

---

# Texto para Discussão

Fundação João Pinheiro

## Usos consuntivos da água em Minas Gerais: uma aplicação de matrizes híbridas de insumo-produto (2005-2016)

---

Marco Paulo Vianna Franco  
Carla Cristina Aguilár de Souza  
Thiago Rafael Corrêa de Almeida

Belo Horizonte | 2020



MINAS  
GERAIS

GOVERNO  
DIFERENTE.  
ESTADO

TEXTO PARA DISCUSSÃO n. 14

Usos consuntivos da água em Minas Gerais: uma  
aplicação de matrizes híbridas de insumo-produto  
(2005-2016)

Marco Paulo Vianna Franco  
Carla Cristina Aguilar de Souza  
Thiago Rafael Corrêa de Almeida

Belo Horizonte

2020

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Governador

Romeu Zema Neto

Vice-governador

Paulo Eduardo Rocha Brant

SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E GESTÃO

Secretário

Otto Alexandre Levy Reis

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO

Presidente

Helger Marra Lopes

Vice-presidente

Mônica Moreira Esteves Bernardi

EQUIPE TÉCNICA

Elaboração

Marco Paulo Vianna Franco

Carla Cristina Aguilar de Souza

Thiago Rafael Corrêa de Almeida

Preparação de originais

Ana Paula da Silva

Deysiane Marques Franco

Marília Andrade Ayres Frade

Capa

Bárbara Andrade

TEXTO PARA DISCUSSÃO

São textos que visam divulgar trabalhos preliminares. Possuem o objetivo de compartilhar ideias e obter comentários, críticas e sugestões.

Apoio financeiro firmado entre a Fundação de Amparo à Pesquisa (FAPEMIG) e a Fundação João Pinheiro (FJP) para a realização de projeto.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO

Alameda das Acácias

Bairro São Luiz Pampulha

Belo Horizonte - Minas Gerais

CEP 31275.150

Telefones: (31) 3448.9580 e 3448.9561

<http://novosite.fjp.mg.gov.br/>

Email: [comunicacao@fjp.mg.gov.br](mailto:comunicacao@fjp.mg.gov.br).

Todos os direitos reservados.

É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, por qualquer meio, desde que citada a fonte. Disponível também em: <http://novosite.fjp.mg.gov.br/textos-para-discussao/>

F825u

Franco, Marco Paulo Vianna

Usos consuntivos da água em Minas Gerais : uma aplicação de matrizes híbridas de insumo-produto (2005-2016) / Marco Paulo Vianna Franco, Carla Cristina Aguilar de Souza e Thiago Rafael Corrêa de Almeida. – Belo Horizonte: FJP, 2020.

30 p. : il. (Texto para discussão. Fundação João Pinheiro ; n. 14)

1. Água – Uso consuntivo – Minas Gerais – 2005/2016. 2. Água – Matriz insumo-produto – Minas Gerais – 2005/2016.

CDU 628.17 (815.1) “2005/2016”

## RESUMO

Em face da escassez hídrica que se tornou um fenômeno recorrente na região sudeste do Brasil, o trabalho visa a analisar a evolução dos usos consuntivos da água na economia do estado de Minas Gerais, entre 2005 e 2016. Foi utilizado um modelo insumo-produto aberto de Leontief com unidades híbridas e incorporação de um setor hídrico, com base nas matrizes de insumo-produto estaduais de 2005, 2008, 2013 e 2016 e nos dados de retirada de água disponibilizados pela ANA. Os resultados mostram que houve redução dos requerimentos hídricos totais por setor e de forma agregada. Os destaques em termos de intensidade de retiradas, elos intersetoriais e/ou água virtual embutida nas exportações foram “agricultura, silvicultura e exploração florestal”, “indústria extrativa mineral”, “fabricação de alimentos”, “eletricidade, gás, água e limpeza urbana” e “metalurgia”. A agricultura, além de líder em retiradas de água em termos absolutos, apresentou os maiores impactos como ofertante e demandante de produtos, os quais se tornaram maiores ao longo do período. O aumento da participação de grandes lavouras irrigadas, mais especificamente o plantio da cana-de-açúcar, foi levantado como hipótese para explicar esses resultados e direcionar políticas para a redução da pressão sobre os recursos hídricos estaduais.

Palavras-chave: Água Virtual. Análise Insumo-Produto. Minas Gerais. Recursos Hídricos. Crise Hídrica.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### GRÁFICOS

Gráfico 1: Volume útil dos principais reservatórios de Minas Gerais: médias anuais e volume útil médio – 2000-2019 .....	8
Gráfico 2: Requerimentos hídricos totais (vazão de retirada em m <sup>3</sup> /s por r\$1.000.000 de demanda final): média setorial e total – Minas Gerais – 2005-2016.....	22
Gráfico 3: Impactos distributivos e totais em relação à retirada de água por setor – Minas Gerais – 2005-2016.....	24

### TABELAS

Tabela 1: Vazões de retirada de água em MG (m <sup>3</sup> /s) e participação no total estadual (%) .....	19
Tabela 2: Requerimentos hídricos totais de retirada de água por setor – Minas Gerais – 2005-2016..	21
Tabela 3: Setores-chave na retirada de água – Minas Gerais – 2005-2016 .....	23
Tabela 4: Água virtual incorporada nas exportações (vazão de retirada em m <sup>3</sup> /s) – Minas Gerais – 2005-2016.....	26



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
Feam	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FJP	Fundação João Pinheiro
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	7
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	10
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	13
<b>3.1 Matrizes híbridas insumo-produto</b> .....	13
<b>3.2 Impactos setoriais e setores-chave em termos de fluxos de água virtual</b> .....	15
<b>3.3 Água virtual incorporada nas exportações</b> .....	16
<b>4 PREPARAÇÃO DAS BASES DE DADOS</b> .....	18
<b>5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	20
<b>5.1 Requerimentos hídricos totais</b> .....	20
<b>5.2 Setores-chave em usos consuntivos da água</b> .....	22
<b>5.3 Água virtual incorporada nas exportações</b> .....	25
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	27
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	28

## 1 INTRODUÇÃO

A escassez hídrica se tornou um fenômeno recorrente na região sudeste do Brasil, com prolongados períodos secos e maior variabilidade pluviométrica frequentemente associados a mudanças, em sua maioria antropogênicas, em padrões climáticos em nível regional e global (ABREU; TETT; SCHURER; ROCHA, 2019; MARENGO, 2014; SILVA, 2018; ZILLI; CARVALHO; LIEBMANN; DIAS, 2017). Além dos efeitos nocivos ao meio ambiente, como a perda de biodiversidade e profundos impactos sociais entre as consequências econômicas, incluem-se rupturas no abastecimento de água, redução da geração de energia hidroelétrica e quebras de safras. A menor capacidade tecnológica e financeira de mitigação e adaptação a esses fenômenos em países em desenvolvimento os tornam especialmente vulneráveis a tais efeitos.

Em relação ao Estado de Minas Gerais, que ocupa a porção setentrional da região sudeste do Brasil, “estima-se que, desde 2008, eventos climáticos extremos como chuvas intensas e secas prolongadas tenham custado 12,8 bilhões de reais ao estado. Caso nada seja feito, os custos dos impactos para a economia mineira decorrentes das mudanças climáticas podem alcançar R\$ 450 bilhões até 2050” (Feam, 2015, p. 9). A escassez hídrica se destaca como um quadro iminente e particularmente ameaçador. O Gráfico 1 ilustra a situação dos principais reservatórios de água de Minas Gerais voltados à operação de usinas hidroelétricas nas últimas duas décadas. Após a crise hídrica de 2001, nota-se uma certa normalidade até 2011 e o estabelecimento de um cenário de escassez contínuo desde 2013, durante o qual os reservatórios operaram, em média, com 30% do volume útil. O mesmo acontece com reservatórios destinados ao abastecimento urbano no estado. Os reservatórios do sistema Paraopeba, por exemplo, que abastecem a Região Metropolitana de Belo Horizonte, atingiram 20% da capacidade no final de 2015, apesar da total recuperação no começo de 2020.<sup>1</sup> Não obstante o caráter usual das variações dos níveis desses reservatórios entre estações secas e úmidas, o aumento paulatino da demanda por água no estado vem tornando a manutenção da oferta insustentável nos últimos anos.

