

**TEXTO PARA DISCUSSÃO**

**2731**

**INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E  
SUSTENTABILIDADE DA CADEIA DE  
PRODUÇÃO: UM EXERCÍCIO PARA A  
ÁGUA NO BRASIL**

**JAQUELINE COELHO VISENTIN  
LEONARDO SZIGETHY**



**INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E  
SUSTENTABILIDADE DA CADEIA DE  
PRODUÇÃO: UM EXERCÍCIO PARA A  
ÁGUA NO BRASIL**

**JAQUELINE COELHO VISENTIN<sup>1</sup>  
LEONARDO SZIGETHY<sup>2</sup>**

---

1. Pesquisadora do Programa de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura (Diset) do Ipea. *E-mail*: <coelhovisentin@gmail.com>.

2. Pesquisador do PNPD na Diset/Ipea. *E-mail*: <leonardo.szigethy@ipea.gov.br>.

**Governo Federal**

**Ministério da Economia**

**Ministro** Paulo Guedes

**ipea** Instituto de Pesquisa  
Econômica Aplicada

Fundação pública vinculada ao Ministério da Economia, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiros – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

**Presidente**

**CARLOS VON DOELLINGER**

**Diretor de Desenvolvimento Institucional**  
**MANOEL RODRIGUES JUNIOR**

**Diretora de Estudos e Políticas do Estado,  
das Instituições e da Democracia**  
**FLÁVIA DE HOLANDA SCHMIDT**

**Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas**  
**JOSÉ RONALDO DE CASTRO SOUZA JÚNIOR**

**Diretor de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais**  
**NILO LUIZ SACCARO JÚNIOR**

**Diretor de Estudos e Políticas Setoriais de  
Inovação e Infraestrutura**  
**ANDRÉ TORTATO RAUEN**

**Diretora de Estudos e Políticas Sociais**  
**LENITA MARIA TURCHI**

**Diretor de Estudos e Relações Econômicas e  
Políticas Internacionais**  
**IVAN TIAGO MACHADO OLIVEIRA**

**Assessor-chefe de Imprensa e Comunicação**  
**ANDRÉ REIS DINIZ**

**OUVIDORIA:** <http://www.ipea.gov.br/ouvidoria>  
**URL:** <http://www.ipea.gov.br>

## Texto para Discussão

Publicação seriada que divulga resultados de estudos e pesquisas em desenvolvimento pelo Ipea com o objetivo de fomentar o debate e oferecer subsídios à formulação e avaliação de políticas públicas.

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – **ipea** 2022

Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica  
Aplicada.- Brasília : Rio de Janeiro : Ipea , 1990-

ISSN 1415-4765

1. Brasil. 2. Aspectos Econômicos. 3. Aspectos Sociais.  
I. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

CDD 330.908

As publicações do Ipea estão disponíveis para *download* gratuito nos formatos PDF (todas) e EPUB (livros e periódicos).  
Acesse: <http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério da Economia.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

JEL: Q25; R15; Q55.

DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/td2731>

# SUMÁRIO

SINOPSE

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO.....	6
2 METODOLOGIA E DADOS .....	8
3 MAPEAMENTO DO USO DE ÁGUA AO LONGO DA CADEIA DE PRODUÇÃO NO BRASIL.....	15
4 IMPACTOS DA ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS MENOS INTENSIVAS NO USO DE ÁGUA AO LONGO DA CADEIA DE PRODUÇÃO NO BRASIL.....	20
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	24
REFERÊNCIAS.....	26
APÊNDICE .....	29

## SINOPSE

A inovação tecnológica é considerada um fator cada vez mais importante para o uso sustentável dos recursos naturais. Com a tecnologia, pode ser possível manter a quantidade produzida de um determinado bem reduzindo a pressão sobre o meio ambiente. No entanto, o ganho de eficiência no uso direto dos recursos naturais não significa, necessariamente, redução relevante dessa pressão. Para atingir esse objetivo, é preciso estar inserido em uma cadeia de produção sustentável, isto é, o ganho de eficiência não deve se dar somente no uso direto desses recursos, mas também no volume utilizado nos insumos para a produção do bem, o chamado uso indireto. Os objetivos deste artigo são mapear o uso de água ao longo da cadeia de produção no Brasil e estimar os impactos da adoção de tecnologias menos intensivas em água sobre a intensidade hídrica total e o uso de água. Para isso, foi empregado o modelo insumo-produto nacional para o ano de 2017. Os referidos impactos foram estimados a partir da hipótese de adoção de tecnologias menos intensivas em água por parte da agricultura, indústrias e saneamento. Entre os principais resultados, destaca-se que parte considerável da intensidade hídrica total das atividades econômicas se refere à intensidade indireta e que a adoção de tecnologias mais eficientes no uso de água, por parte de algumas atividades econômicas, tem o potencial de reduzir a intensidade hídrica total de outras atividades e de alterar a participação dos diferentes consumidores finais na demanda de água embutida nos bens e serviços.

**Palavras-chave:** tecnologia; água; modelo insumo-produto.

## ABSTRACT

Technological innovation is considered an increasingly important factor for the sustainable use of natural resources. With technology, it may be possible to maintain the quantity produced of a given good by reducing pressure on the environment. However, the gain in efficiency in the direct use of natural resources does not necessarily mean a significant reduction in this pressure. To achieve this goal, it is necessary to be inserted in a sustainable production chain. That is, the efficiency gain must not only occur in the direct use of these resources, but also in the volume of natural resources needed to input used in this good production, the so-called indirect use. The objectives of this paper are to map the use of water along the supply chain in Brazil and to estimate the impacts of adopting less water-intensive technologies on total water intensity and water withdrawal. For this, the national input-output model was used for the year 2017. These impacts were estimated based on the hypothesis of the adoption of less water-intensive technologies by agriculture, industry and sanitation. Among the main results, it is highlighted that a considerable part of the total water intensity of economic activities refers to indirect intensity and the adoption of more efficient technologies in the use of water by some economic activities has the potential to reduce the total water intensity of other activities and to change the participation of different final consumers in the demand for embedded water in goods and services.

**Keywords:** technology; water; input-output model.

## 1 INTRODUÇÃO

A tecnologia é considerada um fator cada vez mais importante para o uso sustentável dos recursos naturais (Fraga, Maldonado e Miguel, 2018; OECD, 2005).

De acordo com uma das abordagens da economia do meio ambiente,<sup>1</sup> a chamada economia ambiental, pode ser possível combinar crescimento econômico e sustentabilidade ambiental por meio da utilização de tecnologias eficientes no uso desses recursos (Amazonas, 2002).

Alinhados com essa abordagem, pacotes de investimento com “viés verde” foram uma estratégia de dinamização da economia ante a crise de 2008. Nesse período, o United Nations Environment Programme (UNEP) lançou o Global Green New Deal (GGND) como um novo paradigma para a retomada do crescimento da economia mundial, a chamada economia verde, em que um dos pilares eram as soluções tecnológicas (UNEP, 2009).

Com a crise econômica produzida pela pandemia da Covid-19 a partir de 2020, a rota em direção ao crescimento sustentável tem sido apontada, novamente, como caminho para a dinamização das economias,<sup>2</sup> em que a promoção da inovação por meio de tecnologias menos intensivas em recursos naturais tem um papel importante (Barros *et al.*, 2020).

O ganho de eficiência no uso direto dos recursos naturais, no entanto, não significa, necessariamente, redução relevante dessa pressão. Para atingir esse objetivo, é preciso estar inserido em uma cadeia de produção sustentável, isto é, o ganho de eficiência não deve se dar somente no uso direto desses recursos, mas também no volume necessário à produção dos insumos utilizados, o chamado uso indireto.

Nesse contexto, é importante mencionar estudos sobre o tema. Hoekstra e Hung (2002), por exemplo, estimaram o volume total de água utilizado na produção de 38 culturas agrícolas em diferentes países do mundo entre 1995 e 1999. Com base nessas informações, estimaram os

---

1. A economia do meio ambiente é dividida em duas linhas: i) a economia ambiental; e ii) a economia ecológica. A linha de acordo com a qual pode não haver um *trade-off* entre o crescimento econômico e a sustentabilidade ambiental se refere à economia ambiental. Para a economia ecológica, esse *trade-off* necessariamente existe (Amazonas, 2002).

2. Disponível em: <<https://www.climatechangenews.com/2020/04/09/european-green-deal-must-central-resilient-recovery-covid-19/>>. O European Green Deal, lançado em dezembro de 2019, é uma visão política que busca impulsionar o crescimento econômico e a sustentabilidade (Franza, Bianchi e Colantoni, 2020).

fluxos de água embutidos no comércio internacional desses produtos. Entre os principais resultados, os autores verificaram que 13%, em média no período, do volume de água utilizado para a produção de bens agrícolas no mundo foi destinado às exportações.

Chapagain e Hoekstra (2003) estimaram os fluxos de água embutidos no comércio internacional de produtos pecuários para uma série de países entre 1995 e 1999. Entre os principais resultados, destacaram que o gado de corte foi o principal responsável por esses fluxos, respondendo por 69% em média no período.

