

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS E HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA E  
DESENVOLVIMENTO**

**ANÁLISE INTERSETORIAL DOS FLUXOS DE ÁGUA  
VIRTUAL PARA A ECONOMIA BRASILEIRA: UMA  
ABORDAGEM INSUMO-PRODUTO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Vanessa de Oliveira Moraes**

**Santa Maria, RS, Brasil.  
2015**

# **ANÁLISE INTERSETORIAL DOS FLUXOS DE ÁGUA VIRTUAL PARA A ECONOMIA BRASILEIRA: UMA ABORDAGEM INSUMO-PRODUTO**

**Vanessa de Oliveira Moraes**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento, Área de concentração História e dinâmica do desenvolvimento, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Economia e Desenvolvimento**.

**Orientador: Prof. Dr. Valny Giacomelli Sobrinho**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2015**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Sociais e Humanas  
Programa de Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**ANÁLISE INTERSETORIAL DOS FLUXOS DE ÁGUA VIRTUAL PARA  
A ECONOMIA BRASILEIRA: UMA ABORDAGEM INSUMO-  
PRODUTO**

elaborada por  
**Vanessa de Oliveira Moraes**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Economia e Desenvolvimento**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Valny Giacomelli Sobrinho, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

**Daniela Dias Kühn, Dr. (UFSM)**

**Patrícia Raggi Abdallah, Dr. (FURG)**

Santa Maria, 9 de abril de 2015.

Agradeço primeiramente a minha família, meu pai Antônio Moraes, minha mãe Lorelci de Oliveira Moraes e meu irmão Rodrigo Moraes pelo amor e dedicação à mim dedicados, e por me ensinar a sempre lutar pelos meus objetivos. Pela compreensão, por todos os dias que precisei me ausentar em virtude dos estudos; hoje sabemos que valeu a pena. Em especial a minha mãe, que sempre acreditou em mim e foi minha maior incentivadora, mesmo nos momentos mais difíceis, a ti mãe dedico mais essa vitória.

Agradeço ao meu noivo, Jean Karlo Acosta Mendonça, por ter sido durante todo esse tempo meu companheiro; incentivador; amigo e por muitas vezes colaborar com seu conhecimento em meus trabalhos. Você foi e sempre será um grande exemplo a ser seguido, tanto na vida pessoal como profissional.

Ao meu companheiro fiel, Kurt, pelas incontáveis horas que estive ao meu lado durante todo esse tempo.

*“No semblante de um animal que não fala, há todo um discurso que só um espírito sábio é capaz de entender”.*

*Provérbio Indiano*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Prof. Dr. Valny Giacomelli Sobrinho, que desde a graduação em Ciências Econômicas dedicou-se à difícil tarefa de orientar-me pelos caminhos da Matemática, que sempre foi um grande obstáculo em minha vida acadêmica. Obrigada por sempre acreditar nas minhas ideias, e colaborar com seu conhecimento. Agradeço principalmente por sempre me incentivar a ir além do que imaginava ser capaz. Levarei esse aprendizado para a vida profissional e pessoal.

A todos os professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento (PPGE&D) que colaboraram direta e indiretamente com a minha formação e contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo financiamento destes dois anos dedicados à Pós-Graduação.

Em especial, agradeço aos colegas Aline Zulian, Ana Paula Buhse, Daniele Neuberger, Felipe Rosa, Giana Giacomelli e Henrique Reichert, por se tornarem além de colegas, grandes amigos, que deixaram lembranças inesquecíveis em minha vida. Vocês são como sempre disse o melhor que levo desses dois anos.

"A indiferença com o meio ambiente é a conivência com nossa destruição."

(Hans Alois)

## **RESUMO**

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento  
Universidade Federal de Santa Maria

### **ANÁLISE INTERSETORIAL DOS FLUXOS DE ÁGUA VIRTUAL PARA A ECONOMIA BRASILEIRA: UMA ABORDAGEM INSUMO- PRODUTO**

AUTORA: VANESSA DE OLIVEIRA MORAES  
ORIENTADOR: VALNY GIACOMELLI SOBRINHO  
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 9 de abril de 2015.

A água é um insumo importantíssimo utilizado direta e indiretamente pelos diferentes setores da economia na produção de bens e serviços. Ao uso desse recurso como insumo produtivo dá-se o nome de água virtual. Esse conceito foi desenvolvido por Allan (1993) e se refere a água que é “embutida” ou “incorporada” na produção de *commodities* agropecuárias e produtos industriais. O objetivo desse estudo é aplicar o método insumo-produto ambiental para analisar o uso da água na economia brasileira e mensurar o conteúdo de água virtual importado e exportado pelo Brasil. Os resultados indicam que a Agricultura é um importante setor-chave, já que, através da análise da matriz de coeficientes de transação, é possível verificar que o consumo indireto de água da maior parte dos setores é impulsionado principalmente pela agricultura. Em relação ao comércio internacional de recursos hídricos, tem-se que o Brasil é um exportador líquido de água virtual, sendo a maioria das exportações realizadas pelos setores de Alimentos e Bebidas e da Agricultura. Esses resultados reforçam a necessidade de considerar os custos ambientais intrínsecos ao comércio de bens intensivos no uso de recursos hídricos e o melhor gerenciamento da água em condições de escassez.

**Palavras chave:** Água virtual. Insumo-produto. Comércio internacional.

## **ABSTRACT**

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Economia e Desenvolvimento  
Universidade Federal de Santa Maria

### **INTERSECTORAL ANALYSIS OF VIRTUAL WATER FLOWS IN THE BRAZILIAN ECONOMY: AN INPUT-OUTPUT APPROACH**

**AUTHOR: VANESSA DE OLIVEIRA**

**SUPERVISOR: VALNY GIACOMELLI SOBRINHO**

**Defense place and date: Santa Maria, April 9<sup>nd</sup>, 2015**

Water is a major input used directly and indirectly by the different sectors of the economy to produce goods and services. The use of this resource as a productive input is known as virtual water. This concept was developed by Allan (1993) and it refers to the water that is “embedded” or “embodied” in the production of agricultural commodities and industrial goods. The aim of this study is to apply an environmental input-output model to analyze water use in the Brazilian economy as well as to quantify the virtual water content in Brazil's imports and exports. The results indicate that Agriculture is an important key-sector, since, through the analysis of the matrix of coefficients transaction, it is possible to verify that it does mostly push the indirect water consumption of the majority of sectors. As for international trade of water resources, it comes out that Brazil is a net exporter of virtual water and that the largest share of exports is carried out by Food and Beverages sector and by Agriculture. Results suggest that Brazil is a virtual water net exporter, and most of the exports are made by Food and Beverage industries and Agriculture. These results reinforce the need to consider environmental costs that are inherent to trade goods in the use of water resources and a better management of water under scarcity conditions.

**Key words:** Virtual water. Input-output. International trade.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Porcentagem do uso direto de água na produção dos setores mais representativos da economia brasileira para o ano de 2009.....	58
Figura 2 - Teor de água virtual dos setores mais representativos da economia brasileira (%) para o ano de 2009.....	59
Figura 3 – Comparativo do uso direto e total de recursos hídricos (mil m <sup>3</sup> de água/R\$) pelos setores mais representativos da economia brasileira para o ano de 2009.....	60
Figura 4– Uso indireto de água na produção dos setores da economia brasileira (mil m <sup>3</sup> água/R\$) para o ano de 2009. ....	61
Figura 5 – Comparativo das exportações e importações e o saldo líquido (m <sup>3</sup> de água) dos setores mais representativos da economia brasileira para o ano de 2009.....	76

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Resumo das principais conclusões da literatura analisada sobre o uso do método I-P para avaliar os fluxos de água. ....	23
Quadro 2– Matriz de coeficientes de transação da água para a economia brasileira em 2009.	68

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Relações fundamentais de Insumo-Produto. ....	27
Tabela 2 – Modelo de insumo-produto para a contabilidade da água virtual.....	34
Tabela 3 - Setores da economia brasileira utilizados na matriz insumo-produto.....	52
Tabela 4 – Resumo dos indicadores de consumo de água direto (DWI), total (VWC) e indireto (IWI) para os setores da economia brasileira para o ano de 2009.....	55
Tabela 5 - Multiplicador do consumo de água ( <b>wcm</b> ) e multiplicador de consumo de água indireta ( <b>iwc</b> ) em mil m <sup>3</sup> de água. ....	61
Tabela 6 – Índices de ligações para trás ( <b>UBL</b> ) e ligações para frente ( <b>UFL</b> ) em termos de consumo de água. ....	70
Tabela 7 – Exportações, importações e saldo líquido do comércio de água virtual em milhões de m <sup>3</sup> de água para a economia brasileira no ano de 2009. ....	73

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 ÁGUA VIRTUAL E ANÁLISE INTERSETORIAL – CONCEITOS E APLICAÇÕES</b> .....	19
<b>3 FLUXO INTERSETORIAL DE ÁGUA VIRTUAL E COMÉRCIO INTERNACIONAL -CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS</b> .....	26
<b>3.1 O modelo insumo-produto tradicional– e as extensões ambientais do modelo básico de Leontief</b> .....	26
<b>3.2 Modelo de Ghosh</b> .....	32
<b>3.3 Formalização do Modelo de Insumo-Produto aplicado ao uso da água</b> .....	34
3.3.1 Matriz de Uso (U) .....	36
3.3.2 Matriz de Produção (V).....	37
3.3.3 Matriz <i>Product Mix</i> (C).....	38
3.3.4 Matriz de requerimento total numa abordagem “produto-por-atividade” .....	39
3.3.5 Indicadores do consumo de água .....	43
3.3.6 Matriz de coeficientes de transação da água .....	46
3.3.7 Índices de encadeamento.....	47
3.3.8 Comércio internacional de água virtual.....	50
<b>3.4 Procedimentos e dados</b> .....	51
<b>4 AVALIAÇÃO DO FLUXO INTERSETORIAL E DO COMÉRCIO INTERNACIONAL DE ÁGUA VIRTUAL DA ECONOMIA BRASILEIRA</b> .....	55
<b>4.1 Indicadores do consumo de água</b> .....	55
<b>4.2 Multiplicadores do uso da água</b> .....	61
<b>4.3 Matriz de coeficientes de transação da água e análise dos encadeamentos</b> .....	64
<b>4.4 Fluxos de água virtual no comércio internacional</b> .....	73
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	77
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	81

# 1 INTRODUÇÃO

Enquanto entre os especialistas em recursos hídricos há um crescente interesse na relação entre o comércio internacional e a escassez de água doce, entre os economistas esse assunto ainda não é tão discutido (HOEKSTRA, 2010). As implicações do comércio internacional sobre o uso da água não costumam ser motivo de preocupação.

Segundo Hoekstra (2010), um dos motivos para o desinteresse dos economistas nesse assunto é que as entradas (“*inputs*”) de água utilizadas no processo produtivo dificilmente contribuem para o preço global (final) das *commodities* negociadas. Esse argumento parece justificar o fato de que a água não seja importante a ponto de influenciar os padrões de produção e de comércio. No entanto, isso ocorre porque o preço cobrado pela água doce, geralmente, está muito abaixo do seu real valor econômico (HOEKSTRA, 2010). A maioria dos governos subsidia o abastecimento de água em grande escala, investindo em infraestrutura como barragens, sistemas de distribuição, e tratamento de águas residuais. Esses custos muitas vezes não são repassados aos usuários de água. Além disso, devido ao caráter público, sua escassez geralmente não é traduzida em um componente adicional ao preço dos bens e serviços que são produzidos com água, como acontece naturalmente no caso de bens privados. Por fim, os usuários de água geralmente não pagam os impactos negativos do uso intensivo e inadequado desse recurso sobre os ecossistemas. Como resultado, as entradas (*inputs*) de água não constituem um componente substancial do preço total, nem mesmo dos produtos mais intensivos em água como as *commodities* agrícolas e industriais (HOEKSTRA, 2010).

O outro motivo reside no fato de que a água não é, devido às suas propriedades volumosas, um bem originalmente comercializável. A única forma de comércio direto de água é a água engarrafada e bebidas (GLEICK, 2004), que diz respeito a volumes relativamente pequenos de água, já que as pessoas consomem apenas alguns litros de água por dia. Por outro lado, o uso total de água per capita para a produção de todos os bens e serviços consumidos por uma nação é de milhares de litros por dia (HOEKSTRA, 2010).

Todavia, a água é um insumo importantíssimo no processo produtivo. A produção de todos os bens e serviços de uma forma ou outra está direta e/ou indiretamente relacionada à utilização de água. Portanto, o uso intensivo desse recurso, utilizado como insumo no processo produtivo, pode comprometer sua oferta futura e também a dos bens e serviços que dependem da oferta contínua e abundante desse insumo.

Para Hoekstra (2010), os especialistas em comércio esquecem que existem efeitos externos significativos sobre o sistema ecológico dos países que utilizam intensivamente seus recursos hídricos. Tais efeitos nunca estão incluídos nos preços das *commodities*, pois nenhum país cobra pela escassez da água como insumo, apesar de a água já ser escassa em muitas regiões. Dessa forma, à medida que os preços não consideram a degradação do meio ambiente nem o real valor futuro para as próximas gerações do bem ambiental, países como o Brasil exportam seus recursos naturais “gratuitamente”.

A maior parte do comércio internacional de água é realizada de forma indireta, “virtual”, ou seja, embutida nas matérias-primas agrícolas e industriais (HOEKSTRA; HUNG, 2005; HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2008). A importação de “água virtual”, embora “invisível aos olhos”, pode ser um meio eficaz para os países com escassez de água preservarem seus recursos hídricos domésticos (ALLAN, 2001; HOEKSTRA, 2010).

O comércio internacional de *commodities* agrícolas e industriais cria uma ligação direta entre países com escassez hídrica e países abundantes em recursos hídricos como o Brasil. Países com escassez hídrica demandam água embutida (*embodied*) via *commodities* “hidro intensivas” de países ricos nesse recurso, que o exportam na forma virtual (HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2008).

Água virtual é definida como o volume de água necessário para produzir uma mercadoria ou serviço. Mais especificamente, é a água incorporada nos produtos agrícolas transacionados através do comércio internacional (ALLAN, 1993). Na atualidade, o termo água virtual é utilizado para se referir à água que é necessária para a produção de *commodities* agropecuárias, bem como produtos industriais (HOEKSTRA; HUNG, 2003; OKI; KANAE, 2004).

O Brasil é um país rico em recursos naturais, especialmente em água doce. A vazão média anual dos rios em território brasileiro é de 179.000 m<sup>3</sup>/s. Esse valor corresponde a aproximadamente 12% da disponibilidade mundial de água doce, que é de 1,5 milhão de m<sup>3</sup>/s (Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, 2006). No entanto, mesmo com oferta abundante de recursos hídricos, se não houver um planejamento estratégico com alocação eficiente, é possível que o uso intensivo desse recurso leve a uma degradação da qualidade da água doce disponível e ainda a uma possível escassez futura em determinadas regiões.

De acordo com Mekonnen e Hoekstra (2011) no período entre 1996-2005<sup>1</sup> o Brasil foi o quarto maior exportador de água virtual do mundo. Segundo os autores, foram exportados

---

<sup>1</sup>O período diz respeito ao último ano das contas da Pegada Hídrica e Água Virtual das nações, as quais foram apresentadas em relatório por Hoekstra (2011).

112.000 milhões de m<sup>3</sup>/ano de água “embutida” (*embodied*), perdendo apenas para os Estados Unidos (314.000 milhões de m<sup>3</sup>/ano), China (143.000 milhões de m<sup>3</sup>/ano) e Índia (143.000 milhões de m<sup>3</sup>/ano). A maior parte vinculada à exportação de *commodities* agrícolas, que representaram no período 79,18% da água virtual exportada pelo Brasil, acompanhadas dos produtos de origem animal (17,56%) e dos produtos industriais (3,26%) (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2011).

Tendo em vista a importância da água como insumo utilizado no processo produtivo dos diversos setores da economia, a relevância do Brasil como grande fornecedor de água virtual para outros países, a transferência pelo Brasil de grande quantidade de água doce via comércio internacional e a ausência, nos preços de mercado, dos impactos dessas transações sobre o sistema ecológico nacional, é necessário contabilizar a quantidade de recursos hídricos que é demandada pelo setor interno e principalmente o conteúdo de água virtual enviada ao exterior a partir de um método amplamente utilizado como o insumo-produto.

A maior parte dos trabalhos que apresentam discussões sobre as questões da água virtual até agora estão direcionadas principalmente aos países importadores (com escassez hídrica). Pouca atenção tem sido dada a países exportadores como o Brasil, bem como aos impactos ambientais associados com a exportação virtual de água. As discussões sobre a aplicação do conceito de água virtual e as políticas de gerenciamento dos recursos hídricos em geral têm sido negligenciadas pelos países exportadores (MERRETT, 2003). No entanto, como o comércio de água virtual está cada vez mais presente nas políticas globais de combate à escassez de água regional, as questões relacionadas com os países exportadores merecem muito mais atenção (YANG et al., 2006).

O objetivo deste estudo é verificar se o método insumo-produto comprova os resultados de Mekonnen e Hoekstra (2011), que sugerem que o Brasil é um exportador líquido de água virtual. Além disso, objetiva-se analisar quais são os impactos sobre o sistema ecológico do Brasil do uso da água na produção de *commodities* para consumo doméstico e, principalmente, para exportação. Para tanto, será utilizada uma matriz insumo-produto ambientalmente estendida dos fluxos comerciais de água virtual da economia brasileira para o ano de 2009 (matriz insumo-produto mais recente). Será realizada uma combinação da análise dos indicadores de consumo direto, indireto e total e dos multiplicadores de consumo de água, da matriz de coeficientes de transação e os índices de encadeamento para avaliar as transações intersetoriais, e averiguar quais setores consomem mais fortemente recursos hídricos e quais deles influenciam o consumo de água em toda a cadeia de produção. A partir daí, pode-se

mensurar a quantidade de água virtual importada e exportada via comércio internacional pelos diferentes setores econômicos brasileiros.

As próximas seções deste estudo estão organizadas da seguinte forma. A segunda seção expõe o conceito de água virtual e apresenta uma revisão de trabalhos que utilizam diferentes técnicas para avaliar a água embutida nas *commodities*. A terceira refere-se às considerações metodológicas utilizadas neste estudo. Traz o modelo insumo-produto e as extensões ambientais do modelo básico de Leontief; a formalização do modelo de Insumo-Produto aplicado ao uso da água e os procedimentos seguidos na obtenção dos dados para a aplicação do modelo selecionado à economia brasileira em 2009. Na quarta seção, avaliam-se os resultados obtidos na aplicação do modelo, seguido das conclusões obtidas neste estudo.

## 2 ÁGUA VIRTUAL E ANÁLISE INTERSETORIAL – CONCEITOS E APLICAÇÕES

De acordo com Rincón (2006) uma boa forma de medir o grau de esgotamento e o uso dos recursos naturais devido às trocas comerciais são os indicadores biofísicos. Eles permitem identificar a quantidade de recursos naturais utilizados (escala) em determinada atividade econômica nos diferentes setores produtivos. Com esse propósito foi desenvolvido o conceito de água virtual.

A ideia de água virtual é derivada do conceito de "água embutida", que surge do estudo de Fishelson (1994) aplicado à agricultura em Israel (DABO; HUBACEK, 2007). O estudo apontou que a exportação de água embutida em culturas "hidro intensivas" israelenses não era sustentável no longo prazo.

O conceito de água virtual foi introduzido pela primeira vez por Allan (1994) e referia-se à água necessária para produzir os produtos agrícolas que são comercializados internacionalmente. A partir de seus resultados, o autor verificou que alguns países caracterizados pela escassez de água garantiam a sua oferta de alimentos por meio da importação de produtos alimentares intensivos em água, em vez de produzir toda a sua oferta de alimentos internamente. Mais tarde, o conceito evoluiu, e a água virtual passou a ser definida como o volume de água utilizado na produção de um bem ou serviço. Atualmente, a água virtual é utilizada para se referir à água que é necessária para a produção de matérias-primas agrícolas e industriais (OKI; KANAE, 2004). Água virtual é a água incorporada em um produto. Também é chamado de "água encarnada" (*embodied water*) ou "água exógena", este último referindo-se à importação de água virtual (HOEKSTRA, 2003).

Segundo Hoekstra e Chapagain (2007), o termo água virtual está intimamente ligado ao conceito de pegada hídrica, que foi proposto por Hoekstra e Hung (2002). A pegada hídrica de um produto é semelhante ao conceito de "conteúdo de água virtual", ou água embutida, incorporada, exógena ou oculta no produto (HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2008). A pegada hídrica de uma nação é definida como o volume total de água doce ( $m^3/t$  – metros cúbicos por tonelada métrica) que é utilizada para produzir os bens e serviços consumidos por uma nação (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2004). No entanto, segundo Chapagain e Hoekstra (2004), o termo água virtual possui um significado mais restrito. Ele se refere somente ao volume de água incorporado no produto em si, enquanto o termo pegada hídrica é um indicador

multidimensional que se refere não somente ao volume, mas também ao tipo de água que foi utilizada (verde, azul, cinza) (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2004).

A pegada hídrica azul de um produto refere-se ao consumo de água superficial e subterrânea, ou seja, aos volumes de água dos rios, lagos e lençóis freáticos, usualmente utilizados na irrigação e ao longo das cadeias produtivas. 'Consumo' refere-se à perda de água (superficial ou subterrânea) disponível em uma bacia hidrográfica. A perda ocorre quando a água evapora, retorna a outra bacia ou ao mar ou é incorporada em um produto. A pegada hídrica verde refere-se ao consumo de água da chuva. Por fim, a pegada hídrica cinza é definida como o volume de água doce necessário para assimilar a carga de poluentes, a partir de concentrações naturais e de padrões de qualidade da água existentes (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2004).

A pegada hídrica é análoga à pegada ecológica (*ecological footprint*), que estima a área de terra e mar necessária para sustentar o consumo de alimentos, bens e serviços, habitação e energia, e assimilar os resíduos (WACKERNAGEL; REES, 1996). A pegada ecológica é expressa em hectares "globais" (gha), unidades padronizadas que levam em conta as diferenças de produtividade biológica dos diversos ecossistemas impactados por suas atividades de consumo. Já a pegada hídrica, que é um indicador do uso de água de um produto, é expressa sempre em termos de água por unidade de produto (normalmente m<sup>3</sup>/t ou l/kg – litro por quilograma).

Há um crescente interesse na pesquisa sobre a água virtual e a pegada hídrica nos últimos anos (WANG et al., 2013). Alguns deles mais centrados no nível micro, como o teor de água virtual dos produtos ou a pegada de água dos consumidores. Hoekstra e Chapagain têm explorado o conteúdo de água virtual de diferentes produtos, como soja, milho, arroz e carne (HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2007, 2011; HOEKSTRA, 2012), e a pegada de água dos processos de produção (HOEKSTRA; MEKONNEN, 2012). Outras pesquisas concentraram-se no nível macro, isto é, nas pegadas hídricas nacionais ou nos fluxos de água virtual, como é o caso dos estudos feitos para países como a Colômbia, Espanha e Reino Unido (RINCÓN, 2006; GALAN-DEL-CASTILLO; VELAZQUEZ, 2010; YU et al., 2010).

