

PANORAMA DO NEXUS ÁGUA – ENERGIA – AGRICULTURA – INDÚSTRIA NO CONTEXTO BRASILEIRO

DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020753-780>

Cássia Juliana Fernandes Torres¹

Bárbara Suzart de Almeida Goodwin²

Andrea Sousa Fontes³

Daniel Veras Ribeiro⁴

Yvonilde Dantas Pinto Medeiros⁵



RESUMO

Existe um interesse crescente na literatura envolvendo o tema “water – energy – food nexus”. Esse interesse ocorre especialmente devido ao crescente reconhecimento das interdependências e interconexões entre setores econômicos que compartilham recursos naturais. Apesar da grande popularidade desse tema, ainda não foi identificado estudos que contemplem uma avaliação sistêmica das inter-relações entre seus elementos presentes no Brasil. Considerando essas premissas, este artigo tem por objetivo elaborar um diagnóstico das inter-relações entre o consumo de água e energia nas atividades agrícola, industrial, energética e de saneamento, visando estruturar o panorama das interligações existentes entre esses elementos no Brasil e direcionar futuras pesquisas que contemplem essa abordagem. Para isso, as análises foram realizadas a partir da disponibilidade de bases de dados setoriais. Os resultados alcançados apontam que: nas relações

¹ Discente, Centro Interdisciplinar de Energia e Ambiente (CIEnAm). Universidade Federal da Bahia, torres.cjf@gmail.com

² Discente, Engenharia Sanitária Ambiental. Escola Politécnica/Universidade Federal da Bahia, barbiesuzart@hotmail.com

³ Docente CETEC/Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, andreafontes@ufrb.edu.br

⁴ Docente Escola Politécnica/ Universidade Federal da Bahia. Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais, verasribeiro@hotmail.com

⁵ Docente Escola Politécnica/ Universidade Federal da Bahia/ Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental, yvonilde.medeiros@gmail.com

entre água e energia sobressaem as termoeletricas em função do alto consumo de água associado à tecnologia de resfriamento e a falta de análise da disponibilidade hídrica das regiões hidrográficas na maioria dos projetos de instalação desses tipos de usinas. Para as inter-relações entre energia e saneamento pôde-se perceber que a maior parcela de consumo de energia concentra-se nos sistemas de abastecimento de água, com destaque para as concessionárias de Alagoas e Rio Grande do Norte. Para o setor agrícola, observa-se que as culturas com maiores retiradas de água são: banana com (948,8 m³/s), arroz (793 m³/s), milho (614,5 m³/s), soja (400,6 m³/s) e cana-de-açúcar (364,5 m³/s). Já para o setor industrial, as indústrias que correspondem as maiores retiradas de água são: fabricação e refino de açúcar, fabricação de biocombustíveis, fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel, abate e fabricação de produtos de carne e siderurgia. Considerando os pontos levantados, recomenda-se a ampliação deste estudo para análise de dois aspectos: impacto das mudanças climáticas nas inter-relações identificadas e análise dos trade-off e sinergias associadas as essas interligações.

Palavras-chave: Usinas de energia. Consumo de água. Produção agrícola.

OVERVIEW OF THE WATER-ENERGY-AGRICULTURE-INDUSTRY NEXUS IN THE BRAZILIAN CONTEXT

ABSTRACT

There is a growing interest in the literature involving the theme "water - energy - food nexus". This interest is especially due to the growing recognition of interdependencies and interconnections between economic sectors that share natural resources. Despite the great popularity of this theme, studies that include a systemic assessment of the interrelationships among its elements present in Brazil have not yet been identified. Considering these assumptions, this article aims to elaborate a diagnosis of the interrelationships between water and energy consumption in agricultural, industrial, energy, and sanitation activities, aiming to structure the panorama of the interconnections between these elements in Brazil and direct future research. That contemplates this theme. For this, the analyses were performed based on the availability of sectorial databases. The results show that: in the relations between water and energy, the thermoelectric ones stand out due to the high water consumption associated with the cooling technology and the lack of analysis of the water availability of the hydrographic regions in most projects of installation of these types of plants. For the interrelationships between energy and sanitation, it can be seen that the largest share of energy consumption is concentrated in water supply systems, especially the concessionaires of Alagoas and Rio Grande do Norte. For the agricultural sector, it is observed that the crops with the largest water withdrawals are: banana with (948.8 m³/s), rice (793 m³/s), corn (614.5 m³/s), soybean (400.6 m³/s) and sugarcane (364.5 m³/s). For the

industrial sector, the industries that account for the largest water withdrawals are sugar manufacturing and refining, biofuels manufacturing, pulp manufacturing, and other pulps for paper making, slaughtering, and meat and steel making. Considering the points raised, it is recommended to expand this study to analyze two aspects: the impact of climate change on the identified interrelationships and analysis of trade-offs and synergies associated with these interconnections.

Key words: Power plants. Water consumption. Agricultural production.

1 INTRODUÇÃO

A “teoria nexus água-energia-alimento” é uma abordagem integradora direcionada para o planejamento e o gerenciamento de recursos, que envolve alta complexidade de escala espacial e temporal, vários *stakeholders* e muitos processos (DARGIN *et al.*, 2019). Esse tema ganhou visibilidade na Conferência “The Water Energy and Food Security Nexus – Solutions for the Green Economy” no ano de 2011 em Bonn (Alemanha) (WEF 2011; LIU *et al.*, 2017). Desde então, sua popularidade tem aumentado nas discussões científicas, refletindo uma transição contínua de uma abordagem setorial para uma abordagem multissetorial integrativa que visa enfrentar os desafios globais pertinentes aos recursos naturais (ZHANG *et al.*, 2019).

Para Al-Saidi & Elagib (2017) existem quatro motivações por trás do surgimento do pensamento nexus: maior reconhecimento das interligações entre atividades econômicas (por exemplo, agricultura, indústria e mineração) e recursos naturais (por exemplo, água, energia, terra e clima); crises recentes no fornecimento de recursos; intensificação dos riscos de escassez; e falhas nas estratégias de gestão e governança setoriais.

Dentre essas motivações, a insegurança associada à escassez dos recursos tem sido destacada como um de seus maiores impulsores. Nos próximos 10 a 20 anos, o mundo provavelmente verá uma demanda acelerada pela maioria das commodities de recursos naturais, bem como por mercados cada vez mais voláteis onde a escassez desses recursos tende a ser um fator cada vez mais comum entre os setores econômicos (ANDREWS-SPEED *et al.*, 2012). Por compreender que esses setores funcionam em formato de redes interconectadas, é preciso direcionar a ciência e a política para inserir análises de sistemas integrados em suas

estruturas. Fato esse que historicamente tem sido desconsiderado na maioria dos modelos de gestão.

Sistemas interligados parte do pressuposto que ações implementadas em um único setor podem induzir consequências positivas ou negativas em um ou em vários setores (ZHANG *et al.*, 2019). Embid & Martín (2017) trazem exemplos de algumas dessas inter-relações: A modernização da irrigação, utilizada como estratégia para aumentar a produção de alimentos e reduzir a quantidade de água no processo de produção, exige um maior consumo de energia, no entanto, a utilização de energias renováveis como eólica e solar podem compensar este aumento; a geração de energia hidráulica requer grandes quantidades de água armazenada em reservatórios, no entanto, pode afetar a produção agrícola em função da manipulação dos fluxos de água para atender a geração de energia, o que também está descomprometido com as necessidades sazonais para outros usos; a exploração dos combustíveis fósseis, que fornece receitas fiscais para os Estados são uma fonte de trabalho para a população, mas requer grandes quantidades de água e pode afetar a qualidade dos recursos hídricos; a produção de biocombustíveis, que diversifica a matriz energética e pode ser uma fonte de renda importante para o Estado e para os agricultores, afeta o consumo de água, intensifica a concorrência pela terra e pode afetar a produção de alimentos, reduzindo-a ou impactando seus preços.

Os exemplos relatados por Embid & Martín (2017) apresentam relações em cadeia onde todos os elementos funcionam de forma interdependente. Isso ocorre entre setores econômicos que compartilham recursos naturais, como agricultura, saneamento e indústria. As inter-relações entre esses setores, quanto ao uso dos recursos, variam em função da realidade política e econômica praticada em cada país. É preciso reconhecer essas conexões e dinâmicas, para alcançar uma visão sistêmica do panorama do nexus em escala nacional. Com isso, espera-se conseguir elencar pontos fortes e fracos pertinente a esses sistemas, deferindo a importância de implementar o modelo de gestão proposto por essa teoria, pautado no gerenciamento eficiente de recursos e na governança multinível (NAMANY *et al.*, 2019; BRÉTHAUT *et al.*, 2019).