Mekonnen e Hoekstra (2020) quantificaram e mapearam a pegada hídrica<sup>3</sup> do consumo nacional para um grupo de países, utilizando dados do período de 1996 a 2005. Os autores mostraram que 52% da pegada hídrica global e 43% dos fluxos internacionais de água embutidos no comércio vêm de locais com restrições hídricas, sendo que cerca de 22% desse fluxo vem de países diferentes dos países que demandam esses recursos, o que indica que parte relevante da demanda por água por parte de um grupo de países impacta a disponibilidade hídrica de outro grupo de países.

Entre as poucas pesquisas que se dedicaram a estudar o caso específico do Brasil, destacam-se as realizadas por Picoli (2016), Silva *et al.* (2016) e Montoya (2020). Picoli (2016) estimou o uso total de água das chuvas por parte dos setores agrícolas e o uso de água dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos por parte dos setores industriais da economia brasileira para o ano de 2009. Entre os principais resultados, destacou que 38% da água utilizada no país foi direcionada para fins de exportação internacional.

Silva *et al.* (2016) fizeram um estudo parecido, mas por Unidade da Federação (UF) entre 1997 e 2012. Entre os principais resultados, os autores verificaram que a maioria das Grandes Regiões do Brasil foi exportadora líquida de água, com destaque para a região Sudeste, onde a água embutida nas exportações de açúcar foi a principal responsável. Em contrapartida, o Nordeste e o estado do Paraná foram importadores líquidos de água no comércio internacional de *commodities* agrícolas.

Montoya (2020), por meio de um modelo insumo-produto, analisou a pegada hídrica e a balança comercial de água embutida nos produtos no Brasil para o ano de 2015. Entre os principais resultados, concluiu que a pegada hídrica do país alcançou 22.012 hectômetros cúbicos (hm<sup>3</sup>) por

---

3. De acordo com Hoekstra *et al.* (2011), a pegada hídrica de um produto é igual ao volume de água utilizado para produzi-lo, medido ao longo de toda a cadeia de produção, por meio da qual se conhece o tipo de água, bem como onde e quando a mesma foi utilizada.

ano, enquanto a balança comercial, em termos de água, apresentou um saldo exportador líquido de 8.542 hm<sup>3</sup>/ano, principalmente devido aos setores agropecuária e agroindústria.

Bodunrin *et al.* (2018) realizaram uma revisão bibliográfica para o período de 2010 a 2016 com o objetivo de investigar o uso da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) para a estimação da pegada hídrica e de carbono no Brasil. Os autores apontam que poucos estudos foram desenvolvidos com foco na pegada hídrica, destacando que o uso de ACV é bem difundido para os setores de energia e agropecuário.

Poucas pesquisas foram realizadas com o objetivo de avaliar o impacto da adoção de tecnologias menos intensivas em recursos naturais sobre o uso desses recursos ao longo da cadeia de produção no Brasil utilizando a metodologia proposta neste artigo. Entre essas pesquisas, destacam-se Imori (2015), para o caso das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), e Visentin (2017), para o caso do uso de água por parte das bacias hidrográficas em 2009.

Diante dessas considerações, os objetivos deste artigo são mapear o uso de água ao longo da cadeia de produção no Brasil e estimar a composição e os possíveis impactos sobre a intensidade hídrica total, a partir de estimativas de redução de uso da água associada à adoção de tecnologias encontradas na literatura.

Para isso, foi empregado o modelo insumo-produto nacional para o ano de 2017. Os referidos impactos foram estimados a partir da hipótese de adoção de tecnologias menos intensivas em água por parte da agricultura, indústrias e saneamento.

Este artigo é composto por cinco seções. A primeira se refere a esta introdução. Em seguida, na segunda seção, a metodologia e os dados utilizados são apresentados. A terceira é dedicada aos resultados do mapeamento do uso de água ao longo da cadeia de produção no Brasil. A quarta seção apresenta os resultados da análise de impactos da adoção de tecnologias menos intensivas no uso desse recurso. A quinta seção diz respeito às considerações finais.

## 2 METODOLOGIA E DADOS

Esta seção é dedicada à apresentação das metodologias e base de dados empregadas neste estudo.

Para mapear o uso de água ao longo da cadeia de produção no Brasil, é necessário estimar o uso direto e indireto desse recurso na produção de bens e serviços, sendo que:



**TEXTO para DISCUSSÃO**

- o uso direto de água de uma dada atividade econômica diz respeito ao volume de água captado diretamente do corpo hídrico por essa atividade; e
- o uso indireto de água de uma dada atividade se refere ao volume de água embutido nos insumos utilizados, sejam ofertados pela própria atividade ou por outros setores da economia. Assim, o uso indireto de água pode se referir ao uso de água advinda da atividade de saneamento e ao uso de água incorporado nos insumos utilizados. Diante desse conceito, neste artigo o uso indireto de água será chamado de “uso de água embutido nos insumos de produção”.

Nesse contexto, duas principais abordagens de cálculo se destacam, as chamadas abordagens *bottom-up* e *top-down*.

As estimativas de acordo com a primeira abordagem se dão por meio da análise do ciclo de vida do produto, baseando-se em informações detalhadas a respeito do volume de água incorporado em cada etapa dos processos produtivos individuais.<sup>4</sup> No entanto, não identificam os principais agentes econômicos que impactam o uso de água do ponto de vista da oferta e da demanda de bens intensivos em água.

A abordagem *top-down*, por sua vez, permite não somente estimar o uso direto e indireto de água ao longo da cadeia de produção, mas também identificar esses agentes. Do lado da oferta, é possível identificar as principais atividades que produzem bens intensivos em água. Do lado da demanda, é possível identificar se o consumo de bens intensivos em água se deu principalmente como consumo intermediário ou final, tal como: i) exportações; ii) consumo do governo; iii) consumo das instituições sem fim lucrativo a serviço das famílias (ISFLSF); iv) consumo das famílias; v) formação bruta de capital fixo (FBCF); e vi) variação de estoques (Feng *et al.*, 2011).

Desenvolvido por Wassily Leontief no final da década de 1930, pelo qual recebeu o prêmio Nobel de Economia em 1973, o modelo de insumo-produto tornou-se um instrumento amplamente difundido a partir da década de 1950. O modelo permite analisar a interdependência entre as indústrias de uma dada economia, mediante um sistema de equações lineares que descreve a distribuição dos produtos de cada indústria (Miller e Blair, 2009).

Seja (1) um sistema de equações lineares que identifica as vendas de cada setor  $n$ :

---

4. O Water Footprint Network (WFN) se destaca no uso da abordagem *bottom-up*. Fundado em 2008, o WFN é uma rede global, de pesquisadores e parceiros, que estuda o modo como os recursos hídricos são utilizados no mundo.

$$\begin{aligned}
 x_1 &= Z_{11} + Z_{12} + \dots + Z_{1n} + y_1 \\
 x_2 &= Z_{21} + Z_{22} + \dots + Z_{2n} + y_2 \\
 &\vdots \\
 x_n &= Z_{n1} + Z_{n2} + \dots + Z_{nn} + y_n
 \end{aligned} \tag{1}$$

De modo que as equações podem ser representadas como a seguir:

$$x_i = \sum_{j=1}^n Z_{ij} + y_i \tag{2}$$

Em que:

$n$  é o número de setores da economia;

$x_i$  é a produção total do setor  $i$ ;

$y_i$  é a demanda final do setor  $i$ ; e

$Z_{ij}$  é o fluxo entre as indústrias, isto é, do setor  $i$  para o setor  $j$ .

Os chamados coeficientes técnicos diretos  $a_{ij}$  são obtidos pela razão entre os fluxos  $Z_{ij}$  e a produção total do setor  $j$ , isto é,  $x_j$ . Assim,  $a_{ij}$  se refere ao montante, em unidades monetárias, de insumos demandados do setor  $i$  por unidade monetária de produção do setor  $j$ .

Em virtude desse cálculo, pode-se dizer que a análise de insumo-produto requer que o uso dos insumos por parte dos setores respeite a proporção fixa prevista pelos respectivos coeficientes  $a_{ij}$ , conforme descrito a seguir.

$$a_{ij} = Z_{ij}/x_j \tag{3}$$

Substituindo (3) em (2), tem-se que:

$$x_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + y_i \tag{4}$$

Reescrevendo (4) na forma matricial:

$$X = AX + Y \tag{5}$$

## TEXTO para DISCUSSÃO

Em que:

$X$  é um vetor ( $n \times 1$ ) que contém os valores da produção total por setor;

$Y$  é um vetor ( $n \times 1$ ) que contém os valores da demanda final por setor; e

$A$  é uma matriz ( $n \times n$ ) que contém os coeficientes técnicos diretos de produção.