De acordo com Hoekstra (2003), conhecer o teor de água embutida nos produtos educa as pessoas a respeito da quantidade de água que é utilizada no processo produtivo e também a respeito da identificação dos produtos que têm o maior impacto sobre o sistema de água e em relação aos quais a economia de água é possível. Neste estudo será utilizado o termo água virtual para se referir ao volume de água consumido no processo produtivo de um produto agrícola ou industrial. O conteúdo de água virtual diz respeito ao volume de água (m<sup>3</sup>/t) que é

utilizado, direta e indiretamente, na produção de bens e serviços. Embora o termo água virtual seja mais restrito que o da pegada hídrica, ele é o mais adequado quando se trata de trocas comerciais e principalmente do contexto internacional de fluxos de água virtual, em que países exportadores transferem água de modo virtual para outros países. Além disso, a escolha do conceito de água virtual torna-se necessária já que no Brasil os dados disponíveis para os produtos industriais não são divulgados quanto ao tipo de água utilizada no processo de produção (água azul, verde ou cinza). O que tornaria viável a aplicação do termo pegada hídrica. Os dados disponíveis para a indústria são expressos somente por volume de água utilizada na produção de um bem industrial. Dessa forma, o termo mais adequado e empregado nesse caso é o de água virtual.

Segundo Wang et al. (2013), existem dois métodos amplamente aceitos para avaliar o conteúdo de água virtual: a abordagem *bottom-up*, que considera a soma dos bens e serviços consumidos pelos habitantes multiplicada por seu conteúdo de água virtual, e a abordagem *top-down*, que calcula a utilização total de recursos hídricos nacionais, além dos fluxos tanto de água virtual importada quanto exportada. A primeira abordagem foi a que Mekonnen e Hoekstra (2011) utilizaram em seus estudos para mensurar a pegada hídrica e água virtual dos diferentes países, incluindo o Brasil.

Recentemente, vários estudos têm utilizado o modelo insumo-produto (I-P), um dos métodos de cima para baixo (*top-down*), para quantificar as pegadas nacionais ou regionais de água e o conteúdo de água virtual (VELÁZQUEZ, 2006; DABO; HUBACEK, 2007; ZHAO et al., 2009; WANG et al., 2009; ZHAO et al., 2010; HRISTOV et al., 2012; MUBAKO et al., 2013; WANG et al., 2013). Seus resultados, resumidos no quadro 1 abaixo, demonstram que o método é altamente eficaz para avaliar os fluxos de recursos hídricos, bem como as transferências de cargas ambientais nas cadeias de abastecimento ou então durante o ciclo dos produtos (AVISO et al., 2011).

(continua)

Fonte	Conclusões
VELÁZQUEZ (2006)	É necessário fazer uma distinção clara entre o consumo direto e indireto de água. A distinção é importante porque cada setor de produção apresenta valores diferentes dependendo do tipo de indicador em consideração. De um lado, essas diferenças são mostradas, por exemplo, pelo setor agrícola, que apresenta, em geral, elevada taxa de consumo direto e baixas taxas de consumo indireto; de outro lado, pelos setores industriais e de serviços, que

(continuação)

	apresentam baixos indicadores de consumo direto e altos indicadores de consumo indireto.
DABO; HUBACEK (2007)	Os resultados dos fluxos de água virtual mostram que a região norte da China, caracterizada pela escassez de água doce, produz e exporta produtos intensivos em água, enquanto importa produtos não intensivos. Em comparação, a região abundante em recursos hídricos (região sul da China) importa bens hidro intensivos, mas exporta produtos não intensivos no uso da água.
ZHAO et al. (2009)	Contrariando os resultados encontrados por Hoekstra e Hung (2002), a China é um importador de água virtual no comércio de culturas (agrícola). No entanto, se contabilizados todos os setores da economia, a China é, na verdade, um grande exportador de água virtual. Dessa forma, para os autores, ao invés de se concentrar no conteúdo de água virtual dos setores agrícolas, a estratégia de segurança no uso dos recursos hídricos da China deve ser implementada através da importação de produtos intensivos em água em vez de produzir todos os produtos no mercado interno.
WANG et al. (2009)	O método foi utilizado para a cidade de Zhangye no noroeste da China, mostrou que o maior consumo de recursos hídricos parte dos setores industriais e que a cidade atualmente não faz uso da importação de água virtual sob a forma de insumos econômicos. Porém, dadas as limitações de recursos hídricos disponíveis, a estratégia de importação de água virtual deve ser vista como uma fonte alternativa de água no futuro.
ZHAO et al. (2010)	Os resultados deste estudo revelam que a pegada hídrica da China reduziu-se drasticamente de 1997 a 2002, o que implica que o consumo de recursos hídricos tende a mover-se para a direção de maior economia de água. Os setores que apresentam pegada hídrica intensiva (principalmente a agricultura, alimentos e tabaco) foram grandes importadores de água virtual nos três anos considerados.
HRISTOV et al. (2012)	A principal conclusão do estudo é que a economia macedônica é caracterizada por uma estrutura produtiva hidro intensiva, focada principalmente na agricultura e nos setores industriais. A agricultura apresentou uma elevada taxa de utilização da água direta e fornece recursos hídricos principalmente para o setor de tabaco. Por outro lado, os setores de manufatura, tais como coque e refinados de petróleo, apresentam a maior taxa de consumo indireto, derivado principalmente do setor de mineração e metais básicos.
MUBAKO et al. (2013)	Setores econômicos como a aquicultura e a agricultura revelaram-se usuários intensivos de água direta. Já setores como a indústria e os de serviços apresentaram valores mais altos para o uso indireto de água. Os indicadores de intensidade do uso da água podem desempenhar um papel importante na identificação dos setores ineficientes da economia, em que o uso da água para cada unidade de produção econômica é elevado.

(conclusão)

WANG et al. (2013)	Os resultados sugerem que Pequim poupa água através de ajustes na estrutura industrial. Além disso, este estudo calculou as pegadas de água cinza para a agricultura e indústria. A pegada cinza da agricultura é muito maior do que a da indústria. Desse modo, a agricultura descarrega mais poluentes no meio ambiente do que a indústria. O comércio de água virtual também foi avaliado, revelando que essa estratégia desempenha um papel importante no alívio de escassez de água em Pequim. Pequim é importadora de água virtual, especialmente pelos setores da agricultura e produção de eletricidade e abastecimento. Além disso, a comparação entre a pegada de água para Pequim e outras províncias mostra que a eficiência do uso da água de Pequim é mais elevada do que a média na China.
--------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Quadro 1 – Resumo das principais conclusões da literatura analisada sobre o uso do método I-P para avaliar os fluxos de água.

Fonte: Adaptado de Velazquez (2006), Dabo e Hubacek (2007), Zhao et al. (2009), Wang et al. (2009), Zhao et al. (2010), Hristov et al. (2012), Mubako et al. (2013) e Wang et al. (2013).

Proposto por Leontief (1936), o modelo insumo-produto busca identificar as interdependências dos setores da economia de um país, considerando sua produção, tecnologia e consumo. Para Wang et al. (2013), o modelo I-P quantifica claramente os fluxos de água virtual intersetoriais, representando as entradas de água direta e indireta durante os processos de produção. O método pode avaliar sistematicamente a pegada hídrica e o comércio de água virtual da demanda final, no contexto de toda a circulação econômica, em vez de apenas culturas ou produtos de origem animal como visto na maioria dos estudos que utilizam a abordagem *bottom-up* (ZHAO, 2010).

Além dos fluxos intersetoriais de água o modelo insumo-produto de Leontief também possibilita, através dos índices de encadeamento de Rasmussen-Hirschman, identificar os setores-chave na economia em termos de consumo de água<sup>2</sup>. Tais índices foram idealizados por Rasmussen (1956) e posteriormente desenvolvidos por Hirschman (1958) (GUILHOTO; SESSO FILHO, 2005). Através dos índices de encadeamento, é possível determinar o grau de integração entre os setores, isto é, de que maneira os setores econômicos interagem quanto à

<sup>2</sup> O conceito de “setores-chave” é motivo de controvérsias e, portanto, não possui uma definição amplamente aceita (FERNANDES, 1997). Os “setores-chave” são vistos, mais frequentemente, como aqueles setores que, em fase de crescimento econômico, promovem uma expansão acima da média nos outros setores, isto é, seu crescimento impulsiona o crescimento dos demais setores da economia devido ao seu poder de propagação através das ligações intersetoriais. Segundo Hirschmann (1958), investimentos nos “setores-chave” são eficientes para induzir o desenvolvimento econômico global.

oferta e demanda de insumos (GUILHOTO, 2011). Assim, é possível verificar quais setores possuem maior poder de encadeamento dentro da economia. No caso das relações intersetoriais de água, os índices permitem investigar a capacidade que um setor tem de influenciar o consumo de água de outros setores.

Segundo Bekchanov et al. (2012), diferentes formas e métodos para medir as relações intersetoriais através da análise de ligação foram propostos após Rasmussen e Hirschman (CELLA, 1984; HEWINGS, 1982; SONIS et al., 1995; OOSTERHAVEN; STELDER, 2002). Para Lenzen (2003), apesar da evolução nos métodos de análise de encadeamento, todas as abordagens alternativas propostas para medir as relações intersetoriais têm vantagens e desvantagens e devem ser consideradas como complementares e não exclusivas. Todavia, a abordagem introduzida por Rasmussen (1956) e Hirschman (1958) é amplamente utilizada e considerada uma forma padrão de estimativa das ligações intersetoriais (MIDMORE et al., 2006).

Existem estudos como o de Yu et al. (2010) e Hristov et al. (2012) que utilizam o modelo de Leontief para analisar as relações intersetoriais a partir dos índices de encadeamento para frente e para trás de Rasmussen-Hirschman. No entanto, Beyers (1976) e Jones (1976) apontaram várias deficiências no uso da matriz inversa do modelo de Leontief para medir as ligações para frente. A mais significativa diz respeito ao fato de que a soma das linhas da matriz inversa de Leontief é o resultado da demanda gerada por ligações para trás dos setores. Portanto, segundo Jones (1976), não pode ser usada para medir as ligações para frente, já que não fornece uma medida dos encadeamentos para frente, simétrica à prevista pela soma das colunas que mede as ligações para trás. A solução apontada por Beyers (1976) e Jones (1976) para o cálculo do índice de ligação para frente é o uso da matriz inversa de Ghosh (1958).

Bekchanov et al. (2012), utilizou um modelo insumo-produto ambientalmente estendido para comparar e classificar os setores econômicos de acordo com o conteúdo do uso da água e os vínculos econômicos pelos índices de ligação. Em seu estudo para a economia do Uzbequistão, foram utilizados ambos os modelos, o de Leontief e o de Ghosh. O primeiro para avaliar as medidas de articulação intersetorial e os índices de ligação para trás. O último para estimar as ligações para frente, já que, segundo Bekchanov et al. (2012), o modelo de Leontief é irrelevante para esta finalidade.

De acordo com Yu et al. (2010), o índice de ligação para trás indica o quanto um setor demanda dos outros, isto é, quantifica o quanto cada setor depende de outros setores para suprir sua demanda por insumos. Nas palavras de Yu et al. (2010, p. 1143) “*Backward*

*linkages, in terms of water consumption, are expressed as the capacity of sector j to influence water consumption in sectors providing direct or indirect inputs to sector j*". Dessa forma, se o índice de ligação para trás ( $\mathbf{U}_{BL}$ ), ponderado pelo uso da água ( $\mathbf{DWI}$ ), for maior que 1, esse setor é altamente dependente de água para a sua produção, ou seja, esse setor é forte comprador de água de outros setores. Isso o caracteriza como consumidor indireto de água virtual, já que depende do fornecimento de insumos "hidro intensivos" de outros setores.

Por outro lado, o índice de ligação para frente ( $\mathbf{U}_{FL}$ ) diz o quanto determinado setor é demandado por outros, ou seja, quantifica o grau em que setores fornecem insumos para outros setores em toda a economia. De acordo com Yu et al. (2010, p. 1143) "*Forward linkage, in terms of water consumption, indicates the capacity of sector i to stimulate the production of other sectors, and therefore the consumption of water*". Assim, se o índice de encadeamento para frente, ponderado pelo uso de água ( $\mathbf{DWI}$ ), for maior que 1, esse setor é forte vendedor de produtos que exigem alto consumo de água para ser produzido (YU et al., 2010; HRISTOV et al., 2012). Nesse caso, tal setor é considerado um consumidor direto de água virtual, pois, utiliza fortemente recursos hídricos na produção de insumos que serão vendidos aos demais setores econômicos.

Quando o setor apresenta somente fortes encadeamentos para trás ou somente fortes encadeamentos para frente, ele é chamado, respectivamente, de setor com fortes encadeamentos para trás e setor com fortes encadeamentos para frente. No entanto, se um setor apresentar ambos os índices de ligação maiores que 1, trata-se de um setor-chave, isto é, um setor cuja produção depende dos insumos fornecidos por todos os demais, mas também um setor cujo produto é utilizado por todos os demais. Ele é, ao mesmo tempo, um setor fortemente comprador de insumos (fortes encadeamentos para trás) e fortemente vendedor de produto (fortes encadeamentos para frente).

Na seção a seguir, será demonstrado de que maneira o modelo convencional insumo-produto pode ser estendido para incorporar variáveis ambientais, como a água, em suas análises e mensurar as ligações intersetoriais e os fluxos de água virtual no comércio internacional.

### **3 FLUXO INTERSETORIAL DE ÁGUA VIRTUAL E COMÉRCIO INTERNACIONAL -CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS**

Este capítulo encontra-se dividido em quatro seções:

- a) O modelo insumo-produto tradicional – e as extensões ambientais do modelo básico de Leontief;
- b) Modelo de Ghosh;
- c) Formalização do Modelo de Insumo-Produto aplicado ao uso da água;
- d) Procedimentos e dados.

Na primeira seção, expõe-se o modelo básico de Leontief, e discutem-se os conceitos e definições das extensões metodológicas do modelo que admitem a relação entre o sistema econômico e o sistema ecológico. A segunda seção apresenta brevemente alguns conceitos e a representação algébrica do modelo de Ghosh (1958). A terceira seção traz a derivação formal detalhada do modelo utilizado (modelo insumo-produto, numa formulação produto-atividade) para mensurar o consumo de água pelos diferentes setores da economia brasileira, bem como o fluxo de água virtual no comércio internacional. Por fim, na última seção apresentam-se os procedimentos seguidos na obtenção dos dados para a aplicação do modelo selecionado à economia brasileira em 2009.

#### **3.1 O modelo insumo-produto tradicional– e as extensões ambientais do modelo básico de Leontief**

Proposto por Wassily Leontief (1936), o modelo insumo-produto busca identificar as interdependências dos setores da economia de um país, considerando sua produção, tecnologia e consumo. O primeiro estudo de Leontief utilizando o modelo insumo-produto convencional foi realizado em 1936, com o título “*Quantitative input and output relations in the economic system of the United States*” (DIETZENBACHER; LAHR, 2004). Seu trabalho deu origem à primeira tabela insumo-produto para dez setores da economia dos Estados Unidos.

O modelo insumo-produto convencional é baseado em uma tabela quantitativa de transações, normalmente expressa em valores monetários, que descreve os fluxos de produção

e consumo de bens e serviços dos setores econômicos a todos os outros setores ao longo de um período contábil (GRETTON, 2005). A Tabela 1 ilustra as relações interindustriais em que as vendas dos setores vendedores  $i$  podem ser utilizadas tanto pelos diferentes setores compradores  $j$ , como pelos outros componentes da demanda final (famílias, governo, investimento e exportações) (GUILHOTO, 2011).

Tabela 1- Relações fundamentais de Insumo-Produto.

	Setores compradores ( $j$ )			Demanda final ( $f$ )	Produção total ( $x$ )
	1	2	3		
Setores vendedores ( $i$ )	1 2 3	Insumos intermediários ( $Z_{ij}$ )		Famílias, Governo, Investimento e exportações. Representa o consumo de bens e serviços finais.	Soma da produção total de bens e serviços destinados ao consumo intermediário e final.
Valor adicionado $v'$	Entradas (inputs) não industriais para a produção, como: remuneração do trabalho, a depreciação do capital, impostos, rendimento do setor financeiro, aluguel, lucros, etc...				
Importações	Importações provenientes do resto do mundo.				
Produção total ( $x'$ )	Soma total das despesas realizadas pelos setores para a produção de bens e serviços.				

Fonte: Elaboração própria com base em Miller e Blair (2009) e Guilhoto et al. (2009).

Em modelos insumo-produto convencionais com  $n$  setores, um elemento na matriz de transações  $Z_{ij}$  ( $n \times n$ ) representa o valor das vendas do setor  $i$  ao setor  $j$  ou das compras pelo setor  $j$  do que é produzido pelo setor  $i$ . Além disso, existe um vetor de  $n$ -elementos de produção total do setor  $x_j$ , expressa pela equação (1) abaixo:

$$x_j = z_{jx1} + \dots + z_{jxn} + f_j \quad (1)$$

em que  $f_j$  são as vendas do setor  $j$  para a demanda final. Na forma matricial:

$$\mathbf{x} = \mathbf{Z}\mathbf{i} + \mathbf{f} \quad (2)$$

Os coeficientes técnicos de entrada direta  $\mathbf{A} = a_{ij}$  são definidos como:

$$\mathbf{A} = \mathbf{Z} \hat{\mathbf{x}}^{-1} \quad (3)$$

em que a notação “ $\hat{\phantom{x}}$ ” sobre a variável indica uma matriz diagonal.

Substituindo a equação (3) na (2) tem-se:

$$\mathbf{x} = \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{f} \quad (4)$$

Dessa forma, a versão convencional do modelo insumo-produto (abordagem atividade-por-atividade) é formalmente expressa pela equação (5) abaixo (MILLER; BLAIR, 2009; GUILHOTO et al., 2009):

$$\mathbf{x} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{f}_i \quad (5)$$

em que:

$\mathbf{x}$  = é um vetor do valor da produção por atividade;

$(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = \mathbf{L}$  = chamada matriz inversa de Leontief constituída pelos elementos  $\alpha_{ij}$ , em que cada um representa os requisitos diretos e indiretos de insumos do setor  $j$  por unidade de demanda final utilizados na produção do setor  $j$ ;

$\mathbf{f}_i$  = é um vetor de demanda final.

A matriz inversa de Leontief informa os requisitos diretos e indiretos de insumos produtivos na economia que são necessários para satisfazer um determinado vetor de demanda final por produto (GAY; PROOPS, 1993). Essa relação fica clara ao expandir a matriz:

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = \mathbf{I} + \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \mathbf{A}^3 + \dots \quad (6)$$

Substituindo a equação (6) na (5), tem-se:

$$\mathbf{x} = \mathbf{f} + \mathbf{A}\mathbf{f} + \mathbf{A}^2\mathbf{f} + \mathbf{A}^3\mathbf{f} + \dots \quad (7)$$

Dessa forma a demanda total para os  $n$  bens produzidos na economia pode ser decomposta da seguinte forma (GAY; PROOPS, 1993, p.116):

$\mathbf{f}_i$  é requerido pela demanda final por parte dos consumidores;

$\mathbf{A}\mathbf{f}$  é necessário para produzir os bens  $\mathbf{f}$ . Este é o "efeito indireto na primeira rodada”;

$\mathbf{A}^2\mathbf{f}$  é necessário para produzir os bens  $\mathbf{A}\mathbf{f}$ . Este é o "efeito indireto na segunda rodada”;

$\mathbf{A}^3\mathbf{f}$  é necessário para produzir os bens  $\mathbf{A}^2\mathbf{f}$ . Este é o "efeito indireto na terceira rodada”, etc...

Com isso, percebe-se que a demanda intermediária é a soma do efeito indireto da primeira rodada com a segunda rodada, e assim por diante.

A ligação entre a demanda final e a correspondente produção de um setor é, portanto, determinada pela matriz inversa de Leontief, que mostra o impacto de um aumento exógeno na demanda final sobre todos os setores industriais. Dessa forma, é possível calcular qual a produção total que é necessária para atender a, por exemplo, um aumento na demanda final.

Além disso, o modelo de Leontief (1951) permite realizar o cálculo de outros indicadores que evidenciam as relações entre os setores e o poder de encadeamento de cada setor dentro da economia. Para captar a importância de certo setor como potencial demandante, utiliza-se o índice de encadeamento para trás de Rasmussen (1956) e Hirschman (1958). O índice de encadeamento para trás ( $\mathbf{BL}_j$ ) permite verificar o quanto um setor  $j$  qualquer demanda de outros setores da economia. Esse índice é formulado a partir da matriz inversa de Leontief (Eq. 5), sendo  $l_{ij}$  definido como um elemento da matriz  $\mathbf{L}$ . Com isso, ao definir  $\mathbf{L}^*$  como a média de todos os elementos de  $\mathbf{L}$ , e  $\mathbf{L}_{*j}$  como a soma de uma coluna de  $\mathbf{L}$ , pode-se obter o índice de Hirschman-Rasmussen para trás a partir da equação (8) abaixo:

$$\mathbf{BL}_j = \frac{(\mathbf{L}_{*j}/n)}{\mathbf{L}^*} \quad (8)$$

em que  $n$  é o número de setores (linhas) da economia.

Os setores que apresentarem valores acima de 1 para esse índice são demandantes acima da média se comparados a outros setores da economia (GUTIERRE; GUILHOTO; NOGUEIRA, 2012).

As tabelas de insumo-produto permitem, além da análise convencional, que se avaliem diversos outros aspectos econômicos, sociais e até mesmo ambientais. Segundo Guilhoto (2011), Leontief estendeu o uso das tabelas insumo-produto para outras análises como: a automação e os efeitos das mudanças tecnológicas sobre os trabalhadores, em especial sobre o emprego; o desarmamento e suas consequências sobre a economia americana; o meio ambiente e o impacto dos diferentes setores sobre o ecossistema; o comércio internacional; e, por último, a análise espacial e mundial (GUILHOTO, 2011).

O tema meio ambiente já havia sido tratado em estudos anteriores aos de Leontief, numa tentativa de incluir variáveis ambientais no modelo insumo-produto (CUMBERLAND, 1966; DALY, 1968; ISARD, 1968; AYRES; KNEESE, 1969). No entanto, Leontief estava insatisfeito com o enfoque dado ao tema nesses trabalhos, o que o levou a inovar na estrutura do modelo insumo-produto e a apresentar um modelo que relacionava os problemas de poluição e meio ambiente ao sistema econômico, mais tarde desenvolvido e implementado por Leontief e Ford (1972) (DIETZENBACHER; LAHR, 2004). Segundo Leontief (1970), o que possibilitou a extensão metodológico-ambiental do modelo foi o fato de a interdependência técnica da poluição e da produção econômica poder ser expressa em termos de coeficientes similares ao modelo original.

As duas décadas seguintes foram marcadas por um rápido desenvolvimento de modelos de matrizes insumo-produto ambientais que estenderam o quadro I-P de forma incremental, no sentido de empregar unidades físicas (metros cúbicos de água, hectares de terra, ou toneladas de  $SO_2$ ) no processo (PERMAN et al., 2003). Os modelos insumo-produto ambientais, que surgem a partir do modelo convencional, são classificados por Miller e Blair (2009) em três categorias básicas:

- a) Modelos generalizados insumo-produto, em que se aumenta a matriz de coeficientes técnicos com linhas e/ou colunas adicionais para refletir atividades de geração e redução de poluição (LEONTIEF, 1970, 1973; LEONTIEF; FORD, 1972).
- b) Modelo econômico-ecológico, que resulta do alargamento do quadro interindustrial para incluir setores "ecossistêmicos". Tais modelos são também denominados "Modelos totalmente integrados", nos quais os fluxos são registrados entre setores

econômicos e ambientais ao longo das linhas de um modelo insumo-produto inter-regional (DALY, 1968; ISARD et al., 1972).

