



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

JOSÉ CARLOS FIGUEIREDO JUNIOR

**FLUXOS DE ÁGUA AZUL NO COMÉRCIO
INTERNACIONAL: UMA ANÁLISE DE INSUMO-PRODUTO**

LONDRINA

2025

JOSÉ CARLOS FIGUEIREDO JUNIOR

**FLUXOS DE ÁGUA AZUL NO COMÉRCIO
INTERNACIONAL: UMA ANÁLISE DE INSUMO-PRODUTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Regional da Universidade Estadual de Londrina-UEL como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Umberto Antonio Sesso Filho

LONDRINA

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

F475f Figueiredo Junior, José Carlos .
Fluxos de água azul no comércio internacional : uma análise de insumo-produto / José Carlos Figueiredo Junior. - Londrina, 2025.
40 f. : il.

Orientador: Umberto Antonio Sesso Filho.
Dissertação (Mestrado em Economia Regional) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Estudos Sociais Aplicados, Programa de Pós-Graduação em Economia Regional, 2025.
Inclui bibliografia.

1. Água doce - Tese. 2. Crise hídrica - Tese. 3. Aquecimento global - Tese. 4. Sustentabilidade - Tese. I. Sesso Filho, Umberto Antonio . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Estudos Sociais Aplicados. Programa de Pós-Graduação em Economia Regional. III. Título.

CDU 33

JOSÉ CARLOS FIGUEIREDO JUNIOR

**FLUXOS DE ÁGUA AZUL NO COMÉRCIO INTERNACIONAL:
UMA ANÁLISE DE INSUMO-PRODUTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Regional da Universidade Estadual de Londrina-UEL como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Umberto Antonio Sesso
Filho
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Emerson Guzzi Zuan Esteves
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof(a). Dr(a). Patrícia Pompermayer Sesso
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná
– IDR-PR

Londrina, 20 de fevereiro de 2025

*Dedico este trabalho a todos aqueles que
promovem e buscam a elevação espiritual e
intelectual, no intuito de construir um mundo
justo, equânime e feliz.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por todo suporte e incentivo, ao meu orientador por toda paciência, apoio e direcionamento, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro concedido por meio da bolsa de estudos, que foi fundamental para a realização deste trabalho.

FIGUEIREDO JUNIOR, J. C.. **Fluxos de água azul no comércio internacional: uma análise de insumo-produto.** 2025. 40f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Estadual de Londrina – UEL, Londrina, 2025.

RESUMO

Em meio as crises provocadas pelas mudanças climáticas, medidas que promovam a redução do estresse hídrico e o uso eficiente da água são inadiáveis. Neste contexto, água virtual azul é um conceito que caracteriza a água oriunda de fontes superficiais como rios e lagos, e fontes subterrâneas, que é necessária para produzir um determinado bem, e é virtualmente comercializada como um fator de produção, quando o bem é trocado entre os países. Este trabalho busca estimar o volume de água azul e valor adicionado nos fluxos de comércio internacional e o custo por m³ de água virtual azul no comércio internacional, usando a análise de insumo-produto, agregando e compatibilizando as duas bases de dados, OECD (2024) e Gloria(2024), resultando em uma matriz com 76 regiões (75 países e o restante do mundo) e 40 setores. Observou-se que os principais importadores líquidos de água virtual azul em milhões de m³ foram Estados Unidos (9.213), Japão (8.174) e Alemanha (6.361), e os principais exportadores líquidos em milhões de m³ foram Índia (28.337), China (14.530) e Tailândia (5.475). Ao avaliar o custo em dólar por metro cúbico nas exportação de água virtual azul dentre os quinze países maiores exportadores líquidos e os quinze maiores importadores líquidos, foi observado que de modo geral, as nações industrializadas e desenvolvidas, são aquelas que exportam a sua água a um valor médio em dólar por metro cúbico, de seis a dez vezes maior do que o valor médio praticado pelos países em desenvolvimento, exportadores de *commodities* e produtos de baixo valor agregado. Estes resultados apontam para a necessidade do desenvolvimento de iniciativas que possam atenuar os desequilíbrios hídricos entre as diversas regiões do mundo, em especial, entre as nações desenvolvidas/industrializadas e em desenvolvimento e a escassez de água azul, especialmente em regiões mais pobres.

