

Uso da Água e Comércio Inter-Regional: uma análise de insumo-produto para o Estado do Paraná*

*Water use and Inter-regional trade in Paraná:
an input-output analysis*

*Uso del Agua y Comercio Interregional: un análisis
de insumo-producto para el Estado de Paraná*

Paulo Victor Bistafa**

Alexandre Alves Porsse***

RESUMO

O Brasil detém uma disponibilidade hídrica satisfatória. Entretanto, a distribuição espacial deste recurso é desigual. Fatores ambientais, de concentração econômica e relações comerciais têm causado situações de restrições hídricas. O Paraná, por sua vez, também apresenta situação hídrica satisfatória. Contudo, o crescimento e concentração espacial das atividades econômicas bem como das aglomerações urbanas tendem a pressionar cada vez mais a disponibilidade de recursos hídricos. Neste trabalho, o principal objetivo é identificar em que medida as relações de encadeamento da economia paranaense via comércio regional com as demais Unidades da Federação impactam a necessidade de uso de recursos hídricos. A metodologia baseou-se em uma adaptação da abordagem de Miyazawa para construir multiplicadores de requerimentos de água e decompor os diversos efeitos de transmissão ligados ao comércio regional e ao uso de água pela matriz produtiva paranaense. Os resultados mostram que os efeitos de propagação externa são muito expressivos na composição dos multiplicadores de requerimentos de água das atividades econômicas paranaenses. Com respeito às interações regionais, a maior fonte de propagação desses efeitos está ligada às relações de troca entre o Paraná e o Estado de São Paulo. Fica evidenciado que o comércio regional pode funcionar como um canal de amortecimento para regiões que se encontram em situação de maior restrição hídrica, sendo relevante incorporar essa dimensão nas políticas de gestão dos recursos hídricos e, portanto, na agenda de desenvolvimento sustentável estadual.

Palavras-chave: Comércio inter-regional. Recursos hídricos. Insumo-produto. Miyazawa. Economia paranaense.

* Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) para o desenvolvimento desta pesquisa.

** Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada (PPGEA) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil. E-mail: pvbistafa@usp.br

*** Doutor em Economia Aplicada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. Professor do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: porsse@ufpr.br

Artigo recebido em fevereiro/2021 e aceito para publicação em abril/2021.

ABSTRACT

Despite the uneven spatial distribution of water resources across the country and water stress caused by environmental or economic concentration factors and trade relations, water availability in Brazil is satisfactory. In the state of Paraná, although water availability is satisfactory the growing and spatially concentrative economic activity and urban agglomeration has put increasing pressure on the availability of water resources. The main goal of the present study was to determine the extent to which water demand in Paraná is impacted by the economic chains related to the state's regional trade with other units of the Federation. The study was based on an adaptation of the Miyazawa's approach, with water demand multipliers being calibrated by decomposing transmission effects of regional trade and water use in Paraná's production matrix. The results show that external propagation is highly expressive in water demand multipliers related to the state's economic activities. Regarding regional interactions, the main propagation source is represented by exchange relationships between the states of Paraná and São Paulo. Regional trade can act as a dampening channel in regions more intensely subject to water stress, being therefore a relevant dimension to be incorporated into water resource management policies and sustainable state development agendas.

Keywords: Inter-regional trade. Water resources. Input-output. Miyazawa. Paraná's economy.

RESUMEN

La disponibilidad de agua en Brasil es satisfactoria. Sin embargo, la distribución espacial de este recurso es desigual. Los factores medioambientales, la concentración económica y las relaciones comerciales, han provocado situaciones de restricción de agua. El Estado de Paraná, por su parte, también presenta una situación hídrica satisfactoria. Aun así, el crecimiento y la concentración espacial de las actividades económicas, bien como las aglomeraciones urbanas, tienden a ejercer una presión creciente sobre la disponibilidad de los recursos hídricos. En este trabajo, el objetivo principal es identificar en qué medida las relaciones de vinculación de la economía paranaense a través del comercio regional con otras Unidades de la Federación impactan en la necesidad de uso de los recursos hídricos. La metodología se basa en una adaptación del enfoque de Miyazawa para construir multiplicadores de necesidades de agua y descomponer los diversos efectos de transmisión vinculados al comercio regional y al uso del agua por la matriz productiva del Estado de Paraná. Los resultados muestran que los efectos de derrame externo son muy expresivos en la composición de los multiplicadores de las necesidades de agua de las actividades económicas del Estado de Paraná. Con respecto a las interacciones regionales, la mayor fuente de propagación de estos efectos está vinculada a las relaciones de intercambio entre el Estado de Paraná y el Estado de São Paulo. Es evidente que el comercio regional puede funcionar como un canal de amortiguación para las regiones que se encuentran en una situación de mayor restricción hídrica, por lo que es relevante incorporar esta dimensión en las políticas de gestión de los recursos hídricos y, por lo tanto, en la agenda para el desarrollo sostenible del Estado de Paraná.

Palabras-clave: Comércio interregional. Recursos hídricos. Insumo-produto. Miyazawa. Economía paranaense.

INTRODUÇÃO

O gerenciamento sustentável dos recursos hídricos consiste em um dos maiores desafios no século 21. Instituições relevantes no cenário mundial, como a Organização das Nações Unidas (ONU), diante da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, traçam movimento de debate em torno do tema, muito em virtude do contexto global. Conforme WWAP (2019), as situações de estresse e escassez hídrica assolam em torno de 4 bilhões de pessoas no mundo. Diante de um cenário de crescimento da população mundial, necessidade de expansão produtiva e da agricultura irrigada, aumento da poluição, entre outros fatores, tem-se um movimento de pressão da demanda por água no mundo. Embora, pelo lado da oferta, o ciclo hidrológico apresente certo comportamento tendencial de constância, sabe-se que a água doce não é um recurso ilimitado.

Nesse contexto, tem crescido o interesse em avaliar os fluxos de água virtual embutidos nas transações comerciais, seja entre países ou entre regiões dentro de um país, para compreender a magnitude e a natureza dos desequilíbrios alocativos no que tange à disponibilidade e utilização de água (BAE; DALL'ERBA, 2018). Em análises subnacionais, é preciso levar em conta que geralmente existe alto grau de heterogeneidade espacial na distribuição da população e da atividade econômica como também da disponibilidade hídrica. Dessa forma, os desequilíbrios entre oferta e demanda por água podem ser mais críticos em determinadas regiões, impondo restrições para o desenvolvimento socioeconômico regional.