- c) Modelos "produto-atividade", que expressam fatores ambientais como *commodities* (produtos) em uma tabela insumo-produto produto-por-atividade (VICTOR, 1972).

Neste trabalho, utiliza-se o último tipo. Versão mais limitada do modelo econômico-ecológico totalmente integrado, o modelo "produto-por-atividade" de Victor (1972) limita o âmbito de aplicação do modelo econômico-ecológico totalmente integrado de Isard et al. (1972) e contabiliza apenas os fluxos de *commodities* ecológicas do meio ambiente que servem de insumo no sistema econômico e os produtos residuais provenientes da economia que são despejados no meio ambiente. De acordo com Miller e Blair (2009), ao limitar o âmbito de análise, o modelo pode ser implementado com maior facilidade, já que requer dados que estão mais facilmente disponíveis para consulta.

Segundo Machado (2002), o modelo insumo-produto, em sua abordagem “produto-por-atividade”, fornece uma representação mais precisa das transações de uma economia do que a formulação original tradicional “atividade-por-atividade”. Isso porque um dos pressupostos do modelo original de Leontief é a inexistência de produção conjunta ou de subprodutos dentro do processo produtivo. Com isso cada atividade produz apenas um único produto e cada produto é fabricado por uma única atividade econômica (GUILHOTO, 2011).

Na formulação original, cada atividade econômica é classificada com base em seu produto principal ou típico, ou seja, os produtos secundários e os insumos requeridos são atribuídos à atividade principal daquele setor. Assim, “as estimativas tornam-se ambíguas e podem levar a conclusões equivocadas [...] tais ambiguidades podem introduzir distorções significativas em modelos físico-econômicos” (MACHADO, 2002, p.75). Isso ocorre porque a realidade econômica é bem mais complexa do que a formulação tradicional postula. Cada atividade econômica não produz apenas um único e homogêneo produto (produção primária ou principal), mas vários produtos diferentes (produção secundária). Por esse motivo, na abordagem “produto-por-atividade”, ao invés de trabalhar-se com uma única tabela de transações intermediárias ( $Z$ ), utilizam-se dois tipos de tabelas de fluxos intermediários: as matrizes de uso ( $U$ ) e as de produção ( $V$ ). A matriz de uso fornece a quantidade de insumos (*commodities*) requerida pela atividade (setor) para realizar sua produção de  $n$  produtos, ao passo que a matriz de produção mostra quanto cada atividade econômica (setor) produz de cada produto (MILLER; BLAIR, 2009; GUILHOTO, 2011).

O modelo será ampliado para adicionar um vetor-linha que diz respeito ao uso de água doce pelos diversos setores da economia. Segundo Wang et al. (2009), o modelo insumo-produto “estendido” é o mais apropriado para medir os impactos ambientais da produção econômica, pois distingue claramente o uso direto e indireto da água, ligando o consumo final real das famílias à água incorporada nos produtos que são consumidos. Devido a sua capacidade técnica para distinguir os produtos intermediários dos finais, evita-se o risco de dupla contagem na quantificação do comércio virtual de água (ZHAO et al., 2009). Já o uso de outras metodologias de quantificação de água virtual pode resultar em estimativas mais baixas de volumes de água, devido a “erros sistemáticos não quantificáveis de truncamento” (LENZEN, 2009, p. 3).

### 3.2 Modelo de Ghosh

Como mencionado no capítulo anterior a análise das relações intersetoriais depende de dois modelos insumo-produto. O modelo de Leontief capta os efeitos verticais (encadeamentos para trás), serve para mensurar os indicadores e multiplicadores do uso de água e avalia o fluxo de exportação e importação de água. O modelo de oferta de Ghosh (1958) servirá, neste caso, unicamente para captar os efeitos horizontais (encadeamentos para frente).

O modelo de Ghosh (1958) foi apresentado por Ambica Ghosh como alternativa ao modelo insumo-produto tradicional, com base no mesmo conjunto de dados do ano-base que sustenta o modelo orientado para a demanda de Leontief (MILLER; BLAIR, 2009). Enquanto o modelo tradicional insumo-produto de Leontief trata a economia pelo lado da demanda, o modelo de Ghosh (1958) analisa as relações econômicas pelo lado da oferta. O modelo de oferta de Ghosh (1958) (Eq. 9) é utilizado para estimar a alocação intersetorial dos insumos primários e intermediários (BEKCHANOV et al., 2012).

$$\mathbf{x}' = \mathbf{x}'\mathbf{M} + \mathbf{v}' \quad (9)$$

em que:

$\mathbf{M}$  = é uma matriz  $n \times n$  de coeficientes de alocação, que são calculados como uma razão de insumos intermediários intersetoriais e entradas totais. A matriz  $\mathbf{M}$  é constituída pelos

elementos  $\beta_{ij}$ , em que cada um representa os requisitos diretos e indiretos de insumos do setor  $j$  por unidade de demanda final utilizados na produção do setor  $j$ ;

$\mathbf{v}'$  = é um vetor de fatores primários  $1 \times n$ , que inclui capital, trabalho e importações;

$\mathbf{x}'$  = é um vetor  $1 \times n$  de volumes totais de produção para cada setor.

O símbolo (') denota transposição de matriz.

O modelo deriva-se de uma nova matriz, denominada matriz de distribuição, que se obtém utilizando-se as relações da tabela insumo-produto. Parte-se, então, da matriz de coeficientes  $\mathbf{M}$ , obtida a partir da matriz de consumo intermediário ( $\mathbf{Z}$ ). A expressão matricial dos coeficientes de alocação que compõem a matriz  $\mathbf{M}$  é dada por (BEYERS, 1976; JONES, 1976):

$$\mathbf{M} = \hat{\mathbf{x}}'^{-1}\mathbf{Z} \quad (10)$$

À semelhança da equação (5), a matriz de Ghosh ( $\mathbf{G}$ ) é deduzida a partir da relação entre os fatores primários e o nível de produção total:

$$\mathbf{x}' = \mathbf{v}'(\mathbf{I} - \mathbf{M})^{-1} = \mathbf{v}' \mathbf{Gh} \quad (11)$$

A matriz  $\mathbf{M}$  corresponde à matriz de coeficientes de distribuição. Os coeficientes de distribuição refletem, em termos monetários, as saídas totais necessárias do setor  $j$  para absorver 1 unidade dos fatores primários do setor  $j$ . O modelo de Ghosh (1958) possibilita identificar quais os setores são importantes ofertantes, através dos índices de ligação para frente de um setor  $j$  qualquer ( $\mathbf{FL}_j$ ) (BEYERS, 1976; JONES, 1976).

$$\mathbf{FL}_j = \frac{(\mathbf{Gh}_{*j}/n)}{\mathbf{Gh}^*} \quad (12)$$

em que:

$n$  = número de setores (colunas) da economia;

$\mathbf{Gh}^*$  = a média geral da matriz  $\mathbf{Gh}$  (definida na equação (11) acima);

$\mathbf{G}_{*j}$  = somatório das linhas da matriz  $\mathbf{Gh}$ , que informa a quantidade de produto gerado na economia dado o aumento de uma unidade no vetor de valor adicionado do setor  $j$ .

Os setores que possuem valores de tal índice acima de 1 são considerados setores que têm importância como ofertantes acima da média na economia. Assim, os setores-chave para o crescimento da economia são definidos como aqueles cujos índices de ligação para frente e para trás são maiores do que 1 (GUILHOTO, 2011).

Na seção a seguir, será demonstrado como o modelo insumo-produto, em sua abordagem “produto-por-atividade”, foi estendido para incorporar uma variável ambiental (uso da água) na sua análise.

### 3.3 Formalização do Modelo de Insumo-Produto aplicado ao uso da água

Para estender o modelo convencional de insumo-produto (em valores monetários) será adicionado um vetor-linha com o uso de água doce, medido em unidades físicas ( $m^3$ ), como uma entrada (*input*) para a geração do produto de cada setor (VELÁSQUEZ, 2006; ZHAO, 2009; ZHAO, 2010; MUBAKO et al., 2013; WANG et al., 2013). A tabela 2 abaixo apresenta a estrutura do modelo insumo-produto ampliada, numa abordagem produto-por-atividade.

Tabela 2 – Modelo de insumo-produto para a contabilidade da água virtual.

	Produto 1 2	Setor 1 2	Demanda final	Exportações	Total de saídas ( <i>outputs</i> )
Produto 1 2		$\mathbf{U}_{ixj}$	$\mathbf{f}_i$		$\mathbf{q}_i$
Setor 1 2	$\mathbf{V}_{jxi}$		$\mathbf{y}_j$	$\mathbf{e}_i$	$\mathbf{x}_i$
Importações		$\mathbf{m}_j$			
Valor adicionado		$\mathbf{v}_j'$			
Total de entradas ( <i>inputs</i> )	$\mathbf{q}'_j$	$\mathbf{x}'_j$			
Água		$\mathbf{W}_j$			

Assumindo-se que existam  $n$  setores e  $m$  produtos na economia, tem-se que os elementos contidos na tabela 1 são:

$i$  e  $j$  – representam, respectivamente, as linhas (mercadorias ou produtos)  $i$  e as colunas (indústrias ou setores)  $j$ ;

$\mathbf{U}_{ixj}$  = matriz de uso, que apresenta a quantidade de produto  $i$  requerido pelo setor  $j$ ;

$\mathbf{V}_{jxi}$  = matriz de produção, que apresenta o montante total de produto  $j$  produzido pelo setor  $i$ ;

$\mathbf{y}_j$  = ao vetor de demanda final, por setor;

$\mathbf{f}_i$  = vetor de demanda final, por produto;

$\mathbf{e}_i$  = vetor de exportações totais realizadas em cada setor;

$\mathbf{q}_i = \mathbf{q}'_j$  = vetor de produção total, por produto;

$\mathbf{x}_i = \mathbf{x}'_j$  = vetor de produção total, por setor;

$\mathbf{m}_j$  = vetor de importações totais realizadas em cada setor;

$\mathbf{v}_j$  = vetor do total do valor adicionado à produção gerado em cada setor;

$\mathbf{W}_j$  = uso de água doce no setor  $j$ .

Para verificar quais setores exercem maior influência sobre o consumo de água na economia e mensurar o volume de água virtual exportada e importada, é necessário construir uma matriz insumo-produto ponderada pelo uso de água (VELAZQUEZ, 2006; YANG et al., 2006; WANG et al., 2009; ZHAO et al., 2009; YU et al., 2010; ZHAO et al., 2010; BEKCHANOV et al., 2012; HRISTOV et al., 2012; MUBAKO et al., 2013).

Como indicado anteriormente, uma análise mais adequada requer a construção de duas matrizes de coeficientes (JONES, 1976; MILLER; BLAIR, 2009). A primeira matriz de coeficientes técnicos diretos, desenvolvida a partir do modelo de Leontief (1951), permite o cálculo dos índices de ligação para trás, que por sua vez mensuram o quanto um setor demanda insumos de outros setores da economia. A outra diz respeito à matriz derivada do modelo de Ghosh (1958). Essa matriz distributiva serve, exclusivamente, para realizar o cálculo dos índices de ligação para frente e verificar o quanto um determinado setor é demandado pelos outros setores, ou seja, quais setores são importantes ofertantes para o restante da economia (MILLER; BLAIR, 2009). Para tanto, serão apresentadas, a seguir, duas versões das matrizes de uso ( $\mathbf{U}$ ), a matriz de produção ( $\mathbf{V}$ ) e a matriz *product mix* ( $\mathbf{C}$ ), que servirão como base para a formulação dos modelos de Leontief e de Ghosh.

### 3.3.1 Matriz de Uso (**U**)

A primeira parte do trabalho consiste em construir a matriz insumo-produto numa abordagem produto-por-atividade (MILLER; BLAIR, 2009; GUILHOTO et al., 2009). Nesse caso, a matriz de transações interindustriais **Z** (atividade-por-atividade) é substituída inicialmente pela matriz de uso **U**<sub>*ixj*</sub>.

A leitura horizontal do sistema apresentado na tabela 2 (modelo de Leontief) é definida pela equação (13) abaixo:

$$\mathbf{q}_{ix1} = \mathbf{U}_{ixj} \mathbf{i}_{jx1} + \mathbf{f}_{ix1} \quad (13)$$

em que:

**q**<sub>*ix1*</sub> = vetor da produção total por mercadoria, que mostra a quantidade total da mercadoria *i* demandada e produzida (no equilíbrio) na economia;

**U**<sub>*ixj*</sub> = matriz de uso, a qual apresenta a quantidade de produto *i* requerido como insumo pelo setor *j* na geração de seus respectivos valores da produção;

**i**<sub>*jx1*</sub> = é um vetor coluna em que os elementos são todos iguais a *I*;

**f**<sub>*ix1*</sub> = vetor de demanda final por produto, que registra a quantidade da mercadoria *i* demandada para uso final.

Enquanto isso, a leitura vertical do sistema apresentado na tabela 2 (modelo de Ghosh) é dada por:

$$\mathbf{x}'_{ixj} = \mathbf{i}'_i \mathbf{U}_{ixj} + \mathbf{v}'_{1xj} \quad (14)$$

em que:

**x'**<sub>*ixj*</sub> = vetor de produção total, por setor;

**i**<sub>*1xi*</sub> = é um vetor linha em que os elementos são todos iguais a *I*;

**v'**<sub>*1xj*</sub> = vetor de valor adicionado.

A partir daí é possível determinar as matrizes de coeficientes técnicos **B** e **E**:

Modelo de Leontief

Modelo de Ghosh

$$b_{ij} = u_{ij}/x_j \rightarrow \mathbf{B}_{ixj} = \mathbf{U}_{ixj}\hat{\mathbf{x}}_{jxj}^{-1} \quad (15)a \quad e_{ij} = q_i/u_{ij} \rightarrow \mathbf{E}_{ixj}' = \hat{\mathbf{q}}_{ixi}^{-1}\mathbf{U}_{ixj} \quad (15)b$$

Ou

$$\mathbf{U}_{ixj} = \mathbf{B}_{ixj}\hat{\mathbf{x}}_{jxj} \quad (16)a \quad \mathbf{U}_{ixj} = \hat{\mathbf{q}}_{ixi}\mathbf{E}_{ixj} \quad (16)b$$

A matriz  $\mathbf{B}$  representa a fração de valor de cada mercadoria  $i$  utilizada como insumo por real de produto (*output*) da indústria  $j$ . Ou seja, a matriz  $\mathbf{B}$  informa a fração da *renda* da indústria  $j$  que é gasta na compra do insumo (mercadoria)  $i$ . Já a matriz  $\mathbf{E}$  informa a fração da produção total (*output*) da mercadoria  $i$  que é utilizada pela indústria  $j$ . Os coeficientes da matriz  $\mathbf{E}$  dão uma ideia do peso ou da utilidade que cada mercadoria  $i$  assume no processo produtivo de cada indústria  $j$ .

### 3.3.2 Matriz de Produção ( $\mathbf{V}$ )

Para mensurar os efeitos dos encadeamentos verticais (ligação para trás) das mercadorias no sistema (tabela 2), é preciso saber como cada mercadoria produzida se distribui pelas diversas indústrias. Isso é feito a partir da matriz de produção  $\mathbf{V}_{jxi}$  (dimensão atividade-por-produto), que mostra o valor total da produção da mercadoria  $i$  produzida pelo setor de atividade  $j$ . Essa matriz permite conhecer a cesta de mercadorias produzidas por atividade (nas linhas). Para construí-la, aceita-se a hipótese de que os produtos são gerados por atividades com cotas de mercado constantes<sup>3</sup>. Assim é possível obter a matriz de cota de mercado ou de *market-share* ( $\mathbf{D}$ ).

---

<sup>3</sup>Para obter o sistema insumo-produto relativo ao originalmente desenvolvido por Leontief, são utilizadas geralmente duas hipóteses com relação ao modo de produção e participação das indústrias no mercado de produtos, a hipótese da tecnologia baseada no produto e a da tecnologia baseada na indústria (GUILHOTO et al., 2009). A primeira supõe que "uma determinada mercadoria tem a mesma estrutura de insumos em todas as indústrias que a produzem" (MILLER; BLAIR, 2009, p. 193-4). A segunda assume que "todas as mercadorias produzidas por uma determinada indústria tenham a mesma estrutura de insumos" (MILLER; BLAIR, 2009, p. 192). Neste trabalho será aceito a hipótese da tecnologia baseada na indústria. Isto significa assumirmos que uma indústria consome bens econômicos (e ecológicos) em proporções fixas (MILLER; BLAIR, 2009). De acordo

$$d_{jxi} = v_{jxi}/q_{ixi}$$

Ou matricialmente:

$$\mathbf{D}_{jxi} = \mathbf{V}_{jxi} \hat{\mathbf{q}}_{ixi}^{-1} \quad (17)$$

em que:

$\mathbf{V}_{jxi}$  = a matriz de produção;

$\mathbf{D}_{jxi}$  = matriz de cotas de mercado (*market-share*), registra a cota de mercado do setor  $j$  na produção do produto  $i$ ;

$\hat{\mathbf{q}}_{ixi}^{-1}$  = vetor de produção total, por produto.

Por definição, tem-se a equação (18) abaixo (MILLER; BLAIR, 2009):

$$\mathbf{V}_{jxi} = \mathbf{D}_{jxi} \hat{\mathbf{q}}_{ixi} \quad (18)$$

### 3.3.3 Matriz *Product Mix* (C)

A contribuição *horizontal* (ligação para frente) de cada mercadoria para a produção de cada setor é conhecida pela matriz *product mix* dos setores. A partir do *product mix*, é possível saber quanto da produção total da mercadoria  $i$  é utilizada pela indústria  $j$ . O *product mix* de cada setor  $j$  é a fração da produção (*output*) total do setor  $j$  que está na forma da mercadoria  $i$ . A matriz **C** é calculada por:

$$c_{jxi} = v_{jxi}/x_{jxj}$$

Ou matricialmente:

$$\mathbf{C}_{jxi} = \hat{\mathbf{x}}_{jxj}^{-1} \mathbf{V}'_{jxi} \rightarrow \mathbf{V}_{jxi} = \hat{\mathbf{x}}_{jxj} \mathbf{C}_{jxi} \quad (19)$$

---

com Guilhoto et al. (2009), essa hipótese está mais perto da realidade do que a tecnologia baseada no produto, que é mais restritiva e em geral aplicada a poucos setores da economia. Essa abordagem de acordo com Machado (2002) também mostra-se mais adequada ao objeto de estudo (análise intersetorial).

A matriz  $\mathbf{C}$  informa como cada indústria combina as mercadorias para obter seu produto. Isso dá uma ideia de contribuição vertical de cada mercadoria para a produção de cada indústria.

### 3.3.4 Matriz de requerimento total numa abordagem “produto-por-atividade”

No modelo insumo-produto tradicional de Leontief, a produção total de cada setor é dada pela equação (2) ( $\mathbf{x} = \mathbf{Z}\mathbf{i} + \mathbf{f}$ ). Na abordagem “produto-por-atividade” tanto a produção total da indústria ( $\mathbf{x}$ ) quanto a produção total de mercadorias ( $\mathbf{q}$ ) são contabilizadas. A produção total de qualquer indústria é encontrada pela soma de todos os produtos produzidos por este setor. Esses totais são as somas das linhas de  $\mathbf{V}$  (MILLER; BLAIR, 2009).

$$\mathbf{x}_{jx1} = \mathbf{V}_{jxi} \mathbf{i}'_{ix1} \quad (20)$$

em que  $\mathbf{i}$  é um vetor coluna em que os elementos são todos iguais a 1.

Da mesma forma, a produção total de qualquer mercadoria (*commodity*) pode ser encontrada somando-se todas as indústrias que produzem a mercadoria. Esses totais são a soma das colunas de  $\mathbf{V}$  (ou a soma das linhas de  $\mathbf{V}'$ ) (MILLER; BLAIR, 2009).

$$\mathbf{q} = \mathbf{V}'\mathbf{i} \quad \text{ou} \quad \mathbf{q}'_{1xi} = \mathbf{i}'_{1xj} \mathbf{V}_{jxi} \quad (21)$$

em que  $\mathbf{i}$  é um vetor linha em que os elementos são todos iguais a 1.

Na abordagem “produto-por-atividade”, usam-se as equações (13) e (15a) da mesma forma que se usam as equações (2) e (3) na abordagem tradicional. Substituindo-se a equação (16a) na (13), tem-se a equação (22), abaixo:

$$\mathbf{q}_{ix1} = \mathbf{B}_{ixj} \mathbf{x}_{jx1} + \mathbf{f}_{ix1} \quad (22)$$

A equação (22), acima, faz analogia à equação (4) do modelo insumo–produto tradicional de Leontief. No entanto, de acordo com Miller e Blair (2009), a partir dessa equação, ao contrário do que ocorre na equação (5), não é possível gerar uma matriz de requerimento total, pois a equação (22) contém, no lado esquerdo, a produção de mercadorias ( $\mathbf{q}$ ) e, no lado direito, a produção dos setores ( $\mathbf{x}$ ). Para solucionar esse problema, deve-se encontrar uma expressão que transforme a produção do setor ( $\mathbf{x}$ ) em produção de mercadorias ( $\mathbf{q}$ ) — ou vice-versa. Miller e Blair (2009) sugerem duas transformações algébricas alternativas. Ambas partem da matriz de *market-share* ( $\mathbf{D}$ ), mas levam a resultados distintos.

A primeira matriz de requerimentos totais servirá para medir os encadeamentos para trás. Sua formulação parte da matriz de *market-share* ( $\mathbf{D}$ ) e indica a fração de produção total da mercadoria  $i$  que foi produzida pelo setor  $j$ . Nesse caso ( $\mathbf{V}$ ) tem dimensões setor-por-mercadoria ( $j \times i$ ). Partindo-se da equação (17), e considerando-se as equações (20) e (21), e multiplicando ambos os lados da equação por  $\mathbf{i}'$  resulta a equação (23), abaixo:

$$\begin{aligned} \mathbf{D}_{jxi} &= \mathbf{V}_{jxi} \hat{\mathbf{q}}^{-1}_{ixi} \\ \mathbf{D}_{jxi} \hat{\mathbf{q}}_{ixi} &= \mathbf{V}_{jxi} \\ \mathbf{D}_{jxi} \hat{\mathbf{q}}_{ixi} \mathbf{i}'_{ix1} &= \mathbf{V}_{jxi} \mathbf{i}'_{ix1} \\ \mathbf{D}_{jxi} \mathbf{q}_{ix1} &= \mathbf{x}_{jx1} \end{aligned} \tag{23}$$

Retornando à equação (13), e considerando-se a equação (16) ( $\mathbf{U}_{ixj} = \mathbf{B}_{ixj} \hat{\mathbf{x}}_{jxj}$ ), tem-se:

$$\mathbf{q}_{ix1} = \mathbf{B}_{ixj} \mathbf{x}_{jx1} + \mathbf{f}_{ix1} \tag{24}$$

A equação (24) mostra o produto total por setor ( $\mathbf{x}$ ) pós-multiplicado pela matriz que representa quanto cada setor utiliza de cada produto no seu processo de produção ( $\mathbf{B}$ ), somado à demanda final pela mercadoria ( $\mathbf{f}_{ix1}$ ). O resultado  $\mathbf{q}_{ix1}$  corresponde à produção total de cada mercadoria. Substituindo-se a equação (24) na (23), obtêm-se:

$$\begin{aligned}
\mathbf{D}_{jxi} (\mathbf{B}_{ixj} \mathbf{x}_{jx1} + \mathbf{f}_{ix1}) &= \mathbf{x}_{jx1} \\
\mathbf{x}_{jx1} &= \mathbf{D}_{jxi} (\mathbf{B}_{ixj} \mathbf{x}_{jx1} + \mathbf{f}_{ix1}) \\
\mathbf{x}_{jx1} &= \mathbf{D}_{jxi} \mathbf{B}_{ixj} \mathbf{x}_{jx1} + \mathbf{D}_{jxi} \mathbf{f}_{ix1} \\
\mathbf{x}_{jx1} - \mathbf{D}_{jxi} \mathbf{B}_{ixj} \mathbf{x}_{jx1} &= \mathbf{D}_{jxi} \mathbf{f}_{ix1} \\
\mathbf{x}_{jx1} &= (\mathbf{I}_{jxj} - \mathbf{D}_{jxi} \mathbf{B}_{ixj})^{-1} \mathbf{D}_{jxi} \mathbf{f}_{ix1} \\
\mathbf{x}_{jx1} &= (\mathbf{I}_{jxj} - \mathbf{D}_{jxi} \mathbf{B}_{ixj})^{-1} \mathbf{y}_j
\end{aligned} \tag{25}$$

em que:

$\mathbf{x}_{jx1}$  = produção total do setor;

$(\mathbf{I}_{jxj} - \mathbf{D}_{jxi} \mathbf{B}_{ixj})^{-1}$  = matriz inversa de Leontief do tipo setor-por-setor (desempenha o papel de  $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$  na formulação tradicional atividade-por-atividade);

$\mathbf{y}_j$  = o vetor de demanda final por setor<sup>4</sup>.