Visto isso, vários autores têm desenvolvido análises das interligações entre elementos nexus aplicado a diferentes realidades de estudos de casos, podendo

citar, Embid & Martín (2017) para a América Latina e Caribe, Daher & Mohtar (2015) no Qatar, Peña (2018) no Chile, Portney *et al.* (2017) nos Estados Unidos, Scott (2011) no México e Shang *et al.* (2018) na China.

No Brasil, ainda não foi realizado uma análise do panorama das interligações entre elementos nexus de forma sistemática. Recentemente, foram desenvolvidos três estudos contemplando essa temática para escala nacional, Castillo *et al.* (2019) direcionado para análises das relações água-energia na produção de bioenergia, Semertzidis *et al.* (2018) avaliaram a pegada hídrica e as perdas por evaporação de algumas usinas hidroelétricas instaladas no país, e Mercure *et al.* (2019) que traz um contexto mais político, discutindo as deficiências no sistema de governança brasileiro sob a ótica das mudanças climáticas.

Diante do exposto, este artigo tem por objetivo elaborar um diagnóstico das inter-relações entre o consumo de água e energia nas atividades agrícola, industrial, energética e de saneamento, visando estruturar o panorama das interligações existentes entre esses elementos no Brasil e direcionar futuras pesquisas que contemplem essa abordagem.

2 METODOLOGIA

A metodologia do presente estudo consiste basicamente de duas partes, identificação e análise das interações entre elementos definidos. Isso requer uma grande quantidade de informações, considerando a extensão territorial do país. Para tornar isso possível, é imprescindível conhecer os bancos de dados existentes dos setores relacionados, para assim, poder analisar as possibilidades e restrições que envolvem essa investigação. Neste sentido, foram contemplados quatro interações para serem analisadas:

- **Energia para água** - Consumo de energia no setor de saneamento (abastecimento de água e esgotamento sanitário)
- **Água para energia** - Consumo de água nas diferentes tipologias energéticas, considerando a matriz atuante no Brasil.
- **Água e energia para o setor agrícola** - Consumo de água e energia na agricultura irrigada para produção de bioenergia e produção de alimentos.
- **Água e energia para o setor industrial** - Consumo de água e energia no setor industrial.

As etapas metodológicas desenvolvidas em cada interação estão apresentadas na Tabela 1. Observe que as análises foram realizadas a partir de dados secundários presentes em uma grande variedade de bases de informações setoriais e em publicações técnicas científicas. A Tabela 1 também apresenta as escalas espaciais que as bases de dados disponibilizam seus dados.

Especificamente para a interação entre “água para energia”, foi utilizado como suporte o QGIS, sendo um *software* de geoprocessamento de licença livre.

Tabela 1: Etapas metodológicas para estruturação do diagnóstico das inter-relações entre elementos nexus

Nexus	Aspectos analisados	Referências base	Etapas de desenvolvimento	Fonte de consulta de dados	Escala espacial
Energia para água	Consumo de energia nos sistemas de saneamento (concessionárias de água e esgoto)	Moura (2010), SNIS (2017), IEA (2016), USDOE (2006), Young (2015)	(1) Identificação das concessionárias de água e esgoto distribuídas no país; (2) Padronização das etapas inerentes ao processo de captação, tratamento e disposição de água e esgoto; (3) Estimativa da energia consumida.	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), publicações técnicas e científicas.	Nacional , Estadual e municipal
Água para energia	Demanda de água para diferentes tipologias de energia	Moura (2010), IEMA (2016) Semertzidis <i>et al.</i> (2018)	(1) Identificação das tipologias de energia presente no país; (2) Estimativa da demanda de água nas diferentes usinas de energia.	Empresa de Pesquisa Energética (EPE) - WEB MAP EPE, Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), publicações técnicas e científicas.	Nacional
Água e energia na produção agrícola	Demanda de água e energia na agricultura irrigada (produção de alimentos e bioenergia)	IBGE (2017), FAO (2017), FGV (2016), EMBRAPA (2014); ANA (2013)	(1) Identificação dos polos de agricultura irrigada distribuídas no território nacional (2) Identificação das culturas e tipo de sistema de irrigação utilizados; (3) Verificação dos dados de outorga de captação de água por bacia hidrográfica para irrigação; (4) Estimar o consumo de água e energia.	Agência Nacional de águas (ANA) – Outorga, Publicações técnicas e científicas.	Bacia Hidrográfica
Água para o setor industrial	Demanda de água na produção industrial	CNI (2013), ANA (2017), ANA (2013), Willet <i>et al.</i> (2019)	(1) Identificação das principais tipologias de indústrias; (2) Identificação do consumo de água e energia por tipologia definida.	Confederação Nacional da Indústria (CNI); publicações técnicas e científicas;	Nacional
Energia para o setor industrial	Demanda de energia na produção industrial	EPE (2007), Willet <i>et al.</i> (2019)			

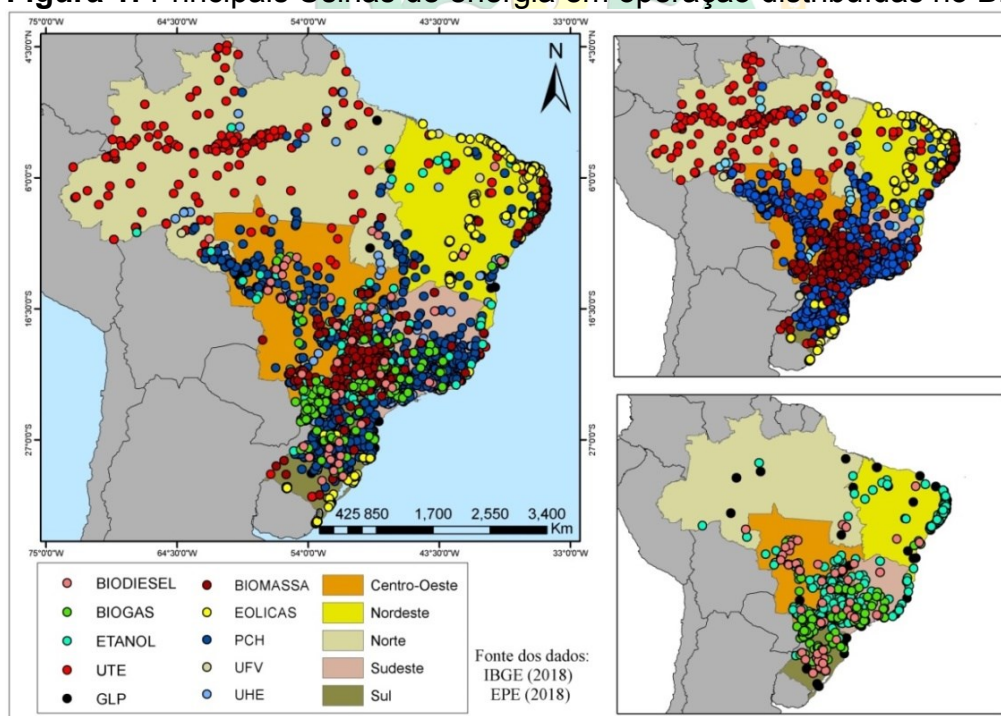
Fonte: Próprios autores

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Água para energia

A água é necessária para cada estágio de produção de energia (CHERCHI *et al.*, 2019). Logo, o setor de energia é altamente vulnerável às mudanças nos recursos hídricos. Visto isso, é de extrema relevância para esse setor estimar a demanda de água em cada tipologia de energia frente à disponibilidade hídrica das regiões hidrográficas brasileiras. Muitas usinas ao serem instaladas não consideram este fator como parâmetro de projeto, podendo citar o caso da maioria das termoeletricas instaladas no país (IEMA, 2016). Isso implica em riscos tanto para o setor de energia quanto para o setor de recursos hídricos. Visando contribuir para o levantamento dessas estimativas, a Figura 1 apresenta a relação das principais usinas em operação no país, segundo o banco de dados da Empresa de Pesquisa Energética - EPE (WEB MAP EPE).

Figura 1: Principais Usinas de energia em operação distribuídas no Brasil



Fonte: Próprios autores com base no banco de dados da EPE (2019). PCH - Pequena Central Hidrelétrica; UHE - Usina Hidrelétrica; UFV - Usina Fotovoltaica; UTE - Usina Termelétrica; GLP - Gás Liquefeito de Petróleo.