O presente estudo tem como objetivo identificar o papel das trocas comerciais inter-regionais nos requerimentos de uso de água por atividade econômica para o caso do Estado do Paraná. Este Estado apresenta uma situação semelhante ao contexto nacional. Segundo o balanço hídrico quantitativo elaborado pela Agência Nacional de Água (ANA), a maior parte do território paranaense é classificada como excelente ou confortável. Contudo, nas regiões com maior densidade populacional e aglomerações produtivas, principalmente nas adjacências das regiões metropolitanas de Curitiba, Maringá e Londrina, existem configurações críticas de disponibilidade hídrica.

Em função de sua localização geográfica, o Paraná está posicionado entre duas regiões que apresentam elevado nível de comprometimento crítico nas suas condições de disponibilidade hídrica, segundo o balanço hídrico da ANA (2013), quais sejam, Rio Grande do Sul e São Paulo. Como demonstrado por Bae e Dall'erba (2018), a balança comercial inter-regional desempenha um mecanismo importante de absorção para restrição tanto de oferta quanto de demanda de recursos hídricos. Assim, o estudo para o caso do Paraná pode contribuir para uma melhor compreensão a respeito do papel desempenhado pelas interações comerciais sobre os fluxos de água virtual entre regiões com diferentes configurações de escassez de oferta de recursos hídricos.

A metodologia adotada neste estudo baseia-se na abordagem de insumo-produto, mais especificamente na formulação inicialmente desenvolvida por Fritz *et al.* (1998) e posteriormente adaptada por Vale, Perobelli e Chimeli (2018) para decompor

os efeitos de interdependência embutidos nas transações comerciais regionais sobre os chamados multiplicadores de Myazawa. Essa abordagem é apropriada uma vez que possibilita decompor de forma mais precisa os diferentes canais de propagação de demanda de uma região, decorrentes das interações intersetoriais intrarregionais e inter-regionais, sobre os requerimentos de uso de água pelas atividades econômicas localizadas em outra região. Tecnicamente, trata-se de um procedimento de decomposição aplicado às relações comerciais entre pares de regiões, sendo que o interesse é dimensionar e decompor os efeitos líquidos de propagação de efeitos multiplicadores de uma região sobre outra, descontando os efeitos diretos e indiretos internos. Neste estudo, o procedimento será aplicado tendo o Paraná como região principal de interesse e, portanto, dimensionando os efeitos de propagação externa associados às trocas comerciais com cada uma das demais 26 Unidades da Federação.

O artigo está estruturado em quatro seções, além desta Introdução. A primeira seção apresenta uma revisão da literatura, com destaque para os principais conceitos e estudos aplicados nas análises sobre recursos hídricos relacionadas com o sistema econômico. A seção 2 traz informações sobre a base de dados e abordagem metodológica. Os resultados obtidos são apresentados e discutidos na terceira parte do estudo, seguida das considerações finais.

1 REVISÃO DE LITERATURA

O conceito de água virtual é uma aplicação hidrológica derivada a partir da interação entre elementos da ecologia industrial, da teoria econômica neoclássica do comércio baseada nas vantagens comparativas e da preocupação com a conservação e gestão da demanda por água (WORLD WATER COUNCIL, 2004). O termo foi inicialmente introduzido por Allan (1993) e definido como o volume de água necessário para produzir bens ou serviços durante os processos de produção e não apenas o volume diretamente presente nos produtos (ALLAN, 1993, 1998, 2001). Posteriormente, uma definição mais precisa foi dada por Hoekstra e Hung (2002), na qual o termo 'água virtual' é definido como o volume de água incorporado no processo de produção de um bem comercializado.

A teoria Ricardiana da vantagem comparativa coteja os custos de oportunidade da produção de *commodities* entre parceiros comerciais, com regiões especializadas e exportando mercadorias para as quais os custos de oportunidade relativos são mais baixos e importando de regiões que possuem uma vantagem comparativa em outros bens (MUBAKO; LANT, 2013). A teoria do comércio proposta por Heckscher e Ohlin (HO) prediz que um país exporta os produtos nos quais este tem vantagens quanto à abundância dos fatores dentro do próprio território. Em contrapartida, o país importaria produtos que são intensivos em fatores considerados escassos. Aplicando-se os fundamentos dessas abordagens teóricas ao uso de recursos hídricos, seria esperado que regiões com melhores (piores) dotações deste recurso tenderiam a ser exportadoras (importadoras) líquidas de água embutida nos fluxos de comércio.

Considerando essas concepções iniciais, Visentin (2017) expõe uma convergência das metodologias quanto à adoção do uso do termo água virtual quando se trata expressamente dos fluxos internacionais ou inter-regionais de comercialização. Assim, se uma região exporta ou importa um produto, está exportando ou importando também água de modo virtual.

O conceito de pegada hídrica (PH)¹ foi proposto por Hoekstra e Hung (2002), definido como um indicador do uso de água doce do ponto de vista do consumidor ou do produtor, além de se referir à exigência bruta de recursos hídricos para todos os produtos e serviços consumidos por uma população em particular durante um determinado período (HOEKSTRA; HUNG, 2002; HOEKSTRA *et al.*, 2011). Os autores encontraram evidências de que o comércio global movimentava um volume anual de água virtual na ordem de 1.000 a 1.340 km³.

A pegada hídrica de um produto é um indicador multidimensional, enquanto o 'conteúdo de água virtual' ou a 'água incorporada' refere-se somente ao volume. O volume é somente um aspecto do uso da água. Entretanto, o local, o momento e o tipo de água utilizada também são importantes para a análise, e para isto utiliza-se o indicador multidimensional, decompondo a análise ao tipo de água que foi utilizado: azul, verde e cinza (HOEKSTRA *et al.*, 2011). Esse tipo de diferenciação não foi feito neste trabalho.