Resolvendo a equação (5), obtém-se a produção total necessária para atender à demanda final, conforme descrito pela equação (6).

$$X = (I-A)^{-1} Y \quad (6)$$

Em que:

$(I-A)^{-1} = L$ : é a matriz inversa de Leontief. Com dimensão ( $n \times n$ ), contém os coeficientes totais, diretos mais indiretos, de produção, de modo que cada elemento  $l_{ij}$  indica a produção total do setor  $i$  que é necessária para atender a uma unidade monetária da demanda final pelo setor  $j$ .

Com relação aos dados utilizados, destaca-se que a matriz insumo-produto (MIP) é estimada a partir das Tabelas de Recursos e Usos (TRUs) que compõem os dados de Contas Nacionais. No Brasil, o órgão responsável pela estimação desses sistemas de informações oficiais é o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Apesar de as TRUs mais atuais divulgadas pelo IBGE serem referentes a 2017, a MIP oficial mais atual é referente a 2015.

A fim de utilizar uma MIP para 2017 e, portanto, a mais atual possível no momento do desenvolvimento deste texto, foi realizada uma pesquisa na literatura. Nesse processo, verificou-se que a MIP nacional de 2017 foi disponibilizada pelo Núcleo de Economia Regional e Urbana (Nereus) da Universidade de São Paulo (USP).<sup>5</sup>

Por sua vez, a matriz foi estimada com base na última publicação do Sistema de Contas Nacionais (SCN) do IBGE, com dados referentes a 2017, divulgados em 2019, para 68 atividades econômicas e 128 produtos, segundo a metodologia apresentada em Guilhoto e Sesso Filho (2005; 2010).

5. Disponível em: <<http://www.usp.br/nereus/?p=7375>>.

Com a obtenção da matriz, o próximo passo foi estimar a intensidade hídrica direta das atividades econômicas. Essa se deu de acordo com o seguinte critério.

$$C_s = \frac{V_s}{V P_s} \quad (7)$$

Em que:

$C_s$ : intensidade hídrica direta do setor  $s$  – hectômetro cúbico ( $\text{hm}^3$ ) por ano/R\$ 1 milhão;

$V_s$ : captação direta de água azul para fins consuntivos por parte do setor  $s$  ( $\text{hm}^3/\text{ano}$ ) em 2017; e

$VBP_s$ : valor bruto de produção (VBP) do setor  $s$  em 2017 (R\$ 1 milhão, a preços correntes).

Mesmo levando em consideração apenas a água azul, para o cálculo da intensidade hídrica direta o denominador se refere ao VBP total de cada atividade econômica, conforme previsto em Miller e Blair (2009). Isso implica que, por exemplo, mesmo no caso da agricultura, que em termos de água só é considerada a utilizada na irrigação, o denominador se refere ao VBP total da atividade agrícola, isto é, da agricultura irrigada e não irrigada.

Diante das equações e variáveis utilizadas, é importante apresentar os conceitos de água azul e uso consuntivo, bem como mencionar o motivo pelo qual tais recortes são propostos.

A literatura sobre recursos hídricos distingue a água em três categorias, a saber: i) água azul, água disponível nos corpos hídricos superficiais e subterrâneos; ii) água verde, água das chuvas, desde que não escoe; e iii) água cinza, volume de água doce necessário para assimilar a carga de poluentes, a partir de concentrações naturais e de padrões de qualidade da água existentes (Hoekstra *et al.*, 2011).

Entre os diferentes usos dos recursos hídricos, distinguem-se dois grandes grupos, os usos consuntivos e não consuntivos. Os primeiros se referem ao uso de água fora do corpo hídrico de modo a não retornar ao *mesmo* curso de água. Por sua vez, os não consuntivos dizem respeito ao uso da água que se dá no próprio corpo hídrico, tal como geração hidrelétrica, navegação, pesca/aquicultura, proteção da vida aquática e turismo/recreação, sendo esse conceito válido tanto em termos quantitativos como qualitativos da água (ANA, 2013).

A partir desses conceitos, verifica-se que o uso consuntivo de água azul tem maior potencial de impacto sobre a disponibilidade hídrica, quando comparado aos demais usos.

Diante dessas considerações e visto que “a demanda de água corresponde à (...) água *captada* destinada a atender aos diversos usos consuntivos. (...)” (ANA, 2013, p. 87) e que o gerenciamento dos recursos hídricos se dá principalmente sobre a água azul, este texto concentra suas análises sobre a *captação direta de água azul para uso consuntivo*. Desse modo, dedica-se ao estudo de uma das principais variáveis para o gerenciamento da água no Brasil.

Com relação aos dados utilizados na estimação da intensidade hídrica direta, a variável  $V_s$  foi estimada a partir dos dados públicos do *Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil* (ANA, 2019).

Em ANA (2019) estão disponíveis informações sobre a vazão de captação direta de água azul – em metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ) – para uso consuntivo por município em 2017 por parte da: i) agricultura irrigada; ii) dessedentação animal; iii) mineração; iv) indústrias de transformação; v) geração térmica; vi) abastecimento humano urbano; e vii) abastecimento humano rural.

Para cada uma dessas atividades foram utilizadas metodologias específicas a fim de estimar a captação direta de água azul para fins consuntivos, as quais foram empregadas para um nível mais desagregado de atividades econômicas e produtos. No entanto, os resultados foram divulgados para os sete setores mencionados.

Com o intuito de obter essas informações em nível nacional, os dados municipais foram somados e, em seguida, foi feita a conversão de  $m^3/s$  para  $hm^3/ano$ , multiplicando os dados em  $m^3/s$  por 31,536.

Para que a combinação entre as informações sobre o uso de água e a MIP nacional de 2017 fosse possível, de modo que os setores da matriz passassem a ser correspondentes aos setores reportados pelo estudo da ANA (2019), foi necessário agregar a MIP.

Esse processo foi necessário em razão da pouca desagregação setorial dos dados públicos sobre o uso de água. Por sua vez, a agregação da MIP seguiu a metodologia descrita em Miller e Blair (2009) e o recorte setorial apresentado no quadro 1.

**QUADRO 1****Compatibilização das informações disponíveis no *Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil* e os setores da MIP (2017)**

Recorte setorial do estudo <i>Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil</i>	Setores da MIP agregada
Agricultura irrigada	Agricultura
Dessedentação animal	Pecuária
	Produção florestal, pesca e aquicultura
Mineração	Indústrias extrativas
Indústrias de transformação	Indústrias de transformação
Geração térmica	Eletricidade e gás
Abastecimento humano rural	Água e esgoto
Abastecimento humano urbano	Demais atividades

Fonte: ANA (2019); Nereus, disponível em: <<http://www.usp.br/nereus/?p=7375>>.

Elaboração dos autores.

Nesse contexto, é importante mencionar que no caso das atividades produção florestal, pesca e aquicultura e demais atividades, assumiu-se que a captação direta de água azul para fins consuntivos é igual a zero. Por serem atividades que geralmente não captam grande volume de água diretamente de corpos hídricos superficiais e subterrâneos, não foram encontradas informações sobre a captação de água azul por parte desses setores.<sup>6</sup> Nas Contas Econômicas Ambientais da Água (CEAAs) do Brasil, a mesma hipótese foi considerada (IBGE e ANA, 2020).

O próximo passo foi estimar a intensidade hídrica total. Para isso, foi necessário combinar as informações de intensidade hídrica direta com a MIP, conforme descrito a seguir.

$$G = \hat{C} * L \quad (8)$$

Em que:

$G$  é uma matriz ( $n \times n$ ) cujos elementos da diagonal principal são as intensidades hídricas diretas e indiretas, referentes ao uso de água advinda do próprio setor, e os elementos de fora da diagonal principal são as intensidades hídricas indiretas, referentes ao uso de água advinda de outros setores. Portanto, a soma desses elementos ao longo de cada coluna diz respeito à

6. "Não foi possível estimar as retiradas de água direta do meio ambiente das divisões produção florestal, pesca e aquicultura, distribuição de gás natural e nas demais atividades da CNAE [Classificação Nacional de Atividades Econômicas]" (ANA, IBGE e SRHQ, 2018, p. 32).

intensidade hídrica total de cada atividade econômica.  $\hat{C}$  é uma matriz ( $n \times n$ ) cujos elementos da diagonal principal são as intensidades hídricas diretas e os demais elementos são iguais a zero.

Combinando as informações de  $G$  com a MIP, é possível obter o volume de água embutido nos bens e serviços ofertados e consumidos. Por sua vez, essa estimação é realizada conforme apresentado a seguir.

$$A = G * Y \quad (9)$$

Em que:

$A$  é a matriz de volume de água embutido nos bens e serviços ofertados e consumidos na economia.

Para a estimação dos impactos da adoção de tecnologias menos intensivas no uso de água ao longo da cadeia, pressupõe-se que a intensidade hídrica direta reflete as tecnologias utilizadas em cada atividade. Ou seja, a adoção de tecnologias menos intensivas em água pode fazer com que a intensidade hídrica direta se reduza.

Assim, para a realização dessa análise, primeiramente foi realizada uma pesquisa bibliográfica com o objetivo de levantar informações que permitissem estimar o efeito da adoção dessas tecnologias sobre a intensidade hídrica direta da agricultura, indústria e saneamento.