As maiores concentrações das usinas encontram-se nas regiões centrais (Sudeste e Centro-Oeste) e sul do país. Conforme pode-se observar, as usinas

eólicas estão localizadas no litoral do Nordeste, especialmente nos Estados da Bahia, Rio Grande do Norte, Ceará, Pernambuco e Paraíba e de forma menos expressiva nas regiões Sudeste e Sul. Em contrapartida, as usinas solares estão presentes com maior frequência na região Sudeste e distribuídas de forma pontual nas outras regiões do país.

A energia eólica possui a menor demanda de água de todas as tipologias apresentadas na Figura 1, com 4 a 42 m³/GWh para categoria *Onshore* e 0 - 38 m³/GWh para categoria *Offshore* (CHANG *et al.*, 2016). Já a energia solar apresenta uma demanda de água em torno de 20 – 810 m³/GWh para fotovoltaica e 400 – 4800 m³/GWh para energia solar concentrada (CHANG *et al.*, 2016). Não foram encontrados quantitativos de demanda de água específicos para usinas eólicas e plantas solares instaladas no Brasil.

Quanto às termoeletricas, presentes em quase todo território nacional, a demanda de água varia em função do combustível utilizado pela usina, da eficiência acoplada ao processo e da tecnologia de resfriamento (BAZILIAN *et al.*, 2011; MENG *et al.*, 2019). No Brasil, existem em média 2.217 unidades geradoras operando com derivados de petróleo, 152 unidades a gás natural, 23 a carvão mineral, 2 unidades operadas com capacidade instalada nuclear, dentre outras unidades operando com uma grande diversidade de fontes energéticas como resíduos agroindustriais, biocombustíveis líquidos, florestas energéticas, resíduos animais e resíduos sólidos urbanos (IEMA, 2016). Diferentemente da energia solar e eólica, para geração termoeletrica, o trabalho desenvolvido pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente - IEMA (2016) apresenta o quantitativo de captação de água e suas respectivas perdas para 70 usinas geradoras com potência superior a 100 MW instaladas no Brasil. O Quadro 1 ilustra esses quantitativos, tendo, como exemplo, duas usinas distribuídas por região do país que apresentaram valores expressivos na captação de água.

Quadro 1: Usos da água e suas perdas para termoeletricas instaladas nas regiões do Brasil

Região	Nome da Usina	Capacidade Instalada (MW)	Captação (m ³ /h/MW)	Perdas (m ³ /h/MW)	Situação hídrica da região
Nordeste	Termopernambuco	532,76	52	0,4	Muito crítica
	Porto do Pecém I (Antiga MPX)	720,27	2,85	2,5	Muito crítica

Centro-Oeste	Porto do Itaquí (Antiga Termomaranhão)	360,14	2,85	2,5	Muito crítica
	Cuiabá (Antiga Mário Covas)	529,20	0,9	0,7	Excelente
Sul	Jorge Lacerda III	262,00	130	1,5	Excelente
	Jorge Lacerda I e II	232,00	130	1,5	Excelente
Sudeste	Do Atlântico	490,00	130	1,5	Muito crítica
	Santa Cruz	1000,00	52	0,4	Muito crítica

Fonte: Adaptado do IEMA (2016)

É perceptível que as regiões sul e sudeste apresentam os maiores quantitativos de captação de água direcionada para termoeletrica, chegando a um total de 63.700 m³/h para a usina “Do Atlântico”. Deve-se destacar também, as perdas de água apontadas no Quadro 1, especialmente, as usinas Porto do Itaquí e Porto do Pecém I, localizados nas regiões centro-oeste e nordeste, respectivamente. Essas usinas apresentam uma perda que equivale praticamente ao valor da própria captação de água. Além das perdas, outro ponto de destaque refere-se aos riscos de poluição térmica de ecossistemas aquáticos, vinculados diretamente à tecnologia de resfriamento utilizado nas termoeletricas (IEMA, 2016).

Referente à análise das inter-relações entre a demanda de água para combustíveis fósseis, não foi encontrado estimativas específicas para as usinas instaladas no Brasil de petróleo, carvão e gás natural. Moura (2010) apresenta um valor entre 430 a 600 milhões de litros de água por dia consumido nas refinarias de petróleo brasileiras. Sendo esse valor variável em função da configuração da refinaria, complexidade, capacidade de reciclagem e localização (WU & CHIU, 2011). Para o carvão, Chang *et al.* (2016) apontam uma relação de consumo de água geral (origem à distribuição) de 160 – 5.160 m³/GWh para mineração de superfície e 200 – 5.800 m³/GWh para mineração subterrânea. Estimativas de consumo para gás natural convencional também são relatadas por Chang *et al.* (2016) que descrevem um consumo médio entre 4 a 4.530 m³/GWh.

Para o caso dos combustíveis fósseis, além do consumo de água destaca-se as emissões de gases do efeito estufa. Nos últimos 10 anos, tem havido um interesse renovado, em todo o mundo, pelos biocombustíveis, principalmente em função da evolução tecnológica, estímulo do setor agrícola e

mudanças climáticas (MCKENDRY, 2002). Hill *et al.* (2006) acrescentam que este interesse também está relacionado com os altos preços dos combustíveis, aumento das importações de energia, preocupações com os suprimentos de petróleo, e um maior reconhecimento das consequências ambientais relacionado ao uso dos combustíveis fósseis.

Apesar da importância da participação dos biocombustíveis na matriz energética brasileira, um fator que deve ser levado em consideração são os insumos necessários para efetivar sua produção, como por exemplo, consumo de água e energia. Silva & Freitas (2008) relatam que a produção de grãos para gerar combustíveis consome uma maior quantidade de recursos naturais que a produção de petróleo. Segundo os autores, o consumo de energia para produzir 1000 kg de biodiesel proveniente de girassol e soja, incluindo maquinário, fertilizantes, transporte, herbicidas, dentre outros componentes, está em média de 19,6 Gcal e 11,4 Gcal respectivamente.

Wu & Chiu (2011) colocam que a produção do etanol pela cultura do milho consome 11 – 160 gal/gal de etanol, e o etanol Switchgrass (gramínea) consome 1,9 – 4,6 gal/gal de etanol. Uma projeção para 2030 realizada para o Brasil por Carneiro (2015) estimam que a produção de etanol terá grandes reduções, 19,01 milhões de hectares para 13,35 milhões em situação de crise hídrica. Como indicado na Figura 1, as maiores concentrações de biodiesel e etanol encontram-se nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e litoral do Nordeste, sendo o nordeste e sudeste regiões críticas no aspecto de disponibilidade hídrica (IEMA, 2016).

Fachinelli (2013), a partir da análise da pegada hídrica na produção de cana-de-açúcar na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, aponta um consumo de 251 m³ de água por tonelada de cana-de-açúcar produzida. Gerbens-Leenes *et al.* (2009) apresenta em seus estudos a pegada hídrica de quinze culturas de biomassa para quatro países, incluindo o Brasil. Segundo os autores, as cinco biomassas de maior consumo de água no Brasil são o algodão (1710 m³/ton), amêndoas (1502 m³/ton), oleaginosas (1460, m³/ton), trigo (1360 m³/ton) e girassol (972 m³/ton) (GERBENS-LEENES *et al.*, 2009).

Quanto a geração hidráulica que, apesar de se tratar de um uso não consuntivo, é necessário um grande volume de água para realizar a geração de

energia. Sem mencionar as significativas perdas de água nos reservatórios por evaporação, sendo esses valores variáveis em função da dimensão da usina.

Semertzidis *et al.* (2018) trazem um levantamento da pegada hídrica e perdas de água por evaporação para algumas hidroelétricas instaladas no Brasil, como ilustra o Quadro 2. Segundo os autores, quanto menor a geração de eletricidade produzida por ano, maior será a pegada hídrica.