A multiplicidade de fenômenos condicionantes do regime de chuvas em Minas Gerais, antropogênicos ou não (mudanças climáticas globais e continentais, como fenômenos oceânicos e ciclos atmosféricos amazônicos, alteração da cobertura vegetal local etc.), tornam difíceis previsões confiáveis. O foco de políticas voltadas à conservação e ao uso racional de recursos hídricos recai, portanto, em análises de demanda. Nesse contexto, torna-se relevante a produção de informações

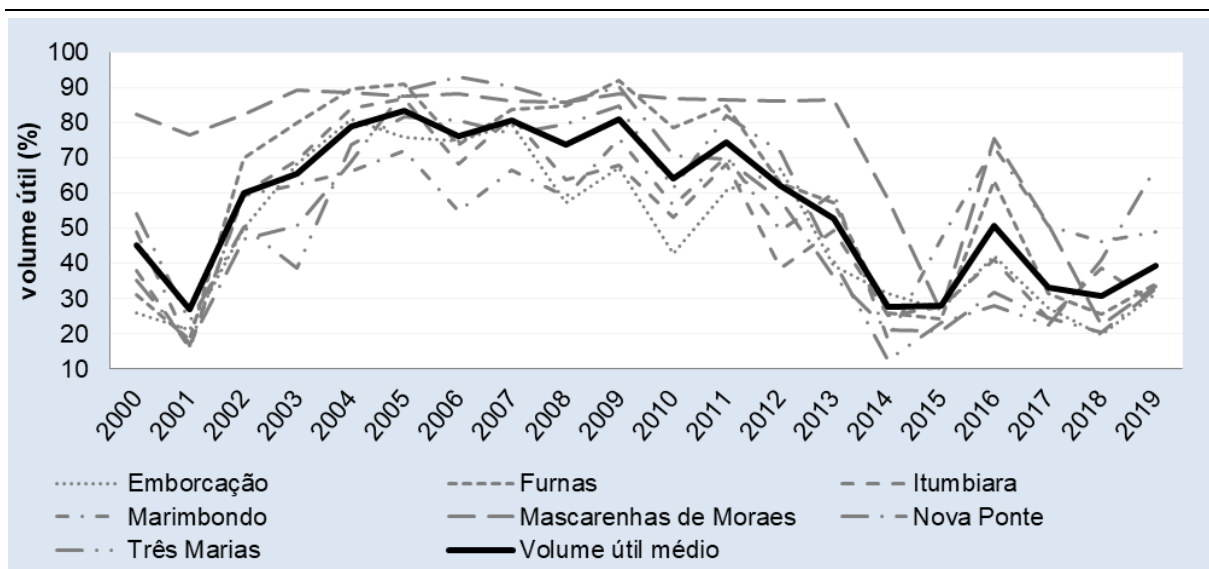
---

<sup>1</sup> Disponível em <http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/abastecimento-de-agua/nivel-dos-reservatorios>. Acesso em 10 mar. 2020.



cada vez mais detalhadas a respeito dos impactos da atividade econômica sobre a disponibilidade de água, tendo em vista a necessidade de formulação de políticas públicas estaduais que possam atuar eficazmente na manutenção da oferta aos diversos setores econômicos e usos finais.

Gráfico 1: Volume útil dos principais reservatórios de Minas Gerais: médias anuais e volume útil médio – 2000-2019



Fonte: Dados básicos: OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO, 2020.  
Elaboração própria.

Uma descrição minuciosa das relações entre a estrutura produtiva do estado e o uso de recursos hídricos a partir de modelos de insumo-produto permitiria a proposição de ações preventivas mais efetivas. Analisar a evolução dessas relações em um dado período pode, por conseguinte, oferecer uma avaliação mais adequada do cenário e uma compreensão mais abrangente dos desafios ainda por vir. Dessa forma, estudos que levem em conta a dinâmica intersetorial podem contribuir para o entendimento acerca da forma pela qual a estrutura produtiva gera impactos ambientais e como esse quadro evolui ao longo do tempo. As relações de oferta e demanda entre os setores agropecuário, energético e industrial, por exemplo, podem revelar aspectos importantes para a elaboração de políticas integradas de conservação de recursos hídricos. De acordo com Carvalho, Santiago e Perobelli (2013), análises de insumo-produto constituem uma ferramenta apropriada de investigação de impactos ambientais devido à consideração dos elos entre os setores econômicos.

A existência de matrizes insumo-produto para o estado de Minas Gerais (FJP, 2009, 2015, 2018, 2020) e a recente disponibilização de dados relacionados aos usos consuntivos da água no Brasil (ANA, 2019) permitem investigações mais aprofundadas, em conjunto, acerca das relações entre a oferta de recursos hídricos e a estrutura produtiva em nível regional. De acordo com ANA (2019, p. 9),

“um uso é considerado consuntivo quando a água retirada é consumida, parcial ou totalmente, no processo a que se destina, não retornando diretamente ao corpo d'água”. O consumo assume várias formas, como a incorporação em produtos, consumo por humanos, animais e plantas, aplicações industriais e evaporação em reservatórios artificiais, enquanto usos como navegação ou turismo, por não afetarem diretamente a quantidade de água, são excluídos da definição e, conseqüentemente, desse estudo. Os usos consuntivos da água no Brasil são divididos em abastecimento humano urbano e rural, abastecimento animal, indústria de transformação, mineração, agricultura irrigada, termoeletricidade e evaporação líquida de reservatórios artificiais, sendo que cada categoria é caracterizada por vazões de retirada (montante diretamente captado no corpo d'água), de consumo (fração da retirada que não retorna ao corpo d'água) e de retorno (fração da retirada que retorna ao corpo d'água) (ANA, 2019).

Assim, o trabalho teve como objetivo analisar a evolução da intensidade dos usos consuntivos da água na economia do Estado de Minas Gerais, entre os anos de 2005 e 2016. Pretendeu-se (i) mensurar os requerimentos hídricos totais dos 35 setores da economia mineira em relação a variações na demanda final; (ii) identificar os setores-chave da economia estadual, em termos de tais usos da água, entendidos como atividades de especial interesse para a formulação de políticas públicas voltadas ao tema; e (iii) analisar a estrutura exportadora do estado quanto à presença de água virtual. Para tanto, foi utilizado um modelo insumo-produto aberto de Leontief com unidades híbridas e incorporação de um setor hídrico, com base nas matrizes de insumo-produto estaduais de 2005, 2008, 2013 e 2016 e nos dados relativos aos referidos usos consuntivos da água. A Seção 2 aborda a literatura pertinente ao tema, a Seção 3 descreve a metodologia utilizada, a Seção 4 trata da preparação das bases de dados, a Seção 5 expõe e discute os resultados obtidos e a última seção conclui o trabalho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A metodologia de análise de insumo-produto desenvolvida por Leontief (1986) expõe as possíveis interações entre um dado setor econômico e o resto da economia. De forma direta ou indireta, cada setor exerce influência sobre o desempenho de toda a cadeia produtiva. Portanto, estudos detalhados acerca das relações intersetoriais em um determinado território podem apontar características setoriais e da estrutura produtiva que auxiliem, por exemplo, na elaboração de políticas industriais.

As aplicações de modelos de insumo-produto na área ambiental surgiram logo após o estabelecimento do método, com investigações do próprio Leontief (1986, p. 241-293) sobre impactos e externalidades ambientais, como a poluição do ar. Tais aplicações se intensificam à medida em que se agravam os problemas ambientais nas mais diversas escalas e, conseqüentemente, surgem demandas por mais informações e conhecimentos que possam embasar novos planos, políticas e outros tipos de intervenção em favor de um desenvolvimento ecologicamente sustentável (HAWDON; PEARSON, 1995).

As aplicações ambientais de modelos insumo-produto se baseiam em análises de fluxos energéticos e materiais em uma determinada economia. No campo da economia da energia, destacam-se estudos relacionados à eficiência energética, inovações tecnológicas, consumo e emissões de gases de efeito estufa (CARVALHO; SANTIAGO; PEROBELLI, 2013; GOWDY; MILLER, 1987; LENZEN, 1998; MAGALHÃES; DOMINGUES, 2016; PEROBELLI; FARIA; VALE, 2015; PROOPS; FABER; WAGENHALS, 1993; VALE; PEROBELLI; CHIMELI, 2018). Alternativamente, análises de fluxos materiais se referem a resíduos ou recursos naturais. Particularmente, a utilização econômica de recursos hídricos é tema recorrente em trabalhos que lançam mão do método insumo-produto.