Os conceitos trabalhados na literatura sugerem que a pegada hídrica azul refere-se ao consumo de recursos hídricos azuis (águas superficiais e subterrâneas) ao longo da cadeia de fornecimento de um produto. A pegada hídrica verde refere-se ao consumo de recursos hídricos verdes, como a água da chuva na medida em que não se torne escoamento. E, por fim, a pegada hídrica cinza é definida como o volume de água necessário para assimilar os resíduos, quantificados como o volume de água necessário para diluir os poluentes a tal ponto que a qualidade da água do ambiente permanece acima dos padrões acordados de qualidade da água (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

Diversos estudos têm discutido as implicações do gerenciamento dos recursos naturais, sobretudo no tocante à disponibilidade hídrica das variadas localidades. O aumento de trabalhos nessa área coincide com a crescente discussão da pauta de conservação dos recursos naturais em esfera global.

O conceito de água virtual tem sido aplicado, de maneira específica, às regiões da China (ZHAO *et al.*, 2009; WANG *et al.*, 2013; WHITE *et al.*, 2015), Estados Unidos (MUBAKO; LANT, 2013; BAE; DALL'ERBA, 2018), Brasil (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2003; PICOLI, 2016; GELAIN, 2014; VISENTIN, 2017), entre outros. Estudos realizados sob um espectro espacial mais amplificado, como no caso de Hoekstra e Hung (2002), sugerem um padrão de gerenciamento dos recursos hídricos perigoso e não sustentável.

¹ O conceito tornou-se uma contribuição duradoura e, recentemente, a PH foi padronizada pela Norma ISO 14.046 (ISO, 2014) e a União Europeia definiu o Water Framework (DQA) (COMISSÃO EUROPEIA, 2010) para melhorar a qualidade da água, a escassez e a produtividade em todos os Estados-Membros (LOVARELLI; BACENETTI; FIALA, 2016).

A China apresenta consideráveis diferenças na distribuição espacial de seus recursos hídricos, além de viver um dilema na busca de um equilíbrio entre industrialização, crescimento da renda, modernização, segurança alimentar nacional e utilização de seus recursos hídricos. Zhao *et al.* (2009) usaram a matriz de insumo-produto da China de 2002 para calcular a pegada hídrica de vários setores e comércio virtual de importação e exportação de água. Os resultados mostraram que na maioria dos setores a participação dos coeficientes indiretos no conteúdo de água virtual é maior do que a participação dos coeficientes diretos, exceto para o setor agrícola e a produção e fornecimento de energia elétrica, calor, gás e água, que detêm os principais volumes de conteúdo de água virtual. Também identificaram que a China é um exportador líquido virtual de água.

Já Wang *et al.* (2013) avaliaram a evolução da pegada hídrica de Beijing e da água virtual através de um modelo de insumo-produto com fluxos de água intersetoriais para os anos de 2002 e 2007 e encontraram que as impressões agrícolas e industriais de Pequim estavam diminuindo e que Pequim era uma região típica do fluxo líquido virtual de água. Dong *et al.* (2013) calcularam a pegada hídrica e a transferência virtual de água da Província de Liaoning em 2007 e descobriram que essa província deficiente em água tinha um nível relativamente alto de exportação líquida virtual de água, o que naturalmente piorava o problema de escassez de água na região.

Para os Estados Unidos, Mubako e Lant (2013) buscaram calcular a PH agrícola de 2008 de cada um dos 48 estados contíguos e cada um dos 18 principais produtos agrícolas e estimaram as importações e exportações de água virtual de cada estado. Os resultados obtidos mostraram um volume de exportação e importação de água relativamente semelhantes, respectivamente, de 196 e 191 bilhões de metros cúbicos. O estado de Iowa, com 14,7 bilhões de m³, lidera uma coleção de 11 estados na porção norte-central do país, com mais de 4 bilhões de m³ de exportações líquidas. Curiosamente, os áridos estados do sudoeste se mostraram coletivamente pequenos exportadores de água e os estados populosos que margeiam as costas do Atlântico e do Golfo foram os principais importadores virtuais de água, liderados pela Flórida, com 10,8 bilhões de metros cúbicos.

Bae e Dall'erba (2018) investigaram a quantidade de água que está embutida nos produtos e serviços fabricados no Arizona e estaria sendo "virtualmente" negociada com seus parceiros no exterior. Os resultados mostraram que, apesar de sua escassez de água, o estado do Arizona permite que até 73% de sua água seja consumida por um único setor, a produção agrícola. Como 79% dessa produção agrícola não é consumida no Arizona, exporta-se até 67% da água disponível no estado para o resto do país e o exterior. Essas evidências contrapõem as implicações das teorias de comércio segundo as quais regiões em condição de maior escassez hídrica seriam mais especializadas em atividades menos intensivas nesses recursos.

Sob a ótica do Brasil, o estudo realizado por Visentin (2017) buscou identificar os principais responsáveis pelo uso da água azul no Brasil em um recorte de Bacias Hidrográficas. Para o atendimento desse objetivo, mensurou-se o volume total de

água utilizado pelas atividades econômicas das Bacias Hidrográficas nacionais, através de estimação de um sistema inter-regional de insumo-produto com 50 setores e 56 regiões para o ano de 2009. Os resultados evidenciaram que a bacia localizada no Nordeste foi a principal responsável pela captação de água no País, ao mesmo tempo em que apresentou o pior balanço hídrico no período. Além disso, verificou-se que a bacia Tietê foi a principal região do ponto de vista da intensidade de demanda de água. No que se refere aos fluxos inter-regionais entre as bacias, constataram-se que 66% do volume de água virtual exportado entre as regiões foi proveniente de bacias onde o balanço hídrico era no mínimo preocupante.

Já Picoli (2016) buscou estimar a PH verde dos setores agrícolas e a PH azul dos setores industriais da economia brasileira para o ano de 2009. Os resultados indicaram que 38% da água virtual utilizada no País se deu para fins de exportação internacional. Assim, chamou a atenção para o fato de que o país se mostrou um importante exportador de água virtual no período.

Os trabalhos de Gelain (2014) e Silva *et al.* (2016) buscaram analisar o saldo da balança do comércio internacional de água virtual. Para o objetivo de Gelain (2014), foram utilizados dados das Unidades da Federação (UFs) nacionais para os anos de 1997, 2003, 2008 e 2013 de 189 produtos agrícolas, com os tipos de água virtual: azul, verde e cinza. Os resultados mostraram que, em todos os períodos analisados, o Brasil foi exportador líquido de água virtual, corroborando, portanto, com as pesquisas já mencionadas. Adicionalmente, mostraram que os principais estados exportadores líquidos de água virtual no período foram o Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais e Goiás, os quais foram responsáveis por 88% da exportação bruta e 92% da exportação líquida de água virtual em 2013. Entre os principais importadores líquidos, destacaram-se os Estados do Ceará, Rio de Janeiro e Pernambuco, os quais responderam por 81% de toda a água virtual bruta importada pelo País em 2013.