Quadro 2: Pegada hídrica de algumas usinas hidrelétricas instaladas no Brasil

Nome da Usina	Região	Área do reservatório (Km ²)	Capacidade Instalada (MW)	Evaporação (mm/ano)	Pegada Hídrica (m ³ /Mwh)
Água Vermelha (Antiga José Emílio de Moraes)	Sudeste	673,63	1.396,2	1.579,8	87,01
Itaipu	Sul	1.049,56	7.000	1.399,56	23,96
Porto Primavera (Engº Sérgio Motta)	Sul	2.976,98	1.540	1.384,83	305,6
Emborcação	Centro-Oeste	485,08	1.192	1.444,59	67,19
Balbina	Nordeste	4.437,72	250	1.289,89	2.613,8
Barra dos Coqueiros	Centro-Oeste	25,3	90	1.607,93	51,6
Castro Alves	Sul	6,21	130	1.185,05	6,46
Ilha dos Pombos	Sudeste	3,71	187	1.472,22	3,33
Sobradinho	Nordeste	4.380,79	1.050,3	1.795,31	854,82
Xingó	Nordeste	58,94	3.162	1.789,99	3,81

Fonte: Adaptado de Semertzidis *et al.* (2018)

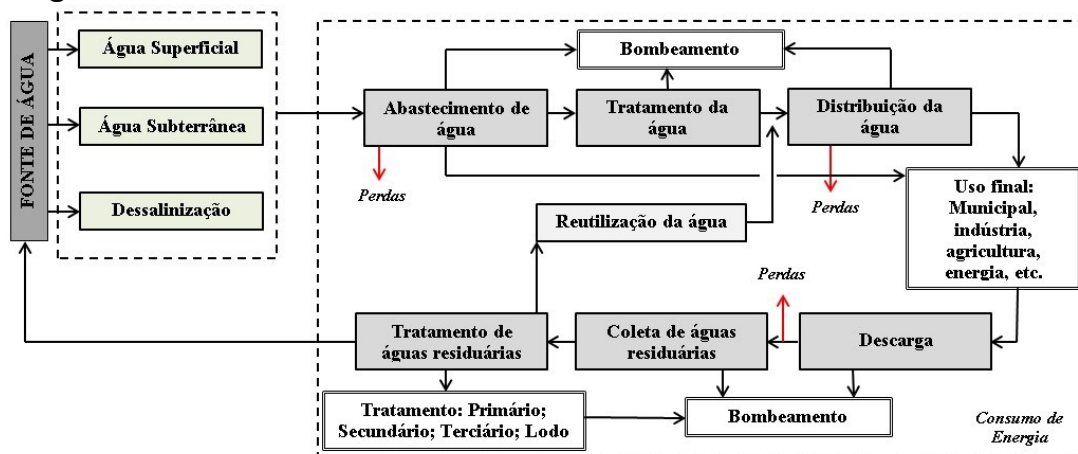
Como pode ser observado no Quadro 2. O exemplo mais crítico de pegada hídrica é o da Usina de Balbina com 2.613,79 m³/MWh, sendo que essa usina representa o maior reservatório do Brasil, porém, com uma capacidade instalada relativamente baixa de 250 MW. Comparando essa usina com a de Sobradinho, que possui a área do reservatório semelhante, a de Sobradinho apresenta uma pegada hídrica menor (854,82 m³/MWh), e uma capacidade instalada maior (1.050,3 MW). As usinas de Xingó e Ilha dos Pombos têm uma capacidade instalada relativamente alta e um reservatório relativamente pequeno, portanto, suas pegadas hídricas são muito baixas (SEMERTZIDIS *et al.*, 2018).

3.2 Energia para água

O consumo de energia nos serviços de saneamento (coleta, transporte e tratamento) pode variar muito devido às diferenças nas dimensões dos sistemas; nos requisitos de bombeamento em função da topografia local; características da água bruta e da concentração das águas residuais; e do nível de tratamento, podendo ser um processo muito intensivo em energia, ou pouco expressivo (YOUNG, 2015).

A Figura 2 apresenta uma sistematização das etapas do setor de abastecimento de água e esgotamento sanitário. O maior consumidor de energia nos sistemas públicos de abastecimento de água é a etapa de bombeamento (YOUNG, 2015). Já para o caso dos sistemas de esgotamento sanitários, segundo o IEA (2016), o tratamento secundário (processos biológicos para remover matéria orgânica dissolvida técnicas como um tanque de aeração, filtro de gotejamento e processo de lodo ativado, seguido por tanques de decantação) corresponde a 51% do consumo de energia; seguido de bombeamento com 16%, tratamento do lodo com 15%, tratamento primário (remoção de sólidos através de filtros, telas, tanques de sedimentação, aeração e tanques de flutuação) com 8%, e o tratamento terciário (tratamento avançado adicional para remover nutrientes, como nitrogênio, fósforo e sólidos suspensos através de tecnologias, incluindo areia de filtração ou filtração por membrana) com 10% do consumo de energia (IEA, 2016).

Figura 2: Processos do setor de saneamento



Fonte: Adaptado de Sanders & Webber (2012) e IEA (2016)

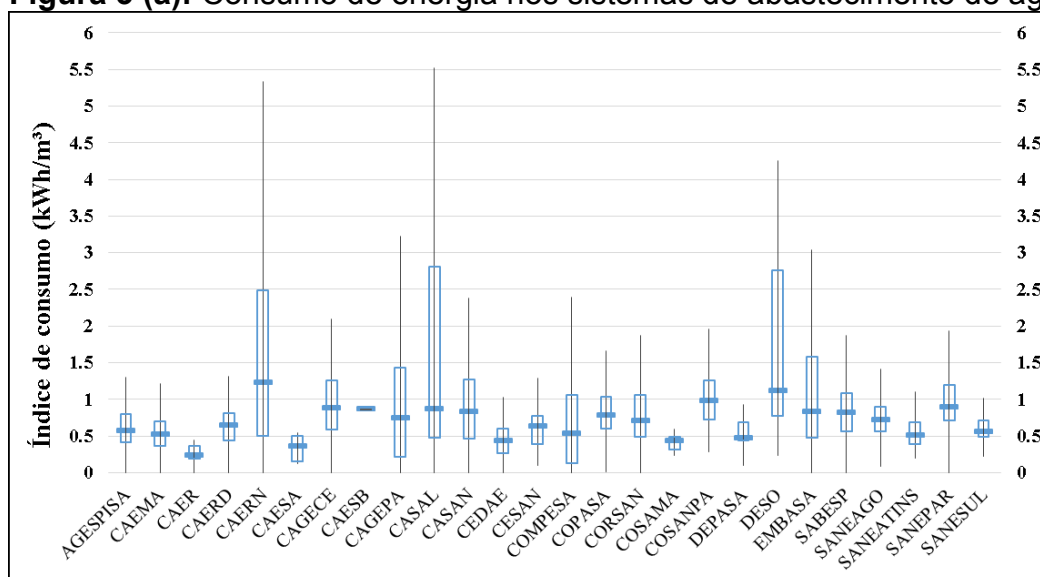
No Brasil, segundo os dados do SNIS (2017), o consumo de energia elétrica no setor de saneamento alcançou 12,6 TWh, composto por 11,3 TWh

para abastecimento de água e 1,3 TWh para esgotamento sanitário. Esse consumo equivale a uma despesa com energia elétrica de aproximadamente R\$ 5,26 bilhões para o setor de saneamento (SNIS, 2017). Nos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) das companhias dos Estados, as despesas com energia elétrica chegam em média, 17,4% das despesas totais de exploração (MOURA, 2010). A Figura 3 apresenta o consumo de energia pelas concessionárias de abastecimento de água (Figura 3a) e esgotamento sanitário (Figura 3b). O nome das concessionárias apresentadas na Figura 3 estão expostas no Quadro 3.

Como observado na Figura 3, a maior parcela de consumo de energia concentra-se nos sistemas de abastecimento de água, diferentemente dos países desenvolvidos onde a maior parcela do consumo de eletricidade relacionado à água (42%) é usada para o tratamento de águas residuais (IEA, 2016; COPELAND & CARTER, 2017). Como exemplo, pode-se apontar o caso dos Estados Unidos, onde o consumo de eletricidade no setor de água é maior do que qualquer outra região ou país, aproximadamente 40% do consumo de eletricidade do setor de água vai para o tratamento de águas residuais (IEA, 2016; COPELAND & CARTER, 2017).