O conceito de água virtual, ou seja, o conteúdo hídrico embutido em processos e produtos econômicos disponibilizados para a demanda final, enfatiza os impactos da estrutura produtiva, principalmente em decorrência do comércio internacional, sobre a escassez da água em uma determinada região (ALLAN, 2003). Guan e Hubacek (2007), por exemplo, alertam para as conseqüências do crescimento econômico sobre retirada e perda da qualidade da água na China. Os autores analisaram a estrutura de comércio inter-regional do país e os efeitos sobre fluxos de água virtual por meio de um modelo insumo-produto, evidenciando problemas relativos à alocação e eficiência no uso da água, como a exportação desse recurso a partir de áreas mais áridas e a importação em locais nos quais a oferta hídrica é abundante. Analisando a China como um todo, Zhao, Chen e Yang (2009) chegam à surpreendente conclusão de que o país foi um exportador líquido de

água em 2002. Analogamente, Lenzen (2009) aplica o método insumo-produto com a incorporação do uso da água para o estado australiano de Victoria. O estudo demonstra que diferentemente dos resultados obtidos por análises mais simples de fluxos hídricos, nas quais Victoria seria um importador líquido de água virtual, o estado seria, na realidade, um exportador do recurso. Ademais, em nível municipal, Wang, Huang, Yang e Yu (2013) investigam a pressão sobre os recursos hídricos em Pequim aplicando o conceito de pegada ecológica (nesse caso, o volume de água necessário para que sejam produzidos os bens e serviços ali consumidos) a um modelo insumo-produto, apontando os ganhos de eficiência da capital chinesa em relação a outras províncias e sugerindo mudanças na estrutura produtiva que a transformem em uma região ainda mais importadora de água virtual.

Outros estudos também lançam mão do método para compor análises setoriais das transferências de água virtual, tendo em vista o papel direcionador de políticas públicas que conjugam o desenvolvimento econômico e conservação de recursos naturais. Mubako, Lahiri e Lant (2013) discutem o uso e a gestão sustentáveis da água (incluindo custos de oportunidade) nos estados americanos da Califórnia e de Illinois em 2008, indicando, entre outros resultados, os altos requerimentos hídricos (uso de água por unidade de produto) de setores em que o valor agregado é relativamente baixo, como a aquicultura, agricultura, geração de energia elétrica, pecuária e mineração. Seguindo a mesma abordagem, Bogra, Bakshi e Mathur (2016) investigam o uso da água na economia da Índia, entre 2003 e 2004, destacando os setores da agricultura, geração de energia elétrica, abastecimento de água, construção civil, fabricação de alimentos, alojamento e alimentação, e papel e celulose como principais responsáveis pelas retiradas totais de água com destino à produção de bens e serviços.

Na esteira de tais estudos, o presente trabalho usou um modelo de insumo-produto híbrido, com a incorporação de um setor hídrico, com base em dados dos usos consuntivos da água por setor e nas matrizes insumo-produto para o estado de Minas Gerais, nos anos de 2005, 2008, 2013 e 2016 (para os quais há uma matriz insumo-produto estadual disponível). O passo a passo metodológico seguiu o adotado por Carvalho, Santiago e Perobelli (2013), que elabora uma matriz insumo-produto híbrida para Minas Gerais no ano de 2005 com o objetivo de mensurar a intensidade de emissões de gases de efeito estufa no estado, assim como as emissões embutidas nas suas exportações por unidade monetária.<sup>2</sup> Assim, pretende-se observar a evolução da estrutura produtiva do estado, no período

---

<sup>2</sup> Os autores apontam para a alta intensidade de emissões embutidas nas exportações de Minas Gerais, relacionando os resultados à hipótese do “refúgio da poluição” (*pollution haven hypothesis*), que propõe que países com arcabouço regulatório ambiental menos impositivo seriam mais competitivos em setores intensivos em poluição, exportando seus bens para países cuja legislação ambiental seria mais rígida (MONGELLI; TASSIELLI; NOTARNICOLA, 2006).

2005-2016, em relação a tais usos consuntivos da água, evidenciando-se quais são os setores mais intensos em termos de requerimentos hídricos (incluindo aqueles considerados “setores-chave” em termos do uso da água)<sup>3</sup> e quais são os montantes de água virtual exportados por setor, a fim de se embasar políticas públicas necessárias, principalmente em cenários duradouros de crise hídrica.

---

<sup>3</sup> O conceito de setor-chave foi desenvolvido por Rasmussen (1956) com base nos efeitos multiplicadores da demanda final. Segundo Souza, Gonçalves e Franco (2017), “Setores que possuem os maiores efeitos propulsores sobre a cadeia produtiva são conhecidos como setores-chave e, dado esse caráter significativamente multiplicador, constituem informação valiosa para o desenvolvimento de políticas econômicas”.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia adotada tem como base a conceituação de Miller e Blair (2009, p. 447) de modelos generalizados de insumo-produto, nos quais linhas e/ou colunas são adicionadas à matriz de coeficientes técnicos, de modo que um determinado fenômeno seja incorporado. Inicialmente, o sistema é representado matricialmente por:

$$AX + Y = X, \quad (1)$$

A é a matriz de coeficientes diretos, indicando a quantidade necessária de insumo de um setor  $i$  para produzir uma unidade de produto do setor  $j$ ;  $X$  é o vetor com os valores da produção total por setor  $i$ ; e  $Y$  é a demanda final por setor  $i$ . A produção total necessária para atender à demanda final é, então, dada por:

$$X = LY, \quad (2)$$

$L = (I - A)^{-1}$  é a matriz de coeficientes técnicos diretos e indiretos, também chamada de matriz de Leontief. Seus elementos podem ser interpretados como a produção total do setor  $i$  necessária para produzir uma unidade de demanda final do setor  $j$ .

#### 3.1 Matrizes híbridas insumo-produto

A construção das matrizes híbridas insumo-produto visa a incorporar os fluxos de grandezas físicas em uma economia, dados em unidades físicas, mantendo, entretanto, os fluxos monetários observados em modelos usuais de insumo-produto. Assim, seguindo a proposição metodológica de Miller e Blair (2009, p. 403), seria possível construir matrizes de fluxos de água virtual,  $Z^h$ , de requerimentos hídricos diretos,  $A^h$ , e de requerimentos hídricos totais,  $L^h$ .

Os fluxos de água virtual são contabilizados a partir da seguinte identidade:

$$H * u + q = g, \quad (3)$$

O termo  $H * u$  é dado pela multiplicação do vetor-linha  $H$  de fluxos de água virtual (a partir do setor hídrico para todos os outros setores) pelo vetor-coluna unitário  $i$ ;  $q$  representa a demanda final por água virtual e  $g$  a demanda total. Assim, a matriz  $Z^h$  será composta pelas linhas de fluxos monetários intersetoriais de  $Z$ , exceto pela linha correspondente ao setor hídrico que deve ser substituída pelo vetor-linha  $H$ , em unidades físicas (vazão de retirada de água em m<sup>3</sup>/s):

$$Z^h = \begin{bmatrix} \$ & \$ & \dots & \$ \\ m^3/s & m^3/s & \dots & m^3/s \\ \$ & \$ & \dots & \$ \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \$ & \$ & \$ & \$ \end{bmatrix}$$

Analogamente, as matrizes de demanda final,  $F^h$ , e de produção,  $X^h$ , tomam a seguinte forma:

$$F^h = \begin{bmatrix} \$ \\ m^3/s \\ \$ \\ \vdots \\ \$ \end{bmatrix}; X^h = \begin{bmatrix} \$ \\ m^3/s \\ \$ \\ \vdots \\ \$ \end{bmatrix}$$

A partir da definição  $Z = A * \text{diag}(X)$ , que coloca a matriz de fluxos intersetoriais como a multiplicação da matriz de coeficientes técnicos pela matriz diagonalizada da produção setorial, a matriz de requerimentos hídricos diretos,  $A^h$ , será dada por:

$$A^h = Z^h * [\text{diag}(X^h)]^{-1} \quad (4)$$

E, finalmente, assim como no modelo original, a matriz de Leontief ou de requerimentos hídricos totais,  $L^h$ , fica:<sup>4</sup>

$$L^h = (I - A^h)^{-1}. \quad (5)$$

As leis de conservação da matéria, aplicadas aos setores da economia, implicam que a água embutida no produto de um setor  $i$  é igual, desconsideradas as perdas, à embutida em todos os insumos da mesma atividade mais sua respectiva parcela nas retiradas diretas a partir do ambiente que, nesse caso, supõe-se originárias apenas do setor hídrico. Em termos matriciais:

$$\alpha * \text{diag}(X^h) = \alpha * Z^h + G^h, \quad (6)$$

Vê-se que os requerimentos hídricos totais são dados pelo vetor-linha  $\alpha$  e as retiradas por  $G^h$ . Substituindo a partir da relação  $Z = A * \text{diag}(X)$  e rearranjando os termos, tem-se:

$$\alpha = G^h * \text{inv}(\text{diag}(X^h)) * (I - A^h)^{-1}, \quad (7)$$

---

<sup>4</sup> A matriz I é a matriz identidade.