No contexto dos estudos sobre o panorama global, cabe destacar novamente Hoekstra e Hung (2002), que estimaram o volume de água utilizado na produção de 38 culturas agrícolas em diferentes países do mundo entre 1995 e 1999. Com base nessas informações, calcularam os fluxos de água virtual vinculados ao comércio internacional desses produtos e compararam a balança comercial em termos de água virtual de cada país com as suas respectivas necessidades e disponibilidades hídricas no período. Os autores estimaram a demanda específica por água, em m^3 por tonelada (m^3/t), de cada cultura dos países considerados e consideraram somente o volume demandado de água azul. Entre os principais resultados, os autores verificaram que os fluxos de água virtual entre os países totalizaram 695 gigametros cúbicos por ano (gm^3/ano), de modo que 13% do volume de água utilizado para a produção de bens agrícolas no mundo foi destinado às exportações, em média no período. O Brasil, por sua vez, ocupou a décima posição como exportador líquido de água virtual, com um saldo de $9 gm^3/ano$, após exportar e importar $32 gm^3/ano$ e $23 gm^3/ano$, respectivamente.

Há uma convergência dos estudos que evidenciam o protagonismo do Brasil como um país exportador líquido de água virtual, o que pode ser preocupante em virtude de a água ser um recurso, apesar de abundante, finito. Vale ressaltar que informações agregadas em nível nacional podem mascarar as características locais. Assim, em países de grande escala, como o Brasil, também é importante observar isoladamente as regiões que o compõem. Além de minimizar as possibilidades de falso diagnóstico, é de suma importância para a implementação de políticas públicas que visam tornar mais sustentável o uso dos recursos hídricos.

2 DADOS E MÉTODOS

Neste estudo, utiliza-se uma abordagem de insumo-produto para decompor os efeitos de interação ligados ao comércio regional sobre os requerimentos de água embutidos no processo produtivo dos setores econômicos do Paraná. A matriz de insumo-produto foi obtida de Haddad, Gonçalves Júnior e Nascimento (2018), compreendendo inicialmente um detalhamento dos fluxos para as 27 UFs e 68 atividades econômicas para o ano de 2011. Os fluxos monetários dessa matriz foram atualizados para o ano de 2015 e o banco de dados reestruturado em seis atividades setoriais agregadas: 1) agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura; 2) indústrias extrativas; 3) indústria de transformação e construção; 4) eletricidade e gás; 5) água e esgoto; e, 6) demais atividades. Esses procedimentos foram necessários para compatibilizar a estrutura setorial e os fluxos para o ano-base das informações de requerimento de água setorial, que foram extraídas do Sistema de Contas Hídricas Nacionais do IBGE. Os coeficientes de requerimento de água por setor econômico nacionais foram aplicados aos setores de cada estado assumindo a hipótese de “tecnologia de uso de água” constante setorialmente. Embora tal hipótese seja limitadora, não se dispõe de informações sobre requerimentos de uso de água por atividade econômica em nível estadual.

A abordagem de insumo-produto tem sido amplamente usada para quantificar os fluxos de água virtual embutidos nas trocas comerciais. Entretanto, nosso interesse principal é compreender o papel das relações de interdependência regional via comércio entre duas regiões sobre os requerimentos de uso de água. Neste caso, é preciso levar em consideração que existe uma cadeia de efeitos multiplicadores que mistura diversos canais de transmissão associados ao aumento da demanda em uma região sobre a outra região, de modo que se torna necessário utilizar um procedimento que permita isolar adequadamente todos esses canais. Exemplificando, considere-se o fluxo de exportação de bens agrícolas do Paraná para São Paulo. Os efeitos de propagação de impacto de um aumento na demanda de bens agrícolas produzidos pelo Estado do Paraná, e conseqüentemente sobre a demanda de água para produção desses bens, são mistos. O efeito direto sobre o uso de água está ligado aos requerimentos também diretos de uso de água que a atividade agrícola necessita para produzir e atender à demanda de São Paulo. Contudo, a atividade

agrícola paranaense possui relações intersetoriais com as demais atividades dentro e fora do Paraná, de modo que uma cadeia de efeitos multiplicadores indiretos (intra-regional e inter-regional) é ativada e propaga novos efeitos multiplicadores sobre o requerimento de uso de água em todo o sistema econômico paranaense.

Para dimensionar todos esses mecanismos de propagação, optou-se pelo uso da abordagem de Miyazawa. Originalmente, o método de Miyazawa expande o conceito simples de multiplicadores comuns de produção utilizados na literatura de insumo-produto, possibilitando dividir em impactos internos e externos da produção induzidos por suas relações comerciais inter-regionais. Esta metodologia particiona a matriz de Leontief entre regiões, possibilitando, assim, verificar a propagação dos efeitos na atividade interna e na externa nos níveis de produção de uma região (OKYAMA; SONIS; HEWINGS, 1999). Fritz *et al.* (1998) adaptaram essa abordagem para avaliar o papel das trocas comerciais internacionais nas emissões de CO₂ entre países e Vale, Perobelli e Chimeli (2018) também aplicaram o método para investigar o papel do comércio internacional da emissão de CO₂ para o Brasil.