Palavras-chave: Água doce; Crise hídrica; Crise climática; Mudanças climáticas; Sustentabilidade.

FIGUEIREDO JUNIOR, J. C.. **Blue water flows in international trade: an input-output analysis..** 2025. 40 pp.. Dissertation (Master's in Computer Science) – State University of Londrina – UEL, Londrina, 2025.

ABSTRACT

Amid the crises caused by climate change, measures that promote the reduction of water stress and the efficient use of water are urgently needed. In this context, virtual blue water is a concept that characterizes water from surface sources such as rivers and lakes, and underground sources, which is necessary to produce a given good, and is virtually traded as a factor of production when the good is exchanged between countries. This work seeks to estimate the volume of blue water and value added in international trade flows and the cost per m³ of virtual blue water in international trade, using input-output analysis, aggregating and reconciling the two databases, OECD (2024) and Gloria (2024), resulting in a matrix with 76 regions (75 countries and the rest of the world) and 40 sectors. It was observed that the main net importers of blue virtual water in millions of m³ were the United States (9,213), Japan (8,174) and Germany (6,361), and the main net exporters in millions of m³ were India (28,337), China (14,530) and Thailand (5,475). When evaluating the cost in dollars per cubic meter of exports of blue virtual water among the fifteen largest net exporting countries and the fifteen largest net importers, it was observed that, in general, industrialized and developed nations are those that export their water at an average value in dollars per cubic meter, six to ten times higher than the average value practiced by developing countries, exporters of *commodities* and low value-added products. These results point to the need to develop initiatives that can mitigate water imbalances between different regions of the world, especially between developed/industrialized and developing nations, and the scarcity of blue water, especially in poorer regions.

Keywords: Freshwater; Water crisis; Climate crisis; Climate changes; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exportações de água azul incorporada no comércio internacional dos países selecionados, 2020. Valores em milhões de metros cúbicos.....	21
Figura 2 – Principais países exportadores de água virtual azul, em valores absolutos, 2020. Valores em milhões de metros cúbicos.	22
Figura 3 – Importações de água azul incorporada no comércio internacional dos países selecionados, 2020. Valores em milhões de metros cúbicos.....	23
Figura 4 – Principais países importadores de água virtual azul, em valores absolutos, 2020. Valores em milhões de metros cúbicos.	24
Figura 5 – Saldo (exportações líquidas) de água azul incorporada no comércio internacional dos países selecionados, 2020. Valores em milhões de metros cúbicos.	25
Figura 6 – Principais países exportadores líquidos de água virtual azul, 2020. Valores em milhões de metros cúbicos.	26
Figura 7 – Principais países importadores líquidos de água virtual azul, 2020. Valores em milhões de metros cúbicos.	26
Figura 8 – Principais países geradores de renda em outras economias via exportação de água virtual azul, 2020. Valores em bilhões de dólares.....	27
Figura 9 – Países que mais recebem valor adicionado a suas economias, via importação de água virtual azul, 2020. Valores em bilhões de dólares.....	28
Figura 10 – Países cujos valores da água virtual azul, em dólares por metros cúbicos, são maiores na exportação do que na importação de água virtual azul, 2020.....	30
Figura 11 – Países cujos valores da água virtual azul, em dólares por metros cúbicos, são maiores na importação do que na exportação de água virtual azul, 2020.....	31
Figura 12 – Valores da relação dólar por metro cúbico, para água virtual azul exportada por países exportadores líquidos de água virtual azul, 2020.....	32
Figura 13 – Valores da relação dólar por metro cúbico, para água virtual azul exportada por países importadores líquidos de água virtual azul, 2020.	32