De forma análoga, os requerimentos hídricos diretos e indiretos são, respectivamente:

$$\delta = G^h * inv(diag(X^h)) * (I - A^h) \quad (8)$$

$$\mu = \alpha - \delta \quad (9)$$

### 3.2 Impactos setoriais e setores-chave em termos de fluxos de água virtual

A análise de impacto setorial proposta, via identificação de setores-chave, baseia-se em método análogo ao adotado em outras aplicações ambientais de modelos insumo-produto, como Alcántara e Padilla (2003) e Carvalho, Santiago e Perobelli (2013). Trata-se de construir uma matriz de elasticidades intersetoriais da demanda em relação ao consumo final de água. Tomando  $\Gamma$  como o uso total de água no sistema produtivo e  $\tau$  o vetor-linha correspondente ao uso de água por unidade de produto setorial, tem-se:

$$\Gamma = \tau * X^h = \tau * L^h * F^h \quad (10)$$

Assim, uma variação no uso total de água está associada a uma variação proporcional na demanda final, representada por  $\gamma$ :

$$\Delta\Gamma = \tau * \Delta X^h = \tau * L^h * \Delta F^h = \tau * L^h * F^h * \gamma \quad (11)$$

Seja  $s$  um vetor da participação das demandas finais setoriais nas produções dos seus respectivos setores:

$$F^h = diag(X^h) * s \quad (12)$$

Substituindo a equação (12) na (11) e dividindo por  $\Gamma$ , tem-se a elasticidade do uso total de água no sistema produtivo em relação à demanda final:

$$\Gamma^{-1} * \Delta\Gamma = \Gamma^{-1} * \tau * L^h * diag(X^h) * s * \gamma \quad (13)$$

Ainda, para que se possa desagregar a elasticidade por setor, obtém-se o vetor-linha dos coeficientes de consumo setorial  $\tau$  em termos da distribuição de água entre os setores, dada pelo vetor-linha  $d$ , com  $\sum_{i=1}^n d_i = 1$ :

$$\tau = \Gamma * d * [diag(X^h)]^{-1} \quad (14)$$



Substituindo (14) em (13):

$$\Gamma^{-1} * \Delta\Gamma = d * [\text{diag}(X^h)]^{-1} * L^h * \text{diag}(X^h) * s * \gamma \quad (15)$$

Diagonalizando o vetor  $s$  e o vetor-linha  $d$  e omitindo-se  $\gamma$  (considera-se o caso padrão de uma variação de 1% na demanda final), resta a relação que fornece a matriz de elasticidades  $\Gamma^\varepsilon$ , ou a variação proporcional do consumo setorial de água em relação a uma mudança na demanda final:

$$\Gamma^\varepsilon = \text{diag}(d) * [\text{diag}(X^h)]^{-1} * L^h * \text{diag}(X^h) * \text{diag}(s) \quad (16)$$

Os elementos da matriz  $\Gamma^\varepsilon$ ,  $\tau_{ij}^\varepsilon$ , expressam a variação percentual na retirada de água do setor  $i$  em resposta a uma variação de 1% na demanda final do setor  $j$ . A soma dos elementos da coluna do setor  $j$  representa a variação percentual da retirada total de água na economia em resposta a uma mudança de 1% na demanda final do setor  $j$ . A soma dos elementos da linha do setor  $i$ , por sua vez, representa a variação percentual da retirada de água pela atividade em resposta a uma mudança de 1% na demanda final de toda a economia. Alcántara e Padilla (2003) conceituam a soma de cada coluna como o “impacto total” de um dado setor e a soma de cada linha como seu “impacto distributivo”. Entende-se que um elevado impacto total está relacionado ao alto conteúdo de água virtual embutido nas compras do setor; um elevado impacto distributivo se relaciona a uma retirada setorial de água fortemente determinada pela demanda dos outros setores.

Por fim, define-se que um setor será caracterizado como chave se seus impactos total e distributivo forem superiores aos valores medianos de impacto total ( $\Gamma_T^\varepsilon$ ) e distributivo ( $\Gamma_D^\varepsilon$ ). Caso um setor apresente  $\sum_i \tau_{ij}^\varepsilon < \Gamma_T^\varepsilon$  e  $\sum_j \tau_{ij}^\varepsilon > \Gamma_D^\varepsilon$ , sua relevância em termos hídricos se daria em conexão com a demanda de outros setores. Caso ocorra o inverso,  $\sum_i \tau_{ij}^\varepsilon > \Gamma_T^\varepsilon$  e  $\sum_j \tau_{ij}^\varepsilon < \Gamma_D^\varepsilon$ , sua relevância residiria na própria demanda, que exige um alto conteúdo de água virtual. Se  $\sum_i \tau_{ij}^\varepsilon < \Gamma_T^\varepsilon$  e  $\sum_j \tau_{ij}^\varepsilon < \Gamma_D^\varepsilon$ , trata-se de um setor com menor relevância para a análise.

### 3.3 Água virtual incorporada nas exportações

Para que a água virtual incorporada nas exportações possa ser obtida, verifica-se a igualdade entre o vetor de retirada de água a partir do setor hídrico e o produto entre os coeficientes de requerimento total e a demanda final, o que assegura a consistência do modelo para uma economia fechada (CARVALHO; SANTIAGO; PEROBELLI, 2013):

$$G^h = \alpha * F^h \quad (17)$$

Dado que as exportações,  $\theta$ , constituem parte da demanda final, adapta-se (17) para que se consiga a água virtual embutida nas exportações de cada setor,  $P^h$ :

$$P^h = \alpha * \theta \quad (18)$$

#### 4 PREPARAÇÃO DAS BASES DE DADOS

Conforme mencionado, o trabalho utilizou as matrizes de insumo-produto para Minas Gerais, nos anos de 2005, 2008, 2013 e 2016, estimadas por FJP (2009, 2015, 2018, 2020) e os dados acerca dos usos consuntivos da água em Minas Gerais disponibilizados no Portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).<sup>5</sup> A análise se restringiu aos dados de retirada de água em detrimento daqueles relacionados a consumo e retorno. Com exceção de algumas diferenças setoriais, como no caso da termoelectricidade, em que há retirada mas não consumo, os resultados obtidos para o consumo se aproximam suficientemente daqueles obtidos para as retiradas, fazendo com que a ênfase nas últimas torne a exposição mais concisa e focada nos pontos relevantes da interação entre os usos consuntivos da água e a estrutura produtiva do estado.

A preparação dessas bases de dados incluiu a compatibilização dos setores que compõem cada uma das quatro matrizes de insumo-produto, com os dados disponíveis de retirada de água. A composição setorial escolhida seguiu aquela apresentada na matriz de 2005, devido ao seu menor nível de desagregação. A partir de FJP (2009), foi construída uma matriz híbrida de insumo-produto com 35 setores, mantendo-os para as matrizes híbridas derivadas para os anos posteriores (cujas matrizes originais apresentam um número maior de setores, exigindo a aplicação de técnicas de compatibilização com base no valor de produção). De posse das matrizes dos fluxos monetários intersetoriais, o processo de hibridização consistiu na substituição dos valores monetários presentes na linha referente ao setor hídrico (“Eletricidade, gás, água e limpeza urbana”) por valores em unidades físicas (vazão em m<sup>3</sup>/s). O mesmo processo foi feito para os vetores de produção e demanda final. Além disso, para compensar a perda dos valores monetários e balancear oferta e demanda, a matriz de fluxos intersetoriais foi ajustada via multiplicação pela razão entre a soma total dos consumos intermediários e a soma total dos consumos intermediários, com exceção da linha do setor hídrico. O mesmo procedimento foi adotado para os vetores de produção e demanda final.

A desagregação dos dados de retirada de água entre os 35 setores das matrizes, inicialmente divulgados para sete diferentes usos (TABELA 1), foi feita para cada um dos anos analisados, a partir da premissa de que as retiradas variam linearmente com a produção. Além disso, as correspondências entre os 35 setores da matriz de 2005 e as sete categorias de uso foram definidas da seguinte forma: (i) abastecimento urbano: 70% como uso residencial (demanda final) e 30% como uso comercial (serviços), como sugerido por ANA (2019); (ii) abastecimento rural: 100% como uso residencial; (iii) indústria: desagregação de acordo com os coeficientes técnicos de retirada por subsetor e município

---

<sup>5</sup> Disponível em <http://www.snirh.gov.br/snirh/snirh-1/acesso-tematico/usos-da-agua>. Acesso em: 10 maio 2020.

para ano de 2015 (ANA, 2017); irrigação: 100% no setor “Agricultura, silvicultura e exploração florestal”; mineração: 100% no setor “Indústria extrativa mineral”; termoeletricidade: 100% no setor “Eletricidade, gás, água e limpeza urbana”. Além disso, na ausência de uma série histórica para retiradas provenientes da evaporação líquida de reservatórios superficiais, foi alocada uma vazão constante de 85 m<sup>3</sup>/s, dado obtido para o estado de Minas Gerais em 2015 (ANA, 2019, p. 65), tendo em vista a baixa variação da área superficial da soma dos reservatórios do estado no período.