Em seguida, as intensidades hídricas diretas, que refletem o emprego de tecnologias menos intensivas em água, foram aplicadas na MIP, conforme descrito nas equações (8) e (9). Os resultados obtidos são apresentados na seção 4.

### 3 MAPEAMENTO DO USO DE ÁGUA AO LONGO DA CADEIA DE PRODUÇÃO NO BRASIL

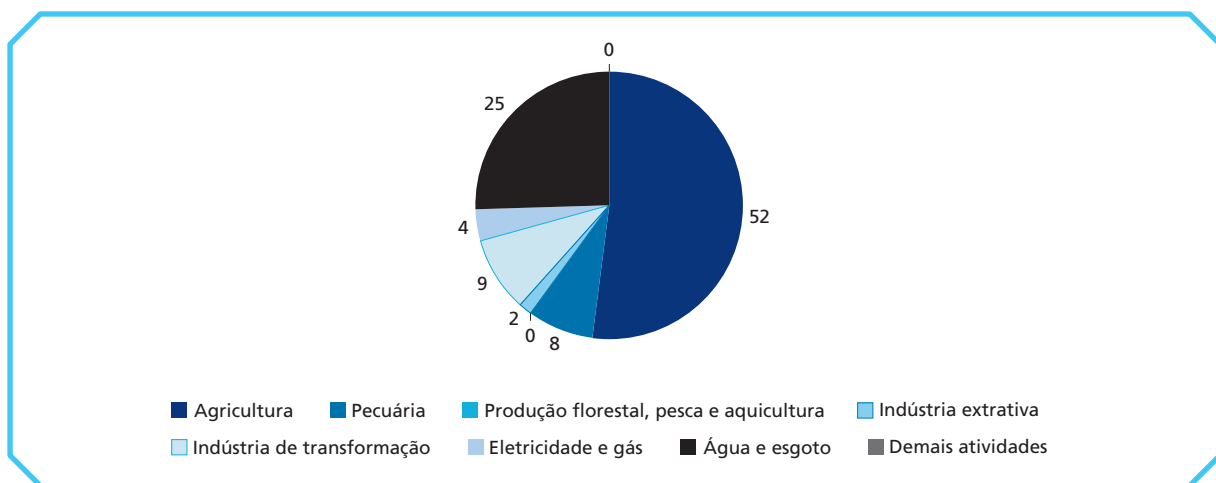
A partir da agregação das informações coletadas em nível municipal, verificou-se que a captação direta de água azul para fins consuntivos no Brasil foi de 65.679 hm<sup>3</sup> em 2017 ou, de modo análogo, 2.083 m<sup>3</sup>/s, conferindo, portanto, com a informação reportada em nível nacional no *Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil* (ANA, 2019).

Com relação à participação das atividades econômicas nesse resultado, verifica-se que a agricultura ocupou o primeiro lugar, respondendo por 52% da captação direta de água azul para

fins consuntivos no Brasil em 2017. Em seguida, destacam-se a atividade água e esgoto, responsável por 25%, indústrias de transformação (9%) e pecuária (8%).

### GRÁFICO 1

**Participação setorial na captação direta de água azul para uso consuntivo no Brasil (2017)**  
(Em %)



Fonte: ANA (2019).

Elaboração dos autores.

No entanto, as principais atividades do ponto de vista do volume de água utilizado podem não ser as principais atividades no que se refere à intensidade hídrica direta. Com relação ao volume de captação direta de água azul necessário para a produção de R\$ 1 milhão, verificou-se que a atividade água e esgoto é mais intensiva, seguida da agricultura e pecuária.<sup>7</sup>

A partir da estimativa da intensidade hídrica total das atividades econômicas, verifica-se que parte considerável da intensidade total diz respeito à intensidade hídrica indireta. Conforme consta no gráfico 3, as indústrias de transformação se destacam por ser o único setor cuja intensidade hídrica total é principalmente derivada do uso de recursos hídricos embutidos nos insumos. Isto é, 85% da intensidade hídrica das indústrias de transformação se refere à água incorporada nos insumos utilizados no seu processo produtivo, inclusive aqueles oriundos do próprio setor.

7. Nesse contexto, é importante mencionar que a hipótese assumida com relação à captação de água por parte das atividades produção florestal, pesca e aquicultura e demais atividades se reflete nos resultados.

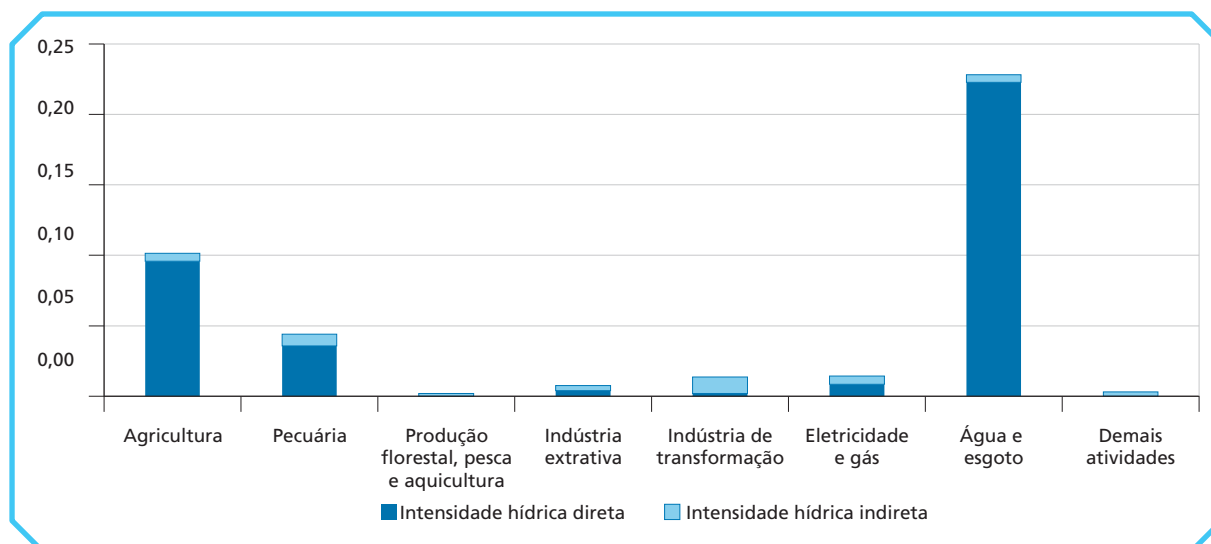


## TEXTO para DISCUSSÃO

### GRÁFICO 2

#### Intensidade hídrica total, decomposição entre direta e indireta (2017)

(Em  $\text{hm}^3/\text{R}\$ 1 \text{ milhão}$ )



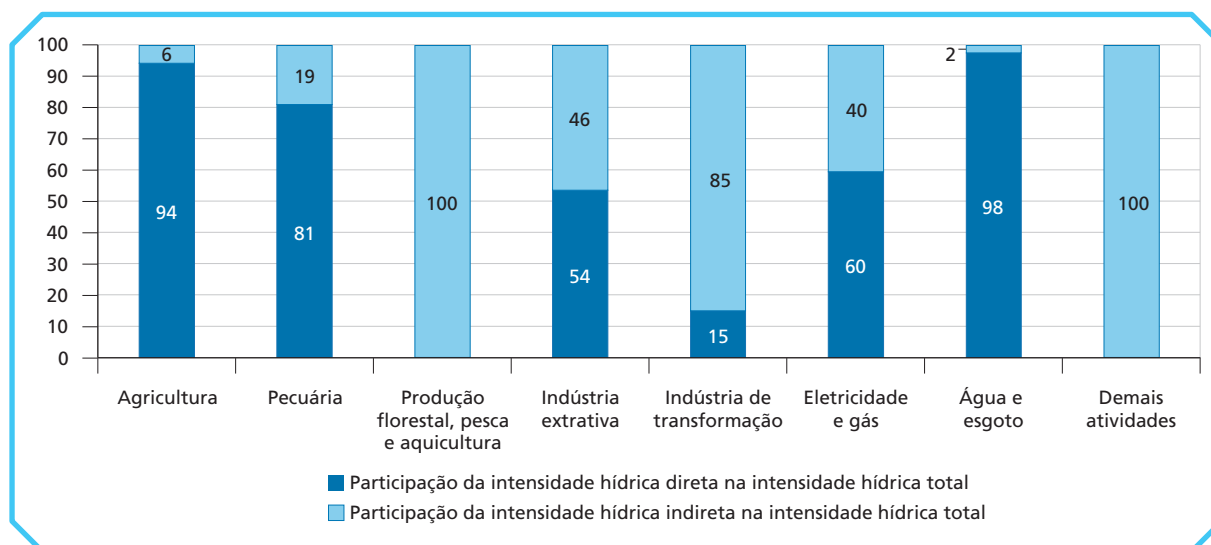
Fonte: ANA (2019); Nereus, disponível em: <<http://www.usp.br/nereus/?p=7375>>.

Elaboração dos autores.