A equação (25) refere-se ao enfoque setor ( $j$ ) por setor ( $j$ ) (atividade-por-atividade)<sup>5</sup> com a tecnologia baseada na indústria. A matriz entre parênteses, no lado direito, é uma matriz de requerimento total que, após ser ponderada pelo vetor de uso da água, medirá os encadeamentos para trás.

Uma segunda matriz de requerimentos totais será responsável por medir os encadeamentos para frente (leitura vertical do sistema). Enquanto a leitura horizontal do modelo de Leontief é dada pela equação (13) ( $\mathbf{q}_{ix1} = \mathbf{U}_{ixj} \mathbf{i}_{jx1} + \mathbf{f}_{ix1}$ ), a leitura vertical do modelo de Ghosh é dada pela equação (14) ( $\hat{\mathbf{x}}'_{1xj} = \hat{\mathbf{i}}'_{1xi} \mathbf{U}_{ixj} + \mathbf{v}'_{1xj}$ ).

Assim, partindo-se da equação de produção total por setor (Eq. 14), e considerando-se a equação (16) ( $\mathbf{U}_{ixj} = \hat{\mathbf{q}}_{ixi} \mathbf{E}_{ixj}$ ), chega-se à equação (26), abaixo:

<sup>4</sup> De acordo com Guilhoto et al. (2009, p. 24) “a matriz  $\mathbf{D}$ , assumindo a hipótese da tecnologia baseada na indústria, é uma matriz de proporções que redefine a produção-por-produto em produção-por-setor”. Assim tem-se que ( $\mathbf{y}_{jx1} = \mathbf{D}_{jxi} \mathbf{f}_{ix1}$ ). O objetivo de ponderar o vetor de demanda final por produto ( $\mathbf{f}$ ) pelo *market share* ( $\mathbf{D}$ ) é informar a participação de cada setor na produção das mercadorias, isto é, a cota de mercado do setor  $j$  na produção do produto  $i$ . Dado que é necessário demonstrar quanta água é utilizada em cada setor na produção de suas mercadorias.

<sup>5</sup> O objetivo desse estudo é verificar quais setores utilizam recursos hídricos de forma intensiva em seus processos produtivos. Por isso a escolha pelo enfoque setor-por-setor ( $\mathbf{x}_{jx1} = (\mathbf{I}_{jxj} - \mathbf{D}_{jxi} \mathbf{B}_{ixj})^{-1} \mathbf{y}_j$ ), em que  $\mathbf{x}$  é um vetor de produção total por setor, ao invés do enfoque produto ( $i$ ) por produto ( $i$ ) (mercadoria-por-mercadoria) ( $\mathbf{q}_{ix1} = (\mathbf{I}_{ixi} - \mathbf{B}_{ixj} \mathbf{D}_{jxi})^{-1} \mathbf{f}_{ix1}$ ), com  $\mathbf{q}$  representando um vetor de produção total por produto. Este vetor seria útil caso o objetivo fosse mensurar o conteúdo de água virtual das mercadorias, o que não é o caso neste estudo.

$$\begin{aligned}\mathbf{x}'_{1xj} &= \mathbf{i}'_{1xi}(\hat{\mathbf{q}}_{ixi}\mathbf{E}_{ixj}) + \mathbf{v}'_{1xj} \\ \mathbf{x}'_{1xj} &= \mathbf{q}'_{1xi}\mathbf{E}_{ixj} + \mathbf{v}'_{1xj}\end{aligned}\quad (26)$$

Substituindo a equação (19) na (21), obtêm-se:

$$\begin{aligned}\mathbf{q}'_{1xi} &= \mathbf{i}'_{1xj}(\hat{\mathbf{x}}_{jxj}\mathbf{C}_{jxi}) \\ \mathbf{q}'_{1xi} &= \mathbf{x}'_{1xj}\mathbf{C}_{jxi}\end{aligned}\quad (27)$$

Com isso é possível chegar-se à matriz de requerimentos totais, substituindo-se a equação (27) na (26). Assim:

$$\begin{aligned}\mathbf{x}'_{1xj} &= (\mathbf{x}'_{1xj}\mathbf{C}_{jxi})\mathbf{E}_{ixj} + \mathbf{v}'_{1xj} \\ \mathbf{x}'_{1xj} - \mathbf{x}'_{1xj}\mathbf{C}_{jxi}\mathbf{E}_{ixj} &= \mathbf{v}'_{1xj} \\ \mathbf{x}'_{1xj}(\mathbf{I}_{jxj} - \mathbf{C}_{jxi}\mathbf{E}_{ixj}) &= \mathbf{v}'_{1xj} \\ \mathbf{x}'_{1xj} &= \mathbf{v}'_{1xj}(\mathbf{I}_{jxj} - \mathbf{C}_{jxi}\mathbf{E}_{ixj})^{-1}\end{aligned}\quad (28)$$

A matriz inversa, entre parênteses, no lado direito, é uma matriz de requerimento total que, após ser ponderada pelo vetor de uso da água, medirá os efeitos horizontais (encadeamentos para frente).

As matrizes de requerimento total, equações (25) e (28), possuem a diagonal principal idêntica. O que diferencia as matrizes do modelo de Leontief e de Ghosh são os valores de fora da diagonal principal (MILLER; BLAIR, 2009).

Na próxima seção, será demonstrado como os indicadores de uso da água são desenvolvidos, em especial o indicador do consumo total de água, que servirá para ponderar as matrizes de requerimento total, responsáveis pela mensuração dos encadeamentos setoriais.

### 3.3.5 Indicadores do consumo de água

Definido o modelo insumo-produto numa abordagem produto-por-atividade, sob o pressuposto de tecnologia baseada na indústria, num enfoque “setor-por-setor”, parte-se para a definição dos indicadores de consumo da água. Em primeiro lugar, define-se o indicador do uso direto de água **DWI** (*direct water input*), ou seja, um vetor de coeficientes de uso direto da água por setor produtivo, que representa o uso direto da água pelo próprio setor para gerar uma unidade de produto, ou a primeira rodada da interação setorial na economia (GUAN; HUBACEK, 2007). Esse indicador é calculado por<sup>6</sup>:

$$\mathbf{DWI}_{1xj} = \mathbf{W}_{1xj} \hat{\mathbf{x}}'^{-1}_{jxj} \quad (29)$$

$$\mathbf{W}_{1xj} = [W_1 \ W_2 \ W_3]$$

$$\mathbf{x}_{1xj} = [x_1 \ x_2 \ x_3] \rightarrow \mathbf{x}'_{jx1} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \rightarrow \hat{\mathbf{x}}'_{jxj} = \begin{bmatrix} x_1 & 0 & 0 \\ 0 & x_2 & 0 \\ 0 & 0 & x_3 \end{bmatrix} \rightarrow \hat{\mathbf{x}}'^{-1}_{jxj} =$$

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{x_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{x_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{x_3} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{DWI}_{1xj} = \mathbf{W}_{1xj} \hat{\mathbf{x}}'^{-1}_{jxj} = [W_1 \ W_2 \ W_3]_{(1x3)} \begin{bmatrix} \frac{1}{x_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{x_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{x_3} \end{bmatrix}_{(3x3)} =$$

$$\begin{bmatrix} W_1/x_1 & W_2/x_2 & W_3/x_3 \end{bmatrix}_{(1x3)} \quad (30)$$

<sup>6</sup> Os desenvolvimentos algébricos apresentados a seguir correspondem ao caso de uma economia com três setores, e são fornecidos a título de ilustração. Tal demonstração difere dos cálculos reais realizados neste estudo, que utilizam 48 setores apresentados nas tabelas insumo-produto de Guilhoto e Sesso Filho (2010).

em que:

$\mathbf{DWI}_{1xj}$  = uso direto de água do setor  $j$ , que pode ser definido como a quantidade de água utilizada pelo setor  $j$  para gerar uma unidade monetária no setor  $j$ . Representa os efeitos diretos, ou seja, a primeira rodada de interação setorial na economia;

$\mathbf{W}_{1xj}$  = entrada de água doce do setor  $j$ ;

$\mathbf{x}_{1xj}$  = produção total do setor  $j$ .

De acordo com a equação (25) o vetor de produção  $\mathbf{x}'$  pode ser reformulado.

$$\mathbf{W}^* = [\mathbf{DWI}_{1xj} (\mathbf{I}_{jxj} - \mathbf{D}_{jxi} \mathbf{B}_{ixj})^{-1}] \mathbf{y}_{jx1} \quad (31)$$

A equação (31) reflete o consumo total de água da economia em termos da própria demanda.

A expressão entre colchetes  $\mathbf{DWI}_{1xj} (\mathbf{I} - \mathbf{DB})^{-1}_{jxj}$  é um vetor linha em que cada elemento determina a quantidade total de água que cada setor da economia consome, tanto direta quanto indiretamente, se houver um aumento de uma unidade na demanda de um determinado setor (VELAZQUEZ, 2006; HRISTOV et al., 2012). Esse vetor é chamado de indicador do consumo total de água, ou conteúdo de água virtual (**VWC** - *virtual water content*)<sup>7</sup>, também conhecido como *water content (k-content)* (MANRESA et al., 1998):

$$\mathbf{VWC}_{1xj} = \mathbf{DWI}_{1xj} (\mathbf{I}_{jxj} - \mathbf{D}_{jxi} \mathbf{B}_{ixj})^{-1} \quad (32)$$

$$\mathbf{VWC}_{1xj} = \begin{bmatrix} \frac{W_1}{x_1} & \frac{W_2}{x_2} & \frac{W_3}{x_3} \end{bmatrix}_{(1x3)} \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} \end{bmatrix}_{(3x3)} =$$

$$\left[ \left( \frac{W_1}{x_1} \alpha_{11} + \frac{W_2}{x_2} \alpha_{21} + \frac{W_3}{x_3} \alpha_{31} \right) \left( \frac{W_1}{x_1} \alpha_{12} + \frac{W_2}{x_2} \alpha_{22} + \frac{W_3}{x_3} \alpha_{32} \right) \left( \frac{W_1}{x_1} \alpha_{13} + \frac{W_2}{x_2} \alpha_{23} + \frac{W_3}{x_3} \alpha_{33} \right) \right]_{(1x3)}$$

<sup>7</sup> O vetor **VWC** representa o uso total de água por setor, ou seja, é a soma da quantidade de água utilizada tanto direta quanto indiretamente. Isso ocorre por que os elementos  $\alpha_{jj}$  da matriz inversa de Leontief, que são multiplicados pelo vetor  $\mathbf{DWI}_{1xj}$ , representam a soma dos requisitos diretos e indiretos de insumos do setor  $j$  por unidade de demanda final utilizada na produção do setor  $j$  (ver Eq. (7)) (VELAZQUEZ, 2006; YANG et al., 2006; WANG et al., 2009).

em que:

**VWC** representa o total de água virtual utilizado tanto direta como indiretamente para a geração de uma unidade monetária da procura final no setor  $j$ ;

$\alpha_{jxj} = (\mathbf{I} - \mathbf{DB})^{-1}$  = a matriz inversa de Leontief do tipo setor-por-setor;

O indicador **VWC** é a soma dos efeitos direto e indireto do consumo de água. É esse indicador que será utilizado em seguida para medir os encadeamentos para frente e para trás dos setores econômicos.

Além do consumo de água física pelo setor  $j$ , isto é, a água que se origina a partir da superfície disponível e/ou dos recursos hídricos subterrâneos locais (WANG, 2009) (**DWI**), outros bens e serviços, que servem como insumos, são exigidos pelos processos de produção do setor  $j$ . Por conseguinte, a fim de produzir as entradas geradas pelos setores produtores destes insumos, outro requisito de água é também necessária. Para o setor  $j$ , este é o consumo indireto de água virtual. A entrada de água indireta **IWI** (*indirect water input*) é calculada subtraindo-se **DWI** de **VWC**. O indicador de uso indireto de água por setor produtivo refere-se à água utilizada indiretamente, proveniente de outros setores, para gerar uma unidade monetária de demanda final de produto no setor  $j$ .

$$\begin{aligned} \mathbf{VWC}_{1xj} &= \mathbf{DWI}_{1xj} + \mathbf{IWI}_{1xj} \\ \mathbf{IWI}_{1xj} &= \mathbf{VWC}_{1xj} - \mathbf{DWI}_{1xj} \end{aligned} \quad (33)$$

O modelo insumo-produto de Leontief também explica o *drag effect*, que indica como a evolução de um determinado setor pode exercer um “efeito de arrasto” sobre a produção econômica total. De acordo com Velazquez (2006), este efeito é medido por um multiplicador resultante da divisão entre o consumo total de água por unidade de saída pelo consumo direto de água por unidade de saída.

$$\mathbf{wcm}_{1xj} = \mathbf{VWC}_{1xj} / \mathbf{DWI}_{1xj} \quad (34)$$

Segundo Velazquez (2006) este multiplicador de consumo d’água (**wcm**) dá uma ideia da quantidade total de água consumida pelo setor  $j$  para cada metro cúbico consumido diretamente. Definido o multiplicador **wcm**, é possível obter um multiplicador de consumo

indireto de água (**iwc**) por unidade monetária produzida, simplesmente subtraindo uma unidade de **wcm**.

$$\mathbf{iwc}_{1xj} = \mathbf{wcm}_{1xj} - 1 \quad (35)$$

Esse indicador expressa a quantidade de água usada indiretamente por um determinado setor, por unidade de água utilizada diretamente para satisfazer a demanda desse setor.

### 3.3.6 Matriz de coeficientes de transação da água

Definidos os indicadores e os multiplicadores de consumo de água para os diferentes setores da economia, parte-se para a construção da matriz de relações intersetoriais de água. Para tanto, é preciso retornar à equação (33), que proporciona um vetor linha no qual cada elemento determina o consumo indireto de água de determinado setor (**IWI**), e substituir a equação (32) na (33) (WANG et al., 2009). Desse modo:

$$\begin{aligned} \mathbf{VWC}_{1xj} &= \mathbf{DWI}_{1xj} + \mathbf{IWI}_{1xj} \\ \mathbf{DWI}_{1xj} (\mathbf{I}_{jxj} - \mathbf{D}_{jxi} \mathbf{B}_{ixj})^{-1} &= \mathbf{DWI}_{1xj} + \mathbf{IWI}_{1xj} \\ [\mathbf{DWI}_{1xj} (\mathbf{I}_{jxj} - \mathbf{D}_{jxi} \mathbf{B}_{ixj})^{-1}] - \mathbf{DWI}_{1xj} &= \mathbf{IWI}_{1xj} \\ \mathbf{DWI}_{1xj} [(\mathbf{I}_{jxj} - \mathbf{D}_{jxi} \mathbf{B}_{ixj})^{-1} - \mathbf{I}_{jxj}] &= \mathbf{IWI}_{1xj} \end{aligned} \quad (36)$$

Por fim é necessário alterar a forma de **DWI**, posicionando os elementos do vetor **DWI** ao longo da diagonal da matriz. Com isso tem-se a matriz de relações intersetoriais, equação (37), abaixo:

$$\mathbf{IWI}^*_{jxj} = \widehat{\mathbf{DWI}}_{jxi} [(\mathbf{I}_{jxj} - \mathbf{D}_{jxi} \mathbf{B}_{ixj})^{-1} - \mathbf{I}] \quad (37)$$

Os elementos de  $IWI^*$  indicam a quantidade adicional de água consumida por toda a economia para cada unidade de produção adicional no setor  $j$  (WANG et al., 2009). A soma de todos os elementos da coluna  $j$  expressa as necessidades de água indireta por unidade de saída do setor  $j$ . A matriz de relações intersetoriais (Eq. 37) é então convertida em uma matriz de coeficientes de transação da água, cujos elementos são definidos pela equação (38), abaixo:

$$t_{jxj} = iwl_{jxj}^* / \widehat{dwl}_{jxj} \quad \rightarrow \quad \mathbf{T}_{jxj} = \mathbf{IWI}^*_{jxj} \widehat{\mathbf{DWI}}^{-1}_{jxj} \quad (38)$$

Os elementos de  $\mathbf{T}_{jxj}$  indicam a quantidade adicional de água indireta em relação à direta que o setor  $j$  vai consumir se a sua demanda por água aumentar em uma unidade. E também qual setor será o fornecedor dos insumos “hidro intensivos”. A soma da coluna do setor  $j$  mostra em que proporção certo setor depende de água na forma indireta de outros setores. Se esse valor for maior que 1, significa que determinado setor  $j$  consome água na forma indireta em maiores proporções que na forma direta, isto é, é consumidor indireto de água virtual. Se esse valor for menor do que 1 tal setor consome mais fortemente água na forma direta do que indireta. Já a soma da linha dessa matriz revela qual setor oferta insumos “hidro intensivos” para os demais setores econômicos em maior magnitude.

A partir dessa matriz, é possível verificar as relações de dependência setorial quanto aos recursos hídricos (WANG, 2009; HRISTOV et al., 2012). Portanto, a matriz de coeficientes de transação da água irá apontar também quais setores são consumidores diretos e indiretos de água virtual, e quais deles são os maiores ofertantes de água para os demais setores da economia.

### 3.3.7 Índices de encadeamento

Para complementar os resultados que serão obtidos na matriz de coeficientes de transação de água e reforçar os resultados dos indicadores de uso d’água utilizam-se os índices de ligação para trás e para frente. Tais índices são necessários para revelar quais setores têm maior influência sobre todo o processo de consumo de água, por meio de compras e vendas na economia (YU et al., 2010). De acordo com Hirschman (1958), encadeamentos para trás estão relacionados com os estímulos aos setores fornecedores das entradas (insumos)

para uma determinada atividade, enquanto encadeamentos para frente estão relacionados com o incentivo à criação de novas atividades que utilizam a saída (produto) de certa atividade.

Em termos de consumo d'água, os encadeamentos para trás são expressos como a capacidade do setor  $j$  de influenciar o consumo de água direto em outros setores, que produzem insumos, através das suas compras (YU et al., 2010; HRISTOV et al., 2012). Quanto maior o valor do índice de encadeamento vertical (para trás) de um setor, maior a influência do setor sobre o consumo de água dentro da economia. A ligação para trás  $\mathbf{BL}_j$  do setor  $j$  pode ser descrita como a soma da coluna da inversa de Leontief ponderada pelo uso total de água, ou seja, direto e indireto  $((\mathbf{I}_{jxj} - \mathbf{D}_{jxi}\mathbf{B}_{ixj})^{-1})$ . Algebricamente, essa razão é descrita pela equação (39), abaixo:

$$\mathbf{BL}_j = \widehat{\mathbf{DWI}}_{jxj} \sum_{i=1}^n a_{jj} \quad (39)$$

Medido como índice é a média da soma dos elementos da coluna  $j$  da matriz inversa de Leontief ponderada pelo uso total de água dividida pela média geral dessa matriz.

$$\mathbf{U}_{BL} = \frac{1}{N} \mathbf{BL}_j / \frac{1}{N^2} \sum_{j=1}^n \mathbf{BL}_j = \mathbf{BL}_j / \frac{1}{N} \sum_{j=1}^n \mathbf{BL}_j \quad (40)$$

em que  $N$  = número de setores ( $j$ ).

Já as ligações para frente indicam a capacidade do setor  $j$  de estimular a produção de outros setores, e, portanto, o consumo de água indireto por estes setores, através das suas vendas, ou seja, a partir de uma perspectiva do lado da oferta (YU et al., 2010; HRISTOV et al., 2012). A ligação para frente  $\mathbf{FL}_j$  do setor  $j$  pode ser descrita como a soma da linha da inversa de Ghosh ponderada pelo uso total de água, ou seja, direto e indireto  $((\mathbf{I}_{jxj} - \mathbf{C}_{jxi}\mathbf{E}_{ixj})^{-1})$  (BEKCHANOV et al., 2012).

$$\mathbf{FL}_j = \widehat{\mathbf{DWI}}_{jxj} \sum_{j=1}^n m_{jj} \quad (41)$$

Medido como um índice é a média da soma dos elementos da linha da matriz de distribuição no modelo insumo-produto do lado da oferta, ou seja, do modelo de Ghosh ponderada pelo uso total de água ( $(\mathbf{I}_{jxj} - \mathbf{C}_{jxi}\mathbf{E}_{ixj})^{-1}$ ), dividida pela média geral dessa matriz. Algebricamente, a expressão é a seguinte:

$$\mathbf{U}_{FL} = \frac{1}{N} \mathbf{FL}_j / \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^n \mathbf{FL}_j = \mathbf{FL}_j / \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \mathbf{FL}_j \quad (42)$$

Se  $\mathbf{U}_{BL}$  for maior que 1, significa que a mudança em uma unidade de demanda final do setor  $j$  irá resultar em um aumento acima da média no consumo de água direto dos setores produtores de insumos. Em termos de consumo d'água, o setor que apresentar fortes encadeamentos para trás caracteriza-se como consumidor indireto (alto **IWI**), isto é, é um forte comprador de água na forma indireta que, por sua vez, estimula o uso de água na forma direta pelos setores que produzem os insumos.

Em contrapartida, se  $\mathbf{U}_{FL}$  for maior que 1, a mudança de uma unidade no valor dos insumos primários (lucros, juros, aluguéis = capital; salários; ou importações) dos setores compradores levará a um aumento acima da média no consumo de água do setor que produz o insumo  $i$ . Mais uma vez, quando se trata do consumo d'água, fortes encadeamentos para frente sugerem que tal setor caracteriza-se por ser um consumidor direto, pois consome água direta de forma intensiva para produzir bens que serão vendidos aos setores consumidores indiretos, ou seja, é forte vendedor de água na forma indireta, que estimula o consumo indireto através da venda de seus insumos.

Quando os índices de ligação para trás e para frente de um determinado setor são conjuntamente maiores que 1, podemos dizer que esse setor é um setor-chave em termos de consumo de água (MILLER; BLAIR, 2009).

Na próxima seção, outro aspecto relevante do estudo, o comércio internacional de água virtual será abordado para quantificar o fluxo de água virtual que é exportado e importado pelos diferentes setores da economia brasileira.

