



## USOS CONSUNTIVOS DA ÁGUA EM MINAS GERAIS: Uma aplicação de matrizes híbridas de insumo-produto (2005-2016)

**Marco Paulo Vianna Franco**

Fundação João Pinheiro, Minas Gerais, Brasil

[marco.franco@fjp.mg.gov.br](mailto:marco.franco@fjp.mg.gov.br)

**Carla Cristina Aguilar de Souza**

Fundação João Pinheiro, Minas Gerais, Brasil

[carla.aguilar@fjp.mg.gov.br](mailto:carla.aguilar@fjp.mg.gov.br)

**Thiago Rafael Corrêa de Almeida**

Fundação João Pinheiro, Minas Gerais, Brasil

[thiago.almeida@fjp.mg.gov.br](mailto:thiago.almeida@fjp.mg.gov.br)

### Resumo

O trabalho teve como objetivo avaliar 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 Agência Nacional de Águas. 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 enquanto 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 que explicaria esses resultados e direcionaria políticas para a redução da pressão sobre os recursos hídricos estaduais.

**Palavras-chave:** água virtual, análise insumo-produto, Minas Gerais, recursos hídricos, setor-chave

### Abstract

This article seeks to assess the evolution of consumptive water uses in the economy of the state of Minas Gerais between 2005 and 2016. An open input-output Leontief model with hybrid units and the incorporation of a water sector was used based on input-output matrices for 2005, 2008, 2013, and 2016 and water withdrawal data made available by the National Water Agency of Brazil. Results show a decrease in total water requirements by sector and in aggregate. Relevant sectors in terms of withdrawal intensity, intersectoral links, and/or virtual water embedded in exports were “agriculture, forestry and logging”, “mining”, “food products”, “electricity, gas, water and urban sanitation”, and “metallurgy”. Agriculture, in addition to the greatest amounts of water withdrawal, was responsible for the highest impacts, both as supplier and demander, which increased over the period. An increase in large, irrigated crops, especially sugar cane, was raised as a hypothesis explaining these results and pointing to policies in favor of the reduction of the pressure on water resources in the state.

**Keywords:** virtual water, input-output analysis, Minas Gerais, water resources, key sector.

**JEL Codes:** C67; E01; Q25.



## 1. Introdução

A escassez hídrica tem se tornado fenômeno recorrente na região Sudeste do Brasil, com períodos secos prolongados e maior variabilidade pluviométrica frequentemente associados a mudanças em padrões climáticos em nível regional e global (De Abreu *et al.* 2019; Marengo 2014; Silva 2018; Zilli *et al.* 2017). Além dos efeitos nocivos ao meio ambiente, como a perda de biodiversidade, entre suas 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 torna-os 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: 9). A escassez hídrica tem se destacado 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 cerca de 30% do seu 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% de sua capacidade no final de 2015, apesar de sua total recuperação no começo de 2020.<sup>1</sup> Apesar do 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.

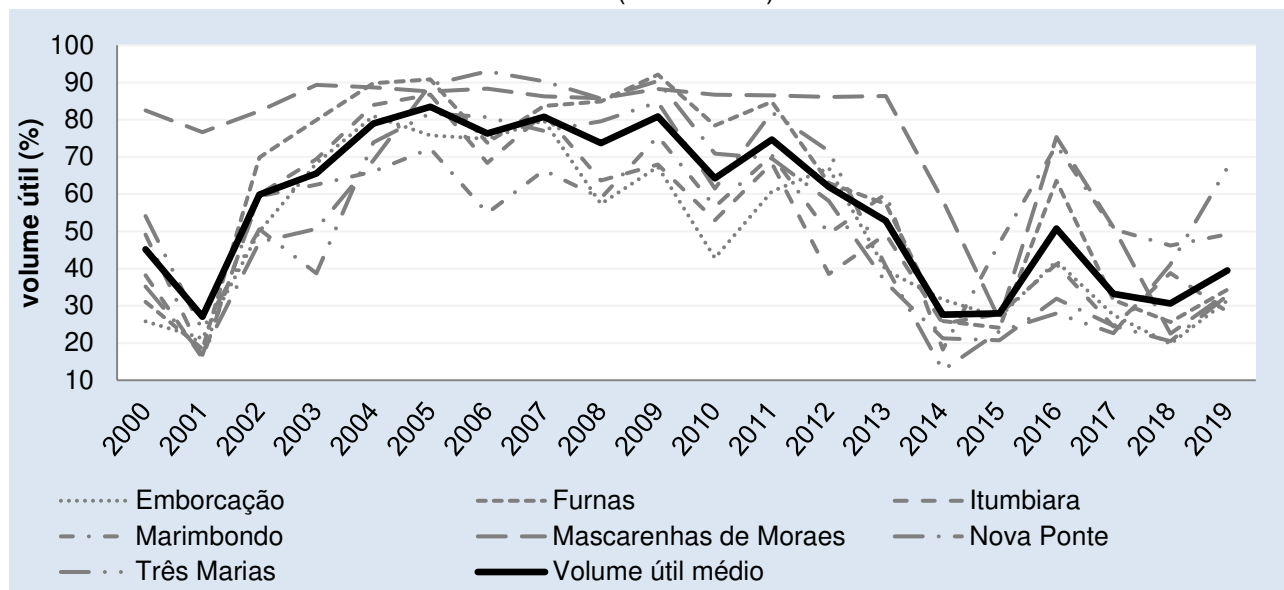
A multiplicidade de fenômenos condicionantes do regime de chuvas em Minas Gerais, antropogênicos ou não (mudanças climáticas globais e continentais, como fenômenos oceânicos e ciclos atmosféricos amazônicos, alteração da cobertura vegetal local etc.), tornam difíceis previsões confiáveis. O foco de políticas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

<sup>1</sup> Disponível em <http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/aba>

[stecimento-de-agua/nivel-dos-reservatorios](http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/aba/abastecimento-de-agua/nivel-dos-reservatorios).  
Acesso em 10 de março de 2020.



Figura 1 – Volume útil dos principais reservatórios de Minas Gerais – médias anuais e volume útil médio (2000-2019)



Fonte: elaboração própria a partir dos dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em [http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/dados\\_hidrologicos\\_volumes.aspx](http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/dados_hidrologicos_volumes.aspx). Acesso em 18 de maio de 2020.

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 *et al.* (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 2008; 2015; 2018; 2020) e a recente disponibilização de dados acerca dos usos consuntivos da água no Brasil (ANA 2019) permitem em conjunto investigações mais aprofundadas acerca das relações entre a oferta de recursos hídricos e a estrutura produtiva em nível regional. De acordo com ANA (2019: 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, o 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 avaliar 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 setores 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 usos consuntivos da água referidos acima. 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 o próprio Leontief (1986: 241-293) investigando impactos e externalidades ambientais, como a poluição do ar. Tais aplicações vêm se intensificando à medida 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 e Pearson 1995).

As aplicações ambientais de modelos insumo-produto baseiam-se 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 *et al.* 2013; Gowdy e Miller 1987; Lenzen 1998; Magalhães e Domingues 2016; Perobelli *et al.* 2015; Proops *et al.* 1993; Vale *et al.* 2017). Alternativamente, análises de fluxos materiais referem-se 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, busca chamar atenção para 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 consequências do crescimento econômico sobre a retirada e perda da qualidade da água na China. Os autores analisaram a estrutura de comércio inter-regional do país e seus 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 do mesmo 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 desse recurso. Ademais, em nível municipal, Wang *et al.* (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 em sua estrutura produtiva que a tornem uma região ainda mais importadora de água virtual.

Outros estudos lançam mão do método também para compor análises setoriais das transferências de água virtual, tendo em vista

seu papel direcionador de políticas públicas que visem conjugar desenvolvimento econômico e conservação de recursos naturais. Mubako *et al.* (2013) discutem o uso e a gestão sustentáveis da água (incluindo seus custos de oportunidade) nos estados americanos da Califórnia e Illinois em 2008, indicando, entre outros resultados, os altos requerimentos hídricos (uso de água por unidade de produto) de setores cujo valor agregado é relativamente baixo, como a aquicultura, agricultura, geração de energia elétrica, pecuária e mineração. Seguindo a mesma abordagem, Bogra *et al.* (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 os 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 aquele adotado por Carvalho *et al.* (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 aqui observar a evolução da

---

<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 *et al.* 2004).



estrutura produtiva do estado no período 2005-2016 em sua 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 exportada por setor, a fim de se embasar políticas públicas necessárias principalmente em cenários de crise hídrica mais duradouros.