### GRÁFICO 3

#### Composição da intensidade hídrica total das atividades econômicas do Brasil (2017)

(Em %)



Fonte: ANA (2019); Nereus, disponível em: <<http://www.usp.br/nereus/?p=7375>>.

Elaboração dos autores.

Adicionalmente, é importante destacar que, a partir da estimação da intensidade hídrica total, é possível identificar quais são as principais atividades econômicas que fornecem insumos intensivos em água para outras atividades.

A tabela 1 mostra a composição da intensidade hídrica total de cada atividade econômica em 2017 de forma detalhada. Os resultados apresentados na diagonal principal, destacados em cinza, referem-se à proporção das intensidades hídricas diretas e indiretas, referentes ao uso de água advindo do próprio setor,<sup>8</sup> em relação à intensidade hídrica total de cada atividade. Os demais resultados (fora da diagonal principal) dizem respeito à proporção da intensidade hídrica indireta, referente ao uso de água embutida nos insumos advindos de outras atividades, em relação à intensidade hídrica total de cada atividade. Assim, é possível identificar quais atividades são as principais fornecedoras de insumos intensivos (direta e indiretamente) em água para cada setor estudado.

**TABELA 1****Composição da intensidade hídrica total das atividades econômicas do Brasil por setor de origem (2017)**

(Em %)

	Agricultura	Pecuária	Produção florestal, pesca e aquicultura	Indústrias extrativas	Indústrias de transformação	Eletricidade e gás	Água e esgoto	Demais atividades
Agricultura	98	11	51	17	50	5	0	31
Pecuária	0	85	15	4	12	1	0	6
Produção florestal, pesca e aquicultura	0	0	0	0	0	0	0	0
Indústrias extrativas	0	0	1	56	2	1	0	1
Indústrias de transformação	1	2	11	7	22	2	0	9
Eletricidade e gás	0	1	9	3	2	87	0	6
Água e esgoto	1	1	12	14	13	3	99	47
Demais atividades	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fonte: ANA (2019); Nereus, disponível em: <<http://www.usp.br/nereus/?p=7375>>.

Elaboração dos autores.

8. A qual é referente à água embutida nos insumos advindos desta mesma atividade mais a sua captação direta de água.

**TEXTO para DISCUSSÃO**

Analisando os resultados de forma desagregada, é possível identificar a parcela da intensidade hídrica indireta de uma atividade que é referente ao uso de água embutida nos insumos produzidos por essa atividade e a parcela que é referente ao uso de água embutida nos insumos produzidos por outras atividades.

A partir desse mapeamento mais detalhado, verifica-se que 22% da intensidade hídrica total da indústria de transformação se refere ao uso de água advinda do próprio setor, seja como uso direto (15 pontos percentuais – p.p.) ou indireto (7 p.p.). O restante, 78% da sua intensidade hídrica total, diz respeito ao volume de água incorporado nos insumos produzidos pelas outras atividades econômicas.

Isso quer dizer que, para reduzir a intensidade hídrica total das indústrias de transformação, não basta que este setor adote uma tecnologia eficiente no uso direto de água. É necessário, também, que empregue tecnologias que reduzam o consumo de insumos intensivos em água e/ou que os seus setores fornecedores também adotem tecnologias que permitam o uso direto e indireto de água mais eficiente.

Entre os principais fornecedores de insumos intensivos em água para as indústrias de transformação, destaca-se a agricultura, responsável por 50% da sua intensidade hídrica total. Em seguida, estão as atividades água e esgoto (13%) e pecuária (12%).

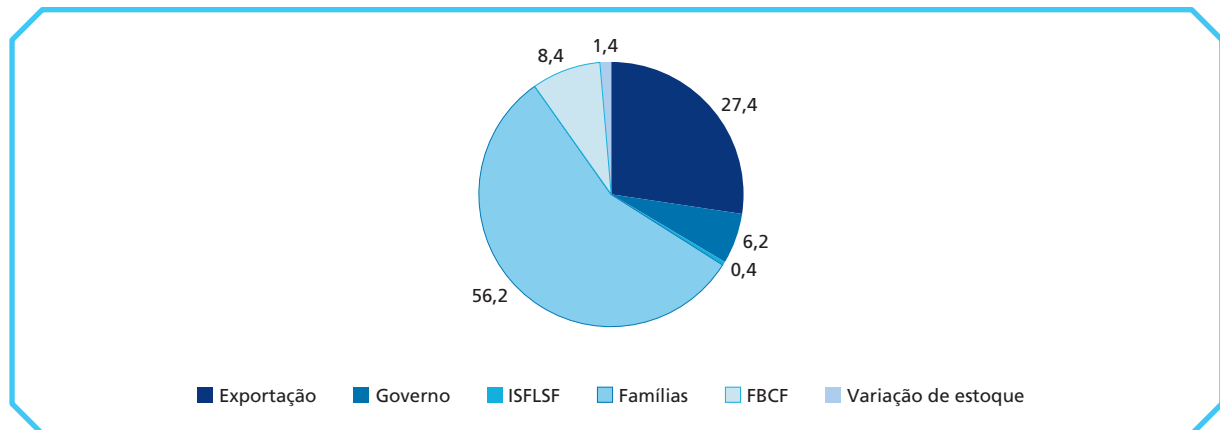
Adicionalmente, é possível identificar os principais responsáveis pela oferta e demanda de bens finais intensivos em água.

Os resultados mostram que, em 2017, as famílias foram responsáveis por 56% do consumo de água embutida nos bens e serviços produzidos no Brasil. Isto é, dos 65.679 hm<sup>3</sup> de água azul captados para uso consuntivo em 2017, 36.848 hm<sup>3</sup> foram direcionados à produção de bens e serviços consumidos pelas famílias. Entre as principais atividades econômicas responsáveis pelo fornecimento de produtos intensivos em água para o consumo das famílias, destaca-se que 43% da água embutida nesse consumo diz respeito aos produtos agrícolas, 33% se referem aos produtos e serviços ofertados pela atividade água e esgoto e 10% relacionam-se à oferta das indústrias de transformação.

Em seguida, destacam-se as exportações, responsáveis por 27% do consumo de água embutida nos bens e serviços produzidos no Brasil. Entre as atividades que compõem as exportações do país, a principal do ponto de vista da água embutida nos bens e serviços é a agricultura (76%).

**GRÁFICO 4****Participação dos elementos da demanda final no consumo da água embutida nos bens e serviços produzidos no Brasil (2017)**

(Em %)



Fonte: ANA (2019); Nereus, disponível em: <<http://www.usp.br/nereus/?p=7375>>.

Elaboração dos autores.

Diante desses resultados, destaca-se que o mapeamento proposto pode auxiliar na discussão e no desenho de mecanismos de incentivo em direção ao uso sustentável da água não somente olhando para o uso direto, mas também para seu uso ao longo da cadeia de produção, identificando os principais ofertantes e demandantes de bens e serviços intensivos em água.

#### **4 IMPACTOS DA ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS MENOS INTENSIVAS NO USO DE ÁGUA AO LONGO DA CADEIA DE PRODUÇÃO NO BRASIL**

Há um material extenso sobre as tecnologias que permitem ganhos de eficiência no uso de água (Abiquim, 2016; CEBDS, 2018; Santos, 2019; Bezerra e Cheung, 2013; Ferreira *et al.*, 2019; Embrapa<sup>9</sup>).

Poucos estudos, no entanto, trazem estimativas sobre o potencial de economia de água derivados dessas tecnologias para o Brasil. Entre esses, destaca-se o estudo *Eficiência no uso da água: oportunidades para empresas e instituições financeiras* do Conselho Empresarial Brasileiro pelo Desenvolvimento Sustentável (CEBDS) e da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), publicado em 2016, cujos resultados indicam uma economia potencial de água de 3% e 19% na retirada total desse recurso por parte da agricultura e da indústria, respectivamente. Exemplos das tecnologias consideradas em CEBDS e GIZ (2016) são apresentados no apêndice.

9. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solucoes-tecnologicas?link=acesso-rapido>>.

## TEXTO para DISCUSSÃO

Entre os estudos que trazem estimativas sobre o potencial de economia de água derivado da adoção de tecnologias mais eficientes na atividade de saneamento, destaca-se o de Ferreira *et al.* (2019). Os autores estimaram que o Índice de Perda na Distribuição (IPD)<sup>10</sup> no Brasil pode chegar a um percentual entre 26% e 29% até 2033.<sup>11</sup> De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o IPD no país foi de 38% em 2018.

Portanto, trabalhando no melhor cenário, estima-se que há um potencial de redução no IPD de até 12 p.p., correspondente à diferença entre o IPD de 2018 (38%) e a projeção mais otimista para 2033 (26%).

Diante dessa informação, assume-se, para este estudo, que a redução de 12,5 p.p. no IPD se reflita em uma redução proporcional na captação direta de água azul por parte da atividade água e esgoto.

Com base nos estudos mencionados, identificaram-se as economias potenciais de água, derivadas do emprego de tecnologias menos intensivas nesse recurso na agricultura, indústrias e saneamento, conforme apresentado na tabela 2.