Tabela 1: Vazões de retirada de água em MG (m<sup>3</sup>/s) e participação no total estadual (%)

Setores	Retirada em m <sup>3</sup> /s (%)			
	2005	2008	2013	2016
Abastecimento urbano	38,8 (23,87)	40,39 (21,91)	42,52 (19,47)	43,75 (16,98)
Abastecimento rural	4,47 (2,75)	4,38 (2,37)	4,10 (1,88)	3,92 (1,52)
Indústria	14,83 (9,11)	16,45 (8,92)	21,68 (9,93)	17,56 (6,82)
Irrigação	68,64 (42,18)	84,51 (45,84)	108,84 (49,85)	150,82 (58,52)
Mineração	14,07 (8,65)	14,79 (8,02)	14,34 (6,57)	16,71 (6,48)
Termoeletricidade	3,80 (2,33)	4,67 (2,53)	5,66 (2,59)	4,96 (1,92)
Uso animal	18,08 (11,11)	19,18 (10,4)	21,20 (9,71)	19,99 (7,76)
<b>Total</b>	<b>162,73</b> <b>(100)</b>	<b>184,37</b> <b>(100)</b>	<b>218,35</b> <b>(100)</b>	<b>257,71</b> <b>(100)</b>

Fonte: Dados básicos: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2020.  
Elaboração própria.

## 5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos foram divididos em três partes: requerimentos hídricos totais, setores-chave em termos de usos consuntivos da água e água virtual incorporada nas exportações estaduais, cada uma delas voltada à elucidação de tendências e variações no desempenho da estrutura produtiva do estado em relação à retirada d'água por unidade de produto entre 2005 e 2016. Vale ressaltar, em primeiro lugar, que a soma das vazões de retirada no período, em termos absolutos, cresceu aproximadamente 60%, ultrapassando 250 m<sup>3</sup>/s em 2016 (excluindo-se a evaporação líquida de reservatórios superficiais). Destaca-se, também, a evolução das retiradas para irrigação que mais do que dobraram durante o período e atingiram 58,52% do total do estado em 2016 (TABELA 1).

### 5.1 Requerimentos hídricos totais

Os resultados dos requerimentos hídricos totais para os quatro anos analisados estão apresentados na Tabela 2. Observou-se uma redução gradual dos requerimentos hídricos totais para quase todos os setores da economia do estado. Portanto, nota-se que o crescimento da economia nesse período não foi acompanhado por um aumento proporcional das retiradas, indicando uma menor dependência relativa da estrutura produtiva mineira em relação aos usos consuntivos da água, o que sugere mudanças em tecnologias de produção ou ganhos de eficiência favoráveis a um cenário menos intensivo em retiradas de água.

Os destaques por segmento foram o próprio setor hídrico, “eletricidade, gás, água e limpeza urbana”, que passou de 1,56 para 1,36 m<sup>3</sup>/s de vazão de retirada por R\$1.000.000,00 de demanda final; “agricultura, silvicultura e exploração florestal”, de 0,0075 a 0,0046 m<sup>3</sup>/s por R\$1.000.000,00; “pecuária e pesca”, de 0,0048 a 0,0015 m<sup>3</sup>/s por R\$1.000.000,00; “fabricação de alimentos”, de 0,0032 a 0,0008 m<sup>3</sup>/s por R\$1.000.000,00; “indústria extrativa mineral”, de 0,0018 a 0,0007 m<sup>3</sup>/s por R\$1.000.000,00; e “fabricação de bebidas”, de 0,0019 a 0,0004 m<sup>3</sup>/s por R\$1.000.000,00. Os demais setores não apresentaram requerimentos hídricos totais relevantes em termos comparativos.

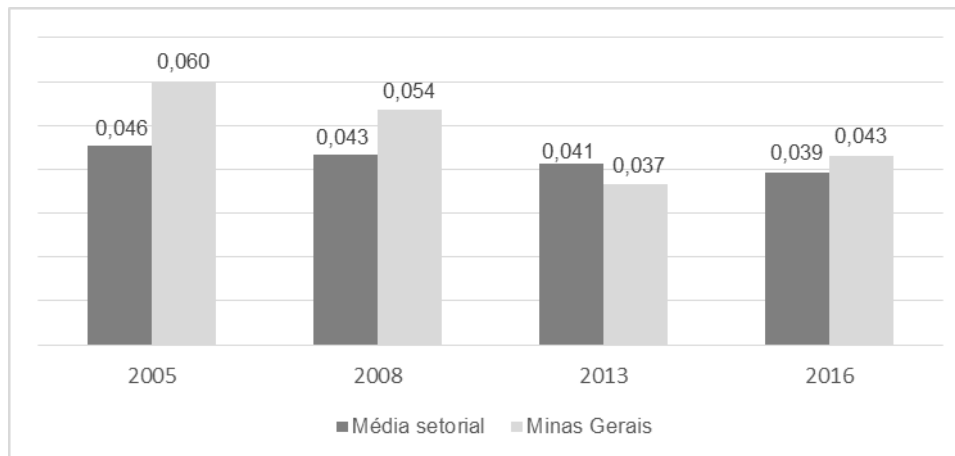
Tabela 2: Requerimentos hídricos totais de retirada de água por setor – Minas Gerais – 2005-2016

Setor	2005	2008	2013	2016	Setor	2005	2008	2013	2016
Agricultura, silvicultura e exploração florestal	7E-03	6E-03	5E-03	5E-03	Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	2E-04	6E-05	4E-05	3E-05
Pecuária e pesca	5E-03	3E-03	2E-03	1E-03	Fabricação de veículos automotores	1E-04	6E-05	4E-05	3E-05
Indústria extrativa mineral	2E-03	1E-03	4E-04	7E-04	Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores	1E-04	7E-05	5E-05	4E-05
Fabricação de alimentos	3E-03	2E-03	1E-03	8E-04	Fabricação de outros equipamentos de transporte	2E-04	8E-05	4E-05	2E-05
Fabricação de bebidas	2E-03	2E-03	5E-04	4E-04	Fabricação de móveis, produtos de madeira e artigos diversos	4E-04	3E-04	1E-04	1E-04
Fabricação de produtos do fumo	2E-03	4E-05	4E-04	9E-04	Eletricidade, gás, água e limpeza urbana	1,56	1,50	1,43	1,36
Fabricação de produtos têxteis	8E-04	4E-04	3E-04	3E-04	Construção	2E-04	2E-04	9E-05	6E-05
Fabricação de artefatos de couro e calçados	1E-03	8E-04	5E-04	3E-04	Comércio	2E-04	1E-04	7E-05	7E-05
Fabricação de artigos do vestuário e acessórios	5E-04	4E-04	2E-04	2E-04	Transporte, armazenagem e correio	3E-04	1E-04	1E-04	8E-05
Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	1E-03	8E-04	9E-04	6E-04	Serviços de informação	2E-04	1E-04	7E-05	5E-05
Fabricação de derivados do petróleo e álcool	1E-03	5E-04	6E-04	5E-04	Intermediação financeira e seguros	2E-04	1E-04	6E-05	5E-05
Fabricação de produtos farmacêuticos, perfumaria, higiene e limpeza	4E-04	3E-04	5E-05	4E-05	Atividades imobiliárias e aluguel	1E-04	8E-05	4E-05	3E-05
Fabricação de produtos de borracha e plástico	2E-04	2E-04	1E-04	7E-05	Serviços de alojamento e alimentação	7E-04	6E-04	2E-04	1E-04
Fabricação de produtos químicos	3E-04	3E-04	9E-05	6E-05	Serviços prestados às empresas	2E-04	1E-04	6E-05	4E-05
Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	3E-04	3E-04	1E-04	1E-04	Educação e saúde mercantil	2E-04	1E-04	6E-05	5E-05
Metalurgia	4E-04	3E-04	3E-04	2E-04	Administração pública	2E-04	1E-04	6E-05	5E-05
Fabricação de produtos de metal exceto máquinas e equipamentos	2E-04	1E-04	7E-05	5E-05	Outros serviços	3E-04	2E-04	7E-05	5E-05
Fabricação de máquinas e equipamentos	2E-04	7E-05	4E-05	3E-05					

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 2 apresenta as médias setoriais, para cada ano, dos requerimentos hídricos totais, assim como o coeficiente obtido para a economia mineira (por meio do cálculo da soma dos requerimentos hídricos totais setoriais ponderada pela participação de cada setor na economia mineira). Nota-se uma redução do requerimento hídrico total, tanto em termos da média setorial quanto da economia do estado de forma agregada. A média setorial caiu cerca de 15% no período, enquanto houve redução de aproximadamente 28% do requerimento hídrico total para a economia mineira.

Gráfico 2: Requerimentos hídricos totais (vazão de retirada em m<sup>3</sup>/s por R\$1.000.000 de demanda final): média setorial e total – Minas Gerais – 2005-2016



Fonte: Elaboração própria.

## 5.2 Setores-chave em usos consuntivos da água

A classificação dos 35 setores em relação a seus impactos totais e distributivos está apresentada na Tabela 3. Com base nas definições dadas na seção metodológica, os setores foram divididos entre aqueles com impactos total e distributivo superiores aos valores medianos (“chave”), aqueles em que apenas o impacto total é superior ao seu valor mediano (“total”), aqueles em que somente o impacto distributivo é superior ao seu valor mediano (“distrib”) e, finalmente, aqueles em que os impactos total e distributivo são menores do que seus valores medianos (“-”).

Os resultados mostram pouca variação no período, com os setores-chave se concentrando nas atividades agropecuárias e extrativas, no próprio setor hídrico (“eletricidade, gás, água e limpeza urbana”) e nos setores industriais de “fabricação de alimentos”, “fabricação de artefatos de couro e calçados”, “fabricação de celulose, papel e produtos de papel”, “fabricação de derivados do petróleo e álcool” e “metalurgia”. Entre os serviços, destaca-se a classificação da “administração pública” como setor-chave de forma inesperada, mas que poderia ser explicada pelos fortes encadeamentos como demandante de insumos de outros serviços que, de forma geral, apresentaram altos impactos distributivos. Por outro lado, setores com altos impactos totais, como a “fabricação de produtos do fumo”, “fabricação de produtos têxteis” e “fabricação de móveis, produtos de madeira e artigos diversos” se apresentaram como importantes fornecedores de produtos com elevado conteúdo de água virtual.

Tabela 3: Setores-chave na retirada de água – Minas Gerais – 2005-2016

Setor	2005	2008	2013	2016	Setor	2005	2008	2013	2016
Agricultura, silvicultura e exploração florestal	chave	chave	chave	chave	Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	-	-	-	-
Pecuária e pesca	chave	chave	chave	chave	Fabricação de veículos automotores	-	-	-	-
Indústria extrativa mineral	chave	chave	chave	chave	Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores	-	-	-	-
Fabricação de alimentos	chave	chave	chave	chave	Fabricação de outros equipamentos de transporte	-	-	-	-
Fabricação de bebidas	total	total	chave	total	Fabricação de móveis, produtos de madeira e artigos diversos	total	total	total	total
Fabricação de produtos do fumo	total	-	total	total	Eletricidade, gás, água e limpeza urbana	chave	chave	chave	chave
Fabricação de produtos têxteis	total	total	total	total	Construção	distrib	distrib	chave	chave
Fabricação de artefatos de couro e calçados	total	chave	chave	chave	Comércio	distrib	distrib	chave	chave
Fabricação de artigos do vestuário e acessórios	-	total	-	-	Transporte, armazenagem e correio	distrib	distrib	distrib	distrib
Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	chave	chave	chave	chave	Serviços de informação	distrib	distrib	-	-
Fabricação de derivados do petróleo e álcool	chave	chave	chave	chave	Intermediação financeira e seguros	distrib	distrib	distrib	distrib
Fabricação de produtos farmacêuticos, perfumaria, higiene e limpeza	total	total	-	-	Atividades imobiliárias e aluguel	distrib	distrib	distrib	distrib
Fabricação de produtos de borracha e plástico	-	-	-	-	Serviços de alojamento e alimentação	total	total	total	total
Fabricação de produtos químicos	-	-	-	-	Serviços prestados às empresas	distrib	distrib	distrib	distrib
Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	-	-	-	-	Educação e saúde mercantil	-	-	-	distrib
Metalurgia	chave	chave	chave	chave	Administração pública	chave	chave	chave	chave
Fabricação de produtos de metal exceto máquinas e equipamentos	-	-	-	-	Outros serviços	chave	total	-	-
Fabricação de máquinas e equipamentos	-	-	-	-					

Fonte: Elaboração própria.

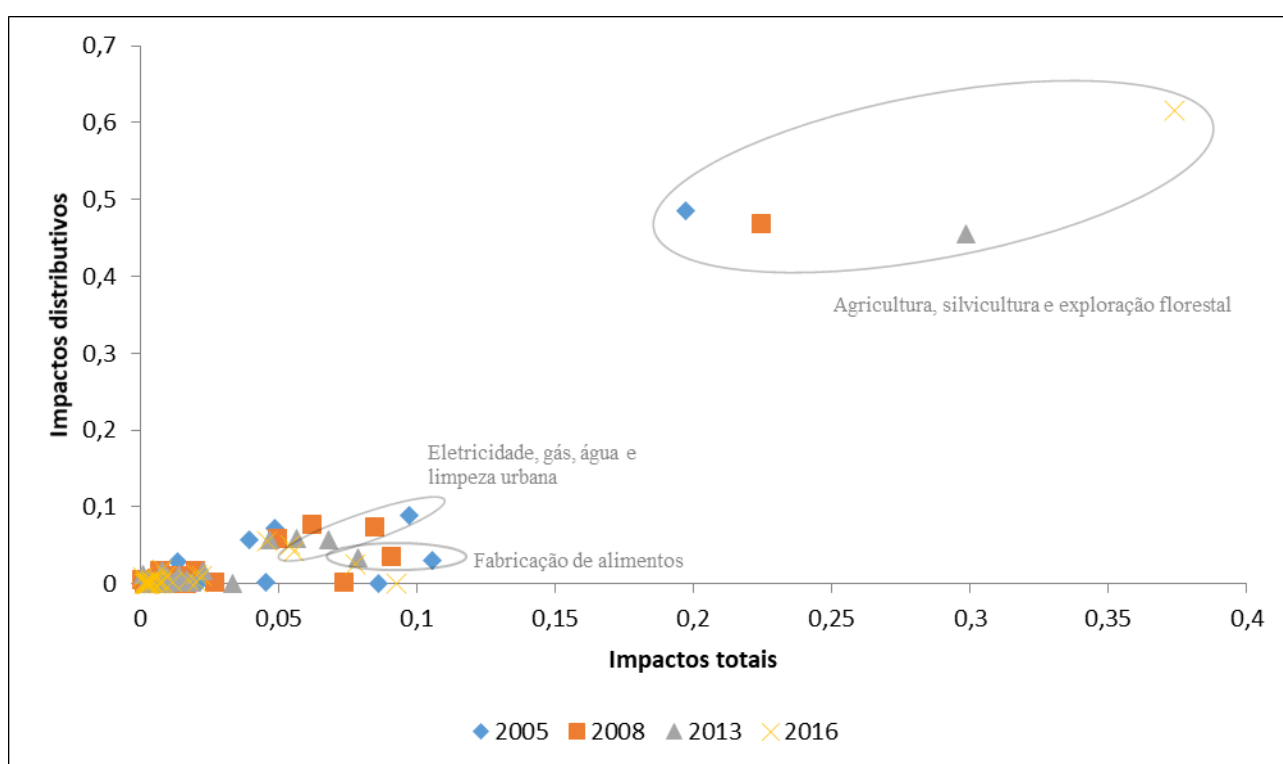
Algumas das mudanças observadas no período incluem a redução, em termos relativos, dos impactos totais da “fabricação de produtos farmacêuticos, perfumaria, higiene e limpeza” e dos impactos distributivos dos “serviços de informação”. Além disso, nota-se que o “comércio” e a “construção” se tornaram setores-chave mediante ganhos relativos em impactos totais. Por fim, os “outros serviços”, que em 2005 constituíam um setor-chave, deixaram de ter relevância em relação à retirada de água, o que pode estar mais associado a ganhos em outros setores do que a uma dinâmica das próprias atividades.

Das atividades analisadas, 25 a 30% foram classificadas como setores-chave em cada ano, ou seja, há um significativo conteúdo de água virtual em transações intersetoriais relevantes do ponto de vista de cadeias produtivas. Esse resultado demonstra que políticas públicas isoladas ou restritas ao



âmbito setorial obteriam pouco sucesso em termos de redução das retiradas de água por produto. A fim de se elucidar essa hipótese, é necessário quantificar os impactos por setor e verificar quais são aqueles com os maiores impactos totais e distributivos, *i.e.*, respectivamente aqueles cujos aumentos na demanda final levariam aos maiores acréscimos nas retiradas de água na economia e aqueles cujos ganhos na demanda final da economia levariam aos maiores acréscimos nas retiradas de água no próprio setor.

Gráfico 3: Impactos distributivos e totais em relação à retirada de água por setor – Minas Gerais – 2005-2016



Fonte: Elaboração própria.

Três setores merecem destaque nessa análise: “agricultura, silvicultura e exploração florestal”, “eletricidade, água, gás e limpeza urbana” e “fabricação de alimentos”. A plotagem dos impactos ao longo do período permite visualizar a relevância desses setores (GRÁFICO 3). Por um lado, nota-se uma tendência de redução dos impactos ao longo dos anos para os dois últimos setores. No caso da “fabricação de alimentos”, os impactos totais e distributivos caíram respectivamente de 0,11 e 0,03 para 0,08 e 0,02; para a “eletricidade, água, gás e limpeza urbana”, as quedas foram de 0,10 e 0,09 para 0,06 e 0,04. A situação é inversa para a “agricultura, silvicultura e exploração florestal”: além desse setor apresentar impactos totais pelo menos duas vezes maiores e distributivos no mínimo cinco

vezes menores do que o segundo e terceiro colocados, os mesmos aumentaram ao longo do período. Os impactos totais se elevaram de 0,20 a 0,37; os distributivos, de 0,49 a 0,62.

Tais resultados justificam uma análise mais detalhada acerca da relação do setor agrícola com a retirada de água para irrigação. Além de ele ser o líder em usos consuntivos da água em números absolutos e apresentar os maiores impactos em termos de encadeamentos setoriais, seu desempenho do ponto de vista hídrico se deteriorou entre 2005 e 2016. De acordo com o Censo Agropecuário 2017, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), entre 2006 e 2017 houve expansão de 111,3% da área irrigada no estado, em comparação com um acréscimo de “apenas” 47,6% em nível nacional (FJP, 2019). No mesmo período, a razão entre área irrigada e área plantada no estado passou de 1,6% para 2,9%. O aumento da participação de lavouras irrigadas em Minas Gerais está associado à recente expansão do plantio da cana-de-açúcar.<sup>6</sup> De acordo com dados da Pesquisa Agrícola Municipal do IBGE,<sup>7</sup> a área plantada de cana-de-açúcar no estado cresceu em torno de 2,6 vezes, alcançando 921.870 hectares em 2016. Entre as principais lavouras do estado, como o café, o milho e a soja, não houve variação dessa magnitude. Portanto, políticas públicas voltadas para o uso racional da água em plantios irrigados de cana-de-açúcar se apresentariam como uma boa alternativa, com foco setorial, para tornar a demanda por retiradas mais sustentável diante do cenário de oferta limitada no estado.

### 5.3 Água virtual incorporada nas exportações

As vazões de retirada de água virtual incorporadas nas exportações internacionais do estado, compostas pelo produto dos requerimentos hídricos totais pelos valores monetários de exportação, são mostradas na Tabela 4. Os setores com as maiores vazões embutidas nas exportações foram, em ordem decrescente, “agricultura, silvicultura e exploração florestal”, “indústria extrativa mineral”, “fabricação de alimentos”, “metalurgia” e “fabricação de celulose, papel e produtos de papel”.

Dada a redução gradual dos requerimentos hídricos totais na maioria dos setores, as grandes variações positivas verificadas na “agricultura, silvicultura e exploração florestal” e na “indústria extrativa mineral” se devem à própria tendência de aumento nas exportações em termos monetários. Por exemplo, entre 2005 e 2016 a vazão de retirada destinada às exportações agrícolas aumentou 2,14 vezes, totalizando 65,64 m<sup>3</sup>/s ao final do período, em comparação com um acréscimo de 2,04 vezes

---

<sup>6</sup> ANA (2019) discorre acerca da intensidade do uso da água em lavouras irrigadas como a cana-de-açúcar e o arroz.

<sup>7</sup> Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 25 abr. 2020.

dessas exportações em valores monetários (a preços constantes, conforme IBGE [2017]). Setores cujas exportações se mantiveram estagnadas ou em declínio apresentaram, em geral, vazões de retirada com o mesmo comportamento.

Tabela 4: Água virtual incorporada nas exportações (vazão de retirada em m<sup>3</sup>/s) – Minas Gerais – 2005-2016

Setor	2005	2008	2013	2016	Setor	2005	2008	2013	2016
Agricultura, silvicultura e exploração florestal	30,63	28,59	41,70	65,64	Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	0,04	0,03	0,02	0,02
Pecuária e pesca	0,05	0,65	0,52	0,71	Fabricação de veículos automotores	0,11	0,13	0,08	0,06
Indústria extrativa mineral	9,26	13,77	13,98	15,93	Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores	0,04	0,05	0,05	0,03
Fabricação de alimentos	3,86	4,09	4,69	5,03	Fabricação de outros equipamentos de transporte	0,00	0,00	0,00	0,00
Fabricação de bebidas	0,00	0,33	0,00	0,01	Fabricação de móveis, produtos de madeira e artigos diversos	0,02	0,04	0,05	0,04
Fabricação de produtos do fumo	0,00	0,00	0,00	0,00	Eletricidade, gás, água e limpeza urbana	0,00	0,05	0,63	1,23
Fabricação de produtos têxteis	0,13	0,10	0,03	0,04	Construção	0,00	0,00	0,00	0,00
Fabricação de artefatos de couro e calçados	0,06	0,04	0,13	0,11	Comércio	0,28	0,22	0,28	0,32
Fabricação de artigos do vestuário e acessórios	0,00	0,03	0,00	0,00	Transporte, armazenagem e correio	0,26	0,12	0,17	0,17
Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	0,60	0,82	1,13	0,95	Serviços de informação	0,00	0,00	0,00	0,00
Fabricação de derivados do petróleo e álcool	0,03	0,11	0,25	0,24	Intermediação financeira e seguros	0,00	0,00	0,00	0,00
Fabricação de produtos farmacêuticos, perfumaria, higiene e limpeza	0,00	0,02	0,03	0,02	Atividades imobiliárias e aluguel	0,00	0,00	0,00	0,00
Fabricação de produtos de borracha e plástico	0,01	0,03	0,02	0,01	Serviços de alojamento e alimentação	0,00	0,00	0,00	0,09
Fabricação de produtos químicos	0,19	0,35	0,08	0,09	Serviços prestados às empresas	0,00	0,00	0,00	0,00
Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	0,06	0,09	0,05	0,07	Educação e saúde mercantil	0,00	0,00	0,00	0,00
Metalurgia	3,02	3,44	2,82	3,58	Administração pública	0,00	0,00	0,00	0,00
Fabricação de produtos de metal exceto máquinas e equipamentos	0,03	0,02	0,01	0,01	Outros serviços	0,00	0,01	0,00	0,00
Fabricação de máquinas e equipamentos	0,06	0,03	0,02	0,02					

Fonte: Elaboração própria.

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados do trabalho apontaram para uma redução gradual dos requerimentos hídricos totais, tanto em relação aos setores individualmente quanto em relação à média setorial e à economia mineira de forma agregada, o que denota que o crescimento econômico do estado no período não foi acompanhado por um aumento proporcional das retiradas de água. Os destaques setoriais em termos de intensidade de retiradas foram “eletricidade, gás, água e limpeza urbana”, “agricultura, silvicultura e exploração florestal”, “pecuária e pesca”, “fabricação de alimentos”, “indústria extrativa mineral” e “fabricação de bebidas”.

Atividades agropecuárias e extrativas, “eletricidade, gás, água e limpeza urbana”, “administração pública” e setores industriais de “fabricação de alimentos”, “fabricação de artefatos de couro e calçados”, “fabricação de celulose, papel e produtos de papel”, “fabricação de derivados do petróleo e álcool” e “metalurgia” foram classificados como setores-chave, assim denominados por apresentarem os mais fortes elos intersetoriais como ofertantes e demandantes no contexto de retiradas de água. A detecção de um grande número de setores-chave poderia constituir um obstáculo à formulação de políticas públicas com foco intersetorial; entretanto, a análise quantitativa dos impactos totais e distributivos permitiu configurar a “agricultura, silvicultura e exploração florestal” como objeto de intervenção. Além de líder em retiradas de água em termos absolutos, seus impactos se destacam entre os 35 setores e se tornaram maiores ao longo do período. Portanto, os resultados justificam uma análise mais detalhada acerca da relação do setor agrícola com a retirada de água para irrigação. O aumento da participação de grandes lavouras irrigadas, mais especificamente o plantio da cana-de-açúcar em Minas Gerais, foi levantado como hipótese que explicaria esses resultados e direcionaria esforços para a redução da pressão sobre os recursos hídricos estaduais.