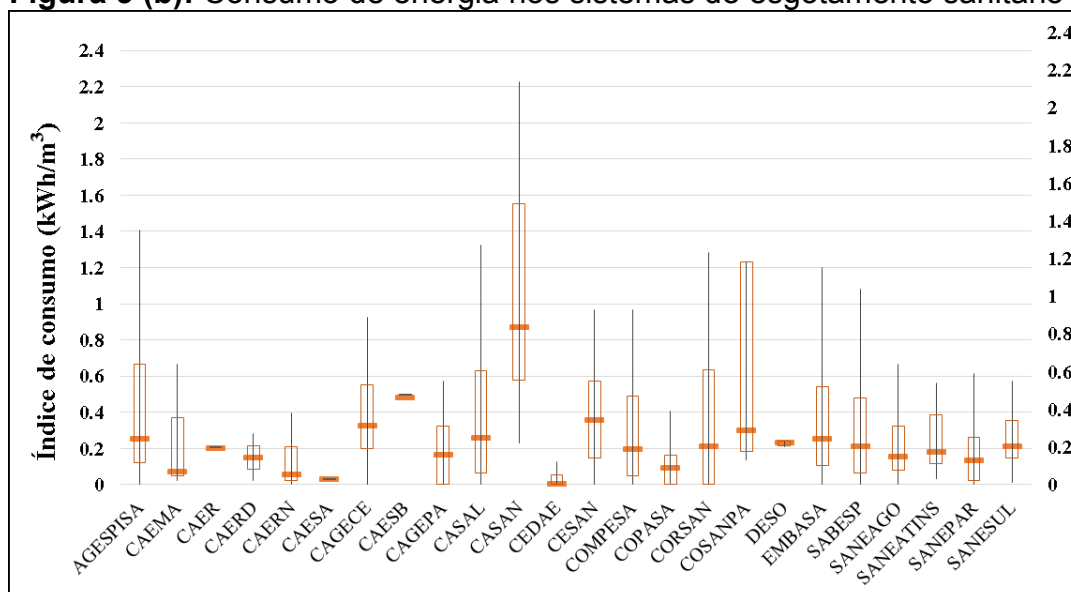
Isso ocorre porque nos países em desenvolvimento e emergentes, o uso de eletricidade para o tratamento de águas residuais atualmente desempenha um papel menor, já que uma menor parcela delas é coletada e tratada (IEA, 2016; COPELAND & CARTER, 2017).

Figura 3 (a): Consumo de energia nos sistemas de abastecimento de água



Fonte: Próprios autores com base nos dados do SNIS (2017)

Figura 3 (b): Consumo de energia nos sistemas de esgotamento sanitário



Fonte: Próprios autores com base nos dados do SNIS (2017)

Pode-se perceber ainda que a companhia que teve o maior consumo de energia no sistema de esgotamento sanitário foi a CASAN (Santa Catarina) com 2,14 kWh/m³. Já para o consumo de energia no sistema de abastecimento de água, as companhias que se destacaram no consumo de energia foram a CASAL (Alagoas) com 5,52 kWh/m³ e a CAERN (Rio Grande do Norte) com 5,33 kWh/m³.

Quadro 3: Companhias estaduais de saneamento básico do Brasil apresentadas na Figura 3

Sigla	Nome	Estado
DESO	Companhia de Saneamento de Sergipe	SE
COSANPA	Companhia de Saneamento do Pará	PA
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	MG
CAER	Companhia de Águas e Esgoto de Roraima	RR
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal	DF
SANESUL	Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul	MS
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná	PR
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento	SC
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará	CE
SANEAGO	Saneamento de Goiás	GO
CAGEPA	Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba	PB
CAESA	Companhia de Água e Esgoto do Amapá	AP
CASAL	Companhia de Saneamento de Alagoas	AL
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte	RN
SANEATINS	Companhia de Saneamento do Tocantins	TO
CORSAN	Companhia de Saneamento do Rio Grande do Sul	RS

CAERD	Companhia de Saneamento de Rondônia	RO
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento	PE
EMBASA	Empresa Baiana de Águas e Saneamento	BA
CAEMA	Companhia de Águas e Esgotos do Maranhão	MA
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo	SP
AGESPISA	Águas e Esgotos do Piauí	PI
CESAN	Companhia Espírito-Santense de Saneamento	ES
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos	RJ

Fonte: Adaptado de Moura (2010). As companhias do Amazonas (Companhia de Saneamento do Amazonas – COSAMA) e do Acre (Departamento Estadual de Água e Saneamento – DEAS) não foram apresentadas na Figura 3, em função da falta de dados.

Segundo os dados do SNIS (2017), ao longo dos anos de 2006 a 2017 pode-se apontar um aumento no consumo de energia pelas concessionárias de água e esgoto, tendo uma acentuada queda nos anos de 2015 e 2016, provavelmente em função do período de crise hídrica que alcançou diversas regiões do país, o que acarretou na racionalização no consumo de água e energia (SNIS, 2017).

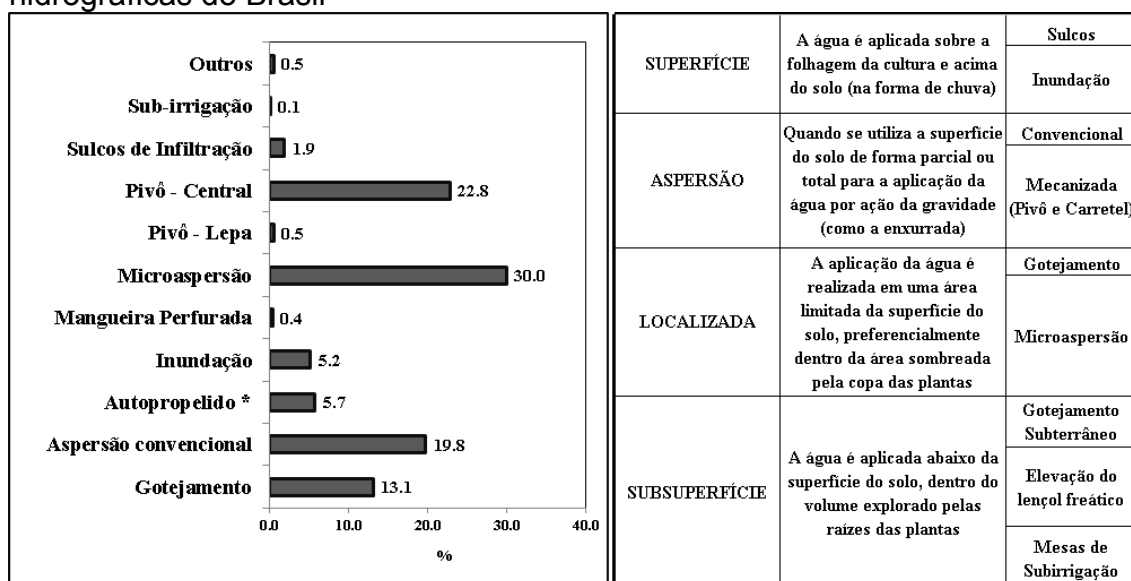
3.3 Água e energia no setor de agricultura irrigada

A agricultura irrigada é o maior consumidor de água do mundo em termos de volume, sendo também caracterizado como um usuário de água de baixo valor, baixa eficiência e altamente subsidiado (GWP, 2012). Água juntamente com energia representam os principais insumos de um sistema agrícola (AHMAD & KHAN, 2016). O consumo desses recursos varia em função do manejo aplicado, método de irrigação, tipo de cultura, disponibilidade hídrica e nível tecnológico associado aos demais aspectos.

Segundo Testezlaf (2017), irrigação consiste em “técnicas, formas ou meios utilizados para aplicar água artificialmente às plantas, procurando satisfazer suas necessidades e visando a produção ideal para o seu usuário”. Visto isso, é possível determinar quatro métodos de aplicar água à cultura: Superfície, aspersão, localizada e subsuperficial (TESTEZLAF, 2017).

No Brasil, considerando os dados de outorga da ANA (Figura 4), o método de microaspersão (localizada) equivale a 30% de participação na produção agrícola, seguido por pivô-central (aspersão) com 22,8% e aspersão convencional com 19,8%.

Figura 4: Quantidade de sistemas de irrigação utilizados nas principais bacias hidrográficas do Brasil



Fonte: Próprios autores com base ANA (2019) (Figura A) e Testezlaf (2017) (Figura B). Figura A – Resultados considerando as seguintes bacias hidrográficas: Amazônia, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Atlântico Sul, Paraguai, Paraná, Parnaíba, São Francisco, Tocantins-Araguaia, Uruguai e Atlântico Nordeste Ocidental e Oriental. * Esse sistema de irrigação se caracteriza por apresentar um único aspersor do tipo canhão montado sobre um veículo suporte, que se desloca ao longo do terreno por ação hidráulica, enquanto distribui a água de irrigação.

Deve-se destacar que para o presente estudo, não foi realizado estimativas do consumo de energia para os sistemas de irrigação apontados na Figura 4. Isso ocorreu em função da carência de informações e da falta de sistematização de dados que permitissem realizar esses quantitativos para representar o cenário brasileiro. Diante disso, foram levantados alguns comparativos entre os principais métodos de irrigação, em função do consumo de energia, apresentados por autores na literatura.