### TABELA 2

#### Potencial de economia de água com uso de tecnologias

Setores da MIP	Captação direta de água azul para fins consuntivos no Brasil em 2017 (hm <sup>3</sup> /ano)	Economia no uso de água com tecnologias (%)	Captação direta de água azul para fins consuntivos no Brasil em 2017 com uso de tecnologias (hm <sup>3</sup> /ano)
Agricultura	34.172	3,00	33.147
Pecuária	5.261		5.261
Produção florestal, pesca e aquicultura	0		0
Indústrias extrativas	1.037	19,0	840
Indústrias de transformação	5.967	19,0	4.834
Eletricidade e gás	2.507		2.507
Água e esgoto	16.735	12,5	14.643
Demais atividades	0		0
<b>Total</b>	<b>65.679</b>		<b>61.231</b>

Fonte: ANA (2019); CEBDS e GIZ (2016); Ferreira *et al.* (2019).

Elaboração dos autores.

10. Volume de água disponibilizado pela atividade de saneamento que não é contabilizada como volume utilizado pelos consumidores. Essa perda se dá devido a vazamentos, falhas nos sistemas de medição ou ligações clandestinas (Brasil, 2019).

11. Nesse contexto, é interessante mencionar que a meta estabelecida pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), nesse horizonte temporal, é de 31%.

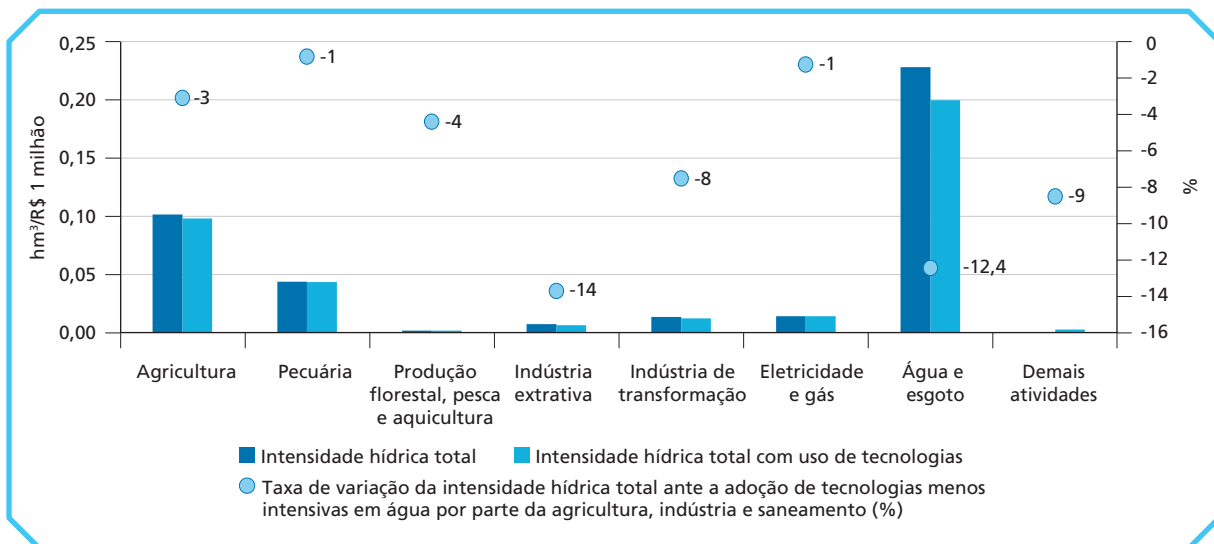
Os resultados encontrados na literatura mostraram que a adoção de tecnologias menos intensivas em água por parte dessas atividades tem o potencial de reduzir a captação direta de água azul para fins consuntivos no Brasil, em 2017, de 65.679 hm<sup>3</sup>/ano para 61.231 hm<sup>3</sup>/ano (-6,8%).

A partir dessa informação, os resultados do modelo empregado revelam que, com a adoção de tecnologias menos intensivas em água por parte de alguns setores, pode haver redução da intensidade hídrica total em todas as atividades econômicas. Esse efeito ocorre porque ao reduzir a quantidade de água captada de forma direta utilizada na produção de um determinado insumo, reduz-se também a intensidade hídrica total dos setores que usam esse insumo.

Entre as atividades cujas intensidades hídricas totais apresentaram maior redução destacam-se água e esgoto (-12%), indústrias extrativas (-14%), demais atividades (-9%) e indústrias de transformação (-8%).

### GRÁFICO 5

#### Intensidade hídrica total sem e com análise de impacto (hm<sup>3</sup>/R\$ 1 milhão) (2017)



Fonte: ANA (2019); CEBDS e GIZ (2016); Ferreira *et al.* (2016); Nereus, disponível em: <<http://www.usp.br/nereus/?p=7375>>.

Elaboração dos autores.

Adicionalmente, os resultados do modelo mostram potencial mudança na composição da intensidade hídrica total, em especial das indústrias de transformação. Com o emprego de tecnologias mais eficientes no uso de água por parte da agricultura, indústrias e saneamento, a proporção da intensidade hídrica direta das indústrias de transformação, em relação à sua intensidade hídrica total, se reduziria. Enquanto na seção 3 os resultados mostram que 15% da

## TEXTO para DISCUSSÃO

intensidade hídrica era direta, com a adoção das referidas tecnologias, essa proporção passaria a ser de 13%.

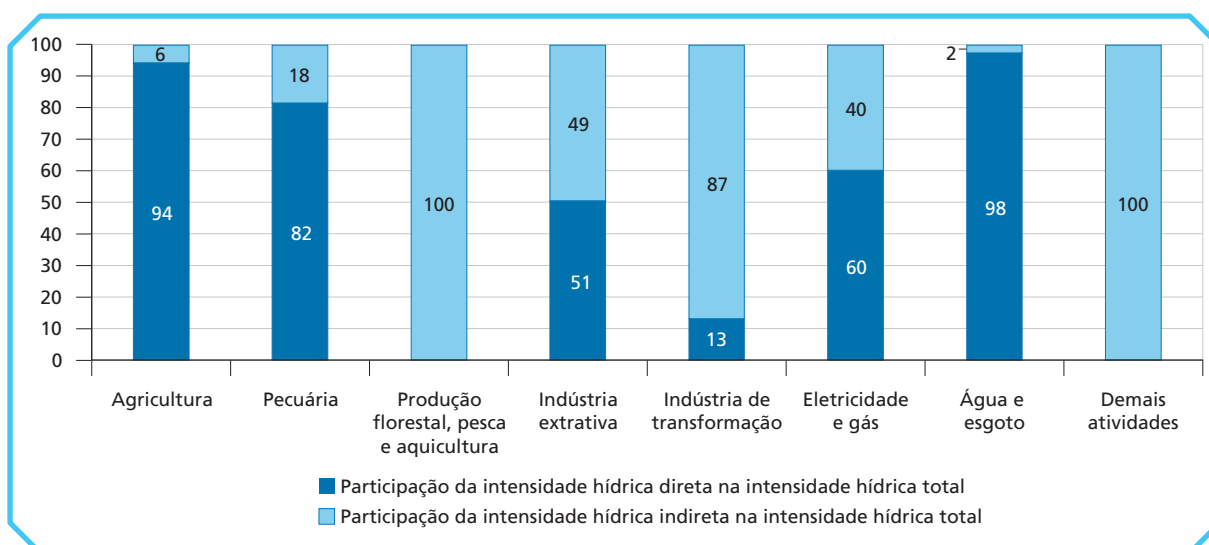
A mesma tendência se verifica para as indústrias extrativas. Enquanto a composição na seção 3 aponta que 54% da intensidade hídrica dessa atividade era direta, com a adoção das referidas tecnologias, a intensidade direta passaria a ser responsável por 51%.

A pecuária, ao contrário, apresentaria crescimento na proporção da intensidade hídrica direta, passando de 81%, conforme apresentado na seção 3, para 82% com adoção de tecnologias mais eficientes no uso de água. Como os produtos agrícolas são importantes insumos para a pecuária, esse resultado refletiria os ganhos de eficiência no uso da água por parte da agricultura.

### GRÁFICO 6

#### Composição da intensidade hídrica total das atividades econômicas do Brasil, com análise de impacto (2017)

(Em %)



Fonte: ANA (2019); CEBDS e GIZ (2016); Ferreira *et al.* (2019); Nereus, disponível em: <<http://www.usp.br/nereus/?p=7375>>.

Elaboração dos autores.

Com relação à oferta e demanda de bens finais intensivos em água, a adoção de tecnologias menos intensivas em recursos hídricos faria com que a participação das famílias no consumo de água embutida nos bens finais se reduzisse discretamente, passando de 56,2% para 55,8%.

Em outras palavras, dos 61.231 hm<sup>3</sup> de água azul passíveis de serem captados com o emprego de tecnologias mais eficientes, 34.187 hm<sup>3</sup> seriam direcionados à produção de bens e serviços

consumidos pelas famílias, sendo que 45% seriam na produção de produtos agrícolas, 31% na produção da atividade água e esgoto e 8% na produção das indústrias de transformação.