Primeiramente, considere-se a especificação do modelo de Miyazawa para o caso de um sistema de insumo-produto composto por duas regiões (L e M). A seguir, tem-se a representação particionada da matriz inversa de Leontief associada aos fluxos de oferta e demanda intra e inter-regional:

$$B = (I - A)^{-1} = \begin{bmatrix} B^{LL} & B^{LM} \\ B^{ML} & B^{MM} \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta_L & \Delta_L A_{LM} B_M \\ \Delta_M A_{ML} B_L & \Delta_M \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\Delta_L = (I - A_{LL} - A_{LM} B_M A_{ML})^{-1}$$

$$\Delta_M = (I - A_{MM} - A_{ML} B_L A_{LM})^{-1}$$

$$B_L = (I - A_{LL})^{-1}$$

$$B_M = (I - A_{MM})^{-1}$$

A matriz B_L contém os multiplicadores internos para a região L , enquanto Δ_L é interpretada como a matriz dos multiplicadores (externos) da região L devido à influência da região M . A interpretação das matrizes B_M e Δ_M é análoga à interpretação de B_L e de Δ_L . Os multiplicadores de Miyazawa se concentram na submatriz inferior esquerda da matriz na equação 1 para decompor o impacto da atividade econômica da região L na produção da região M devido ao comércio inter-regional. Essas submatrizes contêm os multiplicadores de produção relacionados ao comércio, representando o impacto das compras pelas atividades da região L das atividades da região M .

Desta forma, seguindo Vale, Perobelli e Chimeli (2018), a análise de impacto foi adaptada para calcular os requisitos de água gerados na região M devido às compras

da região L . Para efeito de operacionalização, a região L será o Paraná e a região corresponde às 26 UFs, separadamente. Com base nos dados da Contas Hídricas do IBGE de 2015, construímos um multiplicador da matriz de requerimento de água pré-multiplicando a submatriz inferior esquerda da equação 1 por uma matriz diagonal dos coeficientes de requerimento de água R_2 da região M . Esse multiplicador pode ser visto na equação 2. Observe-se que esta submatriz contém os multiplicadores para o impacto das compras da região L da região M . Dessa forma, isola-se o impacto do comércio interregional na região M .

$$Agua_{ML} = R_2[\Delta_M A_{ML} B_L] \quad (2)$$

Os múltiplos multiplicadores da matriz $Agua_{ML}$ resultam da interação de três matrizes multiplicadoras: Δ_{MM} , B_M e B_L , com A_{ML} . As fontes de requerimento de água induzidas pelas atividades de produção dos setores da região L são reveladas observando as somas das colunas dessas matrizes em relação aos setores da região M :

- i) $R_2 A_{ML}$ = requerimento de água gerado por requisitos de insumo direto da região L ;
- ii) $R_2 A_{ML} B_L$ = requerimento de água causado por requisitos de insumos diretos e indiretos da região L ;
- iii) $R_2 B_M A_{ML} B_L$ = requerimento de água causado pela propagação interna (produção direta e indireta) da região L e pela produção direta e indireta induzida da região M ;
- iv) $R_2 \Delta_{MM} B_M A_{ML} B_L$ = multiplicador total de requerimento de água da região L com requerimento de água causado pela propagação interna da região L e pela propagação interna e externa induzida da região M .

onde $\Delta_{MM} = (I - B_M A_{ML} B_L A_{LM})^{-1}$. Como interpretação temos que a região L exige insumos da região M , que gera produção direta, indireta e induzida pela região M . Esses são chamados multiplicadores externos de Miyazawa para a região M .

Os itens i) e ii) têm interpretações padrão da literatura de insumo-produto. Para entender melhor iii), observe-se que conforme a região L exige insumos da região M , a produção da região M aumenta. Isto, por sua vez, faz com que a região M exija insumos da região L , aumentando assim a produção na região L . Esse novo aumento de produção na região L gera outra rodada de demandas da região L para insumos da região M . Esse processo circular se repete e converge para o valor dado por iii). Finalmente, iv) representa o efeito agregado implícito em i), ii) e iii). A partir da definição de Δ_{MM} e Δ_M ($\Delta_M = \Delta_{MM} B_M$), pode-se mostrar que iv) é igual ao lado direito da equação 1 (ver FRITZ et al., 1998).

Para fins de análise, serão avaliados os efeitos agregados de propagação de demanda em cada UF sobre os multiplicadores de água das atividades econômicas do Paraná. A quantidade total de requerimento de água demandada na região M por um aumento unitário da produção pela atividade j_L da região L é o seguinte multiplicador de coluna, exposto pela equação 3:

$$m_{jL} = \sum_{i \in M} p_{iMjL} \quad (3)$$

onde m_{jL} é o multiplicador de colunas da indústria j_L em relação a todas as indústrias da região M .

Assim, as somas da coluna das indústrias j_L em i), ii), iii) e iv) são denominadas: m^1_{jL} , m^2_{jL} , m^3_{jL} e m_{jL} , respectivamente. Desta forma, as definições empregadas para análise do impacto da demanda da região L por insumos da região M são:

- i) m^1_{jL} = requisitos de entrada direta no multiplicador total;
- ii) $m^2_{jL} - m^1_{jL}$ = requisitos de entrada indireta no multiplicador total;
- iii) $m^3_{jL} - m^2_{jL}$ = propagação interna (efeitos diretos e indiretos) da região M no multiplicador total;
- iv) $m_{jL} - m^1_{jL}$ = propagação externa (efeitos diretos e indiretos) da região M no multiplicador total.