### 3.3.8 Comércio internacional de água virtual

Após determinar quais setores consomem água de forma mais intensiva no seu processo produtivo e quais influenciam indiretamente a demanda por água nos demais, é possível estimar a quantidade de água virtual que é importada e exportada via comércio internacional. A exportação de água virtual **VWE** que satisfaz a demanda final dos consumidores estrangeiros, isto é, a quantidade de água que é exportada virtualmente no comércio internacional, é definida a partir da equação (43), abaixo (ZHAO, 2009; WANG, 2013):

$$\mathbf{VWE}_{1xj} = \mathbf{VWC}_{1xj} \times \hat{\mathbf{e}}_{jxj} \quad (43)$$

$$\mathbf{VWE}_{1xj} = [\delta_1 \quad \delta_2 \quad \delta_3]_{(1x3)} \begin{bmatrix} e_1 & 0 & 0 \\ 0 & e_2 & 0 \\ 0 & 0 & e_3 \end{bmatrix}_{(3x3)} = [\delta_1 e_1 \quad \delta_2 e_2 \quad \delta_3 e_3]_{(1x3)}$$

em que:

**VWE** = exportação de água virtual para a demanda final do setor externo  $j$ ;

$\delta_j = \mathbf{VWC}$  (consumo de água virtual) no setor  $j$ . Corresponde ao total de água utilizada direta e indiretamente, definido anteriormente pela equação (32);

$\hat{\mathbf{e}}_i$  = exportações do setor  $j$ .

Já a importação de água virtual **VWI**, ou seja, a água virtual importada para satisfazer a demanda final é definida pela equação (44)<sup>8</sup> (WANG, 2013):

---

<sup>8</sup> Como os países importam produtos de inúmeros países e regiões com diferentes tecnologias de produção (WIEDMANN et al., 2007), as diferenças não podem ser analisadas com um único modelo I-P, devido à indisponibilidade de dados para os diversos países ou regiões de onde provêm as importações. Portanto, neste trabalho, utiliza-se a suposição amplamente aceita de que o processo e a tecnologia de produção de um produto importado são os mesmos de um bem produzido internamente (MACHADO, 2002; ZHAO et al., 2009; ZHAO et al., 2010). Assim o **VWC** do produto importado é o mesmo do produzido internamente. De acordo com Zhao et al. (2009), o pressuposto é totalmente coerente com o conceito de água virtual importada definido por Renault (2003). Segundo Zhao et al. (2009), a água virtual incorporada nas importações não é a real, consumida no local de produção, mas sim a água que o país teria consumido se tivesse de produzir o produto internamente. Por isso, o conceito de água virtual diz respeito à quantidade de água que é poupada importando-se um produto, em vez de produzi-lo internamente.

$$\mathbf{VWI}_{1xj} = \mathbf{VWC}_{1xj} \times \hat{\mathbf{m}}_{jxj} \quad (44)$$

$$\mathbf{VWI}_{1xj} = [\delta_1 \quad \delta_2 \quad \delta_3]_{(1x3)} \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}_{(3x3)} = [\delta_1 m_1 \quad \delta_2 m_2 \quad \delta_3 m_3]_{(1x3)}$$

Dessa forma é possível calcular o comércio líquido de água virtual (*net virtual water trade* - **NVWT**) de um país, a partir da equação (45), abaixo (ZHAO, 2009; WANG, 2013):

$$\mathbf{NVWT} = \mathbf{VWI} - \mathbf{VWE} \quad (45)$$

Se o saldo for positivo, significa que o país é um importador líquido de água virtual, isto é, possui um superávit ecológico. Se for negativo, o resultado indica que o país é exportador líquido de água virtual, ou seja, transfere água embutida nos produtos agropecuários e industriais a outros países, ostentando, assim, um déficit ecológico.

### 3.4 Procedimentos e dados

Para elaboração da matriz insumo-produto, que apresenta as transações econômicas entre os setores da economia brasileira, serão utilizadas dois tipos de tabelas de fluxos intermediários: as matrizes de uso e de produção, fornecidas por Guilhoto e Sesso Filho (2010), referentes ao ano de 2009, e construídas a partir de dados das contas nacionais. Estão incluídos na tabela de operação para o ano de 2009, 82 produtos<sup>9</sup> 48 setores<sup>10</sup>. O período de análise será o ano de 2009, já que esse é o último ano para o qual se encontra a matriz insumo-produto para o Brasil. As tabelas dos autores Guilhoto e Sesso Filho (2010) foram

<sup>9</sup> Alguns produtos: Produtos da exploração florestal e da silvicultura; Jornais, revistas, discos e outros produtos gravados; Gasolina e álcool; Eletrodomésticos; Peças e acessórios para veículos automotores; Móveis e produtos das indústrias diversas; Sucatas recicladas; Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana; Construção; Comércio; Transporte, armazenagem e correio; Serviços de informação; Intermediação financeira, seguros e previdência complementar; Atividades imobiliárias e aluguel; Administração, saúde e educação públicas e outros. Serviços não foram incluídos nos cálculos devido à indisponibilidade de dados de uso da água em sua produção.

<sup>10</sup> Devido à indisponibilidade de dados de uso da água para alguns produtos também foi necessário retirar dos cálculos alguns setores, que produziam especificamente tais produtos. Foram realizados os cálculos para ambas as situações (com todos os setores (56), e excluindo 8 setores (48)) e constatou-se que a exclusão não alterou os resultados para os setores restantes. Sendo assim, optou-se pela retirada dos seguintes setores: Eletricidade; Construção; Serviços de Informação; Intermediação Financeira; Educação Mercantil; Serviços Prestados as Famílias e Serviços Domésticos.

escolhidas pelo fato de serem as mais recentes matrizes insumo-produto disponíveis para pesquisa. As matrizes insumo-produto fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) mais atuais (2010) são referentes aos anos 2000 e 2005. Seu uso tornaria o estudo mais defasado. Portanto, neste trabalho utilizam-se as matrizes de Guilhoto e Sesso Filho (2010) que aplicam uma metodologia amplamente utilizada por diversos autores (FARIA 2010). Além disso, outro aspecto positivo do uso dessas matrizes é o fato de apresentarem 56 setores, ao contrário do IBGE que apresenta os mesmos setores agrupados em um grupo de 12 setores. Segundo Guilhoto e Sesso Filho (2010), isso proporciona maior detalhamento da estrutura do sistema econômico. A tabela 3, abaixo, apresenta todos os setores analisados no presente estudo.

Tabela 3 - Setores da economia brasileira utilizados na matriz insumo-produto.

(continua)

	<b>Setores</b>
<b>1</b>	Agricultura
<b>2</b>	Pecuária e Pesca
<b>3</b>	Petróleo e Gás Natural
<b>4</b>	Minério de Ferro
<b>5</b>	Outros da Indústria Extrativa
<b>6</b>	Alimentos e Bebidas
<b>7</b>	Produtos do Fumo
<b>8</b>	Têxteis
<b>9</b>	Artigos do Vestuário e Acessórios
<b>10</b>	Artefatos de Couro e Calçados
<b>11</b>	Produtos de Madeira - Exclusive Móveis
<b>12</b>	Celulose e Produtos de Papel
<b>13</b>	Jornais, Revistas, Discos
<b>14</b>	Refino de Petróleo e Coque
<b>15</b>	Álcool
<b>16</b>	Produtos Químicos
<b>17</b>	Fabricação de Resina e Elastômeros
<b>18</b>	Produtos Farmacêuticos
<b>19</b>	Defensivos Agrícolas
<b>20</b>	Perfumaria, Higiene e Limpeza
<b>21</b>	Tintas, Vernizes, Esmaltes e Lacas
<b>22</b>	Produtos E Preparados Químicos Diversos
<b>23</b>	Artigos de Borracha E Plástico
<b>24</b>	Cimento
<b>25</b>	Outros Produtos de Minerais Não-Metálicos

Tabela 3 - Setores da economia brasileira utilizados na matriz insumo-produto.

(conclusão)

<b>Setores</b>	
<b>26</b>	Fabricação de Aço e Derivados
<b>27</b>	Metalurgia de Metais Não-Ferrosos
<b>28</b>	Produtos de Metal - Exclusive Máquinas e Equipamentos
<b>29</b>	Máquinas e Equipamentos, Inclusive Manutenção e Reparos
<b>30</b>	Eletrodomésticos
<b>31</b>	Máquinas para Escritório e Equipamentos de Informática
<b>32</b>	Máquinas, Aparelhos e Materiais Elétricos
<b>33</b>	Material Eletrônico e Equipamentos de Comunicações
<b>34</b>	Aparelhos/Instrumentos Médico-Hospitalar, Medida e Óptico
<b>35</b>	Automóveis, Camionetas e Utilitários
<b>36</b>	Caminhões e Ônibus
<b>37</b>	Peças e Acessórios para Veículos Automotores
<b>38</b>	Outros Equipamentos de Transporte
<b>39</b>	Móveis e Produtos das Indústrias Diversas
<b>40</b>	Comércio
<b>41</b>	Transporte, Armazenagem e Correio
<b>42</b>	Serviços Imobiliários e Aluguel
<b>43</b>	Serviços de Manutenção e Reparação
<b>44</b>	Serviços de Alojamento e Alimentação
<b>45</b>	Serviços Prestados às Empresas
<b>46</b>	Educação Pública
<b>47</b>	Saúde Pública
<b>48</b>	Administração Pública e Seguridade Social

Fonte: Guilhoto e Sesso Filho (2010).

Os dados de uso da água na indústria ( $m^3$  de água/unidade da atividade<sup>11</sup>), contados em termos de consumo de água nos processos de produção, excluindo a reutilização da água interna, foram obtidos em Lisboa (2014).

O uso da água na agricultura, que se refere ao volume total de água utilizada para a produção agrícola por cultura no país ( $m^3$  de água/tonelada), foi obtido no estudo de Chapagain e Hoekstra (2004), bem como os dados para a pecuária. O conteúdo de água incorporada em um animal ( $m^3$  de água/tonelada) é definido como o volume total de água que foi utilizado para produzir e processar a sua alimentação, para fornecer a água de beber e para limpar a sua habitação e similares. Esses valores dependem da raça do animal, do sistema de cultivo, do consumo de ração e das condições climáticas do local onde o alimento é cultivado

<sup>11</sup> A unidade da atividade industrial varia de acordo com cada atividade envolvida, e pode ser mensurada por unidade produzida,  $m^3$ , toneladas, mil peças, etc...

(CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2004). Portanto, são específicos para cada país de origem, assim como os dados da agricultura e indústria.

Os dados retirados dos estudos de Lisboa (2014) e Chapagain e Hoekstra (2004) servem para saber a quantidade de água utilizada na produção de um bem ou serviço, isto é, o conteúdo de água virtual de cada mercadoria. No entanto, o objetivo desse estudo é mensurar o consumo de água virtual pelos diferentes setores da economia, ou seja, a quantidade de água doce que cada setor utiliza em toda a sua cadeia produtiva. Para tanto, foi necessário realizar alguns procedimentos com a finalidade de adaptar dados disponíveis para os produtos aos setores, e com isso alcançar os objetivos pretendidos.

O primeiro passo foi multiplicar o valor de uso da água ( $m^3$  de água/tonelada, no caso da agricultura e pecuária, e  $m^3$  de água/unidade da atividade, no caso da indústria) retirados dos trabalhos de Lisboa (2014) e Chapagain e Hoekstra (2004) pela quantidade produzida de cada bem ou serviço (tonelada, mil peças, unidade produzida, etc...) fornecido pelo IBGE. Dessa forma chega-se ao valor da entrada de água doce por produto ( $i$ ) em  $m^3$ , ou seja,  $\mathbf{w}_{1xi}$ , como definido na equação (46), abaixo:

$$\mathbf{w}_{1xi} = \frac{m^3(\text{água})}{(t, \text{unidade produzida, etc ...})} \times (t, \text{unidade produzida, etc ...}) \quad (46)$$

Com isso, têm-se o valor em metros cúbicos ( $m^3$ ) da quantidade utilizada na produção dos diferentes produtos produzidos pelos diversos setores econômicos. A partir daí, com o auxílio da matriz de produção ( $\mathbf{V}$ ), que mostra quanto cada atividade econômica (setor) produz de cada produto, foi possível mensurar a porcentagem que cada setor produziu de determinada mercadoria. Consequentemente, obtiveram-se os valores totais das entradas de água doce por setor em  $m^3$ , ou seja,  $\mathbf{W}_{1xj}$  (tabela 2), que é igual à soma do conteúdo de água virtual de todos os diferentes produtos produzidos por um determinado setor.

Posteriormente, foram aplicados os procedimentos já mencionados na seção 3.3 desse capítulo e, por seguinte, foram obtidos os resultados que serão apresentados no próximo capítulo.

## 4 AVALIAÇÃO DO FLUXO INTERSETORIAL E DO COMÉRCIO INTERNACIONAL DE ÁGUA VIRTUAL DA ECONOMIA BRASILEIRA

Este capítulo apresenta os resultados obtidos na análise insumo-produto para o uso da água. Busca-se averiguar quais setores utilizam água de forma mais intensiva no seu processo produtivo, tanto direta quanto indiretamente, e sua influência sobre o consumo dos demais setores da economia. Também será avaliado o impacto ambiental do comércio exterior brasileiro sobre o uso da água do país, isto é, quanto o Brasil transfere do seu patrimônio ambiental, aqui representado pela água doce, para suprir a demanda externa.

### 4.1 Indicadores do consumo de água

Os indicadores sobre a eficiência do uso da água, como o coeficiente de uso direto, indireto e total de água, são úteis para avaliar a alocação eficiente dos recursos hídricos. A tabela 4, abaixo, apresenta os resultados desses três indicadores para os setores da economia brasileira no ano de 2009.

Tabela 4 – Resumo dos indicadores de consumo de água direto (**DWI**), total (**VWC**) e indireto (**IWI**) para os setores da economia brasileira para o ano de 2009.

(continua)

	<b>Setores</b>	<b>DWI</b> (mil m <sup>3</sup> água/R\$)	<b>VWC</b> (mil m <sup>3</sup> água/R\$)	<b>IWI</b> (mil m <sup>3</sup> água/R\$)
<b>1</b>	Agricultura	2.266,59	2.513,38	246,79
<b>2</b>	Pecuária e Pesca	7.079,79	8.070,01	990,22
<b>3</b>	Petróleo e Gás Natural	57,66	73,93	16,27
<b>4</b>	Minério de Ferro	6,84	36,81	29,97
<b>5</b>	Outros da Indústria Extrativa	101,26	185,80	84,54
<b>6</b>	Alimentos e Bebidas	246,14	2.395,12	2.148,98
<b>7</b>	Produtos do Fumo	0,36	1.263,86	1.263,51
<b>8</b>	Têxteis	0,89	332,32	331,44

Tabela 4 – Resumo dos indicadores de consumo de água direto (DWI), total (VWC) e indireto (IWI) para os setores da economia brasileira para o ano de 2009.

		(continuação)		
	<b>Setores</b>	<b>DWI</b> (mil m <sup>3</sup> água/R\$)	<b>VWC</b> (mil m <sup>3</sup> água/R\$)	<b>IWI</b> (mil m <sup>3</sup> água/R\$)
<b>9</b>	Artigos do Vestuário e Acessórios	0,20	114,70	114,50
<b>10</b>	Artefatos de Couro e Calçados	63,92	443,12	379,19
<b>11</b>	Produtos de Madeira - Exclusive Móveis	0,02	75,31	75,29
<b>12</b>	Celulose e Produtos de Papel	4.080,40	4.845,91	765,52
<b>13</b>	Jornais, Revistas, Discos	3,41	569,06	565,64
<b>14</b>	Refino de Petróleo e Coque	3,62	116,67	113,04
<b>15</b>	Álcool	357,93	1.687,53	1.329,60
<b>16</b>	Produtos Químicos	354,65	475,20	120,54
<b>17</b>	Fabricação de Resina e Elastômeros	2,98	187,36	184,38
<b>18</b>	Produtos Farmacêuticos	0,08	146,87	146,79
<b>19</b>	Defensivos Agrícolas	10,92	277,93	267,00
<b>20</b>	Perfumaria, Higiene e Limpeza	34,26	420,99	386,72
<b>21</b>	Tintas, Vernizes, Esmaltes e Lacas	15,91	176,42	160,51
<b>22</b>	Produtos e Preparados Químicos Diversos	70,75	273,10	202,35
<b>23</b>	Artigos de Borracha e Plástico	18,19	182,44	164,25
<b>24</b>	Cimento	1,55	135,59	134,03
<b>25</b>	Outros Produtos de Minerais Não-Metálicos	4,95	86,84	81,88
<b>26</b>	Fabricação de Aço e Derivados	6,17	38,27	32,10
<b>27</b>	Metalurgia de Metais Não-Ferrosos	5,56	66,16	60,59
<b>28</b>	Produtos de Metal - Exclusive Máquinas e Equipamentos	0,42	58,51	58,09
<b>29</b>	Máquinas e Equipamentos, Inclusive Manutenção e Reparos	21,04	71,92	50,89
<b>30</b>	Elerodomésticos	0,64	158,04	157,40
<b>31</b>	Máquinas para Escritório e Equipamentos de Informática	0,11	38,48	38,37
<b>32</b>	Máquinas, Aparelhos e Materiais Elétricos	194,52	264,89	70,38
<b>33</b>	Material Eletrônico e Equipamentos de Comunicações	5,55	88,94	83,39
<b>34</b>	Aparelhos/Instrumentos Médico-Hospitalar, Medida e Óptico	14,44	72,12	57,69
<b>35</b>	Automóveis, Camionetas e Utilitários	0,02	41,58	41,56
<b>36</b>	Caminhões e Ônibus	0,17	23,14	22,98

Tabela 4 – Resumo dos indicadores de consumo de água direto (DWI), total (VWC) e indireto (IWI) para os setores da economia brasileira para o ano de 2009.

		(conclusão)		
	<b>Setores</b>	<b>DWI</b> (mil m <sup>3</sup> água/R\$)	<b>VWC</b> (mil m <sup>3</sup> água/R\$)	<b>IWI</b> (mil m <sup>3</sup> água/R\$)
<b>37</b>	Peças e Acessórios para Veículos Automotores	3,86	31,07	27,21
<b>38</b>	Outros Equipamentos de Transporte	1,21	30,58	29,36
<b>39</b>	Móveis e Produtos das Indústrias Diversas	27,32	209,88	182,56
<b>40</b>	Comércio	89,68	121,30	31,62
<b>41</b>	Transporte, Armazenagem e Correio	0,00	25,08	25,08
<b>42</b>	Serviços Imobiliários e Aluguel	0,01	7,29	7,28
<b>43</b>	Serviços de Manutenção e Reparação	0,00	29,30	29,30
<b>44</b>	Serviços de Alojamento e Alimentação	0,00	706,61	706,61
<b>45</b>	Serviços Prestados às Empresas	0,00	12,83	12,83
<b>46</b>	Educação Pública	0,65	54,90	54,25
<b>47</b>	Saúde Pública	0,00	35,84	35,84
<b>48</b>	Administração Pública e Seguridade Social	7,14	34,84	27,70
<b>Total</b>		15.161,82	27.307,84	12.146,03

A primeira coluna da tabela 4 mostra o uso direto da água como insumo para a produção de cada setor (**DWI**). Esse indicador revela a intensidade do uso da água, ou a quantidade de água usada para gerar diretamente uma unidade monetária de produto em cada setor. Os resultados indicam que o setor de Pecuária e Pesca requer a maior entrada de água direta por unidade de produção (47%), seguido do setor de Celulose e Produtos de Papel, com 27%, e do setor da Agricultura, com 15%. Tomando-se o setor da Pecuária e Pesca e o setor de Celulose e Produtos de Papel como exemplo, os resultados mostram que eles utilizam 7.079 mil m<sup>3</sup> e 4.080 mil m<sup>3</sup> de água diretamente para gerar um real (R\$ 1,00) de saída, respectivamente. Os resultados podem ser mais bem visualizados na figura 1 abaixo.

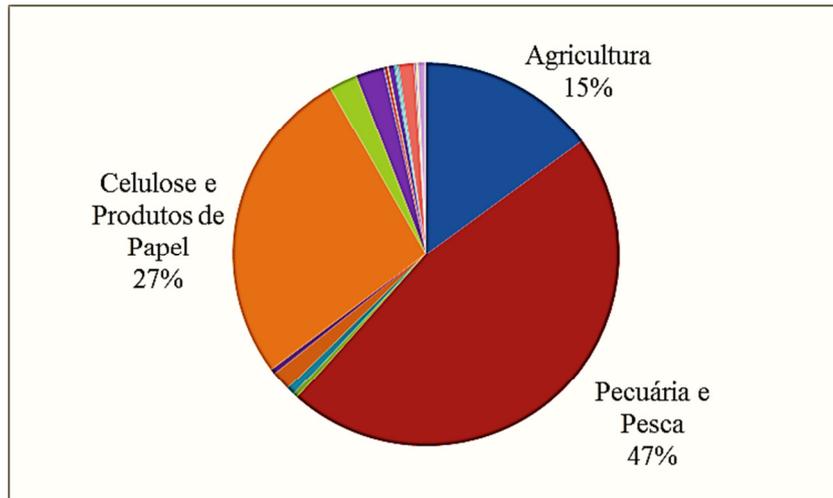


Figura 1 – Porcentagem do uso direto de água na produção dos setores mais representativos da economia brasileira para o ano de 2009.

Os resultados indicam que a água utilizada por esses setores em seu processo produtivo é principalmente “água real”, ou seja, que se origina a partir da superfície disponível e dos recursos hídricos subterrâneos locais (WANG, 2009). Dessa forma, ligeiros aumentos na produção desses setores elevam consideravelmente o consumo direto de água. Por sua vez, isso irá exercer maior pressão sobre os recursos hídricos e o ecossistema local, que deverá fornecer uma maior quantidade de água doce para suprir esse aumento de demanda.

Além do uso direto de água, cada setor econômico utiliza-a indiretamente em seu processo produtivo. Por exemplo, a Pecuária e a Pesca utilizam-na tanto de forma direta, para dar de beber aos animais, quanto de forma indireta, para alimentar o gado através do consumo de grãos provenientes da agricultura (MUBAKO et al., 2013).

A soma dos coeficientes de utilização de água direto e indireto resulta no coeficiente total de uso de água na economia (**VWC**). Esse coeficiente leva em conta os efeitos da cadeia de abastecimento, em contraste com o coeficiente de uso direto de água, que se concentra apenas na intensidade do uso da água a partir de atividades de produção com recursos hídricos locais (MUBAKO et al., 2013).

Na figura 2, apresentam-se os dados referentes a **VWC**, isto é, à quantidade de água total utilizada para a geração de uma unidade monetária de demanda final pelos setores da economia brasileira.

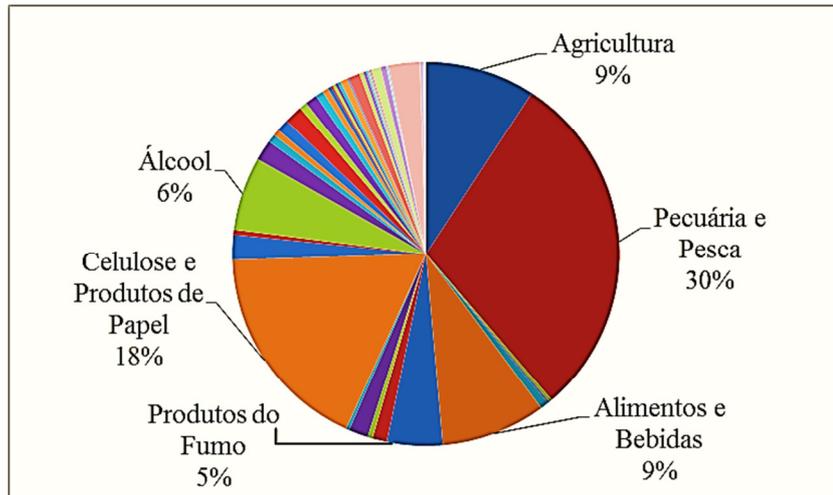


Figura 2 - Teor de água virtual dos setores mais representativos da economia brasileira (%) para o ano de 2009.