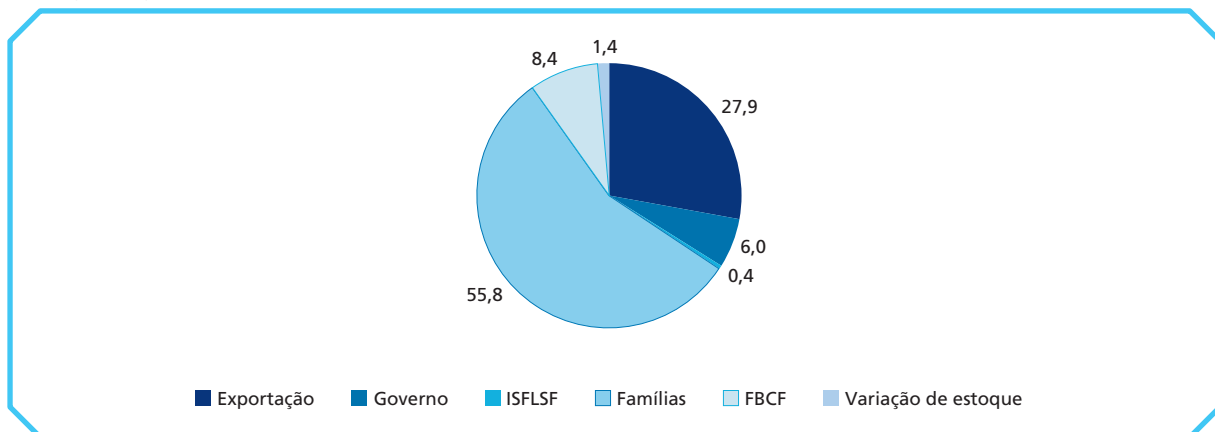
Adicionalmente, haveria crescimento na participação das exportações no consumo de água embutida nos bens e serviços, passando de 27,4% para 27,9%. Entre as atividades que compõem as exportações do país, a principal do ponto de vista da oferta de água embutida nos bens e serviços é a agricultura, que passaria de 76%, conforme apresentado na seção 3, para 78%.

Como o consumo de água embutida nos bens e serviços demandados pelas famílias é advindo de diferentes setores e o consumo de água embutida nos bens e serviços demandados pelas exportações é concentrado nos produtos agrícolas, o resultado verificado para as famílias estaria refletindo o ganho de eficiência na captação dos recursos hídricos por parte da agricultura, indústrias e da atividade água e esgoto, ao passo que o resultado verificado para as exportações estaria refletindo principalmente o ganho de eficiência na captação dos recursos hídricos por parte da agricultura.

### GRÁFICO 7

#### Participação dos elementos da demanda final no consumo da água embutida nos bens e serviços produzidos no Brasil, com análise de impacto (2017)

(Em %)



Elaboração dos autores.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostram que as principais atividades do ponto de vista do volume de água captado podem não ser as principais atividades no que se refere à intensidade hídrica direta.

Verificou-se também que parte considerável da intensidade hídrica total das atividades econômicas se refere à intensidade indireta, isto é, ao volume de água embutido nos insumos de



**TEXTO para DISCUSSÃO**

produção. No caso das indústrias de transformação, 85% da intensidade hídrica se refere à água incorporada nos insumos produtivos, sejam ofertados pela própria atividade ou por outros setores.

Com relação aos principais consumidores de água embutida nos bens e serviços finais, dos 65.679 hm<sup>3</sup> de água azul captados para fins consuntivos em 2017, 56,2% foram utilizados na produção de produtos consumidos pelas famílias e 27,4% foram empregados na produção de produtos exportados para o mercado mundial.

Entre os principais ofertantes de água embutida em bens e serviços finais, destacam-se os produtos agrícolas, produtos e serviços da atividade água e esgoto e das indústrias de transformação.

No que se refere aos efeitos da adoção de tecnologias menos intensivas em água, constatou-se que a adoção dessas tecnologias tem o potencial de reduzir a captação direta de água azul para fins consuntivos no Brasil, em 2017, de 65.679 hm<sup>3</sup>/ano para 61.231 hm<sup>3</sup>/ano (-6,8%).

Logo, com a potencial redução na captação direta e, portanto, na intensidade hídrica direta, esse ganho de eficiência pode se estender ao longo de toda a cadeia de produção, fazendo com que a intensidade hídrica indireta e, conseqüentemente, a intensidade hídrica total também se reduzam.

Entre as atividades cujas intensidades hídricas totais apresentaram maior redução destacam-se água e esgoto (-12%), indústrias extrativas (-14%), demais atividades (-9%) e indústrias de transformação (-8%).

Por sua vez, esses impactos poderiam alterar a participação dos diferentes consumidores finais na demanda de água embutida nos bens e serviços. Nesse aspecto, verificou-se que a adoção de tecnologias menos intensivas em água poderia reduzir discretamente a participação das famílias no consumo da água incorporada nos bens finais, passando de 56,2% para 55,8%, e, ao mesmo tempo, aumentaria a participação das exportações, passando de 27,4% para 27,9%.

Para a identificação dos setores prioritários para o incentivo de uso sustentável de água, além de o mapeamento realizado neste estudo ser útil, é preciso avançar na avaliação acerca das tecnologias já utilizadas no país. A partir de uma análise integrada dessas informações, será possível identificar setores com maior potencial ganho de eficiência.

No entanto, para que a contribuição da abordagem adotada neste estudo possa ser mais extensa, seria interessante avançar no detalhamento setorial e regional das informações. Dado o nível de agregação, há limitações ao quantificar o impacto das inovações, visto que estas se dão em um nível mais desagregado/micro, dentro dos processos produtivos.

Com esses avanços, seria possível produzir informações mais relevantes para as políticas públicas, refletindo as heterogeneidades regionais com relação à água incorporada nos insumos e produtos finais.

Ainda assim, o exercício empírico proposto contribui para a literatura na medida em que demonstra que, ao mapear o uso de água ao longo da cadeia de produção, é possível estimar o efeito da adoção de tecnologias mais eficientes no uso de água não somente por parte da atividade econômica que incorporou a referida tecnologia, mas também como esse ganho de eficiência se reflete ao longo da cadeia.

De modo que esse mapeamento pode ser fundamental para direcionar investimentos em tecnologias eficientes no uso dos recursos hídricos e para políticas em direção à promoção de cadeias de produção sustentáveis.

## REFERÊNCIAS

ABIQUIM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. **Manual de gestão eficiente de recursos hídricos**. São Paulo: Abiquim, 2016.

AMAZONAS, M. C. Desenvolvimento sustentável e economia ecológica. *In*: NOBRE, M.; AMAZONAS, M. C. (Org.). **Desenvolvimento sustentável**: a institucionalização de um conceito. Brasília: Edições Ibama, 2002. cap. 3.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: 2013. Brasília: ANA, 2013.

\_\_\_\_\_. **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS; IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA; SRHQ – SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E QUALIDADE AMBIENTAL. **Contas econômicas ambientais da água no Brasil 2013-2015**. Brasília, 2018.

BARROS, A. C. *et al.* **Uma nova economia para uma nova era**: elementos para a construção de uma economia mais eficiente e resiliente para o Brasil. [s.l.]: WRI Brasil; New Climate Economy, 2020.

BEZERRA, S. T. M.; CHEUNG, P. B. **Perdas de água**: tecnologias de controle. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013.

BODUNRIN, M. O. *et al.* The availability of life-cycle assessment, water footprinting, and carbon footprinting studies in Brazil. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 23, n. 8, p. 1701-1707, 2018.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**: 2018. Brasília: MDR; SNS, 2019.

CEBDS – CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Guia sobre economia circular de água**. Rio de Janeiro: CEBDS, 2018.

CEBDS – CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL; GIZ – DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT. **Eficiência no uso da água**: oportunidades para empresas e instituições financeiras. [s.l.]: CEBDS; GIZ, 2016.

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. **Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products**. The Netherlands: UNESCO- IHE, 2003. (Value of Water Research Report Series, n. 13).

FENG, K. *et al.* Comparison of bottom-up and top-down approaches to calculating the water footprint of nations. **Economic Systems Research**, v. 23, n. 4, p. 341-447, 2011.

FERREIRA, R. C. *et al.* **Caderno temático 1**: perdas de água e eficiência energética. Brasília: Plansab, 2019.

FRAGA, B. D.; MALDONADO, M. U.; MIGUEL, P. A. C. Mapeamento da produção tecnológica sobre aproveitamento de água da chuva: uma análise bibliométrica a partir de patentes. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 18, n. 4, p. 1279-1300, 2018.

FRANZA, L.; BIANCHI, M.; COLANTONI, L. **Green Deal Watch**. Roma: Istituto Affari Internazionali, 2020.

GUILHOTO, J. J. M.; SESSO FILHO, U. A. Estimação da matriz insumo-produto a partir de dados preliminares das contas nacionais. **Economia Aplicada**, v. 9, n. 2, p. 277-299, 2005.