O método localizado, apesar de apresentar um menor consumo de água e maior eficiência na sua distribuição, apresenta uma maior demanda de energia, em média de 0,1 a 0,4 kWh/m³ (MAROUELLI *et al.*, 1994 *apud* MANTOVANI *et al.*, 2004). Já o método de superfície possui um baixo consumo de energia (TESTEZLAF, 2017), em média de 0,03 a 0,3 kWh/m³ (MAROUELLI *et al.*, 1994 *apud* MANTOVANI *et al.*, 2004), no entanto, possui uma baixa eficiência de irrigação. Semelhante a demanda de energia do sistema localizado, o método de aspersão alcança até 0,6 kWh/m³ (MAROUELLI *et al.*, 1994 *apud* MANTOVANI *et al.*, 2004), possui potencialmente maior eficiência na distribuição de água, comparada ao método de superfície, porém, consome

um maior volume de água, comparado ao método localizado (TESTEZLAF, 2017).

Ahmad & Khan (2016) apontam em seus estudos que comparado ao sistema de irrigação por sulco (superfície), um sistema de gotejamento pressurizado alcança uma economia de água em média de 2,98 ml/ha tendo um gasto adicional de energia de aproximadamente 146 kWh/ha, enquanto para um sistema *sprinklers* (aspersão), ao analisar o mesmo comparativo, alcança uma economia de água em média de 1,19 ml/ha tendo um gasto adicional de energia de aproximadamente 353 kWh/ha. Visto isso, percebe-se que a modernização agrícola requer quantidades significativas de insumos energéticos, porém, é um fator altamente necessário para suprir as demandas da população crescente (AHMAD & KHAN, 2016). Segundo Bruning (2018), os maiores gastos com energia em sistemas de irrigação são decorrentes de problemas nos sistemas de bombeamento de baixo rendimento, excesso de perdas de carga em linhas adutoras, baixa eficiência em equipamentos hidráulicos, dentre outros.

Quanto à retirada de água por cultura produzida, considerando o montante total de retirada das principais bacias hidrográficas presentes no Brasil, observa-se que as maiores retiradas de água, contabilizadas nos dados de outorga da Agência Nacional de Águas, são provenientes das culturas de banana com 948,8 m³/s, arroz (793 m³/s), milho (614,5 m³/s), soja (400,6 m³/s) e cana-de-açúcar (364,5 m³/s), como podem ser visualizados no Quadro 4.

Quadro 4: Vazão de retirada, coeficiente de cultura e número de outorgas das principais culturas produzidas nas bacias hidrográficas no Brasil

Cultura	Vazão total de retirada (m³/s)	Coeficiente de cultura (Kc)	Número de Outorgas cadastradas
Banana	948,8	1,2	652
Arroz	793,1	1,2	256
Milho	614,5	1,2	705
Soja	400,6	1,15	363
Cana-de-açúcar	364,5	1,25	535
Manga	219,2	-	710
Feijão	218,9	1,15	384
Café	151,3	0,95	463
Acerola	129,0	-	18
Coco Verde	109,2	-	564
Pastagem	80,3	1,05	261

Capim	64,2	1,0	433
Uva	33,2	0,85	109

Fonte: Próprios autores com base nos dados de outorga da ANA (2019) e ANA (2013). Resultados considerando as seguintes bacias hidrográficas: Amazônia, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Atlântico Sul, Paraguai, Paraná, Parnaíba, São Francisco, Tocantins-Araguaia, Uruguai e Atlântico Nordeste Ocidental e Oriental.

O Quadro 4 apresenta também a relação do coeficiente de cultura (K_c) e o número de outorgas cadastradas no sistema da ANA. O coeficiente de cultura representa a demanda de água por irrigação para cada tipo de cultura, variando em função de seu ciclo de crescimento (ANA, 2013). Quanto maior o K_c , maior é a demanda por água (ANA, 2013). Como pode ser observado, as culturas de maior retirada de água das bacias hidrográficas também representam os maiores valores de K_c . Considerando o número de outorgas cadastradas na ANA, tem-se que as culturas de manga, milho e banana ganham destaque. Para complementar essas análises é de extrema relevância estimar a área plantada (ha) por cultura presente na área de abrangência das bacias hidrográficas. Esse fator não foi considerado neste estudo.

3.4 Água e energia no setor industrial

O consumo de água e energia está presente em todo setor industrial. A intensidade do uso desses recursos depende de vários fatores, dentre eles, a tecnologia do processo produtivo (perfil industrial), o tipo de produto, boas práticas e maturidade da gestão empresarial (CNI, 2013; ANA, 2017).

No Brasil, o setor industrial foi responsável por 16,2% do Produto Interno Bruto (PIB), seguido do setor agropecuário (5,3%) e construção civil (5,2%), para o ano de 2017 (FIESP/CIESP, 2019). A maior concentração de indústrias está na região Sudeste, com destaque para indústria química e automobilística. No sul, destaca-se a agroindústria direcionada para o beneficiamento e transformação de produtos primários, no nordeste destacam-se a produção têxtil e sucroenergético, e as regiões norte e centro-oeste, apresentam a menor participação no setor industrial do país, com destaque para a agroindústria (ANA, 2017).

Os Estados que apresentam valores expressivos de vazões de retirada e consumo de água no setor industrial referem-se a São Paulo (ano base 2015 - 5,20 m³/s e 1,31 m³/s, respectivamente) e Rio de Janeiro (ano base 2015 - 5,01 m³/s e 1,17 m³/s, respectivamente) (ANA, 2017).

Segundo a ANA (2017), cinco grupos industriais são responsáveis por 83% da demanda de consumo de água do país (65% da demanda de retirada), sendo eles apresentados no Quadro 5. Observa-se que a fabricação e refino de açúcar ocupa a primeira posição com 54,55% de vazão de consumo e retirada. Nesse grupo, destacam-se as indústrias sucroalcooleiras que são caracterizadas pelo uso intenso de água, as usinas de açúcar possuem um uso médio de 22 m³/t de cana total (RIBEIRO, 2011).

As maiores concentrações de demandas hídricas associadas às usinas de fabricação e refino de açúcar e produção de biocombustíveis se encontram na região da bacia hidrográfica dos rios Paranaíba e Grande (ANA, 2017).

Quadro 5: Vazões de retirada e consumo de água por diferentes tipologias industriais (Ano base 2015)

Tipologia Industrial	Vazão de Retirada (%)	Vazão Consumida (%)
Fabricação e refino de açúcar	54,55	54,55
Fabricação de biocombustíveis	25,71	25,71
Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel	19,81	2,51
Abate e fabricação de produtos de carne	13,48	1,68
Siderurgia	7,73	2,00

Fonte: Adaptado de ANA (2017) *Gestão & Sustentabilidade Ambiental*

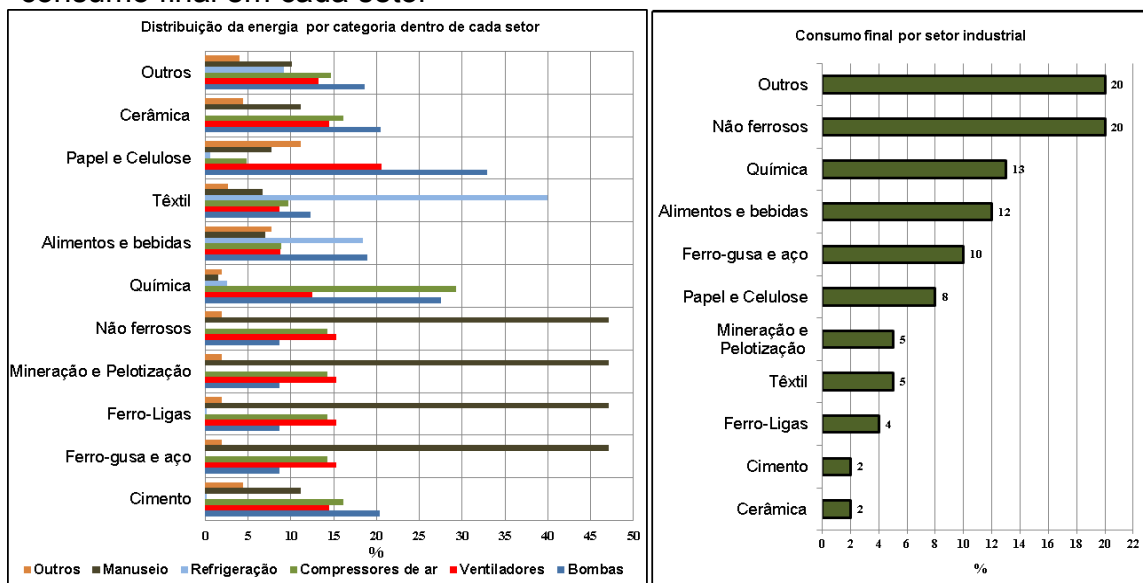
Dentre os grupos industriais apontados no Quadro 5, importante observar a relação dos valores entre as vazões de retirada e consumida. Nesta analogia, percebe-se que a fabricação de celulose/papel e o abate e fabricação de produtos de carne apresentam as maiores diferenças nessa relação, ou seja, possuem uma maior quantidade de efluentes gerados na cadeia produtiva. Mani & Wheeler (1997) apontam a fabricação de celulose e papel dentro da categoria de “tecnologias sujas”, em especial, na categoria de poluição das águas, ocupando a terceira posição nos rankings setoriais, perdendo para categoria de ferro e aço que ocupam a primeira posição, seguido de metais não ferrosos. Segundo a ANA (2013), nos matadouros e frigoríficos os efluentes gerados chegam a uma estimativa de 70%, curtumes alcançam até 90% e detergentes, alcançam 100% de efluentes gerados.