### 3. Metodologia

A metodologia adotada tem como base a conceituação de Miller e Blair (2009: 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:

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

em que  $A$  é a matriz de coeficientes diretos, que indica a quantidade de insumo de um setor  $i$  necessária 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 a demanda final é então dada por:

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

em que  $L = (I - A)^{-1}$  é a matriz de coeficientes técnicos diretos e indiretos, também chamada de matriz de Leontief. Os elementos dessa matriz 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 incorporar os fluxos de grandezas físicas em uma economia, dados portanto 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: 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 identidade

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

na qual 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  $g$  sua demanda total. Assim, a matriz  $Z^h$  será composta pelas linhas da matriz  $Z$  de fluxos monetários intersetoriais, exceto pela linha correspondente ao setor hídrico, que deve ser substituída pelo vetor-linha  $H$ , em unidades físicas (vazão de retirada de água em  $m^3/s$ ):

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

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

<sup>3</sup> O conceito de setor-chave foi desenvolvido por Rasmussen (1956) com base nos efeitos multiplicadores da demanda final. Segundo Souza *et al.* (2017), “[s]etores 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”.



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

A partir da definição  $Z = A * diag(X)$ , 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:

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

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 água embutida em todos os insumos desse setor mais sua respectiva parcela nas retiradas diretas a partir do ambiente que, nesse caso, supõe-se originárias apenas do setor hídrico. Em termos matriciais:

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

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

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

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 via identificação de setores-chave proposta aqui se baseia em método análogo ao adotado em outras aplicações ambientais de modelos insumo-produto, como Alcántara e Padilla (2003) e Carvalho *et al.* (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  $\gamma$ :

$$\begin{aligned} \Delta\Gamma &= \tau * \Delta X^h = \tau * L^h * \Delta F^h = \\ &= \tau * L^h * F^h * \gamma \end{aligned} \quad (11)$$

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

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

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):

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



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

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:

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

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 do setor  $i$  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 ( $\Gamma_D^\varepsilon$ ).<sup>5</sup> 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 sua 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 *et al.* 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,  $P^h$ :

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

<sup>5</sup> O uso de medianas para a caracterização de setores-chave segue a literatura (Alcántara e Padilla, 2003; Carvalho *et al.*, 2013). O uso da mediana (e não da média) é mais indicado como tendência central em distribuições assimétricas. Em todo caso, essa caracterização apresenta

certa discricionariedade, podendo ser adotadas alternativas como, por exemplo, setores-chaves em que os impactos totais e distributivos são respectivamente maiores do que aqueles de X% (e.g. 90%) dos setores.



#### 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 (2008; 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>6</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 há consumo, os resultados obtidos para consumo se aproximam suficientemente daqueles obtidos para as retiradas, fazendo com que a ênfase nos últimos torne a exposição mais concisa e focada nos pontos mais 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 (2008) foi então 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 a matriz em termos de 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.

---

<sup>6</sup> Disponível em [http://www.snirh.gov.br/snirh/snirh-1/acesso-](http://www.snirh.gov.br/snirh/snirh-1/acesso-tematico/usos-da-agua)

[tematico/usos-da-agua](http://www.snirh.gov.br/snirh/snirh-1/acesso-tematico/usos-da-agua). Acesso em 10 de maio de 2020.

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

Fonte: elaboração própria a partir de dados do SNIRH. Disponível em <http://www.snirh.gov.br/snirh/snirh-1/aceso-tematico/usos-da-agua>. Acesso 10 de maio de 2020.

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 (Apêndice A).<sup>7</sup> 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 para ano de 2015 (ANA 2017a; 2017b);<sup>8</sup> irrigação: 100%

<sup>7</sup> A premissa de que as retiradas variam linearmente com a produção, apesar de ser padrão em análises insumo-produto, apresenta certas limitações, como, por exemplo, diante da possibilidade de mudanças tecnológicas, principalmente ao longo de períodos extensos.

<sup>8</sup> As vazões de retirada foram retiradas diretamente de ANA (2017b), sendo que a metodologia de cálculo adotada consiste “na aplicação dos coeficientes técnicos (vazões médias anuais, por empregado, por tipologia

industrial) ao número total de empregados de determinada tipologia em determinado município, conforme dados da RAIS [Relação Anual de Informações Sociais]” (ANA 2017a, p. 13 e Figura 2). Diferenças entre as desagregações das matrizes insumo-produto de Minas Gerais e aquela utilizada em ANA (2017b) foram dirimidas segundo os mesmos critérios de agregação empregados no processo de compatibilização setorial entre as matrizes de 2005, 2008, 2013 e 2016.



no setor “Agricultura, silvicultura e exploração florestal”; mineração: 100% no setor “Indústria extrativa mineral”; termoelectricidade: 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: 65), tendo em vista a baixa variação da área superficial da soma dos reservatórios do estado no período.<sup>9</sup>

## 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).

<sup>9</sup> Vale lembrar que diferentes decisões no tocante à desagregação podem alterar os resultados de forma significativa, sendo que o refino do processo e das informações relacionados a essas decisões é sugerido como tema para estudos subsequentes.

<sup>10</sup> Os valores particularmente altos obtidos para “eletricidade, gás, água e limpeza urbana” refletem aspectos metodológicos da construção da matriz híbrida de insumo-produto, já que se

### 5.1 Requerimentos hídricos totais

Os resultados dos requerimentos hídricos totais para os quatro anos analisados estão apresentados na Tabela 2 (o Apêndice B traz os resultados dos requerimentos hídricos diretos e indiretos). 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;<sup>10</sup> “agricultura, silvicultura e exploração florestal”, de 0,0075 a 0,0046; “pecuária e pesca”, de 0,0048 a 0,0015; “fabricação de alimentos”, de 0,0032 a 0,0008; “indústria extrativa mineral”, de 0,0018 a 0,0007; e “fabricação de bebidas”, de 0,0019 a 0,0004 m<sup>3</sup>/s por R\$1.000.000,00. Tais setores, assim como alguns de seus demandantes (e.g. “fabricação de produtos do fumo”, “fabricação de produtos têxteis”, “fabricação de artefatos de couro e calçados”, “fabricação de celulose, papel e produtos de papel”, “metalurgia”, etc.), demonstram como cadeias produtivas dependentes da irrigação,

trata do setor hídrico, ou seja, o setor ofertante pelo qual retiradas diretas de água a partir do ambiente entram na economia. Como demandante, suas retiradas se relacionam à termoelectricidade e à evaporação líquida de reservatórios superficiais (cf. Apêndice A). A demanda hídrica proveniente da hidroelectricidade não constitui uso consuntivo da água, razão pela qual não foi contemplada no estudo.



do uso animal e da mineração se colocam como intensivas em retiradas de água. Os demais setores não apresentaram

requerimentos hídricos totais relevantes em termos comparativos.

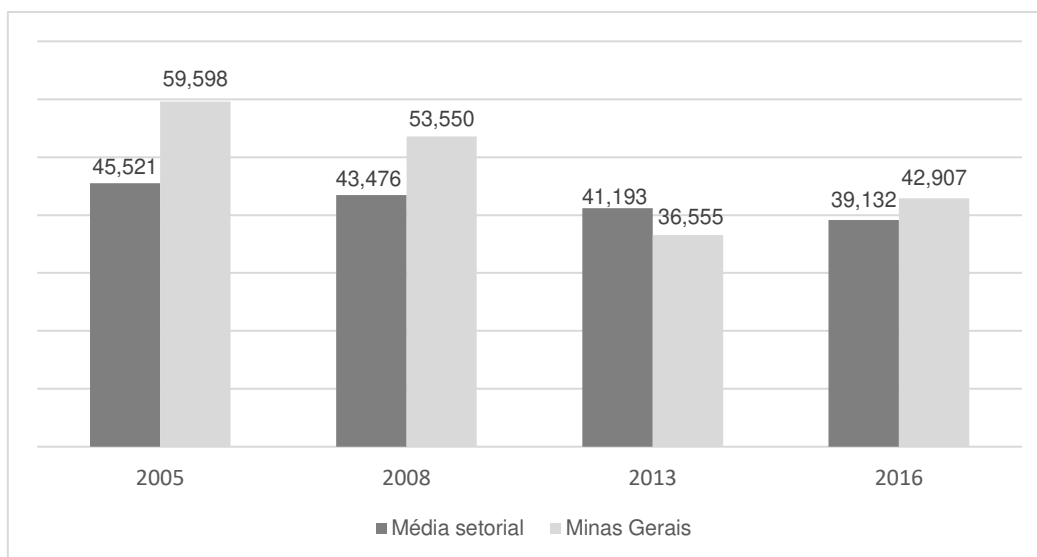
Tabela 2 – Requerimentos hídricos totais de retirada de água por ano de análise (vazão de retirada em  $10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  por R\$1.000.000,00 de demanda final) e percentual de variação acumulado a partir de 2005