\_\_\_\_\_. Estimação da matriz insumo-produto utilizando dados preliminares das contas nacionais: aplicação e análise de indicadores econômicos para o Brasil em 2005. **Economia e Tecnologia**, ano 6, v. 23, 2010.

HOEKSTRA, A. Y. *et al.* **The Water Footprint Assessment Manual**: setting the global standard. Washington: Earthscan, 2011. HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. The Netherlands: UNESCO-IHE, 2002. (Value of Water Research Report Series, n. 11).

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA; ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Contas econômicas ambientais da água**: Brasil 2013-2015. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. (Contas Nacionais, n. 60).

\_\_\_\_\_. **Contas econômicas ambientais da água**: Brasil 2013-2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. (Contas Nacionais, n. 72).

IMORI, D. **Brazilian regions in the global value chain**: trade and the environment. 2015. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. Blue water footprint linked to national consumption and international trade is unsustainable. **Nature Food**, v. 1, n. 12, p. 792-800, Dec. 2020.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-output analysis**: foundations and extensions. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

MONTOYA, M. A. A pegada hídrica da economia brasileira e a balança comercial de água virtual: uma análise insumo-produto. **Brazilian Journal of Applied Economics**, v. 24, n. 2, p. 215-248, 2020.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Oslo Manual**: guidelines for collecting and interpreting innovation data. 3. ed. Paris: OECD Publishing, 2005.

PICOLI, I. T. **Pegada hídrica da economia brasileira**: uma análise de insumo-produto. 2016. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

SANTOS, A. B. (Org.). **Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais**. Fortaleza: Impreco, 2019. 812 p.

SILVA, V. P. R. *et al.* Water footprint and virtual water trade of Brazil. **Water**, v. 8, n. 11, 2016.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Global Green New Deal**: policy brief. [s.l.]: UNEP, 2009.

VISENTIN, J. C. **O uso da água e a interdependência das economias regionais**: o caso das bacias hidrográficas brasileiras. 2017. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

## APÊNDICE

## QUADRO A.1

## Exemplos de tecnologias com potencial de economizar água

Tecnologias	Descrição
Irrigação por gotejamento	Consiste na utilização de tubos no solo ou no subsolo, onde a água é liberada sob condições de fluxo de baixa pressão. A água é fornecida lenta e diretamente nas raízes, permitindo a infiltração lenta no solo e o melhor aproveitamento da água pelas raízes, evitando que se forme um elevado fluxo de água superficial e prevenindo a evaporação.
Dispensador de poeira	Aspersores que utilizam polímeros incorporados à água, capazes de diminuir a poeira em suspensão com mais eficiência do que com a aspersão de água pura. Reduz a frequência das aspersões de forma significativa, levando à economia de água e a uma melhor qualidade do produto final. A tecnologia também pode ser combinada com fontes de água de reúso.
Detector de perda de água	O detector eletrônico de perda de água consiste em um transmissor digital com filtro digital e sensor que contém características de construção que ajudam a reduzir sons externos por abafamento, diminuindo as distorções externas. Tem a capacidade de captar o ruído causado por vazamentos usando uma banda de frequência bastante ampla. A rápida detecção e localização das perdas é fundamental em um bom sistema de gestão dos recursos hídricos.
Aproveitamento de água pluvial	Equipamentos que consistem na captura e no armazenamento de água da chuva. Incluem calhas que guiam a água para um dispositivo de descarga sanitária e, uma vez que o dispositivo esteja cheio, a água finalmente começa a ser captada para reutilização. A água ainda deve passar pelos processos de filtração simples e desinfecção, para o reúso. Esta é uma tecnologia acessível para aqueles que têm sua produção instalada em uma área com cobertura de telhado ou pátios suficientes e adequados. Os principais usos para essa água incluem torres de resfriamento, descarga de vasos sanitários, limpeza geral e jardinagem.
Tratamento de ozônio	Integra a categoria dos Processos de Oxidação Avançados (POA). O ozônio é um gás cuja matéria-prima é o oxigênio do ar ambiente (uma molécula triatômica e alotrópica de decomposição rápida) e pode ser gerado no local de utilização. Considerado o desinfetante mais forte aplicado na purificação de água, o ozônio é introduzido como uma tecnologia de tratamento secundário, sendo necessário um tratamento primário. Pode ser usado em conjunto com outras tecnologias de reúso. Dispensa o tratamento de águas residuais, não gerando passivos ambientais.
Zonas úmidas artificiais	Reprodução artificial de zonas úmidas com a construção de alagados capazes de realizar o tratamento de efluentes industriais e domésticos por meio da assimilação da matéria orgânica por plantas e biomassa. A infraestrutura necessária para o sistema é uma área superficial escavada e recoberta com geomembrana de impermeabilização, de modo a evitar a contaminação do local e, acima da superfície protegida, são colocados suportes, tais como pedras, para receber as plantas. O efluente tratado pode ser recirculado e reutilizado na indústria, reduzindo a quantidade necessária de água limpa a ser captada. O tratamento é inodoro, não faz uso de energia, como outras estações de tratamento regulares, e assimila carbono da atmosfera.
Ultrafiltração	A ultrafiltração é um processo que utiliza uma membrana de filtração (camada fina de material capaz de separar substâncias), em que a pressão hidrostática força um líquido contra uma membrana semipermeável. Considerada uma tecnologia viável e com custo decrescente ao longo do tempo para processos de tratamento de água potável e reúso de efluentes, esses processos estão sendo cada vez mais utilizados na remoção de microrganismos, partículas e matérias orgânicas naturais, que adicionam características indesejáveis à água. A ultrafiltração é utilizada para clarificação e desinfecção.

(Continua)

(Continuação)

Tecnologias	Descrição
Osmose reversa	A osmose reversa é um processo de separação em que um solvente é separado de um soluto de baixo peso molecular, a partir de uma membrana permeável, com a aplicação de uma grande pressão sobre este meio aquoso, que vai contra o fluxo natural da osmose. É usada para tratamento de água e processos de tratamento para reúso de efluentes. Neste estudo, a tecnologia de osmose reversa é recomendada para a dessalinização de água salgada ou salobra, pré-tratamento, juntamente com ultrafiltração e tratamento e reutilização de águas residuais. A osmose reversa é responsável por 65% da água dessalinizada em todo o mundo.
Destilação térmica	O processo de destilação térmica utiliza a energia para evaporar a água e condensá-la novamente. A destilação de múltiplo efeito (DME) é um processo em que a água pulverizada do mar é repetidamente evaporada e em seguida condensada, cada vez em temperatura e pressão mais baixas. Este processo é altamente eficiente e multiplica a quantidade de água pura que pode ser produzida usando uma determinada quantidade de energia, resultando em uma redução significativa no custo. A destilação térmica é responsável por 30% da água dessalinizada em todo o mundo.
Reflorestamento	A presença de vegetação perto do curso do rio é de grande importância para manter o fluxo dos ambientes aquáticos em boas condições. A restauração da mata ciliar e das cabeceiras de rio cria uma barreira para os fluxos de água, nutrientes e sedimentos carregados, melhorando a qualidade da água para os usuários a jusante. Como resultado, evita a deposição de sedimentos no curso do rio, que são altamente prejudiciais para o fluxo, e gera economia posterior tanto no tratamento adicional para o uso de uma água mais limpa quanto na redução da necessidade de processos de dragagem.

Fonte: CEBDS e GIZ, 2016.

Elaboração dos autores.

# Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

## EDITORIAL

### **Chefe do Editorial**

Reginaldo da Silva Domingos

### **Revisão**

Bruna Oliveira Ranquine da Rocha

Carlos Eduardo Gonçalves de Melo

Elaine Oliveira Couto

Lis Silva Hall

Mariana Silva de Lima

Marlon Magno Abreu de Carvalho

Vivian Barros Volotão Santos

Débora Mello Lopes (estagiária)

Matheus Tojeiro da Silva (estagiário)

Rebeca Raimundo Cardoso dos Santos (estagiária)

### **Editores**

Aline Cristine Torres da Silva Martins

Mayana Mendes de Mattos

Mayara Barros da Mota (estagiária)

### **Capa**

Aline Cristine Torres da Silva Martins

### **Projeto Gráfico**

Aline Cristine Torres da Silva Martins

*The manuscripts in languages other than Portuguese published herein have not been proofread.*

### **Livraria Ipea**

SBS – Quadra 1 - Bloco J - Ed. BNDES, Térreo.

70076-900 – Brasília – DF

Fone: (61) 2026-5336

Correio eletrônico: [livraria@ipea.gov.br](mailto:livraria@ipea.gov.br)

## **Missão do Ipea**

Aprimorar as políticas públicas essenciais ao desenvolvimento brasileiro por meio da produção e disseminação de conhecimentos e da assessoria ao Estado nas suas decisões estratégicas.



**ipea** Instituto de Pesquisa  
Econômica Aplicada

MINISTÉRIO DA  
ECONOMIA



PÁTRIA AMADA  
**BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL