofundem, nas escalas locais, regionais e nacionais as relações entre autoridades públicas, o setor privado, a comunidade científica e os diferentes grupos de representação social, para quem, em última instância, são essenciais as linhas orientadoras formuladas pelo *Nexus*.

Em 2015, a Assembléia Geral das Nações Unidas adotou a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, de onde emergiram 17 ODS com diversas metas estratégicas para acabar com a pobreza, proteger o planeta, garantir a prosperidade e promover a paz e a justiça. Entre eles figuram três ODS diretamente associados à perspectiva *Nexus* Água-Energia-Alimentos – o ODS 2, o ODS 6 e o ODS 7.

Os enquadramentos de análise do *Nexus* têm sido defendidos por muitos autores como uma forte promessa para orientar o desenvolvimento de novas políticas e estruturas de governança em um mundo

que enfrenta os enormes desafios das mudanças climáticas, do crescimento populacional e da desigualdade no acesso aos recursos naturais.

Nesse contexto, será primordial a conexão das análises do *Nexus* aos ODS. Embora os ODS não sejam juridicamente vinculativos, é esperado que os Estados membros signatários, entre eles o Brasil, promovam o estabelecimento das estruturas e mecanismos nacionais necessários para a sua plena concretização.

In Memoriam

As ideias chave e os primeiros passos deste artigo foram lançados com o Professor João Nildo. E sua primeira versão foi apresentada em Congresso Internacional em 2018, na CIALP - Aveiro (Portugal). Em 2020 decidi retrabalhar o artigo e o submeter então para publicação. E nesse ano, em setembro, o Professor João Nildo faleceu.

A fantástica paixão pela vida, a extraordinária humanidade e generosidade, o carinho enorme pelos alunos, entre tantas paixões e vivências profundas que a vida lhe deu são marcas que nos conquistavam, nos inspiravam. Uma inspiração e admiração que sempre irei preservar e nutrir. Muito obrigado João!

Referências

ANA – Agência Nacional de Águas. *Atlas irrigação*: uso da água na agricultura irrigada. 2017. Disponível em: <arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrigacao-Uso-daAguaAgriculturaIrigada.pdf>. Acesso em: mai. 2020

ANA – Agência Nacional de Águas. *Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil*. 2. ed. -

- Brasília: ANA, 2019a.. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/levantamento-da-agricultura-irrigada-por-pivos-centrais-2019/view>. Acesso em: jun. 2020
- ANA – Agência Nacional de Águas. *Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil*. Brasília: ANA, 2019b. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana_manual_de_usos_consuntivos_da_agua_no_brasil.pdf/view>. Acesso em: jun. 2020
- ANA – Agência Nacional de Águas. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual*. Brasília: ANA, 2019c. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>>. Acesso em: abr. 2020
- Artioli, F.; Acuto, M.; McArthur, J. The water-energy-food nexus: An integration agenda and implications for urban governance. *Political Geography*. 61. 215-223, 2017. doi: 10.1016/j.polgeo.2017.08.009.
- BEN – *Balanco Energético Nacional, 2020 (Ano-base 2019)*. Ministério de Minas e Energia (MME); Empresa de Pesquisa Energética (EPE). 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>>. Acesso em: ago. 2020
- Brasil. *Decreto nº- 8.447, de 6 de maio de 2015*. Dispõe sobre o Plano de Desenvolvimento Agropecuário do Matopiba e a criação de seu Comitê Gestor. DOU: 07/05/2015
- Daher, B.; Mohtar, R. H.; Lee, H.; Assi, A. Modeling the water-energy-food nexus, in Water-Energy-Food Nexus: Principles and Practices. In: Abdul Salam, P.; Shrestha, S.; Prasad Pandey, V.; Anal, A. K. (Eds.). *Water-Energy-Food Nexus: Principles and Practice*. Washington, DC: John Wiley and Sons, Inc., p. 55–66, 2017.
- Dai, J.; Wu, S.; Han, G.; Weinberg, J.; Xie, X., Wu, X.; Song, X.; Jia, B.; Xue, W.; Yang, Q. Water-energy nexus: A review of methods and tools for macro-assessment. *Applied Energy*, 2018, Volume 210, pages 393-408. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.08.243
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Expansão geográfica da agricultura irrigada por pivôs centrais na Região do Matopiba entre 1985 e 2015*. Landau, E. C.; Guimarães, D. P.; de Sousa, D. L. (Orgs.). Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Milho e Sorgo. 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1062686/expansao-geografica-da-agricultura-irrigada-por-pivos-centrais-na-regiao-do-matopiba-entre-1985-e-2015>>. Acesso em: abr. 2020
- ESRC – Economic and Social Research Council. Services and slums: rethinking infrastructures and provisioning across the nexus. Thieme, T.; Kovacs, E. (Eds.). *Nexus Network think piece Series*, Paper 004. 2015. Disponível em: https://www.academia.edu/35690347/Services_and_Slums_Rethinking_Infrastructures_and_Provisioning_across_the_Nexus. Acesso em: maio 2020
- FAO – Food and Agriculture Organization. *Strengthening the Water-Food-Energy-Ecosystems (WFEE) Nexus*. 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/publications/card/en/CA2148EN/>>. Acesso em: ago. 2020
- Falkenmark, M.; Rockström, J.; Karlberg, L. Present and future water requirements for feeding humanity. *Food Security*, 1, 59–69, 2009. doi: 10.1007/s12571-008-0003-x
- Hoff, H. Understanding the nexus. *Background paper for the Bonn 2011 Conference: the water, energy and food security nexus*. Stockholm Environment Institute, Stockholm, 2011. Disponível em: <https://www.sei.org/publications/understanding-the-nexus/>> Acesso em: jun.2018
- Howells, M.; Hermann, S.; Welsch, M.; Bazilian, M.; Seegerstro R., Alfstad, T.; Gielen, D.; Rogner, H.; Fischer, G.; van Velthuisen, H.: Integrated analysis of climate change, land-use, energy and water strategies. *Nature Climate Change*, 7, 621-626, 2013.
- ICSU – International Council for Science. *A guide to SDG interactions: from science to implementation*. Griggs, D. J.; Nilsson, M.; Stevance, A.; McCollum, D. (Eds.). Paris: International Council for Science, 2017. doi: 10.24948/2017.01
- MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. *Projeções do agronegócio: Brasil 2017/18 à 2027/28*. Projeções de Longo Prazo. 9 ed. 2018. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/banner_site-03-03-1.

png/view> Acesso em: mai. 2020

Middleton, C.; Allouche, J.; Gyawali, D.; Allen, S. The rise and implications of the water-energy-food nexus in southeast Asia through an environmental justice lens. *Water Alternatives*, 8, 627-654, 2015.

ONU – Organização das Nações Unidas. *Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável*. Traduzido pelo Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio), 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>>. Acesso em: jun. 2019

PRH-SF – Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco 2016-2025. *RPIA Diagnóstico da dimensão técnica e institucional*. v. 1: caracterização da bacia hidrográfica. 1ª parte, Rev. 1, 2015. Belo Horizonte: PRH-SF, 2016a. Disponível em: <<https://cbhsaofrancisco.org.br/documentacao/plano-de-recursos-hidricos-2016-2025/>>. Acesso em: jun. 2019

PRH-SF - Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco 2016-2025. *RPIA Diagnóstico da dimensão técnica e institucional*. v. 7. Usos, balanço hídrico e síntese de diagnóstico. Rev. 1, 2015. Belo Horizonte: PRH-SF, 2016b. Disponível em: <<https://cbhsaofrancisco.org.br/documentacao/plano-de-recursos-hidricos-2016-2025/>>. Acesso em: jun. 2019

PRH-SF - Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco 2016-2025. *Resumo executivo do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco*, 2016. Belo Horizonte: PRH-SF, 2016c. Disponível em: <<https://cbhsaofrancisco.org.br/documentacao/plano-de-recursos-hidricos-2016-2025/>>. Acesso em: jun. 2019

SEI – Stockholm Environment Institute. Galaitsi S.; Veysey J.; Huber-Lee A. (Eds.). *Where is the added value? A review of the water-energy-food nexus literature*. SEI Working Paper. Stockholm: Environment Institute; 2018. Disponível em: <<https://www.sei.org/publications/added-value-review-water-energy-food-nexus-literature/>> Acesso

em: ago. 2019

Simpson G.B.; Jewitt G.P.W: The development of the water-energy-food nexus as a framework for achieving resource security: a review. *Frontiers in Environmental Science*, 7, article 8, 2019.

Smajgl, A.; Ward, J. *The Water-Food-Energy Nexus in the Mekong Region: assessing development strategies considering cross-sectoral and transboundary impacts*. New York: Springer Science & Business Media, 2013.

Smajgl, A., Ward, J.; Pluschke, L. The water-food-energy Nexus—Realising a new paradigm. *Journal of Hydrology*, 533, 533–540, 2016.

Steffen, W.; Richardson, K.; Rockström, J.; Cornell, S. E.; Fetzer, I.; Bennett, E. M.; Sörlin, S. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855, 2015.

Stylianopoulou, K.G.; Papapostolou, C.M.; Kondili, E.M. Water–Energy–Food nexus: a focused review on integrated methods. *Environ. Science Proceedings*, 2(1), 46, 2020. doi: 10.3390/environsciproc2020002046

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Miletto, M.; Caretta, M. A.; Burchi, F. M.; Zanlucchi, G. (Eds.). *Migration and its interdependencies with water scarcity, gender and youth employment*. Paris: WWAP; UNESCO, 2017. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0025/002589/258968E.pdf>>. Acesso em: jul. 2020

World Bank. *High and dry: climate change, water, and the economy*. Washington, DC.: World Bank, 2016. Disponível em: <<https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/high-and-dry-climate-change-water-and-the-economy>>. Acesso em: jun. 2019.