| Setor   | 2005         | 2008             | 2013             | 2016             | Setor  | 2005           | 2008              | 2013              | 2016               |
|---|--------------|------------------|------------------|------------------|--|----------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Agricultura, silvicultura e exploração florestal                    | 7,479<br>(-) | 5,519<br>(-26,2) | 5,121<br>(-31,5) | 4,579<br>(-38,8) | Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos      | 0,163<br>(-)   | 0,060<br>(-63,1)  | 0,038<br>(-76,8)  | 0,027<br>(-83,6)   |
| Pecuária e pesca  | 4,753<br>(-) | 2,631<br>(-44,7) | 2,016<br>(-57,6) | 1,476<br>(-68,9) | Fabricação de veículos automotores                           | 0,128<br>(-)   | 0,056<br>(-56,6)  | 0,039<br>(-69,7)  | 0,033<br>(-74,6)   |
| Indústria extrativa mineral   | 1,802<br>(-) | 1,185<br>(-34,2) | 0,420<br>(-76,7) | 0,724<br>(-59,8) | Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores   | 0,150<br>(-)   | 0,070<br>(-53,4)  | 0,046<br>(-69,3)  | 0,040<br>(-73,5)   |
| Fabricação de alimentos   | 3,199<br>(-) | 1,948<br>(-39,1) | 1,093<br>(-65,8) | 0,848<br>(-73,5) | Fabricação de outros equipamentos de transporte              | 0,158<br>(-)   | 0,078<br>(-50,5)  | 0,035<br>(-77,8)  | 0,016<br>(-89,8)   |
| Fabricação de bebidas   | 1,913<br>(-) | 2,016<br>(5,4)   | 0,540<br>(-71,8) | 0,388<br>(-79,7) | Fabricação de móveis, produtos de madeira e artigos diversos | 0,426<br>(-)   | 0,286<br>(-33,0)  | 0,149<br>(-65,1)  | 0,107<br>(-74,9)   |
| Fabricação de produtos do fumo                                      | 1,965<br>(-) | 0,038<br>(-98,1) | 0,436<br>(-77,8) | 0,889<br>(-54,7) | Eletricidade, gás, água e limpeza urbana                     | 1.561,7<br>(-) | 1.501,3<br>(-3,9) | 1.427,6<br>(-8,6) | 1.357,4<br>(-13,1) |
| Fabricação de produtos têxteis                                      | 0,761<br>(-) | 0,435<br>(-42,8) | 0,329<br>(-56,8) | 0,273<br>(-64,1) | Construção   | 0,214<br>(-)   | 0,153<br>(-28,3)  | 0,087<br>(-59,4)  | 0,064<br>(-70,2)   |
| Fabricação de artefatos de couro e calçados                         | 1,203<br>(-) | 0,764<br>(-36,5) | 0,519<br>(-56,9) | 0,327<br>(-72,8) | Comércio   | 0,168<br>(-)   | 0,109<br>(-35,1)  | 0,073<br>(-56,5)  | 0,066<br>(-60,3)   |
| Fabricação de artigos do vestuário e acessórios                     | 0,451<br>(-) | 0,354<br>(-21,6) | 0,230<br>(-49,1) | 0,160<br>(-64,6) | Transporte, armazenagem e correio                            | 0,276<br>(-)   | 0,150<br>(-45,7)  | 0,118<br>(-57,4)  | 0,083<br>(-69,8)   |
| Fabricação de celulose, papel e produtos de papel                   | 1,203<br>(-) | 0,780<br>(-35,2) | 0,895<br>(-25,6) | 0,558<br>(-53,6) | Serviços de informação                                       | 0,176<br>(-)   | 0,130<br>(-26,5)  | 0,068<br>(-61,4)  | 0,050<br>(-71,5)   |
| Fabricação de derivados do petróleo e álcool                        | 1,089<br>(-) | 0,550<br>(-49,5) | 0,557<br>(-48,8) | 0,461<br>(-57,7) | Intermediação financeira e seguros                           | 0,178<br>(-)   | 0,118<br>(-33,9)  | 0,061<br>(-65,9)  | 0,046<br>(-74,4)   |
| Fabricação de produtos farmacêuticos, perfumaria, higiene e limpeza | 0,383<br>(-) | 0,321<br>(-16,4) | 0,055<br>(-85,7) | 0,039<br>(-89,8) | Atividades imobiliárias e aluguel                            | 0,121<br>(-)   | 0,083<br>(-31,8)  | 0,041<br>(-65,8)  | 0,035<br>(-71,4)   |
| Fabricação de produtos de borracha e plástico                       | 0,245<br>(-) | 0,217<br>(-11,6) | 0,121<br>(-50,7) | 0,066<br>(-73,0) | Serviços de alojamento e alimentação                         | 0,684<br>(-)   | 0,561<br>(-17,9)  | 0,223<br>(-67,4)  | 0,117<br>(-82,9)   |
| Fabricação de produtos químicos                                     | 0,304<br>(-) | 0,350<br>(15,0)  | 0,090<br>(-70,5) | 0,062<br>(-79,6) | Serviços prestados às empresas                               | 0,185<br>(-)   | 0,121<br>(-34,6)  | 0,059<br>(-68,1)  | 0,043<br>(-76,9)   |
| Fabricação de produtos de minerais não-metálicos                    | 0,332<br>(-) | 0,263<br>(-20,9) | 0,141<br>(-57,7) | 0,130<br>(-60,9) | Educação e saúde mercantil                                   | 0,217<br>(-)   | 0,146<br>(-32,5)  | 0,059<br>(-72,6)  | 0,051<br>(-76,3)   |
| Metalurgia  | 0,382<br>(-) | 0,285<br>(-25,4) | 0,255<br>(-33,3) | 0,245<br>(-36,0) | Administração pública  | 0,197<br>(-)   | 0,131<br>(-33,4)  | 0,058<br>(-70,7)  | 0,046<br>(-76,6)   |
| Fabricação de produtos de metal exceto máquinas e equipamentos      | 0,182<br>(-) | 0,142<br>(-22,3) | 0,069<br>(-62,4) | 0,054<br>(-70,2) | Outros serviços  | 0,308<br>(-)   | 0,234<br>(-24,0)  | 0,073<br>(-76,2)  | 0,048<br>(-84,5)   |
| Fabricação de máquinas e equipamentos                               | 0,200<br>(-) | 0,072<br>(-64,1) | 0,041<br>(-79,4) | 0,034<br>(-82,9) |  |                |                   |                   |                    |

Fonte: elaboração própria.



Gráfico 1 – Requerimentos hídricos totais (vazão de retirada em  $10^{-3}$  m<sup>3</sup>/s por R\$1.000.000 de demanda final): média setorial e total para a economia mineira em 2005, 2008, 2013 e 2016.



Fonte: elaboração própria.

O Gráfico 1 apresenta as médias setoriais, para cada ano, dos requerimentos hídricos totais, assim como o coeficiente obtido para a economia mineira (obtido 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, para a economia mineira, houve redução de aproximadamente 28% do requerimento hídrico total. A maior queda dos requerimentos hídricos totais da economia mineira entre 2005 e 2013 poderia ser explicada pela preponderância de efeitos advindos de mudanças nas participações setoriais na economia. Por outro lado, entre 2013 e 2016 esses efeitos atuaram na direção inversa, ao passo que a queda contínua na média setorial dos requerimentos se manteve, sendo atribuída a mudanças tecnológicas no período (que incluiria decisões anuais acerca da destinação de áreas de plantio a lavouras mais ou menos dependentes da irrigação, ou

acerca da composição dos rebanhos no estado).

## 5.2 Setores-chave em usos consuntivos da água

A classificação dos 35 setores em relação a seus impactos totais e distributivos está apresentada nos Gráficos 2, 3, 4 e 5, por ano de análise. 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 como um resultado inesperado, mas que poderia ser explicado pelos seus fortes encadeamentos enquanto demandante de insumos de outros serviços que, de forma geral, apresentaram altos impactos distributivos.<sup>11</sup> 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.

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 seus 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 própria a suas atividades.

De 25 a 30% das atividades analisadas foram classificadas como setores-chave em cada ano (ou seja, tanto seus impactos totais quanto distributivos se encontraram acima das respectivas medianas), indicando um significativo conteúdo de água virtual em inúmeras transações intersetoriais relevantes do ponto de vista de cadeias produtivas. Esse resultado leva a crer 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 os setores 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.

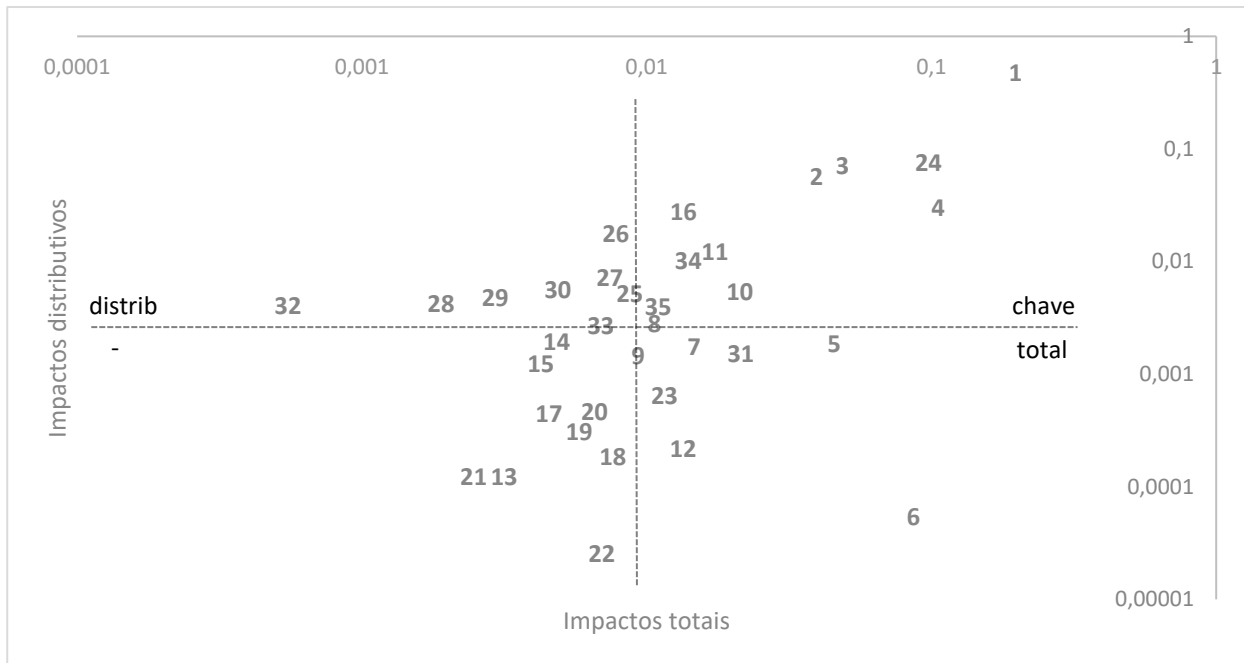
---

<sup>11</sup> Os altos impactos distributivos da administração pública, por sua vez, poderiam estar relacionados a questões metodológicas,

como a definição de setor-chave, a desagregação das retiradas de água entre os setores de serviços e o próprio peso desse setor entre eles.



Gráfico 2 – Impactos totais e distributivos em 2005 e caracterização setorial (“chave”, “distrib”, “total”, “-”) (log-log).

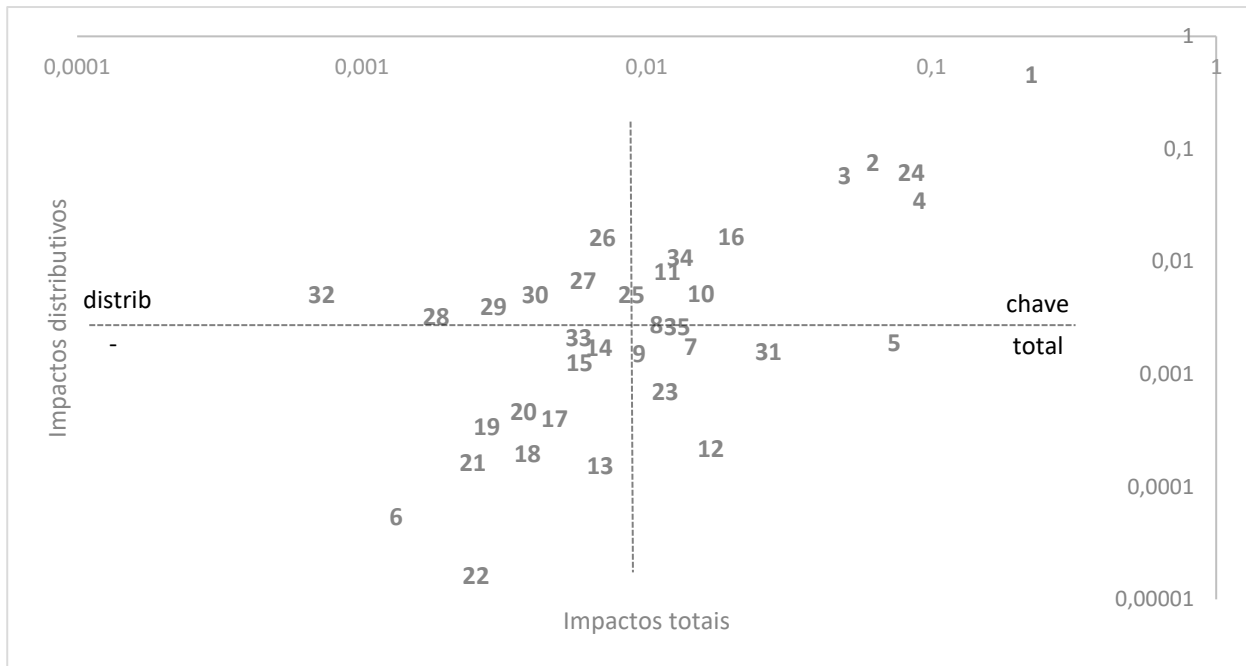


Legenda: 1- Agricultura, silvicultura e exploração florestal; 2- Pecuária e pesca; 3- Indústria extrativa mineral; 4- Fabricação de alimentos; 5- Fabricação de bebidas; 6- Fabricação de produtos do fumo; 7- Fabricação de produtos têxteis; 8- Fabricação de artefatos de couro e calçados; 9- Fabricação de artigos do vestuário e acessórios; 10- Fabricação de celulose, papel e produtos de papel; 11- Fabricação de derivados do petróleo e álcool; 12- Fabricação de produtos farmacêuticos, perfumaria, higiene e limpeza; 13- Fabricação de produtos de borracha e plástico; 14- Fabricação de produtos químicos; 15- Fabricação de produtos de minerais não-metálicos; 16- Metalurgia; 17- Fabricação de produtos de metal exceto máquinas e equipamentos; 18- Fabricação de máquinas e equipamentos; 19- Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos; 20- Fabricação de veículos automotores; 21- Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores; 22- Fabricação de outros equipamentos de transporte; 23- Fabricação de móveis, produtos de madeira e artigos diversos; 24- Eletricidade, gás, água e limpeza urbana; 25- Construção; 26- Comércio; 27- Transporte, armazenagem e correio; 28- Serviços de informação; 29- Intermediação financeira e seguros; 30- Atividades imobiliárias e aluguel; 31- Serviços de alojamento e alimentação; 32- Serviços prestados às empresas; 33- Educação e saúde mercantil; 34- Administração pública; 35- Outros serviços.

Fonte: elaboração própria.



Gráfico 3 – Impactos totais e distributivos em 2008 e caracterização setorial (“chave”, “distrib”, “total”, “-”) (log-log).



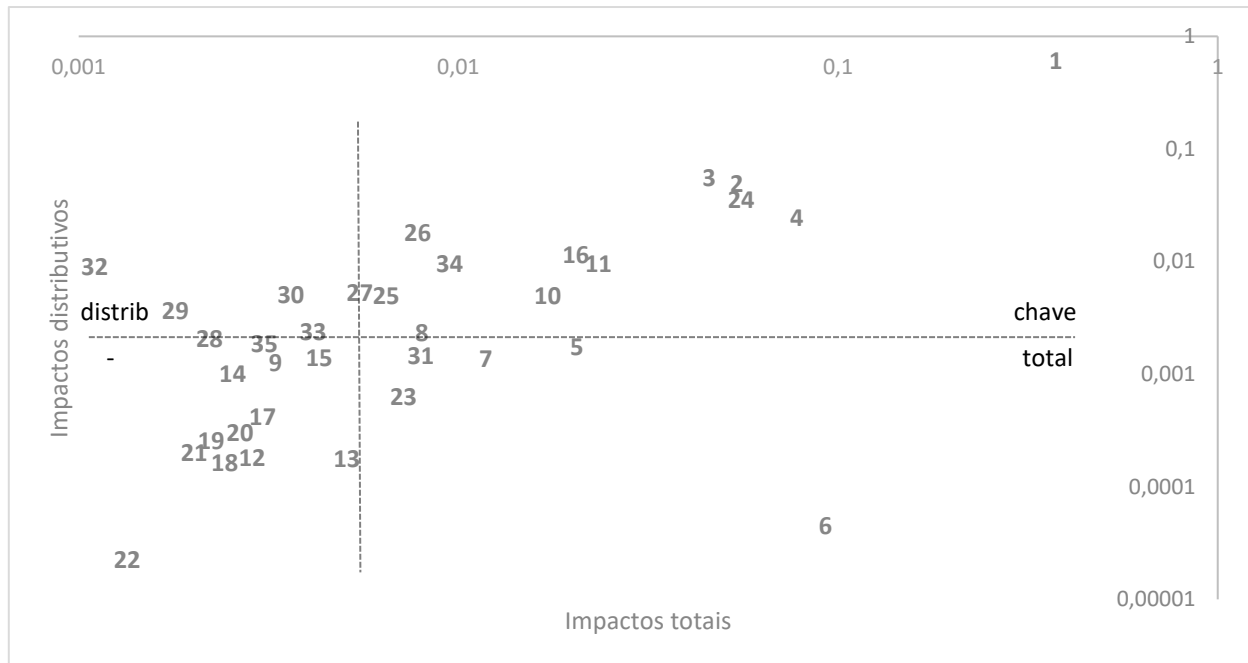
Legenda: 1- Agricultura, silvicultura e exploração florestal; 2- Pecuária e pesca; 3- Indústria extrativa mineral; 4- Fabricação de alimentos; 5- Fabricação de bebidas; 6- Fabricação de produtos do fumo; 7- Fabricação de produtos têxteis; 8- Fabricação de artefatos de couro e calçados; 9- Fabricação de artigos do vestuário e acessórios; 10- Fabricação de celulose, papel e produtos de papel; 11- Fabricação de derivados do petróleo e álcool; 12- Fabricação de produtos farmacêuticos, perfumaria, higiene e limpeza; 13- Fabricação de produtos de borracha e plástico; 14- Fabricação de produtos químicos; 15- Fabricação de produtos de minerais não-metálicos; 16- Metalurgia; 17- Fabricação de produtos de metal exceto máquinas e equipamentos; 18- Fabricação de máquinas e equipamentos; 19- Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos; 20- Fabricação de veículos automotores; 21- Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores; 22- Fabricação de outros equipamentos de transporte; 23- Fabricação de móveis, produtos de madeira e artigos diversos; 24- Eletricidade, gás, água e limpeza urbana; 25- Construção; 26- Comércio; 27- Transporte, armazenagem e correio; 28- Serviços de informação; 29- Intermediação financeira e seguros; 30- Atividades imobiliárias e aluguel; 31- Serviços de alojamento e alimentação; 32- Serviços prestados às empresas; 33- Educação e saúde mercantil; 34- Administração pública; 35- Outros serviços.

Fonte: elaboração própria.





Gráfico 5 – Impactos totais e distributivos em 2016 e caracterização setorial (“chave”, “distrib”, “total”, “-”) (log-log).



Legenda: 1- Agricultura, silvicultura e exploração florestal; 2- Pecuária e pesca; 3- Indústria extrativa mineral; 4- Fabricação de alimentos; 5- Fabricação de bebidas; 6- Fabricação de produtos do fumo; 7- Fabricação de produtos têxteis; 8- Fabricação de artefatos de couro e calçados; 9- Fabricação de artigos do vestuário e acessórios; 10- Fabricação de celulose, papel e produtos de papel; 11- Fabricação de derivados do petróleo e álcool; 12- Fabricação de produtos farmacêuticos, perfumaria, higiene e limpeza; 13- Fabricação de produtos de borracha e plástico; 14- Fabricação de produtos químicos; 15- Fabricação de produtos de minerais não-metálicos; 16- Metalurgia; 17- Fabricação de produtos de metal exceto máquinas e equipamentos; 18- Fabricação de máquinas e equipamentos; 19- Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos; 20- Fabricação de veículos automotores; 21- Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores; 22- Fabricação de outros equipamentos de transporte; 23- Fabricação de móveis, produtos de madeira e artigos diversos; 24- Eletricidade, gás, água e limpeza urbana; 25- Construção; 26- Comércio; 27- Transporte, armazenagem e correio; 28- Serviços de informação; 29- Intermediação financeira e seguros; 30- Atividades imobiliárias e aluguel; 31- Serviços de alojamento e alimentação; 32- Serviços prestados às empresas; 33- Educação e saúde mercantil; 34- Administração pública; 35- Outros serviços.

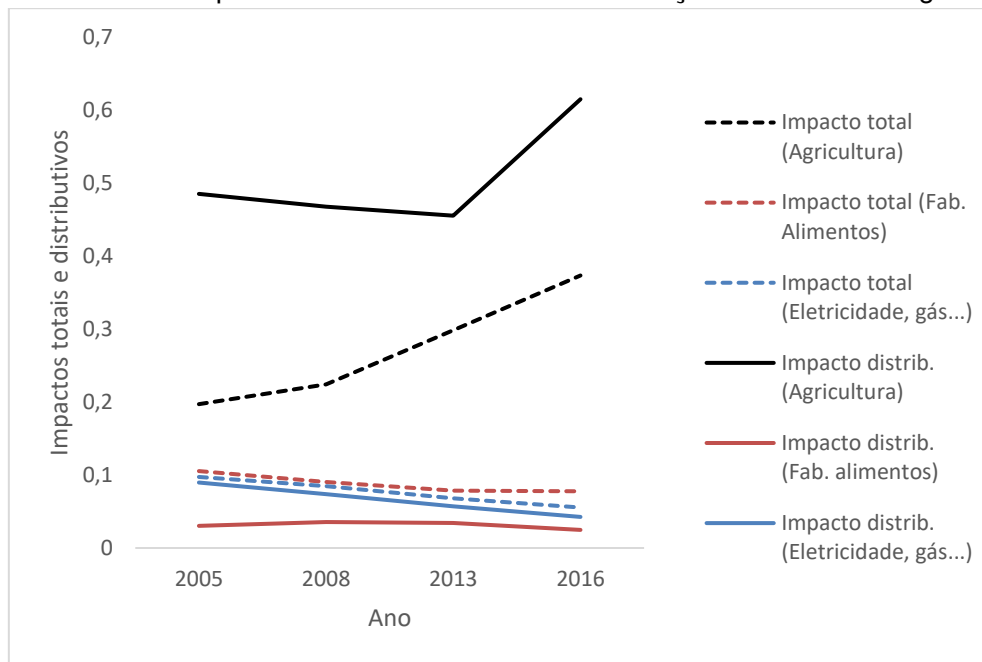
Fonte: elaboração própria.

Três setores merecem destaque nessa análise: “agricultura, silvicultura e exploração florestal”, “eletricidade, água, gás e limpeza urbana” e “fabricação de alimentos”. A plotagem dos seus impactos ao longo do período permite visualizar a relevância desses setores (Gráfico 6). 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 pelo menos 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.



Gráfico 6 - Impactos distributivos e totais em relação à retirada de água



Fonte: elaboração própria.

Tais resultados justificam uma análise mais detalhada acerca da relação do setor agrícola com a retirada de água para irrigação. Além de, como já mencionado, ele ser o líder em usos consuntivos da água em números absolutos e apresentar os maiores impactos em termos de encadeamentos setoriais, seu desempenho em termos hídricos se deteriorou entre 2005 e 2016. De acordo com o Censo Agropecuário 2017, realizado pelo 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>12</sup> De acordo com dados da Pesquisa

Agrícola Municipal do IBGE<sup>13</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 ou 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 sustentáveis diante do cenário de oferta limitada no estado.

### 5.3 Água virtual incorporada nas exportações

As vazões de retirada de água virtual incorporada nas exportações internacionais do estado, compostas pelo produto dos requerimentos hídricos totais pelos valores monetários de exportação, são mostradas na

<sup>12</sup> ANA (2019) discorre acerca da intensidade do uso da água em lavouras irrigadas como a cana-de-açúcar e o arroz.

<sup>13</sup> Disponível em

<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agr>

[icultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=o-que-e](https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agr/producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=o-que-e). Acesso em 25 de

abril de 2020.



Tabela 3, assim como a participação das exportações no total de água virtual demandado pela economia mineira. Os setores com as maiores vazões embutidas nas exportações foram, em ordem

decrecente, “agricultura, silvicultura e exploração florestal”, “indústria extrativa mineral”, “fabricação de alimentos”, “metalurgia” e “fabricação de celulose, papel e produtos de papel”.

Tabela 3 – Água virtual incorporada nas exportações (vazão de retirada em m<sup>3</sup>/s) e a participação das exportações no total de água virtual demandado pela economia mineira (%)

| Setor   | 2005            | 2008            | 2013            | 2016            | Setor  | 2005           | 2008           | 2013           | 2016           |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Agricultura, silvicultura e exploração florestal                    | 30,63<br>(47,2) | 28,59<br>(36,9) | 41,70<br>(37,0) | 65,64<br>(43,1) | Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos      | 0,04<br>(7,6)  | 0,03<br>(6,4)  | 0,02<br>(5,4)  | 0,02<br>(5,5)  |
| Pecuária e pesca  | 0,05<br>(0,5)   | 0,65<br>(3,4)   | 0,52<br>(2,8)   | 0,71<br>(3,8)   | Fabricação de veículos automotores                           | 0,11<br>(7,3)  | 0,13<br>(11,5) | 0,08<br>(6,8)  | 0,06<br>(16,5) |
| Indústria extrativa mineral   | 9,26<br>(58,1)  | 13,77<br>(80,6) | 13,98<br>(77,9) | 15,93<br>(87,0) | Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores   | 0,04<br>(14,4) | 0,05<br>(14,4) | 0,05<br>(16,4) | 0,03<br>(13,7) |
| Fabricação de alimentos   | 3,86<br>(7,5)   | 4,09<br>(9,7)   | 4,69<br>(10,1)  | 5,03<br>(10,2)  | Fabricação de outros equipamentos de transporte              | 0,00<br>(0,3)  | 0,00<br>(14,4) | 0,00<br>(9,2)  | 0,00<br>(3,9)  |
| Fabricação de bebidas   | 0,00<br>(0,1)   | 0,33<br>(9,7)   | 0,00<br>(0,3)   | 0,01<br>(0,3)   | Fabricação de móveis, produtos de madeira e artigos diversos | 0,02<br>(2,3)  | 0,04<br>(3,7)  | 0,05<br>(4,4)  | 0,04<br>(5,7)  |
| Fabricação de produtos do fumo                                      | 0,00<br>(0,0)   | 0,00<br>(0,0)   | 0,00<br>(0,3)   | 0,00<br>(0,3)   | Eletricidade, gás, água e limpeza urbana                     | 0,00<br>(0,0)  | 0,05<br>(0,0)  | 0,63<br>(0,0)  | 1,23<br>(0,0)  |
| Fabricação de produtos têxteis                                      | 0,13<br>(9,6)   | 0,10<br>(8,2)   | 0,03<br>(2,7)   | 0,04<br>(4,5)   | Construção   | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,0)  |
| Fabricação de artefatos de couro e calçados                         | 0,06<br>(5,3)   | 0,04<br>(3,6)   | 0,13<br>(8,8)   | 0,11<br>(9,4)   | Comércio   | 0,28<br>(9,1)  | 0,22<br>(7,8)  | 0,28<br>(6,9)  | 0,32<br>(7,2)  |
| Fabricação de artigos do vestuário e acessórios                     | 0,00<br>(0,4)   | 0,03<br>(3,6)   | 0,00<br>(0,5)   | 0,00<br>(0,3)   | Transporte, armazenagem e correio                            | 0,26<br>(10,0) | 0,12<br>(5,3)  | 0,17<br>(5,9)  | 0,17<br>(7,4)  |
| Fabricação de celulose, papel e produtos de papel                   | 0,60<br>(21,9)  | 0,82<br>(35,3)  | 1,13<br>(44,0)  | 0,95<br>(36,7)  | Serviços de informação                                       | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,0)  |
| Fabricação de derivados do petróleo e álcool                        | 0,03<br>(0,7)   | 0,11<br>(4,0)   | 0,25<br>(5,4)   | 0,24<br>(3,3)   | Intermediação financeira e seguros                           | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,0)  |
| Fabricação de produtos farmacêuticos, perfumaria, higiene e limpeza | 0,00<br>(0,4)   | 0,02<br>(3,6)   | 0,03<br>(16,3)  | 0,02<br>(10,7)  | Atividades imobiliárias e aluguel                            | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,0)  |
| Fabricação de produtos de borracha e plástico                       | 0,01<br>(4,8)   | 0,03<br>(6,7)   | 0,02<br>(3,1)   | 0,01<br>(2,6)   | Serviços de alojamento e alimentação                         | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,1)  | 0,00<br>(0,0)  | 0,09<br>(4,9)  |
| Fabricação de produtos químicos                                     | 0,19<br>(18,4)  | 0,35<br>(29,3)  | 0,08<br>(14,6)  | 0,09<br>(15,8)  | Serviços prestados às empresas                               | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,2)  | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,0)  |
| Fabricação de produtos de minerais não-metálicos                    | 0,06<br>(9,4)   | 0,09<br>(10,4)  | 0,05<br>(6,2)   | 0,07<br>(9,9)   | Educação e saúde mercantil                                   | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,1)  | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,0)  |
| Metalurgia  | 3,02<br>(44,6)  | 3,44<br>(31,8)  | 2,82<br>(32,6)  | 3,58<br>(40,4)  | Administração pública  | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,0)  |
| Fabricação de produtos de metal exceto máquinas e equipamentos      | 0,03<br>(6,4)   | 0,02<br>(4,5)   | 0,01<br>(2,8)   | 0,01<br>(3,8)   | Outros serviços  | 0,00<br>(0,0)  | 0,01<br>(0,4)  | 0,00<br>(0,0)  | 0,00<br>(0,0)  |
| Fabricação de máquinas e equipamentos                               | 0,06<br>(8,9)   | 0,03<br>(6,3)   | 0,02<br>(7,6)   | 0,02<br>(9,0)   |  |                |                |                |                |

Fonte: elaboração própria.

Dada a redução gradual dos requerimentos hídricos totais na maioria dos setores, as

grandes variações positivas verificadas na “agricultura, silvicultura e exploração



florestal”, na “indústria extrativa mineral” e na “fabricação de alimentos” 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 dessas exportações em valores monetários (a preços constantes conforme IBGE [2017]). Nos casos da “metalurgia” e da “fabricação de celulose, papel e produtos de papel”, a manutenção ou oscilação dos níveis de água virtual exportada em cada um dos anos foi o resultado da compensação entre requerimentos hídricos totais decrescentes e volumes monetários de exportação respectivamente 1,8 e 3,4 vezes maiores. Setores menos relevantes e cujas exportações se mantiveram estagnadas ou em declínio apresentaram, em geral, vazões de retirada com o mesmo comportamento.

## 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 (em se que pesem as influências das participações setoriais e mudanças tecnológicas sobre esses resultados), 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”.

As atividades agropecuárias e extrativas, a “eletricidade, gás, água e limpeza urbana”, a “administração pública” e os 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 aqueles com os mais fortes elos intersetoriais enquanto ofertantes e demandantes no contexto das retiradas de água. A detecção de um grande número de setores-chave (que, vale lembrar, está intimamente relacionada à própria definição e método escolhidos para caracterizar um setor como 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, seria justificada 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 maiores 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 acerca do comércio internacional de água virtual e seus impactos sobre regiões que enfrentam cenários de escassez hídrica.



## Referências

Alcántara, V. e E. Padilla., 2003. “Key” sectors in final energy consumption: an input–output application to the Spanish case. *Energy Policy* Vol. 31: 1673-1678.

Allan, J.A., 2003. Virtual water – the water, food, and trade nexus. Useful concept or misleading metaphor? *Water International* Vol. 28(1): 106-113.  
<https://doi.org/10.1080/02508060.2003.9724812>

ANA. Agência Nacional de Águas., 2017a. Água na indústria: uso e coeficientes técnicos. Disponível em [http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/aceso-tematico/usos-da-agua/aguanaindustria\\_usoecoeficientestecnicos.pdf](http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/aceso-tematico/usos-da-agua/aguanaindustria_usoecoeficientestecnicos.pdf). Acesso em 10 de abril de 2020.

ANA. Agência Nacional de Águas., 2017b. Demanda hídrica da indústria de transformação em 2015 - Resultados por UF, Município e tipologia industrial. Disponível em <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/sr/vpt/metadata.show?id=460&currTab=simple>. Acesso em 10 de abril de 2020.

ANA. Agência Nacional de Águas., 2019. Manual de usos consuntivos da água. ANA, Brasília. Disponível em <http://www.snirh.gov.br/snirh/snirh-1/aceso-tematico/usos-da-agua>. Acesso em 05 de abril de 2019.

Bogra, S., Bakshi, B.R. e R. Mathur., 2016. Water-withdrawal input-output model of the Indian economy. *Environmental Science & Technology* Vol. 50(3): 1313-1321.

Carvalho, T.S., Santiago, F.S. e F.S. Perobelli., 2013. International trade and emissions: the case of the Minas Gerais state – 2005. *Energy Economics* Vol. 40: 383-395.

De Abreu, R.C., Tett, S.F.B., Schurer, A. e H.R. Rocha., 2019. Attribution of detected temperature trends in Southeast Brazil.

*Geophysical Research Letters* Vol. 46(14): 8407-8414.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente., 2015. Plano de energia e mudanças climáticas de Minas Gerais: sumário executivo. FEAM, Belo Horizonte. Disponível em [http://www.feam.br/images/stories/2015/ENE\\_RGIA\\_M\\_CILMATICAS/010615pemc\\_sumario\\_executivo\\_capa\\_nova\\_ficha\\_catalografica.pdf](http://www.feam.br/images/stories/2015/ENE_RGIA_M_CILMATICAS/010615pemc_sumario_executivo_capa_nova_ficha_catalografica.pdf). Acesso em 15 de março de 2020.

FJP. Fundação João Pinheiro., 2008. Tabela de recursos e usos (TRU-Regional) e matriz de insumo-produto para o Estado de Minas Gerais para o ano de 2005. Anexo estatístico. FJP, Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/produtos-e-servicos1/2737-tabela-de-recursos-e-usos-tru-mg-e-matriz-insumo-produto>. Acesso em 03 de março de 2018.

FJP. Fundação João Pinheiro., 2015. Tabela de recursos e usos e matriz de insumo-produto de Minas Gerais 2008. Anexo estatístico. FJP, Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/produtos-e-servicos1/2737-tabela-de-recursos-e-usos-tru-mg-e-matriz-insumo-produto>. Acesso em 03 de março de 2018.

FJP. Fundação João Pinheiro., 2018. Tabela de recursos e usos e matriz de insumo-produto de Minas Gerais 2013. Anexo estatístico. FJP, Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/produtos-e-servicos1/2737-tabela-de-recursos-e-usos-tru-mg-e-matriz-insumo-produto>. Acesso em 06 de novembro de 2018.

FJP. Fundação João Pinheiro., 2019. Informativo FJP – Contas Regionais: Censo Agropecuário 2017. FJP, Belo Horizonte. 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 05 de junho de 2020.



- FJP. Fundação João Pinheiro., 2020. Tabela de recursos e usos e matriz de insumo-produto de Minas Gerais 2016. Anexo estatístico. FJP, Belo Horizonte. No prelo.
- Gowdy, J.M. e J.L. Miller., 1987. Technological and demand change in energy use: an input-output analysis. *Environmental Planning* Vol. 19: 1387-1398.
- Guan, D. e K. Hubacek., 2007. Assessment of regional trade and virtual water flows in China. *Ecological Economics* Vol. 61: 159-170.
- Hawdon, D. e P. Pearson., 1995. Input-output simulations of energy, environment, economy interactions in the UK. *Energy Economics* Vol. 17: 73-86.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística., 2017. Sistema de Contas Nacionais. Valor adicionado bruto constante e corrente, segundo as atividades - série retropolada - 2000-2017 (Tabela 10.4). IBGE, Brasília. 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 de maio de 2020.
- Lenzen, M., 1998. Primary energy and greenhouse gases embodied in Australian final consumption: an input-output analysis. *Energy Policy* Vol. 26(6): 495-506.
- Lenzen, M., 2009. Understanding virtual water flows: a multiregion input-output case study of Victoria. *Water Resources Research* Vol. 45(9): W09416.
- Leontief, W., 1986. *Input-Output Economics*. 2ª Ed. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Magalhães, A.S. e E.P. Domingues., 2016. Aumento da eficiência energética no Brasil: uma opção para uma economia de baixo carbono? *Economia Aplicada* Vol. 20(3): 273-310.
- Marengo, J.A., 2014. O futuro clima do Brasil. *Revista USP* Vol. 103: 25-32.
- Miller, R. e P. Blair., 2009. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. 2ª Ed. Prentice-Hall, New Jersey, NJ.
- Mongelli, I., Tassielli, G. e B. Notarnicola., 2004. Global warming agreements, international trade and energy/carbon embodiments: an input-output approach to the Italian case. *Energy Policy* Vol. 34: 88-100.
- Mubako, S., Lahiri, S. e C. Lant., 2013. Input-output analysis of virtual water transfers: case study of California and Illinois. *Ecological Economics* Vol. 93: 230-238.
- Perobelli, F.S., Faria, W.S. e V. de A. Vale., 2015. 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* Vol. 52: 228-239.
- Proops, J.L.R., Faber, M. e G. Wagenhals., 1993. Reducing CO<sub>2</sub> emissions: a comparative input-output study for Germany and the UK. Springer, Berlin.
- Rasmussen, P., 1956. *Studies in Intersectoral Relations*. North-Holland Publishing Company, Amsterdam.
- Silva, V.O., 2018. Eventos de seca na região Sudeste do Brasil: ocorrências temporais e comportamento futuro. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas). Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil.
- Souza, C.C.A. de, Gonçalves, C.C.S. e M.P.V. Franco., 2017. Setores-chave da economia de Minas Gerais em 2008. *Economia Ensaios* Vol. 31(2): 103-136.
- Vale, V. de A., Perobelli, F.S. e A.B. Chimeli., 2017. International trade, pollution, and economic structure: evidence on CO<sub>2</sub> emissions for the North and the South. *Economic Systems Research* Vol. 30: 1-17.



Wang, Z., Huang, K., Yang, S. e Y. Yu., 2013. An input-output approach to evaluate the water footprint and virtual water trade of Beijing, China. *Journal of Cleaner Production* Vol. 42: 172-179.

Zhao, X., Chen, B. e Z.F. Yang., 2009. National water footprint in an input-output framework — a case study of China 2002. *Ecological Modelling* Vol. 220: 245-253.

Zilli, M.T., Carvalho, L.M.V., Liebmann, B. e M.A.S. Dias., 2017. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. *International Journal of Climatology* Vol. 37(5): 2269-2279.



## Apêndice A

Desagregação dos dados de retirada de água (com base nos sete diferentes usos elencados na Tabela 1) entre os 35 setores das matrizes híbridas de insumo-produto (MIP):

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

### Notas:

1) O total da demanda industrial por retirada de água em Minas Gerais foi dividido entre seus setores de acordo com coeficientes elaborados a partir de ANA (2017b). Diferenças entre as desagregações das MIPs e aquela utilizada em ANA (2017b) foram dirimidas segundo os mesmos critérios de agregação empregados no processo de compatibilização setorial entre as MIPs de 2005, 2008, 2013 e 2016.



2) Como sugerido por ANA (2019), 70% da demanda relacionada ao abastecimento urbano foi considerado como demanda final residencial; 30% dessa mesma demanda foi dividida entre os setores de serviços de acordo com seu volume de produção.

3) O abastecimento rural foi considerado exclusivamente como demanda final residencial.

**Apêndice B**

Requerimentos hídricos diretos de retirada de água por ano de análise (vazão de retirada em 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/s por R\$1.000.000,00 de demanda final) e percentual de variação acumulado a partir de 2005:

| Setor   | 2005         | 2008             | 2013             | 2016             | Setor  | 2005         | 2008             | 2013             | 2016             |
|---|--------------|------------------|------------------|------------------|--|--------------|------------------|------------------|------------------|
| Agricultura, silvicultura e exploração florestal                    | 4,371<br>(-) | 3,558<br>(-18,6) | 3,452<br>(-21,0) | 3,258<br>(-25,5) | Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos      | 0,015<br>(-) | 0,007<br>(-54,9) | 0,008<br>(-48,5) | 0,006<br>(-59,1) |
| Pecuária e pesca  | 1,943<br>(-) | 1,418<br>(-27,0) | 1,118<br>(-42,5) | 0,855<br>(-56,0) | Fabricação de veículos automotores                           | 0,008<br>(-) | 0,005<br>(-35,9) | 0,005<br>(-38,8) | 0,008<br>(0,5)   |
| Indústria extrativa mineral   | 0,993<br>(-) | 0,691<br>(-30,4) | 0,273<br>(-72,5) | 0,506<br>(-49,0) | Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores   | 0,008<br>(-) | 0,005<br>(-31,6) | 0,005<br>(-38,8) | 0,008<br>(0,5)   |
| Fabricação de alimentos   | 0,264<br>(-) | 0,198<br>(-24,9) | 0,156<br>(-40,8) | 0,093<br>(-64,8) | Fabricação de outros equipamentos de transporte              | 0,015<br>(-) | 0,011<br>(-24,8) | 0,006<br>(-56,6) | 0,003<br>(-78,1) |
| Fabricação de bebidas   | 0,304<br>(-) | 0,244<br>(-19,6) | 0,191<br>(-37,2) | 0,110<br>(-63,9) | Fabricação de móveis, produtos de madeira e artigos diversos | 0,049<br>(-) | 0,042<br>(-14,6) | 0,031<br>(-36,7) | 0,030<br>(-38,5) |
| Fabricação de produtos do fumo                                      | 0,013<br>(-) | 0,012<br>(-9,0)  | 0,015<br>(14,4)  | 0,008<br>(-35,6) | Eletricidade, gás, água e limpeza urbana                     | 358,4<br>(-) | 332,9<br>(-7,1)  | 298,9<br>(-16,6) | 262,5<br>(-26,8) |
| Fabricação de produtos têxteis                                      | 0,112<br>(-) | 0,107<br>(-4,6)  | 0,129<br>(14,9)  | 0,120<br>(6,5)   | Construção   | 0,069<br>(-) | 0,049<br>(-28,1) | 0,026<br>(-61,6) | 0,023<br>(-65,9) |
| Fabricação de artefatos de couro e calçados                         | 0,538<br>(-) | 0,399<br>(-25,8) | 0,320<br>(-40,5) | 0,194<br>(-63,9) | Comércio   | 0,069<br>(-) | 0,049<br>(-28,1) | 0,026<br>(-61,6) | 0,023<br>(-65,9) |
| Fabricação de artigos do vestuário e acessórios                     | 0,149<br>(-) | 0,125<br>(-15,7) | 0,141<br>(-5,2)  | 0,102<br>(-31,5) | Transporte, armazenagem e correio                            | 0,069<br>(-) | 0,049<br>(-28,1) | 0,026<br>(-61,6) | 0,023<br>(-65,9) |
| Fabricação de celulose, papel e produtos de papel                   | 0,395<br>(-) | 0,336<br>(-15,0) | 0,456<br>(15,4)  | 0,302<br>(-23,7) | Serviços de informação                                       | 0,069<br>(-) | 0,049<br>(-28,1) | 0,026<br>(-61,6) | 0,023<br>(-65,9) |
| Fabricação de derivados do petróleo e álcool                        | 0,186<br>(-) | 0,176<br>(-5,3)  | 0,112<br>(-39,5) | 0,069<br>(-63,0) | Intermediação financeira e seguros                           | 0,069<br>(-) | 0,049<br>(-28,1) | 0,026<br>(-61,6) | 0,023<br>(-65,9) |
| Fabricação de produtos farmacêuticos, perfumaria, higiene e limpeza | 0,034<br>(-) | 0,026<br>(-24,9) | 0,017<br>(-49,9) | 0,010<br>(-69,9) | Atividades imobiliárias e aluguel                            | 0,069<br>(-) | 0,049<br>(-28,1) | 0,026<br>(-61,6) | 0,023<br>(-65,9) |
| Fabricação de produtos de borracha e plástico                       | 0,025<br>(-) | 0,017<br>(-29,9) | 0,014<br>(-44,1) | 0,012<br>(-51,8) | Serviços de alojamento e alimentação                         | 0,069<br>(-) | 0,049<br>(-28,1) | 0,026<br>(-61,6) | 0,023<br>(-65,9) |
| Fabricação de produtos químicos                                     | 0,038<br>(-) | 0,031<br>(-20,5) | 0,038<br>(-0,2)  | 0,024<br>(-38,1) | Serviços prestados às empresas                               | 0,069<br>(-) | 0,049<br>(-28,1) | 0,026<br>(-61,6) | 0,023<br>(-65,9) |
| Fabricação de produtos de minerais não-metálicos                    | 0,078<br>(-) | 0,058<br>(-26,3) | 0,049<br>(-37,7) | 0,042<br>(-46,0) | Educação e saúde mercantil                                   | 0,069<br>(-) | 0,049<br>(-28,1) | 0,026<br>(-61,6) | 0,023<br>(-65,9) |
| Metalurgia  | 0,075<br>(-) | 0,058<br>(-22,3) | 0,086<br>(15,5)  | 0,071<br>(-4,6)  | Administração pública  | 0,069<br>(-) | 0,049<br>(-28,1) | 0,026<br>(-61,6) | 0,023<br>(-65,9) |
| Fabricação de produtos de metal exceto máquinas e equipamentos      | 0,022<br>(-) | 0,020<br>(-10,5) | 0,020<br>(-11,7) | 0,015<br>(-30,8) | Outros serviços  | 0,069<br>(-) | 0,049<br>(-28,1) | 0,026<br>(-61,6) | 0,023<br>(-65,9) |
| Fabricação de máquinas e equipamentos                               | 0,011<br>(-) | 0,006<br>(-42,5) | 0,009<br>(-20,1) | 0,009<br>(-14,4) |  |              |                  |                  |                  |