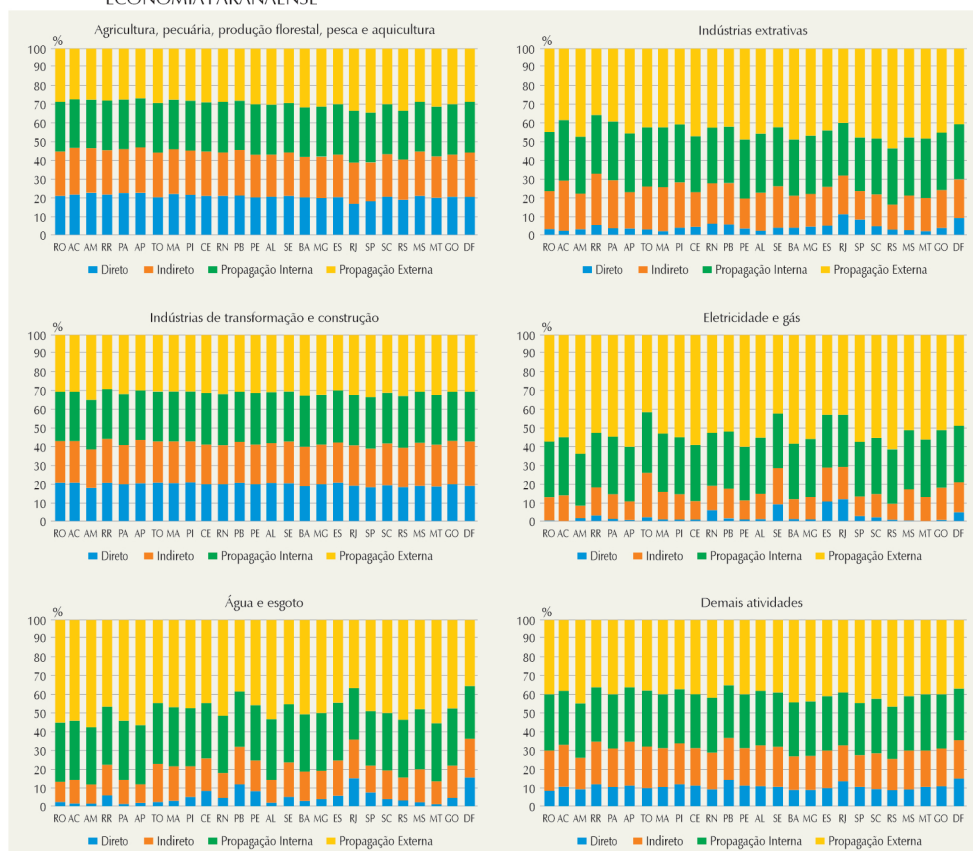
3 RESULTADOS

Inicialmente será analisada a composição do multiplicador total de requerimento de água, subdividido nos efeitos diretos, indiretos, de propagação interna e de propagação externa, a fim de verificar se o comportamento entre os agrupamentos de atividades econômicas é homogêneo. A relação utilizada será a do Estado do Paraná com as demais 26 UFs. Neste caso, assume-se que o Paraná será interno e cada UF é a região externa. Em seguida, apresentam-se os resultados obtidos para os efeitos de propagação externa buscando compreender a magnitude dos requerimentos de água devido à demanda externa ao Paraná.

Convém observar que, na medida em que os multiplicadores de Miyazawa são mais representativos na proporção requerimento de água por produção (R\$), os efeitos multiplicadores também serão amplificados, o que favorece a relação de dependência dos recursos hídricos para a produção e comercialização entre regiões.

A composição do multiplicador total de requerimento de água (efeitos direto, indireto e os de propagação interna e externa) para os setores econômicos paranaenses é apresentada na figura 1. Em termos gerais, observa-se o efeito de propagação externa bastante representativo na composição do multiplicador de requerimento de água. Algumas heterogeneidades setoriais também são observadas no peso deste componente, sendo as mais relevantes no caso da indústria extrativa, eletricidade e gás, e água e esgoto.

FIGURA 1 - COMPOSIÇÃO DO MULTIPLICADOR TOTAL DE REQUERIMENTO DE ÁGUA POR SETOR DE ATIVIDADE DA ECONOMIA PARANAENSE



FONTE: Os autores (2021)

Considerando a relevância dos efeitos de propagação externa, a tabela 1 reporta os valores deste componente na formação do multiplicador total de requerimento de água. Por sua vez, essas informações também são reportadas em gráficos na figura 2. Essa visão de conjunto permite identificar as regiões externas que mais pressionam os requerimentos de uso de água pelas atividades paranaenses no que tange estritamente aos fluxos de conexões (propagações) externas. O padrão dos multiplicadores para os seis grupos de atividades econômicas é similar, tanto na hierarquia como na intensidade. Algumas exceções existem e é possível verificar, sobretudo no grupo de indústrias de transformação e construção, onde os multiplicadores são mais elevados. Tal particularidade está relacionada ao fato de que o grupo em questão apresenta grau de encadeamento relativamente alto, potencializando as interações comerciais quando um estado não apresenta autossuficiência dentro da sua cadeia de produção.

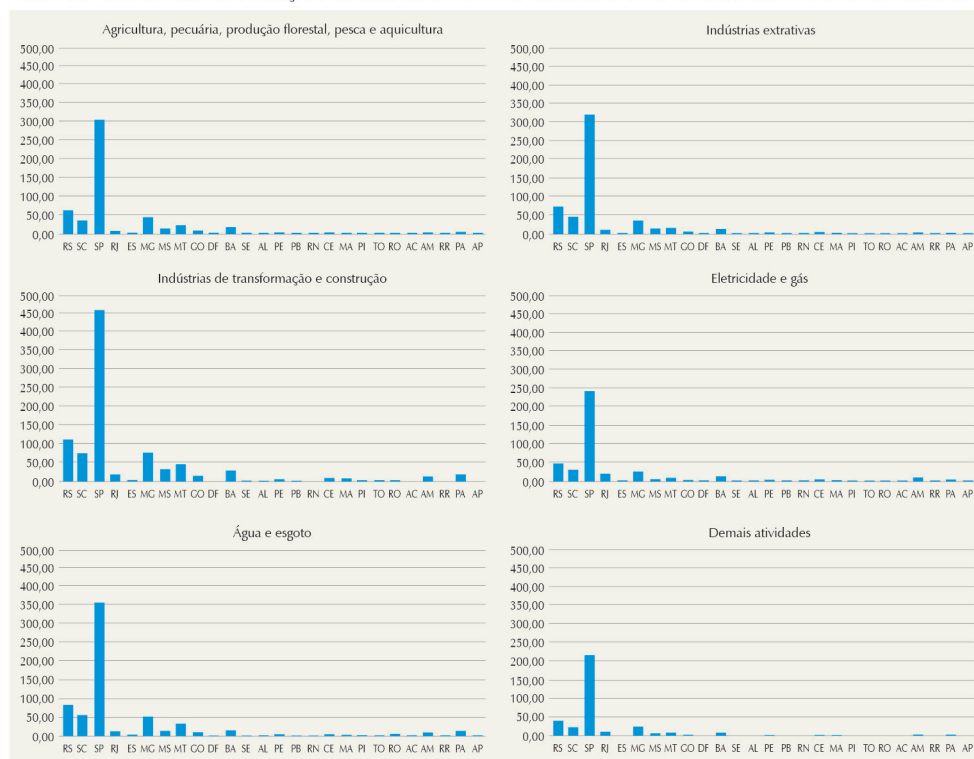
TABELA 1 - EFEITOS DE PROPAGAÇÃO EXTERNA PARA O PARANÁ, SEGUNDO OS SETORES DE ATIVIDADE ECONÔMICA