LISTA DE QUADROS

1	Fluxos de água virtual do comércio internacional para 4 países.	20
---	--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cinco países maiores exportadores líquidos de água virtual azul e cinco maiores importadores líquidos de água virtual azul, 2020.....	27
Tabela 2 – Custo da água virtual azul exportada pelos países, em dólares por m ³ , 2020.	29
Tabela 3 – Custo da água virtual azul importada pelos países, em dólares por m ³ , 2020.	30
Tabela 4 – Trinta países maiores exportadores de água azul, 2020. Valores em milhões de metros cúbicos	39
Tabela 5 – Trinta países maiores importadores de água virtual azul, 2020. Valores em milhões de metros cúbicos.	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	ESTUDOS RECENTES SOBRE COMÉRCIO INTERNACIONAL DE ÁGUA VIRTUAL	14
2.1	PEGADA HÍDRICA E COMÉRCIO INTERNACIONAL DE ÁGUA VIRTUAL	15
3	METODOLOGIA	18
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1	PAÍSES EXPORTADORES E IMPORTADORES DE ÁGUA VIRTUAL AZUL	20
4.2	IMPORTAÇÕES E EXPORTAÇÕES LÍQUIDAS DE ÁGUA VIRTUAL AZUL	24
4.3	FLUXOS DE RENDA.....	27
4.4	CUSTO DA ÁGUA NO COMÉRCIO INTERNACIONAL	28
4.5	CUSTO MÉDIO DA ÁGUA VIRTUAL AZUL	31
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
	REFERÊNCIAS	36
	APÊNDICES	38
	APÊNDICE A – TABELAS	39

1 INTRODUÇÃO

A água é possivelmente o segundo recurso natural mais essencial para a vida animal e vegetal, ficando atrás apenas do oxigênio. Um dos aspectos da atual crise ambiental é a escassez de água azul — a água superficial e subterrânea disponível em rios, lagos e aquíferos — utilizada para o consumo direto de humanos e animais (ingestão) e para diversas outras finalidades, como higiene pessoal e doméstica, saneamento básico e agricultura. Nesse contexto, é fundamental compreender como otimizar o consumo de água azul e como esse recurso se insere no comércio internacional.

O comércio internacional de produtos não apenas reflete relações econômicas, mas também está diretamente ligado à gestão sustentável dos recursos hídricos, necessários para atender à crescente demanda por alimentos. A expansão das exportações de insumos agrícolas tem elevado o consumo de água, destacando a importância do conceito de água virtual, e da investigação dos fluxos de água virtual entre os países, o que possibilita mitigar potenciais crises hídricas (HOEKSTRA et al., 2011; COIN, 2022).

O estresse hídrico em diversas regiões do mundo, intensificado pelo crescimento populacional e econômico, aumenta a pressão sobre os recursos renováveis e fomenta o mercado de água virtual (FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021; COIN, 2022). Segundo (HOEKSTRA et al., 2011), a água virtual representa o volume de água incorporado nos produtos comercializados, enquanto a pegada hídrica analisa o tipo de água utilizada na produção (azul, verde ou cinza). Assim, a exportação ou importação de produtos implica, indiretamente, a transferência de recursos hídricos entre regiões, reforçando a relevância desse fluxo para a sustentabilidade.

As mudanças climáticas têm um impacto significativo na disponibilidade e qualidade da água, exacerbando a escassez de água em muitas regiões do mundo. Os padrões climáticos estão sendo modificados levando a eventos climáticos extremos e disponibilidade imprevisível de água.

Devido ao aquecimento global, são agravados os períodos de seca em regiões onde a falta de água já é comum e as inundações e o aumento do nível do mar podem contaminar a terra e a água doce, comprometendo os recursos hídricos. Esses impactos podem afetar drasticamente a quantidade e a qualidade da água para o desenvolvimento das atividades humanas. Portanto, é importante que medidas sejam tomadas para mitigá-los e aumentar a eficiência de utilização dos recursos hídricos.

Considerando a importância do gerenciamento dos recursos hídricos e os impactos do comércio internacional sobre esse recurso natural, o objetivo do presente estudo é estimar a água virtual azul – a água oriunda de fontes superficiais como rios e lagos, e fontes subterrâneas, que

é necessária para produzir um determinado bem, e é virtualmente comercializada como um fator de produção, quando o bem é trocado entre os países – e o valor adicionado nos fluxos de comércio internacional para 75 países e restante do mundo. Especificamente, pretende-se identificar os principais países exportadores e importadores de água e os custos da água virtual no comércio dos países.

A metodologia é baseada na matriz insumo-produto e os dados se referem ao consumo setorial (não a pegada hídrica, que é um indicador ambiental que calcula o volume de água doce consumida ao longo de toda a cadeia de produção de um produto ou serviço) de água azul, a qual está disponível na superfície e no subsolo e pode ser retirada de lagos, rios e aquíferos para ser utilizada no consumo humano e conservação da vida nos ecossistemas. Os resultados tornarão possível compreender melhor os impactos do comércio internacional sobre os recursos hídricos dos países e os movimentos da água azul incorporada na comercialização de bens e serviços, assim como os diferenciais de custo para os países.

2 ESTUDOS RECENTES SOBRE COMÉRCIO INTERNACIONAL DE ÁGUA VIRTUAL

A possível utilização do comércio internacional para economia de água por nações implica na importação de produtos cuja produção é intensiva em água e exportação de bens com menor intensidade no uso da água (YANG et al., 2006). A economia de água por meio do comércio pode acarretar redução do estresse hídrico global se o fluxo ocorrer de locais com alta para outros com baixa eficiência do uso dos recursos hídricos (CHAPAGAIN; HOEKSTRA; SAVENIJE, 2006).

Entretanto, o comércio de água virtual é predominantemente água verde (evapotranspiração), que possui baixo custo de oportunidade de utilização em contraposição à água virtual azul (lagos, rios e subterrânea) que pode ter diversas utilizações e maior custo de oportunidade (YANG et al., 2006).

Cerca de 52% da pegada hídrica azul do consumo global e 43% dos fluxos internacionais de água virtual azul são provenientes de regiões onde o equilíbrio sustentável é violado. Cerca de 22% da não-sustentabilidade do fluxo ambiental da pegada hídrica azul do consumo global ocorre fora dos países de origem indicando que diversas nações externalizaram os seus impactos negativos sobre os recursos hídricos (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2020).

Existem incertezas na contabilização e na estimativa da escala da economia dos recursos hídricos por meio do comércio de água virtual, pois ocorrem implicações negativas sobre a eficiência de seu uso e a segurança alimentar nos países importadores e para melhorar o meio ambiente nos países exportadores. Portanto, a escassez hídrica deve ser solucionada pela ampliação da agricultura de sequeiro e ganho de eficiência no uso da água para alcançar maior sustentabilidade ambiental (YANG et al., 2006).

As possíveis soluções para melhorar a eficiência no uso da água no setor agropecuário por exemplo, são o desenvolvimento de variedades resistentes à seca, sistemas de irrigação mais eficientes e sistemas de produção que diminuam a evaporação da água do solo. Portanto, a implementação de políticas públicas de incentivo às pesquisas para o melhoramento genético de plantas e desenvolvimento de novas tecnologias no campo que utilizam relativamente menos água podem contribuir para a eficiência no uso da água e atenuar os efeitos das mudanças climáticas.

Do ponto de vista da demanda por produtos agropecuários (*in natura* ou industrializados), mudanças na dieta humana podem contribuir para diminuir a pegada hídrica do agronegócio. Nos setores industriais e de serviços, existem estratégias eficientes para reduzir o consumo de água como o treinamento dos trabalhadores sobre práticas de consumo de água e a conscientização da importância de evitar o desperdício, assim como o monitoramento e manutenção do

processo produtivo para identificar situações com maior consumo e adotar medidas corretivas.

O desenvolvimento de sistemas de reciclagem de água, como a instalação de estações de tratamento para reutilização em processos secundários ou sistemas de aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis, também são estratégias positivas. Além disso, o investimento em equipamentos modernos e eficientes, como sistemas de condução a seco, torneiras automáticas com sensores de movimento e bacias sanitárias de baixo consumo (MIERZWA; HESPANHOL, 2005; ROCHA; GOMES; JESUS RAILDO E CERQUEIRA, 2019).

2.1 PEGADA HÍDRICA E COMÉRCIO INTERNACIONAL DE ÁGUA VIRTUAL

O conceito de água virtual, originalmente proposto por J. A. Allan (ALLAN, 1998) tem se tornado cada vez mais relevante. Água virtual é o volume de água necessário para produzir um determinado bem, e é virtualmente comercializada, como um fator de produção quando o bem é trocado entre os países. Esse fluxo virtual define o comércio internacional de água virtual e representa uma métrica adequada para analisar aspectos ambientais relacionados ao comércio global de produtos agrícolas, à gestão da água e à políticas ambientais.