Além de ser um potencial consumidor de água, o setor industrial representa o maior usuário de energia do Brasil, com uma participação de 32,9%, seguido pelo setor de transporte (32,7%) (EPE, 2018). A Figura 5 ilustra

uma estimativa do consumo de energia por diferentes tipologias industriais. Percebe-se que o segmento industrial “não ferroso” seguido do segmento de química, alimentos/bebida, ferro-gusa/aço e papel e celulose, representam os grupos industriais de maior consumo de energia, segundo dados do EPE (2007).

Referente às categorias presente nos processos produtivos, os segmentos ferro-gusa/aço, ferro-ligas, mineração/pelotização e não ferrosos possuem o maior consumo para a categoria de “manuseio” que representa equipamentos para transporte e adequação de produtos. Em termos de refrigeração, os setores que se destacam quanto ao maior consumo de energia são representadas pela indústria têxtil, alimentos e bebidas.

Figura 5: Consumo de energia por categoria do processo produtivo e por consumo final em cada setor



Fonte: Próprios autores com base em EPE (2007). Bombas - movimentação de líquidos; Ventiladores - movimentação forçada de ar; Compressores de ar - compressão de ar para uso em diversas aplicações; Refrigeração - equipamentos de refrigeração e condicionamento ambiental; Manuseio - equipamentos para transporte e adequação de produto ou material; Processamento - equipamentos que modificam, de alguma forma, o produto ou material processado.

O Conselho Nacional das Indústrias (CNI) traz que ações integradas entre setor industrial com o setor de recursos hídricos e de energia tendem a proporcionar mecanismos de incentivo para o uso eficiente da água e energia na indústria, em especial, por intermédio de programas de Produção Mais Limpa (CNI, 2013).

4 CONCLUSÃO

A identificação das inter-relações entre recursos naturais e atividades econômicas é de extrema necessidade para compreensão da teoria nexus. Para obter o conhecimento destas relações é preciso informações de todos os setores envolvidos nos processos.

De forma geral, pôde-se perceber que existem muitas informações disponíveis para concretização de um diagnóstico das inter-relações entre elementos nexus, no entanto, a maior parte delas se encontra dispersa em diferentes instituições, documentos governamentais, publicações técnica e científica. Logo, não existe integração das informações presentes nas bases de dados e falta uniformização das escalas espaciais e das unidades de medida. Visto isso, foram definidos alguns direcionamentos para estruturação de um diagnóstico mais consolidado da teoria nexus no Brasil:

- **Água para energia:** Necessidade de estudos que quantifiquem a demanda de água nas usinas instaladas no Brasil para as tipologias de combustíveis fósseis, eólica, solar e biocombustíveis, semelhante aos trabalhos desenvolvidos pelo IEMA (2016) e Semertzidis et al. (2018). Sucessivamente a isso, é preciso analisar os impactos do uso da água pelas usinas de energia (termoelétrica, combustíveis fósseis, etc.) na disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas onde estão inseridas, conforme relatado pelo IEMA (2016).
- **Energia para água:** Identificação do consumo de energia para etapas específicas (coleta, transporte e tratamento) dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário referente às concessionárias estaduais, visando identificar falhas e perdas de energia presentes nesses sistemas.
- **Água e energia no setor de agricultura irrigada:** Necessidade de viabilizar estudos que quantifiquem o consumo de energia nos diferentes métodos de irrigação identificados no território de abrangência das bacias hidrográficas. Além disso, deve-se relacionar as vazões de retirada de água por cultura levantada considerando a dimensão da área irrigada (ha).

- **Água e energia no setor industrial:** Ampliação das análises realizadas contemplando outros grupos industriais, conforme conduzido pela ANA (2017), CNI (2013) e EPE (2007), e aprofundamento na quantificação do consumo de água e energia por etapas específicas dos processos produtivos das principais tipologias industriais presentes no Brasil.

Considerando os pontos levantados, recomenda-se a ampliação deste estudo para análise de dois aspectos: impacto das mudanças climáticas em todas as conexões identificadas; e análise dos trade-off e sinergias existentes entre esses sistemas por compartilharem água e energia em seus processos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho agradece ao Centro Interdisciplinar de Energia e Ambiente-CIEnAm da Universidade Federal da Bahia/Brasil por todo apoio técnico e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo suporte financiamento das pesquisas.

REFERÊNCIAS

AHMAD, A.; KHAN, S. Water And Energy Scarcity For Agriculture: Is Irrigation Modernization The Answer? **Irrigation and Drainage**, 66: 34-44, 2016. <https://doi.org/10.1002/ird.2021>

AL-SAIDI, M.; ELAGI, N.A. Towards understanding the integrative approach of the water, energy and food nexus. **Science of the Total Environment**, 574:1131–1139, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.046>

ANA - Agência Nacional de Águas. **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da agência nacional de águas**. ANA/ Ministério do Meio Ambiente, 2013.

_____. **Água na Indústria: Uso e Coeficientes Técnicos**. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR), Brasília – DF, 2017.

_____. Outorgas emitidas. Disponível em:< <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/regulacao/principais-servicos/outorgas-emitidas/outorgas-emitidas>>. Acesso em: fev. 2019.

ANDREWS-SPEED, P.; BLEISCHWITZ, R.; BOERSMA, T.; JOHNSON, C.; KEMP, G.; VANDEVEER, D.S. **The Global Resource Nexus - The Struggles for Land, Energy, Food, Water, and Minerals**. Transatlantic Academy, 2012.

BAZILIAN, M.; ROGNER, H.; HOWELLS, M.; HERMANN, S.; ARENT, D.; GIELEN, D.; STEDUTO, P.; MUELLER, A.; KOMOR, P.; TOL, R.S.J.;

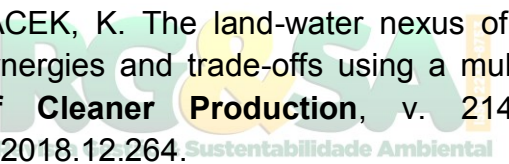
YUMKELLA, K.K. Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modeling approach. **Energy Policy**, v. 39, n. 12, p. 7896-7906, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.039>

BRÉTHAUT, C.; GALLAGHER, L.; DALTON, J.; ALLOUCHE, J. Power dynamics and integration in the water-energy-food nexus: Learning lessons for transdisciplinary research in Cambodia. **Environmental Science & Policy**, v. 94, p. 153-162, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.01.010>

BRUNING, J. **Avaliação energética de métodos de controle de taxa de aplicação em sistemas de irrigação por aspersão convencional**. Universidade Federal de Santa Maria (Dissertação de mestrado). Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Santa Maria/RS, 2018.

COPELAND, C.; CARTER, N.T. **Energy-Water Nexus: The Water Sector's Energy Use**. Congressional Research Service, 2017.

CARNEIRO, A.C.G. **Uma análise econômica de mudanças no uso da terra e produção de matéria-prima do etanol no Brasil: O papel da disponibilidade de água para o setor de irrigação**. Tese (Doutorado em economia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

CASTILLO, R.M.; FENG, K.; SUN, L.; GUILHOTO, J.; PFISTER, S.; MIRALLES-WILHELM, F.; HUBACEK, K. The land-water nexus of biofuel production in Brazil: Analysis of synergies and trade-offs using a multiregional input-output model. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 52-61, 2019. DOI:10.1016/j.jclepro.2018.12.264. 

CHANG, Y.; LI, G.; YAO, Y.; ZHANG, L.; YU, C. Quantifying the Water-Energy-Food Nexus: Current Status and Trends. **Energies**, v.9, n.65, 2016.