ESTADO	EFEITOS DE PRODUÇÃO EXTERNA (m ³ de água por R\$ 1 milhão de produção)					
	Agricultura, Pecuária, Produção Florestal, Pesca e Aquicultura	Indústrias Extrativas	Indústrias de Transformação e Construção	Eletricidade e Gás	Água e Esgoto	Demais Atividades
Rio Grande do Sul	63,44	75,24	113,38	48,09	84,29	40,98
Santa Catarina	34,48	46,73	76,83	31,21	57,39	23,77
São Paulo	303,51	320,47	462,26	241,88	358,70	217,93
Rio de Janeiro	6,29	10,50	19,15	21,45	14,28	11,52
Espírito Santo	1,71	1,73	4,29	2,70	2,41	1,18
Minas Gerais	43,19	35,48	78,82	26,00	52,08	24,96
Mato Grosso do Sul	12,51	14,17	34,68	5,91	14,87	7,30
Mato Grosso	21,61	15,99	46,72	9,97	33,18	8,65
Goias	7,61	6,71	15,34	3,34	9,90	4,11
Distrito Federal	0,33	0,50	0,92	0,45	0,90	0,66
Bahia	17,33	13,48	30,45	12,76	15,13	9,13
Sergipe	0,75	0,57	1,82	0,55	1,03	0,44
Alagoas	1,61	0,94	2,95	0,93	2,65	0,64
Pernambuco	2,33	3,81	6,21	3,14	4,79	1,91
Paraíba	0,74	1,00	2,61	0,80	1,68	0,64
Rio Grande do Norte	0,45	0,37	1,24	0,80	1,03	0,27
Ceará	3,08	4,63	9,83	4,53	5,75	2,94
Maranhão	2,02	2,10	8,76	1,91	4,00	1,99
Piauí	1,10	0,72	3,39	1,08	2,65	0,82
Tocantins	1,69	1,06	4,98	0,35	1,61	0,71
Rondônia	1,45	1,88	5,61	1,72	6,02	0,79
Acre	0,30	0,21	1,69	0,44	1,57	0,28
Amazonas	2,72	3,80	14,32	11,12	10,36	4,10
Roraima	0,05	0,02	0,18	0,08	0,18	0,04
Pará	3,59	2,62	20,16	4,84	14,69	3,62
Amapá	0,10	0,14	0,28	0,16	0,49	0,04

FONTE: Os autores (2021)

No agrupamento especificado na figura 1, o comportamento exibido pelos setores demonstra certa diferença, que reflete sobretudo a forma como o encadeamento existente desenvolve as medidas de propagação. No caso da agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura, e indústrias de transformação e construção, apresentam relevância os efeitos diretos e indiretos e de maneira muito similar na representatividade do índice, nos efeitos de propagação interna e externa. Outras atividades, como indústria extrativa, eletricidade e gás e água e esgoto, apresentam encadeamento pouco significativo quando analisados os efeitos direto e indireto, e, desta forma, concentram os efeitos de propagação nas rodadas consecutivas das interações comerciais. Por fim, nas demais atividades, nas quais se inclui o comércio em geral, os efeitos indiretos têm capacidade de intensificar mais as interações da cadeia produtiva, se comparados com o efeito direto. Entretanto, ainda assim os efeitos de propagação interna e externa são mais representativos e podem influenciar mais.

FIGURA 2 - EFEITOS DE PROPAGAÇÃO EXTERNA PARA O PARANÁ SEGUNDO OS SETORES DE ATIVIDADE ECONÔMICA



FONTE: Os autores (2021)

O padrão dos multiplicadores para os seis grupos de atividades econômicas é similar, tanto na hierarquia como na intensidade. Algumas exceções existem e é possível verificar notadamente no grupo de indústrias de transformação e construção, onde os multiplicadores são mais elevados. Tal particularidade está relacionada ao fato de que o grupo em questão apresenta grau de encadeamento relativamente alto, o que facilita as interações comerciais quando um estado não apresenta autossuficiência dentro da sua cadeia de produção.

Sob a perspectiva de localização geográfica, percebe-se que os estados com maiores multiplicadores são os que também compartilham fronteiras ou estão próximos em distância ao Paraná. Para os seis grupos de atividades, a hierarquia permaneceu praticamente inalterada, de modo que os Estados de São Paulo, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Minas Gerais apresentaram maior propagação externa, sobretudo São Paulo. Assim, no contexto dos efeitos subsequentes derivados da variação de uma demanda final do Paraná, o Estado de São Paulo desempenha um papel mais expressivo sobre os requerimentos de recursos hídricos.

Embora existam algumas especificidades diferenciais do presente trabalho em relação a outros da literatura, os resultados aqui evidenciados associam-se com pontos importantes da literatura exposta na revisão. Assim como identificado por Bae

e Dall'erba (2018) e Visentin (2017), os efeitos decorrentes das trocas comerciais e ao encadeamento da atividade produtiva são essenciais para entender a sustentabilidade dos recursos hídricos. Os efeitos de propagação externa favorecem essa intensificação, que, diante do não gerenciamento adequado, pode trazer danos econômicos e sociais devido à possível escassez e desequilíbrio hídrico, como visto nos padrões de produção e comercialização existentes no Arizona e em algumas bacias brasileiras.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo buscou identificar como as sinergias advindas no comércio inter-regional de insumos pressionam os recursos hídricos do Estado do Paraná. Para isso, foram utilizados dados da Matriz inter-regional de Insumo-Produto calibrada por Haddad, Gonçalves Júnior e Nascimento (2018) e dados do Sistema de Contas Hídricas Nacionais (SCHN), do IBGE. A estratégia de análise empírica baseou-se na abordagem de Miyazawa adaptada a partir do estudo de Fritz *et al.* (1998) e Vale, Perobelli e Chimeli (2018).