Observa-se na figura 2, acima, que os mesmos setores que apresentam **DWI** superiores também possuem os três maiores volumes de **VWC**. A Pecuária e a Pesca possuem o maior coeficiente total do uso de água (30%), seguida pelos setores de Celulose e Papel, com 18%, e Agricultura, com 9%, acompanhada do setor de Alimentos e Bebidas, também com 9%. No caso dos três setores mais representativos, tanto o coeficiente de uso direto de água como o de uso total possuem valores elevados de consumo de água no processo de produção. Já no caso do setor de Alimentos e Bebidas, o consumo indireto parece tornar-se uma parte significativa do consumo total de água, ou seja, esse setor utiliza fortemente recursos hídricos de outros setores da economia.

O setor de Alimentos e Bebidas, juntamente com os setores de Produtos do Fumo e do Álcool, possui um **VWC** muito superior ao **DWI**. Isso significa que esses setores utilizam diretamente uma pequena quantidade de água na produção, porém seu indicador de uso indireto de água é bem elevado. Ocorre que, para produzir os insumos que serão utilizados por esses setores, é necessário um alto consumo de água por parte de seus fornecedores. Esses dados são apresentados na figura 3, abaixo:

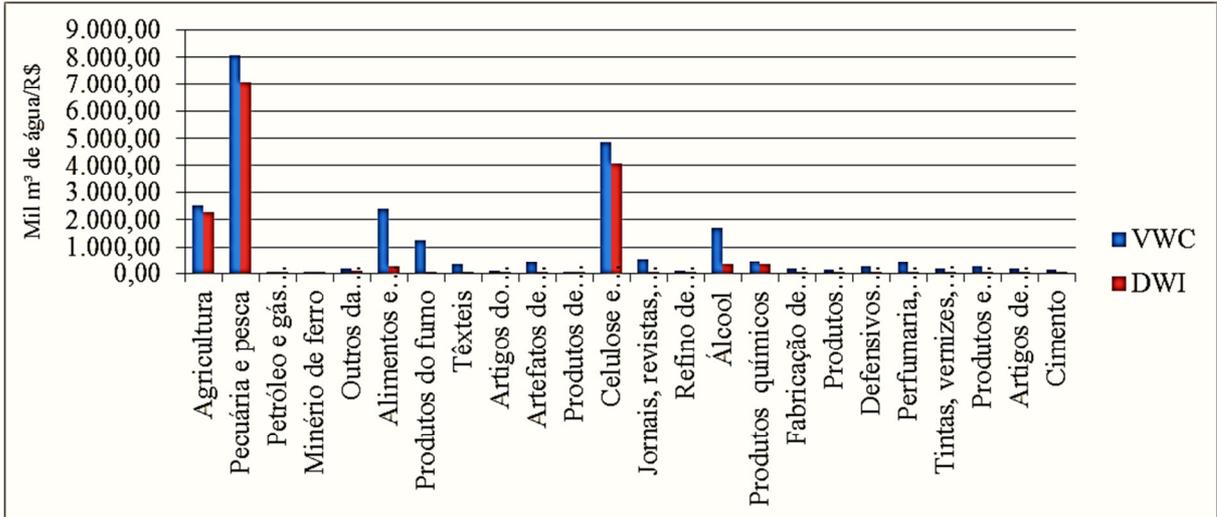


Figura 3 – Comparativo do uso direto e total de recursos hídricos (mil m<sup>3</sup> de água/R\$) pelos setores mais representativos da economia brasileira para o ano de 2009.

A figura 3 também sugere que os setores restantes da economia são compostos principalmente de indústrias de uso “intensivo indireto de água, secundários ou terciários”, que dependem do setor primário, intensivo no uso direto de água. Esse é, por exemplo, o caso da Agricultura, que produz matérias-primas a serem utilizadas como insumo nos processos produtivos de diversos setores. Nesse sentido, o consumo indireto parece tornar-se uma parte significativa do consumo de água, que não pode ser desconsiderada.

A figura 4, abaixo, confirma a afirmação feita acima de que os setores de Alimentos e Bebidas; Álcool e Produtos do Fumo apresentam valores consideráveis para **VWC**, sustentados por elevados valores do indicador de uso indireto da água (**IWI**).

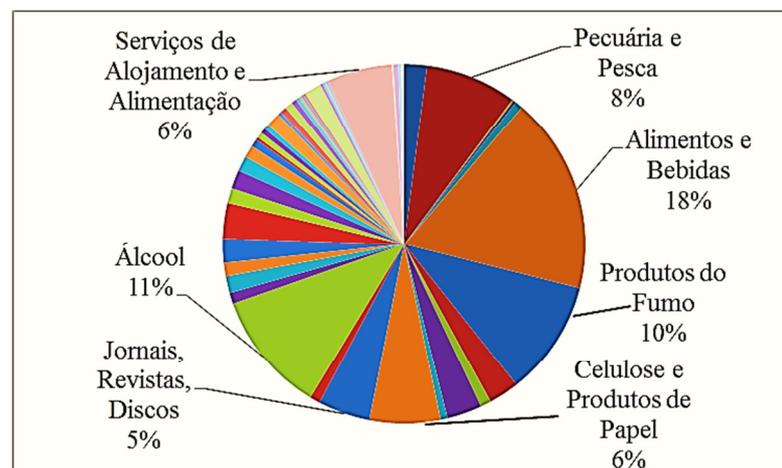


Figura 4– Uso indireto de água na produção dos setores da economia brasileira (mil m<sup>3</sup> água/R\$) para o ano de 2009.

O **IWI** elevado destes setores é responsável pelos altos valores de seus indicadores de uso total de água (**VWC**), particularmente no setor de Produtos do Fumo, no qual o uso de água indireta representa 99,97% de seu **VWC**. Esse setor envolve o processamento industrial do fumo e a fabricação de produtos do fumo, logo, é uma indústria com indicador elevado de uso indireto de água. No entanto, o setor que apresenta maior entrada de água indireta por unidade de produção é o setor de Alimentos e Bebidas (18%), seguido do setor do Álcool (11%), Produtos do Fumo (10%) e o do setor de Serviço de Alojamento e Alimentação (6%).

Setores que possuem um indicador de uso indireto elevado podem ter um grande efeito de “arrastamento” sobre o consumo de água de toda a economia, já que utilizam recursos hídricos de outros setores para prover sua produção. Isso poderá ser constatado através da análise dos multiplicadores de consumo d’água.

#### 4.2 Multiplicadores do uso da água

Conforme foi demonstrado na seção anterior, embora alguns setores — como o de Alimentos e Bebidas e Produtos do Fumo e do Álcool — não apresentem um indicador de uso direto de água muito elevado. Eles consomem uma grande quantidade de água indiretamente, via insumos produtivos intensivos em recursos hídricos. A análise dos multiplicadores (tabela 5) torna mais clara essa relação.

Tabela 5 - Multiplicador do consumo de água (**wcm**) e multiplicador de consumo de água indireta (**iwc**) em mil m<sup>3</sup> de água.

(continua)			
	<b>Setores</b>	<b>wcm</b>	<b>iwc</b>
<b>1</b>	Agricultura	1,11	0,11
<b>2</b>	Pecuária e Pesca	1,14	0,14
<b>3</b>	Petróleo e Gás Natural	1,28	0,28
<b>4</b>	Minério de Ferro	5,38	4,38

Tabela 5 - Multiplicador do consumo de água (**wcm**) e indicador de consumo de água indireta (**iwc**) em mil m<sup>3</sup> de água.

(continuação)			
	<b>Setores</b>	<b>wcm</b>	<b>iwc</b>
5	Outros da Indústria Extrativa	1,83	0,83
6	Alimentos e Bebidas	9,73	8,73
7	Produtos do Fumo	3.539,66	3.538,66
8	Têxteis	374,44	373,44
9	Artigos do Vestuário e Acessórios	561,31	560,31
10	Artefatos de Couro e Calçados	6,93	5,93
11	Produtos de Madeira - Exclusive Móveis	3.732,37	3.731,37
12	Celulose e Produtos de Papel	1,19	0,19
13	Jornais, Revistas, Discos	166,66	165,66
14	Refino de Petróleo e Coque	32,20	31,20
15	Álcool	4,71	3,71
16	Produtos Químicos	1,34	0,34
17	Fabricação de Resina e Elastômeros	62,87	61,87
18	Produtos Farmacêuticos	1.729,52	1.728,52
19	Defensivos Agrícolas	25,44	24,44
20	Perfumaria, Higiene e Limpeza	12,29	11,29
21	Tintas, Vernizes, Esmaltes e Lacas	11,09	10,09
22	Produtos e Preparados Químicos Diversos	3,86	2,86
23	Artigos de Borracha e Plástico	10,03	9,03
24	Cimento	87,30	86,30
25	Outros Produtos de Minerais Não-Metálicos	17,53	16,53
26	Fabricação de Aço e Derivados	6,20	5,20
27	Metalurgia de Metais Não-Ferrosos	11,89	10,89
28	Produtos de Metal - Exclusive Máquinas e Equipamentos	139,56	138,56
29	Máquinas e Equipamentos, Inclusive Manutenção e Reparos	3,42	2,42
30	Eletrodomésticos	248,77	247,77
31	Máquinas para Escritório e Equipamentos de Informática	343,80	342,80
32	Máquinas, Aparelhos e Materiais Elétricos	1,36	0,36
33	Material Eletrônico e Equipamentos de Comunicações	16,02	15,02
34	Aparelhos/Instrumentos Médico-Hospitalar, Medida e Óptico	5,00	4,00
35	Automóveis, Camionetas e Utilitários	1.976,47	1.975,47
36	Caminhões e Ônibus	139,09	138,09
37	Peças e Acessórios para Veículos Automotores	8,05	7,05
38	Outros Equipamentos de Transporte	25,26	24,26
39	Móveis e Produtos das Indústrias Diversas	7,68	6,68
40	Comércio	1,35	0,35
41	Transporte, Armazenagem e Correio	22.352,47	22.351,47
42	Serviços Imobiliários e Aluguel	534,62	533,62
43	Serviços de Manutenção e Reparação	105.762,19	105.761,19

Tabela 5 - Multiplicador do consumo de água (**wcm**) e indicador de consumo de água indireta (**iwc**) em mil m<sup>3</sup> de água.

		(conclusão)	
	<b>Setores</b>	<b>wcm</b>	<b>iwc</b>
<b>44</b>	Serviços de Alojamento e Alimentação	23.941.167,77	23.941.166,77
<b>45</b>	Serviços Prestados às Empresas	12.664,82	12.663,82
<b>46</b>	Educação Pública	84,20	83,20
<b>47</b>	Saúde Pública	19.437.289,33	19.437.288,33
<b>48</b>	Administração Pública e Seguridade Social	4,88	3,88

A classificação dos setores, como diretos e indiretos, é confirmada pelos resultados fornecidos pela tabela 5 acima. Os baixos valores de **wcm** sustentam a hipótese de que setores como Pecuária e Pesca, Celulose e Papel, e Agricultura são caracterizados por um elevado consumo direto de água. O multiplicador **wcm** revela a quantidade total de água consumida pelo setor *j* para cada metro cúbico consumido diretamente. Por exemplo, se há um aumento de uma unidade monetária na demanda final de um determinado setor, o consumo total de água será aumentado em 1,11 mil m<sup>3</sup> para a Agricultura; 1,14 mil m<sup>3</sup> para a Pecuária e Pesca; 1,19 mil m<sup>3</sup> para Celulose e Papel, etc. Nesse sentido, o efeito de “arrasto” é muito pequeno.

Por outro lado, setores caracterizados pelo consumo indireto de água apresentam **iwc** muito elevados. Ao analisar a tabela 5, acima, é possível verificar que, para Serviços de Alojamento e Alimentação e Saúde Pública, cada metro cúbico de água consumida diretamente requer o consumo indireto adicional por parte dos outros setores de 23.941.166,77 e 19.437.288,33 mil m<sup>3</sup> de água, respectivamente. Da mesma forma, para cada metro cúbico de água consumida diretamente pelo setor de Serviços de Manutenção e Reparação, é exigido um adicional de 105.761,19 mil m<sup>3</sup> de água a ser consumida por outros setores que produzem mercadorias que servem como insumos produtivos para o setor de Serviços de Manutenção e Reparação. Tais resultados sugerem que esses setores caracterizam-se por um forte efeito de “arrasto” sobre o consumo de água de toda a economia.

Segundo Hristov et al. (2012), se for considerado apenas o aspecto econômico, setores que possuem um forte efeito de “arrasto” deveriam ser considerados os motores propulsores da economia, devido à forte influência que a sua demanda por produtos causará na produção dos outros setores restantes. Todavia, como demonstrado pelos resultados dos multiplicadores, para sustentar sua produção, esses setores utilizam uma grande quantidade de

água indiretamente, o que pressupõe uso intensivo de água doce pelos setores fornecedores dos insumos.

Na próxima seção, será possível identificar, através da matriz de coeficientes de transação da água, os principais setores fornecedores de água virtual de forma indireta para os demais setores da economia.

### **4.3 Matriz de coeficientes de transação da água e análise dos encadeamentos**

Na seção anterior foram analisados os multiplicadores do uso da água que reforçam os resultados encontrados para os indicadores de consumo. Foi possível, a partir desses resultados, distinguir os setores entre consumidores diretos e indiretos. A análise da matriz de coeficientes de transação da água possibilita reforçar ainda mais os resultados encontrados para os indicadores e multiplicadores e, além disso, identificar quais desses setores são os principais fornecedores de água para os setores consumidores indiretos.

A matriz de coeficientes de transação da água pode ser lida por linhas ou por colunas. As colunas fornecem a proporção em que cada setor consome água na forma indireta em relação à proporção consumida diretamente caso sua demanda aumente em uma unidade. Assim, se um setor for forte consumidor indireto de produtos “hidro intensivos”, que servirão como insumo no seu processo produtivo, a soma da coluna resultará em um valor superior a 1 unidade. Se o setor for um forte consumidor direto, ou seja, consome em maior magnitude água na forma direta do que indiretamente, a soma da coluna deve ser inferior a 1 unidade. Os setores que apresentarem valores mais representativos serão os maiores compradores de água de forma indireta de outros setores. Por outro lado, as linhas da matriz revelam quais setores são os principais fornecedores de água na forma indireta para os demais setores econômicos. Da mesma forma, valores superiores a 1 unidade indicam setores fornecedores de água na forma indireta, e valores inferiores a 1 unidade indicam que tais setores não são fortes ofertantes de produtos “hidro intensivos”. Com isso, aqueles setores que apresentarem os valores mais elevados para a soma das linhas serão os maiores fornecedores de água para os demais setores. O quadro 2 mostra os coeficientes de transação da água (VELAZQUEZ, 2006).

(continua)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		Soma linha (1-48)
1	0,06	0,03	0,03	0,44	0,13	2,19	2.801,33	245,48	339,61	0,84	380,12	0,00	1,39	12,84	3,18	0,05	11,10	278,43	8,02	2,22	2,07	0,40	1,34	4,10	1	8.741.341,93
2	0,02	0,09	0,01	0,19	0,05	6,05	141,58	76,85	104,81	2,23	142,29	0,00	0,77	3,70	0,39	0,02	2,88	240,16	2,35	3,65	2,04	0,16	0,42	1,63	2	20.534.834,51
3	0,00	0,00	0,04	0,18	0,02	0,00	1,62	0,73	1,34	0,01	34,48	0,00	0,05	6,87	0,00	0,01	0,51	2,98	0,06	0,01	0,07	0,01	0,06	1,21	3	54.072,21
4	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	4	567,91
5	0,00	0,00	0,00	0,15	0,06	0,00	1,21	0,39	0,62	0,01	7,45	0,00	0,08	0,06	0,00	0,02	0,76	5,70	0,12	0,02	0,13	0,02	0,05	1,61	5	77.664,14
6	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01	0,25	5,77	1,15	2,54	0,36	25,65	0,00	0,13	0,57	0,03	0,00	0,37	39,59	0,36	0,65	0,40	0,02	0,03	0,25	6	3.565.338,56
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7	0,06
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,21	1,54	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8	334,11
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9	18,85
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,43	0,19	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10	527,90
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11	4,52
12	0,00	0,00	0,07	2,64	0,42	0,16	527,82	27,16	74,51	1,97	2.817,91	0,18	159,92	0,89	0,04	0,07	4,65	861,32	6,07	3,23	0,69	1,43	4,58	67,88	12	7.065.048,50
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13	27,19
14	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,27	0,12	0,23	0,00	5,84	0,00	0,01	0,17	0,00	0,00	0,08	0,50	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,20	14	8.939,86
15	0,00	0,00	0,00	0,10	0,02	0,00	2,64	0,83	1,58	0,01	24,31	0,00	0,08	3,74	0,00	0,01	0,47	41,36	2,04	0,27	0,32	0,01	0,05	0,70	15	194.713,69
16	0,02	0,00	0,07	0,39	0,09	0,06	52,65	18,73	29,27	0,28	222,19	0,00	2,57	1,72	0,06	0,16	39,79	217,85	4,85	1,05	4,21	0,71	2,26	5,33	16	2.738.542,99
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,15	0,21	0,00	1,82	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,20	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01	17	1.970,34
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18	1.731,56
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,09	0,13	0,00	2,29	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	1,19	0,14	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	19	6.622,19
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,06	0,00	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,43	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,06	20	8.651,26
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,03	0,00	2,46	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	21	9.462,08
22	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,81	0,49	1,09	0,01	17,18	0,00	0,32	0,06	0,00	0,00	0,77	16,31	0,24	0,11	0,07	0,05	0,07	0,42	22	286.090,36
23	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,42	0,24	0,60	0,01	10,72	0,00	0,16	0,01	0,00	0,00	0,06	4,70	0,11	0,01	0,01	0,01	0,05	0,09	23	23.960,06
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	24	282,71
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Soma coluna (1-48)	0,11	0,14	0,28	4,38	0,83	8,73	3.538,66	373,44	560,31	5,93	3.731,37	0,19	165,66	31,20	3,71	0,34	61,87	1.728,52	24,44	11,29	10,09	2,86	9,03	86,30		

(continuação)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		Soma linha (1-48)
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	25	13.532,88
26	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,06	0,02	0,03	0,00	2,28	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,33	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,13	26	4.486,45
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,02	0,00	0,71	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	27	2.243,97
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28	1.131,79
29	0,00	0,00	0,01	0,07	0,01	0,00	0,31	0,23	0,55	0,00	9,38	0,00	0,03	0,08	0,00	0,00	0,10	1,16	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,30	29	9.299,60
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30	2,52
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31	19,95
32	0,00	0,00	0,04	0,06	0,02	0,00	0,99	0,28	0,56	0,01	21,85	0,00	0,05	0,45	0,00	0,00	0,14	13,71	0,03	0,01	0,03	0,01	0,06	2,13	32	162.828,58
33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33	611,34
34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34	15.416,53
35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35	0,54
36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36	0,69
37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37	236,59
38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38	23,42
39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39	119,41
40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,22	0,52	0,00	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,30	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	40	2.108,71
41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41	0,00
42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42	0,00
43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43	0,00
44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44	0,00
45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45	0,00
46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46	0,13
47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47	0,00
48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48	336,84
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Soma coluna (1-48)	0,11	0,14	0,28	4,38	0,83	8,73	3.538,66	373,44	560,31	5,93	3.731,37	0,19	165,66	31,20	3,71	0,34	61,87	1.728,52	24,44	11,29	10,09	2,86	9,03	86,30		

(continuação)

	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48		Soma linha (1-48)
1	1,55	0,64	1,05	10,39	0,17	6,91	16,86	0,02	0,62	0,21	139,50	13,31	0,66	2,70	0,46	0,08	7.198,79	82,45	4.959,42	5.862.947,26	1.047,10	21,23	2.860.794,35	0,79	1	8.741.341,93
2	0,48	0,19	0,42	3,80	0,07	2,58	6,98	0,01	0,28	0,18	61,72	4,78	0,30	0,88	0,65	0,04	2.557,77	25,50	2.105,80	14.672.183,27	535,45	45,64	5.856.563,82	1,57	2	20.534.834,51
3	0,23	0,09	0,19	0,90	0,03	0,96	4,19	0,01	0,09	0,01	13,07	1,34	0,09	0,70	0,02	0,00	2.627,47	1,19	306,06	8.028,43	120,76	0,04	42.916,09	0,01	3	54.072,21
4	0,01	0,10	0,01	0,23	0,01	0,14	0,08	0,00	0,00	0,00	1,93	0,20	0,02	0,05	0,00	0,00	1,15	0,01	6,73	35,00	0,39	0,00	521,49	0,00	4	567,91
5	1,14	0,52	2,06	4,26	0,07	1,44	1,79	0,01	0,09	0,04	23,40	2,19	0,20	0,48	0,03	0,00	47,80	0,28	192,41	6.216,50	22,22	0,04	71.128,71	0,00	5	77.664,14
6	0,06	0,03	0,06	0,56	0,01	0,37	1,06	0,00	0,05	0,03	8,15	0,54	0,04	0,12	0,03	0,01	400,07	3,95	251,28	2.631.293,63	77,86	7,30	933.214,92	0,25	6	3.565.338,56
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	7	0,06
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,96	0,00	11,80	117,65	0,92	0,00	199,78	0,00	8	334,11
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00	0,01	6,60	0,47	0,00	11,50	0,00	9	18,85
10	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	4,06	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,01	18,62	25,91	0,80	0,00	477,02	0,00	10	527,90
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,31	0,00	0,00	3,93	0,00	11	4,52
12	9,99	1,17	2,88	78,77	1,17	203,81	161,93	0,17	8,28	2,46	954,51	47,20	3,44	11,17	4,91	0,19	4.455,54	380,17	80.801,14	570.724,36	9.167,09	7,62	6.393.455,79	1,12	12	7.065.048,50
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,10	0,81	0,02	0,00	26,22	0,00	13	27,19
14	0,04	0,02	0,03	0,15	0,00	0,16	0,71	0,00	0,02	0,00	2,21	0,23	0,01	0,12	0,00	0,00	445,65	0,20	51,80	1.257,07	20,46	0,01	7.153,48	0,00	14	8.939,86
15	0,15	0,06	0,14	0,77	0,02	0,82	2,89	0,00	0,10	0,01	11,03	0,97	0,06	0,42	0,02	0,02	1.853,53	23,22	228,46	14.806,06	136,48	0,12	177.569,73	0,07	15	194.713,69
16	2,38	2,01	3,41	30,94	0,42	13,00	17,61	0,05	0,68	0,45	251,35	23,58	1,40	3,77	0,40	0,01	1.311,00	7,23	3.494,41	151.903,53	788,86	0,93	2.580.081,24	0,05	16	2.738.542,99
17	0,01	0,00	0,00	0,09	0,00	0,14	0,13	0,00	0,00	0,00	1,87	0,21	0,01	0,03	0,00	0,00	6,95	0,04	17,46	171,21	6,38	0,00	1.763,26	0,00	17	1.970,34
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	3,39	0,00	0,00	1.728,12	0,00	18	1.731,56
19	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,55	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00	4,19	0,04	6,95	2.565,02	24,56	0,01	4.016,01	0,00	19	6.622,19
20	0,01	0,00	0,02	0,10	0,00	0,02	0,28	0,00	0,00	0,00	0,37	0,06	0,00	0,01	0,00	0,00	8,75	0,35	43,19	3.038,20	40,65	0,01	5.517,05	0,00	20	8.651,26
21	0,01	0,00	0,00	0,31	0,00	0,10	0,07	0,00	0,00	0,00	6,23	0,12	0,01	0,03	0,00	0,00	5,23	0,10	58,96	86,20	1,61	0,06	9.300,31	0,00	21	9.462,08
22	0,09	0,03	0,10	0,76	0,01	0,42	1,95	0,00	0,15	0,15	7,76	0,74	0,07	0,10	0,02	0,00	45,60	0,34	400,63	3.539,65	75,29	0,11	281.978,36	0,01	22	286.090,36
23	0,02	0,03	0,07	1,07	0,02	1,14	2,84	0,00	0,07	0,03	64,45	7,12	0,14	0,65	0,02	0,00	244,33	1,49	340,84	4.467,90	237,15	0,01	18.573,43	0,00	23	23.960,06
24	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	0,00	0,21	5,26	0,03	0,00	276,66	0,00	24	282,71
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48		
Soma coluna (1-48)	16,53	5,20	10,89	138,56	2,42	247,77	342,80	0,36	15,02	4,00	1.975,47	138,09	7,05	24,26	6,68	0,35	22.351,47	533,62	105.761,19	23.941.166,77	12.663,82	83,20	19.437.288,33	3,88		