CHERCHI, C.; KESAANO, M.; BADRUZZAMAN, M.; SCHWAB, K.; JACANGELO, J.G. Municipal reclaimed water for multi-purpose applications in the power sector: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 236, p. 561-570, 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.10.102

CNI - Confederação Nacional da Indústria. **Uso da água no setor industrial Brasileiro: matriz de coeficientes técnicos**. – Brasília: CNI, 31 p., 2013.

DAHER, B.T.; MOHTAR, R.H. Water–energy–food (WEF) Nexus Tool 2.0: guiding integrative resource planning and decision-making. **Water International**, p. 1941-1707, 2015. <http://dx.doi.org/10.1080/02508060.2015.1074148>

DARGIN, J.; DAHER, B.; MOHTAR, R.H. Complexity versus simplicity in water energy food nexus (WEF) assessment tools. **Science of The Total Environment**, V.650, p. 1566-1575, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.080>

EMBID, A.; MARTÍN, L. **El Nexo entre el agua, la energia y la alimentación en América Latina y el Caribe** Planificación, marco normativo e

identificación de interconexiones prioritárias. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)/Serie Recursos Naturales e Infraestructura, n. 179, 2017.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Visão 2014–2034: O Futuro do Desenvolvimento Tecnológico da Agricultura Brasileira.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Embrapa, Brasília, DF, 2014.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030 - Eficiência Energética.** Ministério de Minas e Energia, 2007.

_____. **Balanço Energético Nacional – 2018.** Relatório Síntese. EPE, 2018.

_____. **Sistema de Informação Geográfica do Setor Energético brasileiro – WEB MAP EPE.** Disponível em: <<https://gisepeprd.epe.gov.br/webmapepe/>>. Acesso em: Janeiro 2019.

FACHINELLI, N.P. **Impactos da produção de biocombustíveis sobre os recursos hídricos: estudo de caso da produção de etanol de cana-de-açúcar na bacia hidrográfica do rio Paranaíba.** Universidade Federal do Rio de Janeiro (Dissertação de mestrado). Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, Rio de Janeiro, 2013.

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias.** Brasília, 243 p, 2017.

FGV - Fundação Getúlio Vargas. **Estudo sobre eficiência do uso da Água no Brasil: análise do impacto da Irrigação na agricultura brasileira e Potencial de produção de alimentos Face ao aquecimento global.** FGV/EMBRAPA, 2016.

FIESP/CIESP - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo. **Panorama da indústria de transformação brasileira.** Depto. de Economia, Competitividade e Tecnologia FIESP/CIESP, 17ª Edição, 2019.

GERBENS-LEENES, P.W.; HOEKSTRA, A.Y.; MEER, Th. V.D. The water footprint of energy from biomass: a quantitative assessment and consequences of an increasing share of bioenergy in energy supply. **Economia Ecológica**, v. 68, ed.4, p. 1052-1060, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.013>

GWP - GLOBAL WATER PARTNERSHIP. **Increasing water security – a development imperative.** Perspective paper. Stockholm, Sweden: GWP, 2012.

HILL, J.; NELSON, E.; TILMAN, D.; POLASKY, S.; TIFFANY, D. **Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel**

and ethanol biofuels. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, p. 11206–11210, 2006.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017.** Disponível em:< <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>>. Acesso em: jan. 2019.

IEA - International Energy Agency. **Key World Energy Statistics (2016).** Disponível em:< <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf> >. Acesso em: dezembro, 2018.

HEMA - Instituto de Energia e Meio Ambiente. **Uso de água em termoeletricas.** São Paulo, HEMA, 2016.

MANI, M.; WHEELER, D. **In search of pollution havens? dirty industry in the world economy, 1960-1995.** Workshop 3: Pollution havens and pollution halos, OECD, 1997.

MANTOVANI, E.C.; ZINATO, C.E.; SIMÃO, F.R. (2004). **Manejo de irrigação e fertirrigação na cultura da goiabeira.** Disponível em:< http://www.nutricaoodeplantas.agr.br/site/ensino/pos/Palestras_William/Livrogoiba_pdf/8_irrigacao.pdf>. Acesso em: julho de 2019.

MENG, F.; LIU, G.; LIANG, S.; SU, M.; YANG, Z. Critical review of the energy-water-carbon nexus in cities. **Energy**, v.171, p. 1017-1032, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.048>

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, v.83, p. 37–46, 2002.

MERCURE, J-F.; PAIMC, M.A.; BOCQUILLON, P.; LINDNER, S.; SALAS, P.; MARTINELLI, P.; BERCHIN, I.I.; ANDRADE GUERRA, J.B.S.O DE.; DERANI, C.; ALBUQUERQUE JUNIOR, C.L. DE.; RIBEIRO, J.M.P.; KNOBLOCH, F.; POLLITT, H. .; EDWARDS, N.R.; HOLDEN, P.B.; FOLEY, A.; SCHAPHOFF, S.; FARACO, R.A.; VINUALES, J.E. System complexity and policy integration challenges: The Brazilian Energy- Water-Food Nexus. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 105, p. 230-243, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.045>

MOURA, G.; N.; P.; de. **A Relação Entre Água e Energia: Gestão Energética nos Sistemas de Abastecimento de Água das Companhias de Saneamento Básico do Brasil.** Universidade Federal do Rio de Janeiro/Programa de Planejamento Energético, COPPE (Dissertação mestrado), Rio de Janeiro, 2010.

NAMANY, S.; AL-ANSARI, T.; GOVINDAN, R. Sustainable energy, water and food nexus systems: A focused review of decision-making tools for efficient resource management and governance. **Journal of Cleaner Production**, v. 225, p. 610-626, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.304>

PEÑA, H. **Agua, producción de alimentos y energía La experiencia del Nexo en Chile**. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2018.

PORTNEY, K.E.; VEDLITZ, A.; SANSOM, G.; BERKE, P.; DAHER, B.T. Governance of the Water-Energy-Food Nexus: the Conceptual and Methodological Foundations for the San Antonio Region Case Study. **Current Sustainable/Renewable Energy Reports**, v.4, n.3, p.160–167, 2017.

RIBEIRO, F.M.G. **Usos da água na indústria sucroalcooleira: Estudo de caso**. Universidade Estadual de Campinas (Dissertação de mestrado). Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP, 2011.

SCOTT, C.A. The water-energy-climate nexus: Resources and policy outlook for aquifers in Mexico. **Water Resources Research**, v. 47, 2011. DOI:10.1029/2011WR010805

SEMERTZIDIS, T.; SPATARU, C.; BLEISCHWITZ, R. The Nexus: Estimation of Water Consumption for Hydropower in Brazil. Journal of Sustainable Development of Energy, **Water and Environment Systems**, v.7, n.1, p. 122-138, 2018.

SHANG, Y.; HEI, P.; LU, S.; SHANG, L.; LI, X.; WEI, Y.; JIA, D.; JIANG, D.; YE, Y.; GONG, J.; LEI, X.; HAO, M.; QIU, Y.; LIU, J.; WANG, H. China's energy-water nexus: Assessing water conservation synergies of the total coal consumption cap strategy until 2050. **Applied Energy**, v.210, p. 643-660, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.008>

SILVA, P. R. F. da.; FREITAS, T.F.S.de. Biodiesel: ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, v.38, n.3, p.843-851, 2008.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. (2017). **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017**. Disponível em:<<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017>>. Acesso em: julho 2019.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: Métodos, sistemas e aplicações**. Campinas, SP.: Unicamp/FEAGRI, 2017.

USDOE - United States Department of Energy. **Energy Demands on Water Resources**. Report to congress on the interdependency of energy and water, USDOE, 2006.

WILLET, J.; WETSER, K.; VREEBURG, J.; RIJNAARTS, H.H.M. Review of methods to assess sustainability of industrial water use. **Water Resources and Industry**, v. 21, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2019.100110>

YOUNG, R. **A Survey of Energy Use in Water Companies**. Water Company Survey, ACEEE, Washington, 2015.

ZHANG, P.; ZHANG, L.; CHANG, Y.; XU, M.; HAO, Y.; LIANG, S.; LIU, G.; YANG, Z.; WANG, C. Food-energy-water (FEW) nexus for urban sustainability: A comprehensive review. **Resources, Conservation and Recycling**, v.142, p.215-224, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.018>

WU, M.; CHIU, Y. **Consumptive Water Use in the Production of Ethanol and Petroleum Gasoline — 2011 Update**. Disponível em: <<https://greet.es.anl.gov/publication-consumptive-water>>. Acesso em: jan. 2019.