A aplicação da abordagem de Miyazawa permitiu decompor o multiplicador de requerimento de água da matriz produtiva paranaense em quatro componentes de efeitos associados aos fluxos de comércio inter-regional: direto, indireto, propagação interna e propagação externa. Sob a ótica dos efeitos de propagação externa, observa-se que as interações de comércio regional entre o Paraná e as demais localidades são relevantes e levam à incorporação de volumes significativos de água na produção. Na medida em que o Paraná figura como um Estado que, em termos agregados, possui condições hídricas confortáveis segundo o balanço quantitativo hídrico da ANA, as evidências encontradas indicam que o Estado tem usufruído das vantagens competitivas dessa condição e o comércio inter-regional é um canal relevante de apropriação dessas vantagens. Contudo, esse canal também pode atuar como um mecanismo pelo qual os demais estados, particularmente São Paulo, ajustam suas restrições de disponibilidade hídrica por meio da aquisição de insumos mais intensivos no uso de água da matriz produtiva paranaense.

Considerando que a distribuição da disponibilidade hídrica e das atividades econômicas são desiguais no território paranaense, as evidências encontradas no presente estudo levantam algumas preocupações sobre a sustentabilidade desse recurso do Estado no futuro próximo. Sob esse prisma, cabe indagar em que medida os requerimentos de água embutidos no sistema produtivo paranaense via comércio inter-regional podem ser sustentados sem implicar restrições sobre a disponibilidade hídrica para o consumo residencial e das atividades produtivas internas do Estado. Adicionalmente, as sub-bacias hidrográficas localizadas na proximidade das áreas metropolitanas e demais aglomerações urbanas tendem a ser relativamente mais pressionadas devido à própria concentração de atividades econômicas nessas regiões. A situação crítica já identificada em algumas dessas bacias tem sido influenciada por essas relações de interdependência da economia paranaense com as demais regiões do Brasil?

A resposta para essas questões não é trivial, e o presente estudo aponta que o padrão de interação da estrutura produtiva do Paraná com os demais Estados, particularmente São Paulo, importa para as políticas de gestão de recursos hídricos. Trata-se de uma agenda de pesquisa que precisa ser aprofundada nos estudos futuros para ampliar a compreensão sobre as potencialidades e limites associados com as condições de disponibilidade hídrica sobre o desenvolvimento da economia paranaense.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2013**. Brasília: ANA, 2013. Disponível em: http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2013_rel.pdf. Acesso em: maio 2019.
- ALLAN, J. A. **Fortunately there are substitutes for water**: otherwise our hydro-political futures would be impossible. *Priorities for Water Resources Allocation and Management*. London, 1993.
- ALLAN, J. A. **The middle east water question**: hydro-politics and the global economy. London: I. B. Tauris, 2001.
- ALLAN, J. A. **Virtual water**: a strategic resource global solutions to regional deficits. **Ground Water**, v.36, n.4, 1998.
- BAE, J.; DALL'ERBA, S. Crop production, export of virtual water and water-saving strategies in Arizona. **Ecological Economics**, v.146, p.148-156, 2018.
- CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. *Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products*. Delft: UNESCO-IHE, 2003.
- DONG, H. *et al.* Regional water footprint evaluation in China: a case of Liaoning. **Science of the Total Environment**, v.442, p.215-224, 2013.
- FRITZ, O. M.; SONIS; HEWINGS G. J. D. A Miyazawa analysis of interactions between polluting and non-polluting sectors. **Structural Change and Economic Dynamics**, v.9, p.289-305, 1998.
- GELAIN, J. G. **Volume de água virtual exportada pelo Brasil e por suas unidades da federação**. 2014. Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2014.
- HADDAD, E. A.; GONÇALVES JÚNIOR, C. A.; NASCIMENTO, T. O. Matriz interestadual de insumo-produto para o Brasil: uma aplicação do método IIOAS. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v.11, n.4, p.424-446, fev. 2018.
- HOEKSTRA, A. Y. *et al.* **The water footprint assessment manual**: setting the global standard. [S.l.]: Publishing house Earthscan, 2011.
- HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. **Virtual water trade**: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. *Value of water research report series of UNESCO-IHE*, n.11, 2002.

LEONTIEF, Wassily. Quantitative input-output relations in the economic system of the United States. **Review of Economics and Statistics**, v.18, p.105-125, 1936.

LOVARELLI, D.; BACENETTI, J.; FIALA, M. **Water Footprint of crop productions: a review. Science of the Total Environment**. v.548-549, n.1, p.236-251, 2016.

MUBAKO, S.; LANT, C. Agricultural virtual water trade and water footprint of U.S. States. **Association of American Geographers**, v.103, n.2, p.385-396, 2013.

OKUYAMA, Y.; SONIS, M.; HEWINGS, G. J. D. Economic impacts of an unscheduled, disruptive event: a Miyazawa multiplier analysis. *In*: HEWINGS, P. G. J. D.; SONIS, P.M.; MADDEN, P.M.; KIMURA, P. Y. (eds.). **Understanding and interpreting economic structure**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1999. p.113-143.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos 2019**: não deixar ninguém para trás. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367276_por?posInSet=2&queryId=fa5e9bfb-2f91-44ad-8dab-065598a7cadf/. Acesso em: jun. 2019.

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

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

VALE, V. A.; PEROBELLI, F. S.; CHIMELI, A. B. International trade, pollution, and economic structure: evidence on CO2 emissions for the North and the South. **Economic Systems Research**, v.30, n.1, p.1-17, 2018.

VISENTIN, J. C. **O uso da água e a interdependência das economias regionais: o caso das Bacias Hidrográficas brasileiras**. 2017. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

WANG, Z. *et al.* An input-output approach to evaluate the water footprint and virtual water trade of Beijing. **J. Clean. Prod.**, v.42, p.172-179, 2013.

WHITE, D. J. *et al.* A hydro-economic MRIO analysis of the Haihe River Basin's water footprint and water stress. **Ecol. Model.**, v.318, p.157-167, 2015.

WORLD WATER COUNCIL. 2004. **E-conference synthesis: Virtual water trade -Conscious choices**. 2004. Disponível em: [http://www.waterfootprint.org/Reports/virtual water final synthesis.pdf](http://www.waterfootprint.org/Reports/virtual%20water%20final%20synthesis.pdf). Acesso em: jun. 2019.

WWAP. World Water Assessment Programme. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2019**. United Nations Organization (UN). 11 páginas. Publicado na França, 2019.

ZHAO, X., *et al.* Study on chinese virtual water trade and consumption in an input-output framework. **J. Nat. Resour.**, v.2, n.13, 2009. (Em Chinês).