(conclusão)

	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48		Soma linha (1-48)	
25	0,05	0,01	0,01	0,07	0,00	0,22	0,09	0,00	0,01	0,00	2,60	0,20	0,01	0,01	0,00	0,00	2,02	0,01	7,19	165,60	0,53	0,00	13.353,24	0,00	25	13.532,88	
26	0,02	0,11	0,07	2,57	0,05	1,57	0,91	0,00	0,04	0,01	21,78	2,20	0,19	0,52	0,01	0,00	12,16	0,07	74,78	353,03	3,95	0,00	4.009,50	0,00	26	4.486,45	
27	0,01	0,04	0,10	0,81	0,02	0,19	0,47	0,00	0,03	0,02	3,63	0,36	0,02	0,11	0,00	0,00	6,34	0,03	37,05	157,11	1,97	0,00	2.034,64	0,00	27	2.243,97	
28	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,03	0,11	0,00	0,00	0,00	0,94	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	1,24	0,00	9,43	80,79	0,31	0,00	1.038,33	0,00	28	1.131,79	
29	0,07	0,07	0,07	0,75	0,04	1,84	1,06	0,00	0,02	0,01	19,95	3,45	0,08	0,25	0,01	0,00	45,34	0,98	66,75	1.477,15	30,95	0,01	7.638,47	0,00	29	9.299,60	
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,06	0,19	0,00	0,00	2,25	0,00	30	2,52	
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,20	0,05	0,00	19,63	0,00	31	19,95	
32	0,18	0,07	0,15	0,98	0,31	11,53	109,07	0,08	4,35	0,31	371,43	28,92	0,27	1,80	0,07	0,00	1.033,99	5,87	11.755,71	5.278,65	291,63	0,07	143.892,68	0,01	32	162.828,58	
33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	11,35	0,00	0,13	0,00	0,32	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	2,65	0,05	207,00	10,86	11,92	0,00	366,92	0,00	33	611,34	
34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,05	0,00	0,00	0,04	0,86	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,01	254,76	11,13	15,22	0,01	15.133,21	0,00	34	15.416,53	
35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	35	0,54	
36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,11	0,03	0,00	0,00	0,20	0,00	36	0,69	
37	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,07	0,00	0,00	0,00	0,46	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,91	0,00	9,54	15,25	0,36	0,00	209,83	0,00	37	236,59	
38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00	5,26	0,00	14,62	0,27	0,00	0,00	2,98	0,00	38	23,42	
39	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,12	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,84	18,74	0,59	0,00	98,45	0,00	39	119,41	
40	0,01	0,00	0,00	0,05	0,00	0,03	0,15	0,00	0,01	0,00	1,08	0,09	0,00	0,02	0,00	0,00	22,85	0,04	26,48	145,45	1,65	0,00	1.909,10	0,00	40	2.108,71	
41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41	0,00
42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42	0,00
43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43	0,00
44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44	0,00
45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45	0,00
46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	46	0,13
47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47	0,00
48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,03	28,99	0,12	0,00	307,52	0,00	48	336,84	
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48			
Soma coluna (1-48)	16,53	5,20	10,89	138,56	2,42	247,77	342,80	0,36	15,02	4,00	1.975,47	138,09	7,05	24,26	6,68	0,35	22.351,47	533,62	105.761,19	23.941.166,77	12.663,82	83,20	19.437.288,33	3,88			

Quadro 2– Matriz de coeficientes de transação da água para a economia brasileira em 2009.

Examinando o quadro 2, verifica-se que a maioria dos coeficientes da matriz apresenta valores relativamente baixos (menores que 1). O que indica que a maior parte das transações de água é feita por poucos setores da economia, ou seja, poucos são os setores fornecedores de água na forma de insumos para outros setores que demandam água de forma indireta. Dessa forma, as transações associadas aos setores com baixo coeficiente devem ser ignoradas.

Ao analisar a soma das linhas da matriz de coeficientes de transação, é possível verificar que o consumo indireto de água da maior parte dos setores é impulsionado principalmente pela Pecuária (2), que se mostra como principal fornecedor de produtos “hidro intensivos” que servirão de insumo para os demais setores (20.534.834,51 mil m<sup>3</sup> de água). O quadro 2 revela que, se a demanda dos setores de Serviços de Alojamento e Alimentação (44) e Saúde Pública (47) aumentarem em uma unidade haverá, respectivamente, um consumo adicional de 14.672.183,27 e 5.856.563,82 mil m<sup>3</sup> de água consumida indiretamente para cada metro cúbico consumido diretamente, que serão fornecidos pelo setor da Pecuária (2).

Outro importante fornecedor de água na forma virtual é a Agricultura (1). Esse setor é o segundo maior ofertante de água (8.741.341,93 mil m<sup>3</sup>), e suas principais contribuições são também para setores de Serviços de Alojamento e Alimentação (44) e Saúde Pública (47). No caso do setor de Produtos do Fumo (7), que possui o segundo maior **IWI**, o consumo de água indireto é satisfeito principalmente pelo setor da Agricultura (1). Para cada metro cúbico de água consumido diretamente pelo setor (7), haverá um adicional de 2.801,33 mil m<sup>3</sup> de água consumidos indiretamente que serão demandados do setor da Agricultura (1). Além da Agricultura (1) e da Pecuária (2), o setor de Celulose e Papel (12) também é um importante fornecedor de produtos intensivos em recursos hídricos que são utilizados como matérias primas por outros setores, esse setor fornece indiretamente 7.065.048,50 mil m<sup>3</sup> da água virtual utilizada por toda economia.

Já a soma das colunas da matriz de coeficientes de transação destaca que os principais consumidores de água na forma indireta são os setores de serviços como o setor de Saúde Pública (47); Serviços de Alojamento e Alimentação (44); Serviços de Manutenção e Reparação (43) entre outros. Setores considerados pelos indicadores de uso da água como os principais consumidores indiretos como os setores de Alimentos e Bebidas (6) e Álcool (15), que juntos consomem cerca de 29% do total de água consumida indiretamente, também foram apontados pela matriz como fortes demandantes de água na forma indireta de outros setores. A maior parte da água consumida pelo setor de Alimentos e Bebidas (6) é proveniente da Pecuária (2). Por outro lado, o maior ofertante de água indireta para o setor do Álcool (15) é a Agricultura (1).

O que se pode constatar até aqui é que os valores da matriz de coeficientes de transação justificam os resultados encontrados para os indicadores (**DWI** e **IWI**) e para os multiplicadores (**iwc** e **wcm**). Já que os principais demandantes de produtos intensivos em recursos hídricos são aqueles que se destacam por apresentar **IWI** e **iwc** elevados, ou seja, são consumidores indiretos e, portanto, necessitam dos setores consumidores diretos (**DWI** alto e **wcm** baixo) para fornecer insumos intensivos em recursos hídricos para a sua produção.

Após identificar quais são os principais setores ofertantes e demandantes de água na forma indireta é possível verificar a capacidade que cada um destes setores tem de influenciar outros setores econômicos através das suas compras e vendas. Essa análise é feita a partir dos índices de ligação para frente e para trás. A tabela 5 apresenta os valores encontrados para os setores da economia brasileira.

Tabela 6 – Índices de ligações para trás ( $U_{BL}$ ) e ligações para frente ( $U_{FL}$ ) em termos de consumo de água.

(continua)

	<b>Setores</b>	$U_{BL}$	$U_{FL}$
<b>1</b>	Agricultura	4,42	7,04
<b>2</b>	Pecuária e Pesca	14,18	23,44
<b>3</b>	Petróleo e Gás Natural	0,13	0,23
<b>4</b>	Minério de Ferro	0,06	0,02
<b>5</b>	Outros da Indústria Extrativa	0,33	0,42
<b>6</b>	Alimentos e Bebidas	4,21	0,61
<b>7</b>	Produtos do Fumo	2,22	0,00
<b>8</b>	Têxteis	0,58	0,00
<b>9</b>	Artigos do Vestuário e Acessórios	0,20	0,00
<b>10</b>	Artefatos de Couro e Calçados	0,78	0,13
<b>11</b>	Produtos de Madeira - Exclusive Móveis	0,13	0,00
<b>12</b>	Celulose e Produtos de Papel	8,52	12,05
<b>13</b>	Jornais, Revistas, Discos	1,00	0,01
<b>14</b>	Refino de Petróleo e Coque	0,21	0,01
<b>15</b>	Álcool	2,97	1,07
<b>16</b>	Produtos Químicos	0,84	1,60
<b>17</b>	Fabricação de Resina e Elastômeros	0,33	0,01
<b>18</b>	Produtos Farmacêuticos	0,26	0,00
<b>19</b>	Defensivos Agrícolas	0,49	0,05
<b>20</b>	Perfumaria, Higiene e Limpeza	0,74	0,07
<b>21</b>	Tintas, Vernizes, Esmaltes e Lacas	0,31	0,04
<b>22</b>	Produtos e Preparados Químicos Diversos	0,48	0,27
<b>23</b>	Artigos de Borracha E Plástico	0,32	0,06
<b>24</b>	Cimento	0,24	0,00

Tabela 6 – Índices de ligações para trás ( $U_{BL}$ ) e ligações para frente ( $U_{FL}$ ) em termos de consumo de água.

		(conclusão)	
	<b>Setores</b>	$U_{BL}$	$U_{FL}$
<b>25</b>	Outros Produtos de Minerais Não-Metálicos	0,15	0,01
<b>26</b>	Fabricação de Aço e Derivados	0,07	0,02
<b>27</b>	Metalurgia de Metais Não-Ferrosos	0,12	0,02
<b>28</b>	Produtos de Metal - Exclusive Máquinas e Equipamentos	0,10	0,00
<b>29</b>	Máquinas e Equipamentos, Inclusive Manutenção e Reparos	0,13	0,05
<b>30</b>	Eletrodomésticos	0,28	0,00
<b>31</b>	Máquinas para Escritório e Equipamentos de Informática	0,07	0,00
<b>32</b>	Máquinas, Aparelhos e Materiais Elétricos	0,47	0,52
<b>33</b>	Material Eletrônico e Equipamentos de Comunicações	0,16	0,01
<b>34</b>	Aparelhos/Instrumentos Médico-Hospitalar, Medida e Óptico	0,13	0,03
<b>35</b>	Automóveis, Camionetas e Utilitários	0,07	0,00
<b>36</b>	Caminhões e Ônibus	0,04	0,00
<b>37</b>	Peças e Acessórios para Veículos Automotores	0,05	0,01
<b>38</b>	Outros Equipamentos de Transporte	0,05	0,00
<b>39</b>	Móveis e Produtos das Indústrias Diversas	0,37	0,05
<b>40</b>	Comércio	0,21	0,15
<b>41</b>	Transporte, Armazenagem e Correio	0,04	0,00
<b>42</b>	Serviços Imobiliários e Aluguel	0,01	0,00
<b>43</b>	Serviços de Manutenção e Reparação	0,05	0,00
<b>44</b>	Serviços de Alojamento e Alimentação	1,24	0,00
<b>45</b>	Serviços Prestados às Empresas	0,02	0,00
<b>46</b>	Educação Pública	0,10	0,00
<b>47</b>	Saúde Pública	0,06	0,00
<b>48</b>	Administração Pública e Seguridade Social	0,06	0,01

A tabela 6 acima indica que os setores da Agricultura (1); Pecuária e Pesca (2); Celulose e Papel (12) e Álcool (15) são setores-chave em termos de consumo de água. Portanto, têm maior influência sobre o consumo de água na economia brasileira em termos de compra e venda de produtos “hidro intensivos”. De acordo com os resultados dos índices de encadeamento para frente e para trás, esses setores se caracterizam por serem, ao mesmo tempo, grandes ofertantes de água indireta e demandantes de água direta na economia. Assim, se houver um aumento na demanda ( $U_{BL}$ ) ou no valor agregado ( $U_{FL}$ ), esses setores é que exerceriam mais fortemente os impactos dessa mudança sobre os recursos hídricos do país.

Com base nos cálculos, verifica-se que os setores de Alimentos e Bebidas (6); Produtos do Fumo (7) e o setor de Serviços de Alojamento e Alimentação (44) possuem fortes encadeamentos para trás, isto é, são fortes compradores<sup>12</sup> de produtos “hidro intensivos”. O que significa que um aumento de uma unidade monetária na sua demanda final vai causar um aumento acima da média no consumo de água em toda a economia para suprir sua produção, em maior magnitude do que acontece em outros setores. Esse resultado evidencia, ainda mais, o fato de esses setores serem fortes consumidores indiretos de água (altos **IWI**) e altamente dependentes do fornecimento de insumos “hidro intensivos” de outros, o que foi indicado pela matriz de coeficientes de transação. Nesse caso, a alta dependência por insumos “hidro intensivos” dos setores de Alimentos e Bebidas (6); Produtos do Fumo (7) e o setor de Serviços de Alojamento e Alimentação (44) estimula, através das suas compras, o uso de água diretamente pelos setores produtores e fornecedores desses insumos.

Já o setor de Produtos Químicos (16) apresenta forte encadeamento para frente, ou seja, é um forte vendedor<sup>13</sup> de água que sustenta a demanda de outros setores por água na forma indireta. Assim, o aumento de uma unidade monetária na demanda final de todos os outros setores da economia levaria a um aumento acima da média no consumo de água nesse setor, já que ele é forte vendedor de produtos “hidro intensivos”. Isso também reforça os resultados encontrados para os seus respectivos indicadores e multiplicadores, em que o setor de Produtos Químicos (16) é caracterizado como consumidor direto de água, e para a matriz de coeficientes de transação da água em que esse setor é visto como grande ofertante de água na forma indireta. Portanto, o setor de Produtos Químicos (16), que consome água direta de forma intensiva para produzir bens, estimula o uso de água na forma indireta através das vendas de insumos “hidro intensivos” aos demais setores econômicos.

Como uma síntese geral dos resultados dos indicadores e multiplicadores, tem-se que os setores da Pecuária e Pesca; Celulose e Papel e a Agricultura foram identificados como os setores mais importantes quando se trata do consumo de água. Através de produtos intensivos em recursos hídricos, o setor da Pecuária e Pesca apresenta-se como o maior fornecedor de água para os demais. Portanto, são esses os setores que mais carregam os impactos da demanda interna. Resta agora estimar os fluxos comerciais de água virtual para identificar a pressão da demanda externa sobre o uso dos recursos hídricos do país.

---

<sup>12</sup> Por compras de água entende-se a quantidade de água incorporada pelos produtos que um setor compra de outro setor. Tais produtos são utilizados como insumos em seu processo produtivo (VELAZQUEZ, 2006).

<sup>13</sup> A venda de água diz respeito à quantidade de água utilizada por um determinado setor na produção de bens e serviços que serão vendidos aos outros setores que irão utilizar tais mercadorias como insumos na sua produção (VELAZQUEZ, 2006).

#### 4.4 Fluxos de água virtual no comércio internacional

Os resultados dos cálculos do comércio internacional apresentados na tabela 7, a seguir, indicam que o Brasil é um exportador líquido de água virtual (exportações superiores às importações), que apontam que o Brasil apresentou um déficit ecológico no ano de 2009. No total foram 292.242,68 milhões de m<sup>3</sup> de água virtual exportada e 90.800,17 milhões de m<sup>3</sup> importados pelo Brasil no ano de 2009, com um saldo líquido negativo de -201.442,52 milhões de m<sup>3</sup> de água virtual.

Tabela 7 – Exportações, importações e saldo líquido do comércio de água virtual em milhões de m<sup>3</sup> de água para a economia brasileira no ano de 2009.

(continua)

	<b>Setores</b>	<b>Exportações</b>	<b>Importações</b>	<b>NVWT</b>
<b>1</b>	Agricultura	69.214.611,08	17.820.965,81	-51.393.645,27
<b>2</b>	Pecuária e Pesca	32.567.519,05	16.604.015,53	-15.963.503,52
<b>3</b>	Petróleo e Gás Natural	1.310.599,64	356.864,13	-953.735,51
<b>4</b>	Minério de Ferro	830.357,45	36.073,46	-794.283,99
<b>5</b>	Outros da Indústria Extrativa	518.143,22	252.627,87	-265.515,35
<b>6</b>	Alimentos e Bebidas	111.540.293,56	20.997.048,90	-90.543.244,66
<b>7</b>	Produtos do Fumo	4.040.094,82	394.810,66	-3.645.284,16
<b>8</b>	Têxteis	822.861,73	847.511,39	24.649,65
<b>9</b>	Artigos do Vestuário e Acessórios	27.540,69	208.051,80	180.511,11
<b>10</b>	Artefatos de Couro e Calçados	1.586.285,20	562.630,30	-1.023.654,89
<b>11</b>	Produtos de Madeira - Exclusive Móveis	200.430,03	34.202,09	-166.227,94
<b>12</b>	Celulose e Produtos de Papel	42.839.954,20	12.051.793,29	-30.788.160,91
<b>13</b>	Jornais, Revistas, Discos	77.893,20	818.524,09	740.630,90
<b>14</b>	Refino de Petróleo e Coque	1.003.295,06	2.266.644,41	1.263.349,35
<b>15</b>	Álcool	3.339.711,96	362.019,63	-2.977.692,32
<b>16</b>	Produtos Químicos	2.881.921,18	3.877.651,35	995.730,16
<b>17</b>	Fabricação de Resina e Elastômeros	654.802,68	767.267,55	112.464,87
<b>18</b>	Produtos Farmacêuticos	212.524,69	290.629,12	78.104,43
<b>19</b>	Defensivos Agrícolas	220.311,76	502.142,38	281.830,61

Tabela 7 – Exportações, importações e saldo líquido do comércio de água virtual em milhões de m<sup>3</sup> de água para a economia brasileira no ano de 2009.

(continuação)				
	<b>Setores</b>	<b>Exportações</b>	<b>Importações</b>	<b>NVWT</b>
<b>20</b>	Perfumaria, Higiene e Limpeza	297.650,43	891.185,74	593.535,31
<b>21</b>	Tintas, Vernizes, Esmaltes e Lacas	56.327,31	191.317,38	134.990,07
<b>22</b>	Produtos e Preparados Químicos Diversos	439.486,32	450.938,01	11.451,69
<b>23</b>	Artigos de Borracha E Plástico	651.178,04	1.261.806,36	610.628,32
<b>24</b>	Cimento	7.750,57	101.165,82	93.415,25
<b>25</b>	Outros Produtos de Minerais Não-Metálicos	196.135,88	193.061,77	-3.074,11
<b>26</b>	Fabricação de Aço e Derivados	544.480,30	275.104,66	-269.375,64
<b>27</b>	Metalurgia de Metais Não-Ferrosos	651.700,00	191.656,84	-460.043,16
<b>28</b>	Produtos de Metal - Exclusive Máquinas e Equipamentos	164.209,43	231.535,59	67.326,15
<b>29</b>	Máquinas e Equipamentos, Inclusive Manutenção e Reparos	665.990,24	456.193,73	-209.796,50
<b>30</b>	Eletrodomésticos	57.161,72	188.390,33	131.228,61
<b>31</b>	Máquinas para Escritório e Equipamentos de Informática	21.033,67	170.485,38	149.451,71
<b>32</b>	Máquinas, Aparelhos e Materiais Elétricos	1.203.253,61	1.011.329,44	-191.924,17
<b>33</b>	Material Eletrônico e Equipamentos de Comunicações	280.113,32	381.500,44	101.387,13
<b>34</b>	Aparelhos/Instrumentos Médico-Hospitalar, Medida e Óptico	71.359,34	76.373,65	5.014,31
<b>35</b>	Automóveis, Camionetas e Utilitários	231.667,18	322.497,01	90.829,83
<b>36</b>	Caminhões e Ônibus	59.567,37	43.873,34	-15.694,03
<b>37</b>	Peças e Acessórios para Veículos Automotores	204.561,60	156.229,13	-48.332,47
<b>38</b>	Outros Equipamentos de Transporte	295.564,82	141.947,18	-153.617,64
<b>39</b>	Móveis e Produtos das Indústrias Diversas	292.665,73	440.433,07	147.767,34
<b>40</b>	Comércio	4.200.572,62	1.013.002,92	-3.187.569,70
<b>41</b>	Transporte, Armazenagem e Correio	294.457,65	209.952,83	-84.504,82
<b>42</b>	Serviços Imobiliários e Aluguel	15.454,38	6.351,03	-9.103,35
<b>43</b>	Serviços de Manutenção e Reparação	1.776,35	40.554,47	38.778,12
<b>44</b>	Serviços de Alojamento e Alimentação	6.633.231,64	1.431.496,32	-5.201.735,31
<b>45</b>	Serviços Prestados às Empresas	282.327,72	55.349,44	-226.978,29

Tabela 7 – Exportações, importações e saldo líquido do comércio de água virtual em milhões de m<sup>3</sup> de água para a economia brasileira no ano de 2009.

(conclusão)				
	Setores	Exportações	Importações	NVWT
46	Educação Pública	2.329,85	74.692,67	72.362,82
47	Saúde Pública	82,88	116.355,31	116.272,43
48	Administração Pública e Seguridade Social	31.507,56	240.975,67	209.468,11
	<b>Total</b>	292.242,68	90.800,17	-201.442,52

Na realidade, o Brasil pode ter um saldo líquido superior ao encontrado nos resultados deste trabalho, já que o cálculo da importação de água virtual é baseado na suposição de que os produtos importados têm o mesmo **VWC** dos bens produzidos no Brasil. Isso pode resultar em volumes de importação de água reais mais elevados do que de fato são. Afinal, à medida que os outros países sejam mais eficientes no uso da água no processo produtivo, ou seja, produzem as mesmas mercadorias utilizando uma quantidade inferior de recursos hídricos, os valores de importação de água virtual deverão ser menores do que os apresentados neste trabalho. A Figura 5 traz um comparativo entre as exportações e importações dos setores com resultados mais representativos.