Por fim, foram identificados os setores com as mais expressivas vazões embutidas nas exportações: “agricultura, silvicultura e exploração florestal”, “indústria extrativa mineral”, “fabricação de alimentos”, “metalurgia” e “fabricação de celulose, papel e produtos de papel”. Essas constatações servem de insumo a discussões sobre o comércio internacional de água virtual e seus impactos sobre regiões que enfrentam cenários de escassez hídrica.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, R.C.; TETT, S.F.B.; SCHURER, A.; ROCHA, H.R. 2019. Attribution of detected temperature trends in Southeast Brazil. **Geophysical Research Letters**, v. 46, n. 14, p. 8407-8414, 28 jul. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Água na indústria: uso e coeficientes técnicos**. Brasília, DF: ANA, 2017. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias/estudo-da-agencia-nacional-de-aguas-aborda-uso-da-agua-no-setor-industrial/agua-na-industria-uso-e-coeficientes-tecnicos-versao-final.pdf/view>. Acesso em: 18 ago. 2020
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Manual de usos consuntivos da água**. Brasília, DF: ANA, 2019. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/snirh/snirh-1/acesso-tematico/usos-da-agua>. Acesso em: 5 abr. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**. Brasília, DF: ANA, 2020. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/snirh/snirh-1/acesso-tematico/usos-da-agua>. Acesso em: 10 maio 2020.
- ALCÁNTARA, Vicent; PADILLA, Emilio. “Key” sectors in final energy consumption: an input–output application to the Spanish case. **Energy Policy**, v. 31, n.15, p. 1673-1678, 2003.
- ALLAN, J.A. Virtual water – the water, food, and trade nexus. Useful concept or misleading metaphor? **Water International**, v. 28, n. 1, p. 106-113, 2003.
- BOGRA, Shelly; BAKSHI, Bhavik R.; MATHUR, Ritu. Water-withdrawal input-output model of the Indian economy. **Environmental Science & Technology**, v. 50, n. 3, p. 1313-1321, 2016.
- CARVALHO, Terciane Sabadini; SANTIAGO, Flaviane Souza; PEROBELLI, Fernando Salgueiro. International trade and emissions: the case of the Minas Gerais state – 2005. **Energy Economics**, v. 40, p. 383-395, 2013.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Plano de energia e mudanças climáticas de Minas Gerais: sumário executivo**. Belo Horizonte: Feam, 2015. Disponível em: [http://www.feam.br/images/stories/2015/ENERGIA\\_M\\_CILMATICAS/010615pemc\\_sumario\\_executivo\\_capa\\_nova\\_ficha\\_catalografica.pdf](http://www.feam.br/images/stories/2015/ENERGIA_M_CILMATICAS/010615pemc_sumario_executivo_capa_nova_ficha_catalografica.pdf). Acesso em: 15 mar. 2020.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Censo Agropecuário 2017. **Informativo FJP: Contas Regionais**, Belo Horizonte, n. 4, 2019. Disponível em: [http://novosite.fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2019/12/Inf\\_CensoAgro\\_04.pdf](http://novosite.fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2019/12/Inf_CensoAgro_04.pdf). Acesso em: 5 jun. 2020.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Tabela de recursos e usos (TRU-Regional) e matriz de insumo-produto para o estado de Minas Gerais para o ano de 2005**. Belo Horizonte: FJP, 2009. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.mg.gov.br/consulta/consultaDetalheDocumento.php?iCodDocumento=56292>. Acesso em: 3 mar. 2018.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Tabela de recursos e usos e matriz de insumo-produto de Minas Gerais: 2008**. Belo Horizonte: FJP, 2015. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.mg.gov.br/consulta/consultaDetalheDocumento.php?iCodDocumento=76904>. Acesso em: 3 mar. 2018.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Tabela de recursos e usos e matriz de insumo-produto de Minas Gerais**: 2013. Belo Horizonte: FJP, 2018. (Estatística e informações, 10). Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.mg.gov.br/consulta/consultaDetalheDocumento.php?iCodDocumento=76893>. Acesso em: 6 nov. 2018.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Tabela de recursos e usos e matriz de insumo-produto de Minas Gerais 2016**. Belo Horizonte: FJP, 2020. No prelo.

GOWDY, J.M.; MILLER, J.L. Technological and demand change in energy use: an input–output analysis. **Environmental and Planning**, v. 19, n.10, p. 1387-1398, 1987.

GUAN, Dabo; HUBACEK, Klaus. Assessment of regional trade and virtual water flows in China. **Ecological Economics**, Elsevier, v. 61, n.1, p. 159-170, Feb. 2007.

HAWDON, David; PEARSON, Peter. Input–output simulations of energy, environment, economy interactions in the UK. **Energy Economics**, Elsevier, v. 17, n.1, p. 73-86, Jan. 1995.

IINSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema de Contas Nacionais. **Tabela 10.4**: valor adicionado bruto constante e corrente, segundo as atividades - série retroplada - 2000-2017. Brasília: IBGE, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9052-sistema-de-contas-nacionais-brasil.html?edicao=9053&t=resultados>. Acesso em: 21 maio 2020.

LENZEN, Manfred. Primary energy and greenhouse gases embodied in Australian final consumption: an input-output analysis. **Energy Policy**, v. 26, n. 6, p. 495-506, 1998.

LENZEN, Manfred. Understanding virtual water flows: a multiregion input-output case study of Victoria. **Water Resources Research**, v. 45, n. 9, W09416, 2009.

LEONTIEF, Wassily. **Input-output economics**. 2. ed. Oxford, UK: Oxford University Press, 1986.

MAGALHÃES, Aline Souza; DOMINGUES, Edson Paulo. Aumento da eficiência energética no Brasil: uma opção para uma economia de baixo carbono? **Economia Aplicada**, v. 20, n. 3, p. 273-310, 1 set. 2016.

MARENGO, José A. O futuro clima do Brasil. **Revista USP**, São Paulo, n. 103, p. 25-32, 22 nov. 2014.

MILLER, Ronald E.; BLAIR, Peter D. **Input–output analysis: foundations and extensions**. 2. ed. New York: Cambridge University Press, 2009.

MONGELLI, I.; TASSIELLI, G.; NOTARNICOLA, B. Global warming agreements, international trade and energy/carbon embodiments: an input-output approach to the Italian case. **Energy Policy**, Elsevier, v. 34, n.1, p. 88-100, 2006.

MUBAKO, Stanley; LAHIRI, Sajal; LANT, Christopher. Input–output analysis of virtual water transfers: case study of California and Illinois. **Ecological Economics**, Elsevier, v. 93, p. 230-238, 2013.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Dados hidrológicos / volumes**. Brasília, DF: ONS, 2020. Disponível em: [http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/dados\\_hidrológicos\\_volumes.aspx](http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/dados_hidrológicos_volumes.aspx). Acesso em: 18 maio 2020.

PEROBELLI, Fernando Salgueiro; FARIA, Weslem Rodrigues; VALE, Vinicius de Almeida. The increase in Brazilian household income and its impact on CO<sub>2</sub> emissions: evidence for 2003 and 2009 from input-output tables. **Energy Economics**, Elsevier, v. 52, p. 228-239, 2015.

PROOPS, John L.R.; FABER, Malte; WAGENHALS, Gerhard. **Reducing CO<sub>2</sub> emissions: a comparative input-output study for Germany and the UK**. Berlin: Springer, 1993.

RASMUSSEN, Poul N. **Studies in intersectoral relations**. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1956.

SILVA, Vinicius Oliveira. **Eventos de seca na região Sudeste do Brasil: ocorrências temporais e comportamento futuro**. 2018. 148 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2018.

SOUZA, Carla Cristina Aguiar; GONÇALVES, Caio César Soares; FRANCO, Marco Paulo Vianna. Setores-chave da economia de Minas Gerais em 2008. **Economia Ensaio**, Uberlândia - MG, v. 31, n. 2, p. 103-136, 2017.

VALE, Vinicius A.; PEROBELLI, Fernando S.; CHIMELI, Ariaster B. International trade, pollution, and economic structure: evidence on CO<sub>2</sub> emissions for the North and the South. **Economic Systems Research**, v. 30, n.1, p. 1-17, 2018.

WANG, Ziyuan; HUANG, Kai; YANG, Shunshun; YU, Yajuan. An input-output approach to evaluate the water footprint and virtual water trade of Beijing, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 42, p. 172-179, Mar. 2013.

ZHAO, X.; CHEN, B.; YANG, Z.F. National water footprint in an input-output framework — a case study of China 2002. **Ecological Modelling**, Elsevier, v. 220, n.2, p. 245-253, 2009.

ZILLI, Marcia T.; CARVALHO, Leila M.V.; LIEBMANN, Brant; DIAS, Maria A. Silva A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 5, p. 2269-2279, Apr. 2017.