Fonte: elaboração própria.



Requerimentos hídricos indiretos de retirada de água por ano analisado (vazão de retirada em 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/s por R\$1.000.000,00 de demanda final) e percentual de variação acumulado a partir de 2005:

| Setor   | 2005         | 2008             | 2013             | 2016             | Setor  | 2005           | 2008              | 2013              | 2016              |
|---|--------------|------------------|------------------|------------------|--|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Agricultura, silvicultura e exploração florestal                    | 3,109<br>(-) | 1,961<br>(-36,9) | 1,669<br>(-46,3) | 1,321<br>(-57,5) | Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos      | 0,147<br>(-)   | 0,053<br>(-63,9)  | 0,030<br>(-79,6)  | 0,020<br>(-86,1)  |
| Pecuária e pesca  | 2,810<br>(-) | 1,213<br>(-56,8) | 0,898<br>(-68,0) | 0,621<br>(-77,9) | Fabricação de veículos automotores                           | 0,120<br>(-)   | 0,050<br>(-58,0)  | 0,034<br>(-71,8)  | 0,025<br>(-79,6)  |
| Indústria extrativa mineral   | 0,809<br>(-) | 0,495<br>(-38,9) | 0,147<br>(-81,9) | 0,218<br>(-73,1) | Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores   | 0,142<br>(-)   | 0,064<br>(-54,6)  | 0,041<br>(-71,0)  | 0,032<br>(-77,7)  |
| Fabricação de alimentos   | 2,935<br>(-) | 1,749<br>(-40,4) | 0,936<br>(-68,1) | 0,755<br>(-74,3) | Fabricação de outros equipamentos de transporte              | 0,144<br>(-)   | 0,067<br>(-53,2)  | 0,029<br>(-80,0)  | 0,013<br>(-91,0)  |
| Fabricação de bebidas   | 1,610<br>(-) | 1,772<br>(10,1)  | 0,350<br>(-78,3) | 0,279<br>(-82,7) | Fabricação de móveis, produtos de madeira e artigos diversos | 0,377<br>(-)   | 0,244<br>(-35,4)  | 0,118<br>(-68,8)  | 0,077<br>(-79,6)  |
| Fabricação de produtos do fumo                                      | 1,952<br>(-) | 0,026<br>(-98,7) | 0,421<br>(-78,4) | 0,881<br>(-54,9) | Eletricidade, gás, água e limpeza urbana                     | 1.203,2<br>(-) | 1.168,4<br>(-2,9) | 1.128,8<br>(-6,2) | 1.094,9<br>(-9,0) |
| Fabricação de produtos têxteis                                      | 0,648<br>(-) | 0,328<br>(-49,4) | 0,200<br>(-69,2) | 0,154<br>(-76,3) | Construção   | 0,145<br>(-)   | 0,104<br>(-28,4)  | 0,060<br>(-58,4)  | 0,040<br>(-72,2)  |
| Fabricação de artefatos de couro e calçados                         | 0,665<br>(-) | 0,366<br>(-45,1) | 0,199<br>(-70,1) | 0,133<br>(-80,0) | Comércio   | 0,099<br>(-)   | 0,059<br>(-40,0)  | 0,047<br>(-53,0)  | 0,043<br>(-56,5)  |
| Fabricação de artigos do vestuário e acessórios                     | 0,303<br>(-) | 0,228<br>(-24,5) | 0,089<br>(-70,7) | 0,058<br>(-80,8) | Transporte, armazenagem e correio                            | 0,207<br>(-)   | 0,100<br>(-51,5)  | 0,091<br>(-56,0)  | 0,060<br>(-71,1)  |
| Fabricação de celulose, papel e produtos de papel                   | 0,808<br>(-) | 0,444<br>(-45,0) | 0,439<br>(-45,7) | 0,256<br>(-68,3) | Serviços de informação                                       | 0,108<br>(-)   | 0,080<br>(-25,4)  | 0,042<br>(-61,3)  | 0,027<br>(-75,0)  |
| Fabricação de derivados do petróleo e álcool                        | 0,903<br>(-) | 0,374<br>(-58,6) | 0,445<br>(-50,7) | 0,392<br>(-56,6) | Intermediação financeira e seguros                           | 0,110<br>(-)   | 0,068<br>(-37,6)  | 0,034<br>(-68,5)  | 0,022<br>(-79,6)  |
| Fabricação de produtos farmacêuticos, perfumaria, higiene e limpeza | 0,349<br>(-) | 0,295<br>(-15,5) | 0,038<br>(-89,2) | 0,029<br>(-91,7) | Atividades imobiliárias e aluguel                            | 0,052<br>(-)   | 0,033<br>(-36,8)  | 0,015<br>(-71,4)  | 0,011<br>(-78,6)  |
| Fabricação de produtos de borracha e plástico                       | 0,221<br>(-) | 0,200<br>(-9,5)  | 0,107<br>(-51,4) | 0,054<br>(-75,4) | Serviços de alojamento e alimentação                         | 0,615<br>(-)   | 0,512<br>(-16,7)  | 0,196<br>(-68,1)  | 0,093<br>(-84,8)  |
| Fabricação de produtos químicos                                     | 0,266<br>(-) | 0,319<br>(20,1)  | 0,051<br>(-80,7) | 0,038<br>(-85,6) | Serviços prestados às empresas                               | 0,117<br>(-)   | 0,072<br>(-38,4)  | 0,033<br>(-72,0)  | 0,019<br>(-83,3)  |
| Fabricação de produtos de minerais não-metálicos                    | 0,254<br>(-) | 0,205<br>(-19,3) | 0,092<br>(-63,8) | 0,088<br>(-65,5) | Educação e saúde mercantil                                   | 0,148<br>(-)   | 0,097<br>(-34,6)  | 0,033<br>(-77,8)  | 0,028<br>(-81,2)  |
| Metalurgia  | 0,308<br>(-) | 0,228<br>(-26,1) | 0,169<br>(-45,1) | 0,174<br>(-43,6) | Administração pública  | 0,128<br>(-)   | 0,082<br>(-36,2)  | 0,031<br>(-75,6)  | 0,023<br>(-82,3)  |
| Fabricação de produtos de metal exceto máquinas e equipamentos      | 0,160<br>(-) | 0,122<br>(-24,0) | 0,049<br>(-69,5) | 0,039<br>(-75,7) | Outros serviços  | 0,239<br>(-)   | 0,184<br>(-22,9)  | 0,047<br>(-80,4)  | 0,024<br>(-89,8)  |
| Fabricação de máquinas e equipamentos                               | 0,189<br>(-) | 0,066<br>(-65,3) | 0,032<br>(-82,8) | 0,025<br>(-86,8) |  |                |                   |                   |                   |

Fonte: elaboração própria.