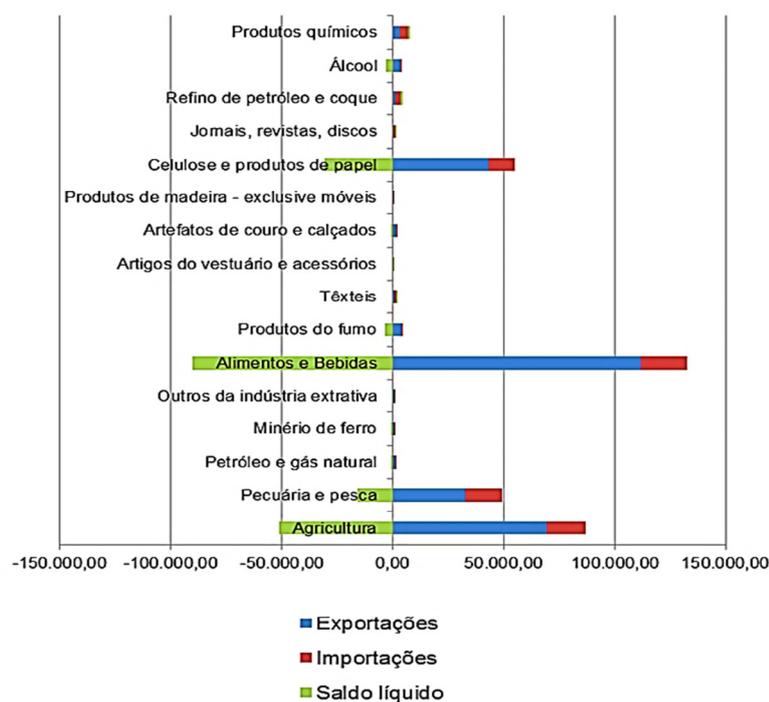


Figura 5 – Comparativo das exportações e importações e o saldo líquido (milhões de m<sup>3</sup> de água) dos setores mais representativos da economia brasileira para o ano de 2009.

Os setores da Agricultura (1), Pecuária e Pesca (2), Alimentos e Bebidas (6) e o setor de Celulose e Papel (12) foram os mais representativos tanto nas importações como nas exportações de água virtual. Os montantes de água virtual exportada e importada por esses setores representam 87,65% e 74,31%, respectivamente. Enfatiza-se que as exportações dos setores de Alimentos e Bebidas (111.540,29 milhões de m<sup>3</sup>) e da Agricultura (69.214,61 milhões de m<sup>3</sup>) apresentam os maiores volumes de água virtual exportada pelo Brasil no ano de 2009. Esse resultado pode estar ligado ao fato de que esses setores produzem, no caso da Agricultura, e consomem, no caso do setor de Alimentos e Bebidas, *commodities* agrícolas, que são bens cuja produção é intensiva em recursos hídricos (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2004).

Tais setores, exclusive o setor de Alimentos e Bebidas, são considerados, de acordo com os resultados para os índices de encadeamentos, setores-chave, isto é, tem maior influência sobre todo o processo de consumo de água, por meio de suas compras e vendas na economia. E, além disso, são fortes consumidores diretos de água virtual.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo quantificar, baseado em um modelo insumo-produto ambiental, o uso de água virtual por parte da economia brasileira no ano de 2009. O método modificado foi aplicado para os diferentes setores do sistema econômico nacional.

Além da usual metodologia que utiliza os indicadores de uso direto (**DWI**) e indireto (**IWI**), buscou-se avaliar também os multiplicadores de consumo de água, os coeficientes de transação e, além disso, os índices de encadeamentos para frente e para trás, que serviram como base para sustentar ainda mais os resultados encontrados para os indicadores.

Os índices de encadeamento podem descrever o uso direto ou indireto d'água pelos setores de atividade. Setores que possuem fortes encadeamentos para frente ( $U_{FL}$ ), isto é, setores que estimulam o consumo de água através das suas vendas são considerados, pelos resultados dos indicadores, consumidores diretos de água. Isso porque tais setores, normalmente classificados como primários, produzem matérias primas, que utilizam água física ou água direta de forma intensiva no seu processo produtivo, que serão demandadas como insumo pelos setores consumidores indiretos. Por outro lado, setores com fortes encadeamentos para trás ( $U_{BL}$ ), ou seja, setores que estimulam o consumo de água através das suas compras são caracterizados, pelos resultados dos indicadores, como consumidores indiretos de água (alto **IWI**). Pois, dependem de setores produtores de matérias-primas “hidro intensivas” para suprir um aumento na sua demanda por água, que é fornecida indiretamente via insumos produtivos.

Os resultados encontrados para os índices de encadeamento sugerem que setores como o da Agricultura (1) e da Pecuária (2) são principalmente fortes vendedores de água virtual, isto é, fornecem insumos “hidro intensivos” para os demais setores econômicos. Embora também apresentem valores consideráveis, porém inferiores, para os encadeamentos para trás. Isso confirma os resultados que indicam que tais setores são consumidores diretos de água, já que utilizam água diretamente para produzir insumos que serão ofertados em toda cadeia produtiva. Já os resultados para, por exemplo, os setores de Alimentos e Bebidas (6); Alcool (15) e Produtos do Fumo (7) indicam que estes setores são fortes compradores de produtos “hidro intensivos” e, portanto, dependem de setores como a Agricultura (1) e a Pecuária (2) para suprir sua demanda por insumos. O que mais uma vez fortalece os resultados encontrados para os indicadores de uso direto indireto. Já que os setores de Alimentos e

Bebidas (6); Álcool (15) e Produtos do Fumo (7) são considerados pelos indicadores como consumidores indiretos de água virtual.

Um exemplo que deixa clara a relação entre os encadeamentos para frente e para trás com os indicadores de consumo direto e indireto é o caso do setor da Agricultura (1) e o setor de Alimentos e Bebidas (6). A Agricultura (1), que possui fortes encadeamentos para frente (7,04), retira água de rios, na maior parte das vezes, ou compra água que será utilizada diretamente na produção de diversas matérias-primas como, por exemplo, o arroz, que será vendido aos demais setores econômicos. Dessa forma, o setor da Agricultura (1) é considerado um forte consumidor de água direta (alto **DWI**), já que utiliza a água como insumo produtivo e a incorpora ao seu produto final, o arroz. Já o setor de Alimentos e Bebidas (6) que apresenta fortes encadeamentos para trás (4,21) compra, por exemplo, o arroz produzido pela Agricultura (1) e o utiliza como insumo no processo produtivo de seus bens finais. Portanto, ele consome água de forma indireta, que está embutida no arroz.

Diferentes autores como Velazquez (2006); Wang et al. (2009); Yu et al. (2010); Zhao et al. (2010) e Hristov et al. (2012) identificaram também um consumo intensivo direto de água (**DWI**) para setores primários e, da mesma forma, um consumo intensivo indireto de água (**IWI**) para setores não primários. Wang et al. (2009) e Hristov et al. (2012) foram além dos cálculos para os indicadores e realizaram os cálculos para os índices de encadeamento e para a matriz de coeficientes de transação e sugerem da mesma forma, que setores primários sejam fortes vendedores de água e consumidores diretos. Enquanto isso, setores não primários apresentaram fortes encadeamentos para trás, e consumo intensivo indireto de água virtual. Embora, tenha sido necessário excluir deste estudo alguns setores econômicos para o cálculo dos fluxos de água virtual, devido à indisponibilidade de dados para o uso d'água para alguns produtos, os resultados encontrados foram muito relevantes e semelhantes aos encontrados nos estudos feitos para diferentes países pelos autores citados.

Com base nos resultados expostos acima, conclui-se também que o Brasil é um exportador líquido de água virtual. Os dois setores que mais a exportam, os chamados “hidro intensivos”, são os de Alimentos e Bebidas e a Agricultura, que, juntos, transferem um volume considerável de água virtual, em relação aos demais, via comércio internacional. O primeiro utiliza água na sua produção, principalmente na forma indireta. Esse resultado também foi encontrado por Zhao et al. (2010), que justifica esse dado pelo fato de que esse setor depende fortemente de matérias-primas do setor Agrícola e do de Pecuária e Pesca, cujos coeficientes de uso direto de água são elevados. O segundo, a Agricultura (1) é, como

dito anteriormente, um usuário intensivo de recursos hídricos de forma direta e fornece matérias-primas para os demais setores da economia.

As conclusões encontradas neste trabalho corroboram as de Mekonnen e Hoekstra (2011) sobre o uso da água no Brasil. O país permanece como exportador de recursos hídricos, com um crescimento no volume de água virtual exportada de 112.000 milhões de m<sup>3</sup> de água no período entre 1996-2005, para 292.242,68 milhões de m<sup>3</sup> de água virtual exportada no ano de 2009. Na certa, tais resultados derivam do fato de o Brasil caracterizar-se pela exportação de matérias-primas agropecuárias.

Entre os principais setores que exportam grandes volumes de água virtual destaca-se a Agricultura, por ser considerado um setor-chave. Com isso, a Agricultura pode ser vista como um importante propulsor da economia brasileira e, por consequência, um setor importante para o desenvolvimento do país.

No entanto, há que se pensar nos custos intrínsecos ao comércio de bens intensivos em recursos naturais e que não são levados em conta nas trocas comerciais. Existem custos ambientais associados ao uso intensivo de recursos hídricos que não são contabilizados pelos preços de mercado. Esses custos serão pagos pelo país produtor (exportador) e não pelo país consumidor (importador).

Não se trata de contestar o comércio internacional em si, nem de, tampouco, sugerir sua interrupção. Trata-se apenas de demonstrar que, através dele, o Brasil está entregando parte dos seus recursos hídricos, que são um valioso e escasso recurso, utilizado tanto como insumo de produção quanto para consumo doméstico por parte das famílias, sem que se lhe atribua devido e real valor, nem econômico, nem ambiental.

A água doce ainda é um fator abundante quando se trata do país como um todo. Mas, em algumas regiões, esse recurso já se mostra escasso, e sua falta vem comprometendo a qualidade de vida de diversas pessoas. É o caso da cidade de São Paulo e sua região metropolitana que, devido à severa estiagem enfrentada desde o início do ano de 2014, enfrentam uma grave crise de escassez de água. De acordo com a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), o sistema Cantareira, que abastece a região metropolitana, apresentou, em outubro de 2014, o mais baixo nível de reserva da história, com 3,5% da sua capacidade de armazenamento. A crise hídrica tem afetado o abastecimento de água para a população, podendo acarretar-lhe problemas econômicos e de saúde.

Portanto, é imprescindível que se conheça a demanda e o comércio de água virtual para refletir verdadeiramente sobre os custos e os impactos ambientais negativos impostos aos países exportadores. A alocação eficiente dos recursos hídricos e seu uso consciente não é

apenas uma questão ambiental. Segundo Hoekstra e Chapagain (2008), essa também é uma questão socioeconômica, já que, em um cenário de escassez d'água, é preciso destiná-la à função que traga maior benefício à sociedade como um todo.

Logo, é importante salientar a importância de uma política econômica mais ampla, que considere não apenas os critérios econômicos e produtivos, mas também as questões ambientais. Do contrário, corre-se grande risco de escassez de recursos hídricos, que comprometerá mais adiante a atividade produtiva como um todo.

Mesmo diante da dificuldade encontrada na obtenção dos dados, entende-se que a finalidade deste estudo foi a de demonstrar como o método insumo-produto (I-P) pode ser estendido para incorporar aspectos ambientais, e ampliar as análises meramente econômicas da economia ortodoxa convencional. Para trabalhos futuros sugere-se introduzir, assim que possível, os demais setores e refazer os cálculos para verificar se há alguma alteração nos resultados aqui sugeridos. Também é possível uma investigação mais detalhada no âmbito do comércio internacional, para averiguar, através de matrizes insumo-produto multi-regionais, como se dá as relações de troca comercial de água virtual entre dois ou mais países.

## 6 REFERÊNCIAS

ALLAN, J. A. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible. In: Priorities for water resources allocation and management. **Overseas Development Administration** (ODA), London, p. 13-26, 1993.

ALLAN, J. A. Overall perspectives on countries and regions. In: Water in the Arab World: perspectives and prognoses. **Harvard University Press**, Cambridge, p. 65-100, 1994.

ALLAN, J. A. Virtual water - Economically invisible and politically silent - A way to solve strategic water problems. **International Water and Irrigation**, v.21, p.39-41, 2001.

AVISO, K. B. et al. Fuzzy input-output model for optimizing eco-industrial supply chains under water footprint constraints. **Journal of Cleaner Production**, v.19, p.187-196, 2011.

AYRES, R. U., KNEESE, A.V. Production, consumption, and externalities. **American Economic Review**, v. 59, n. 3, p. 282–297, 1969.

BEKCHANOV, et al. The role of virtual water for sustainable economic restructuring: evidence from Uzbekistan, Central Asia. **Discussion Papers on Development Policy**, n. 167, p. 34, 2012.

BEYERS, W. B. Empirical identification of key sectors: some further evidence. **Environment and Planning**, v. 8, p. 231-236, 1976.

CELLA, G. The input-output measurement of interindustry linkages. **Oxford University Institute of Economics & Statistics**, v. 46, n. 1, p. 73-84, 1984.

HOEKSTRA, A.; CHAPAGAIN, A. Water footprints of nations. **Value of Water Research Report Series**, v.1-2, n. 16, 2004. Disponível em: <<http://www.waterfootprint.org/?page=files/Publications>>. Acesso em: 18 jun. 2014.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP. **Histórico**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www2.sabesp.com.br/mananciais/>>. Acesso em: 22 out. 2014.

CUMBERLAND, J. H. A regional interindustry model for analysis of development objectives. **Papers of the Regional Science Association**, v. 17, p. 64–94, 1966.

DABO, G., HUBACEK, K. Assessment of regional trade and virtual water flows in China. **Ecological Economics**, v. 61, n. 1, p. 159-170, 2007.

DALY, H. On Economics as a life science. **Journal of Political Economy**, v. 76, p. 392–406, 1968.

DIETZENBACHER, E; LAHR, M. L. Wassily Leontief and input-output economics. **Cambridge University Press**, 2004.

FARIA, J. R. Most cited articles published in Brazilian journals of economics: Google Scholar Rankings. **Revista Economia**, Brasília, v. 11, n. 1, p. 1-25, jan./abr. 2010.

FERNANDES, C. L. L. A inserção de Minas Gerais na economia nacional: uma análise insumo-produto inter-regional. **Nova Economia**, Belo Horizonte, número especial, p. 85-178, 1997.

FISHELSON, G. The allocation of the marginal value product of water in Israeli agriculture. Israeli Agriculture. Water and Peace in the Middle East, **Elsevier Science**, v. 58, p. 427-440, 1994.

GALAN-DEL-CASTILLO, E.; VELÁZQUEZ, E. From water to energy: the virtual water content and water footprint of biofuel consumption in Spain. **Energy Policy**, v. 38, p. 1345-1352, 2010.

GAY, P., PROOPS, J.L.R. Carbon-dioxide production by the UK economy: an input–output assessment. **Applied Energy**, v. 44, p. 113–130, 1993.

GHOSH, A. Input-output approach in an allocation system. **Economica**, v. 25, p. 58-64, 1958.

GLEICK, P.H. The myth and reality of bottled water. **The world's water**, p.17-43, 2004.

GUAN, D. B., HUBACEK, K. Assessment of regional trade and virtual water flows in China. **Ecological Economics**, v. 61, p. 159–170, 2007.

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

GUILHOTO, J. J. M. et al. Estrutura produtiva do Pará: uma análise de insumo-produto. **Plano Estadual de Logística e Transportes do Estado do Pará**, 2009.

GUILHOTO, J. J. M.; U. A. SESSO FILHO. “Estimação da Matriz Insumo-Produto Utilizando Dados Preliminares das Contas Nacionais: Aplicação e Análise de Indicadores Econômicos para o Brasil em 2005”. **Economia & Tecnologia**, v. 23, n. 6, 2010.

GUILHOTO, J. J.M. **Análise de insumo-produto: teoria, fundamentos e aplicações**. Livro em Elaboração. Departamento de Economia. FEA-USP. Versão Revisada, 2011.

GUTIERRE, L. M., GUILHOTO, J. J.M. NOGUEIRA, T. A. **Estrutura produtiva, de consumo e de formação de renda brasileira: Uma análise de insumo produto para o ano de 2008**. In: X Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos, Recife, 08 a 10 de Outubro de 2012.

GRETTON, P. Data surveys: Australian input–output tables. **The Australian Economic Review**, v.38, p. 319–332, 2005.

HEWINGS, G. J. D. The empirical identification of key sectors in an economy: a regional perspective. **The Developing Economies** , v. 20, p. 173-195, 1982.

HOEKSTRA, A. Y. Proceedings of the international expert meeting on virtual water trade. **Value of Water Research Report Series**, Holanda, n. 12, 2003.

HOEKSTRA, A. Y. The relation between international trade and freshwater scarcity. **WTO Working Paper**, 2010.

HOEKSTRA, A. Y. The global dimension of water governance: Why the river basin approach is no longer sufficient and why cooperative action at global level is needed. **Water**, v. 3, n. 1, p. 21-46, 2011.

HOEKSTRA, A.Y. The hidden water resource use behind meat and dairy. **Animal Frontiers**, v. 2, n. 2, p. 3-8, 2012.

HOEKSTRA, A. Y; CHAPAGAIN, A. K. The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. **Ecological Economics**, v. 64, p. 109-118, 2007.

HOEKSTRA, A. Y; CHAPAGAIN, A. K. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. **Water Resources Management**, n. 21, p. 35–48, 2007.

HOEKSTRA, A.Y; CHAPAGAIN, A. K. **Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources**. Blackwell Publishing, 2008.

HOEKSTRA, A. Y; CHAPAGAIN, A. K. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. **Ecological Economics**, v. 70, p. 749-758, 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**, n. 11, p. 25-47. UNESCO-IHE. Delft, Holanda, 2002.

HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade: In: Virtual water trade, in: Proceedings of the international expert meeting on virtual water trade. Edited by: Hoekstra A. Y., **Value of Water Research Report Series**, Holanda, n. 12, 2003.

HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. **Global Environmental Change**, v. 15, p. 45–56, 2005.

HOEKSTRA, A. Y; MEKONNEN, M. M. The water footprint of humanity. **Proceedings of the National Academy of Sciences - PNAS**, v. 109, n.9, 2012.

HIRSCHMAN, A.O. **The Strategy of Economic Development**. New Haven: Yale University Press, 1958.

HRISTOV, J. et al. Input-output analysis for water consumption in Macedonia. **Working paper submitted to the European Summer School in Resource and Environmental Economics: Management of International Water**, p. 1-7, Italy, 2012.

ISARD, W. On the linkage of socio-economic and ecological systems. **Papers of the Regional Science Association**, v. 21, p. 79–99, 1968.

ISARD, W. et al. Ecologic-economic analysis for regional development: some initial explorations with particular reference to recreational resource use and environmental planning. **New York: The Free Press**, 1972.

JONES, L. P. The measurement of Hirschman linkages. **Quarterly Journal of Economics: Oxford Journals**, v. 90, n. 2, p. 323-333, 1976.

LEONTIEF, W. Quantitative input and output relations in the economic system of the United States. **The Review of Economic Statistics**, v.18, n.3, p.105-125, 1936.

LEONTIEF, W. The structure of the american economy. **Econometrica**, v. 19, n.3, p. 351-353, 1951.

LEONTIEF, W. Environmental repercussions and the economic structure: An input-output approach. In. W. Leontief (Ed.), **Input-Output Economics**, chapter 11, p. 241–260, New York: **Oxford University Press**, 2. ed. – 1986, 1970.

LEONTIEF, W; FORD, E. D. Air pollution and the economic structure: Empirical results on input-output computations. **Input-Output Techniques**, editado por A. Bródy e A. P. Carter. Amsterdam, p. 9-30, 1972.

LEONTIEF, W. National income, economic structure, and environmental externalities. In. W. Leontief (Ed.), **Input-Output Economics**, chapter 12, p. 261–272. **Oxford University Press**, 2. ed. – 1986, 1973.

LENZEN, M. Environmentally important paths, linkages and key sectors in the Australian economy. **Structural Change and Economic Dynamics Journal**, v.14, n. 1, p. 1–34, 2003.

LENZEN, M. Understanding virtual water flows: a multiregion input–output case study of Victoria. **Water Resources Research**, v. 45, 2009.

LISBOA, L. Matriz de coeficientes técnicos de recursos hídricos para o setor industrial brasileiro. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 3, 2014.

MACHADO, G. V. **Meio ambiente e comércio exterior: impactos da especialização comercial brasileira sobre o uso de energia e as emissões de carbono do país**. 2002. 184 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, n.5, p. 1577-1600, 2011.

MERRETT, S. Virtual water – A discussion – Virtual water and Occam’s razor. **Water International**, v. 28, p. 103–105, 2003.

MIDMORE, P. et al. Assessing Industry Linkages Using Regional Input-Output Tables. **Regional Studies Journal**, v. 40, n. 3, p. 329-343, 2006.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-output analysis: foundations and extensions**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

MUBAKO, S. et al. Input–output analysis of virtual water transfers: Case study of California and Illinois. **Ecological Economics**, v. 93, p. 230–238, 2013.

OKI, T.; KANAE, S. Virtual water trade and world water resources. **Water Science and Technology**, v. 49, n. 7, p. 203–209, 2004.

OOSTERHAVEN. J; STELDER, D. Net multipliers avoid exaggerating impacts: with a bioregional illustration for the Dutch transportation sector. **Journal of Regional Science**, v. 42, p. 533–543, 2002.

PERMAN, R. et al. **Natural resource and environmental economics**. London and New York: Longman, 2003.

PLANO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. PROGRAMAS NACIONAIS E METAS. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: MMA, v. 4, 2006.

RASMUSSEN, P. Studies in intersectoral relations. **The American Economic Review**, v. 47, n. 3, p. 432-435, 1956.

RENAULT, D. Value of virtual water in food: Principles and virtues. In: Virtual water trade: Proceedings of the international expert meeting on virtual water trade. Edited by: Hoekstra A. Y., **Value of Water Research Report Series**, v.12. n.13, p. 77-91, 2003.

RINCÓN, M. A. P. Comercio exterior y flujos hídricos em la agricultura colombiana: análisis para el periodo 1961-2004. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 4, p. 3-16, 2006.

SONIS, M. et al. Linkages, key sectors, and structural change: some new perspectives. **Developing Economies**, v. 33, p. 233-270, 1995.

VELÁZQUEZ, E. An input–output model of water consumption: Analysing intersectoral water relationships in Andalusia. **Ecological Economics**, v.56, p. 226– 240, 2006.

VICTOR, P. Pollution: Economics and environment. **London: George Allen & Unwin**, 1972.

WACKERNAGEL M.; REES, W. E. Our ecological footprint: Reducing human impact on earth. **New Society Publishers**, 1996.

WANG, Y. et al. Analysis of water consumption using a regional input–output model: Model development and application to Zhangye City, Northwestern China. **Journal of Arid Environments**, v. 73, p. 894–900, 2009.

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

WIEDMANN, T. et al. Examining the global environmental impact of regional consumption activities—Part 2: review of input–output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade. **Ecological Economics**, v. 61, p. 15–26, 2007.

YANG, H. et al. Virtual water trade: an assessment of water use efficiency in the international food trade. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.10, p. 443–454, 2006.

YU, Y. et al. Assessing regional and global water footprints for the UK. **Ecological Economics**, v.69, n. 5, p. 1140-1147, 2010.

ZHAO, X. et al. National water footprint in an input–output framework— A case study of China. **Ecological modelling**, v. 220, p. 245–253, 2009.

ZHAO, X. et al. Applying the Input-Output Method to Account for Water Footprint and Virtual Water Trade in the Haihe River Basin in China. **Environmental Science & Technology**, v. 44, n. 23, 2010.