A partir desta ideia, (AY, 2003) desenvolveram o conceito de pegada hídrica, um indicador ambiental que calcula o volume de água doce consumida ao longo de toda a cadeia de produção de um produto ou serviço, permitindo assim, avaliar o uso direto e indireto da água durante o processo produtivo, desde a matéria-prima até o produto final. Assim, há uma complementaridade entre pegada hídrica e água virtual (HOEKSTRA, 2009; BLENINGER; KOTSUKA, 2015).

De acordo com (OEL; MEKONNEN; HOEKSTRA, 2009; HOEKSTRA, 2009), a pegada hídrica pode ser dividida em três categorias: a pegada hídrica azul envolve o consumo de água superficial e subterrânea, proveniente de fontes como rios, lagos e aquíferos, utilizada tanto para o consumo humano quanto para a preservação dos ecossistemas; a pegada hídrica verde refere-se à água da chuva que é absorvida pelo solo e utilizada pela vegetação (evapotranspiração); a pegada hídrica cinza está relacionada ao volume de água necessário para diluir os poluentes, de modo que a água seja, dentro dos parâmetros vigentes, adequada para o consumo.

Esses conceitos têm sido amplamente utilizados por pesquisadores em estudos sobre os recursos hídricos empregados na agricultura e pecuária globalmente (YU et al., 2010; MAO; YANG, 2012): no contexto nacional, utilizando análise de insumo-produto, (BERGMANN et al., 2019) calcularam que, entre 1995 e 2009, o Brasil exportava anualmente uma média de 12 bilhões de m³ de água virtual azul, 7 bilhões de m³ de água virtual cinza e 129 bilhões de m³ de água virtual verde. Em contrapartida, as importações brasileiras desses tipos de água somavam 4, 3 e 16 bilhões de m³, respectivamente. Esses dados demonstram que o Brasil exporta significativamente mais água virtual do que importa.

Ao estimar, para o período de 2010 a 2020, uma média anual de 163 bilhões de m³ de

água exportada pelo agronegócio brasileiro, (COIN, 2022) reforça esse cenário com base em dados de insumo-produto e relações comerciais com 42 países. Também com insumo-produto mas de modo mais abrangente (considerando todos os setores da economia e não somente as *commodities* agropecuárias), (FILHO et al.,), estimaram os fluxos de água virtual (azul, verde e cinza) no comércio internacional do Brasil, observando as relações de exportação/importação líquidas e os saldos na balança comercial de água virtual do país com os demais. Os resultados mostraram que o país era um exportador líquido deste recurso com exceção das relações comerciais com América do Sul e África, regiões com as quais possuiu saldos negativos de -36 bilhões de m³ e 3 bilhões m³, respectivamente. Os principais destinos das exportações de água virtual do Brasil foram a Europa com 41% do total exportado, seguida da Ásia e América do Norte com valores próximos de 20%.

No contexto do comércio internacional de água virtual, (AY, 2003) analisaram os fluxos globais de água virtual, classificando os países em exportadores e importadores desse recurso: Brasil, América do Norte, América Central e Sudoeste Asiático figuram entre os principais exportadores, enquanto a Europa, África, Oriente Médio e grande parte da Ásia são identificados como grandes importadores.

Utilizando a metodologia de redes complexas, (KONAR et al., 2011) analisaram a estrutura do comércio global de água virtual associado ao comércio internacional de alimentos. Seus resultados apontaram os Estados Unidos como principal exportador de água virtual, e o Japão como o maior importador. O comércio de água virtual dos Estados Unidos para o Japão sozinho representou 5% do fluxo global de água virtual. Os Estados Unidos, França e Países Baixos desempenharam papéis importantes na estrutura global. O volume de comércio exibiu uma relação de lei de potência com o número de parceiros comerciais de cada nação, indicando que quanto mais parceiros comerciais um país tem, maior é o volume de água virtual trocada, especialmente no que diz respeito às relações comerciais de importação. Essa constatação tem implicações importantes para a política comercial de países com escassez de água, que buscam aumentar seu acesso aos recursos hídricos.

Ao avaliar o consumo insustentável de água de irrigação associado à produção agrícola global (2000-2015) e determinar a parcela desta incorporada no comércio internacional, (ROSA et al., 2019) obtiveram que 52% das práticas globais de irrigação, são não sustentáveis (depletam os estoques de água doce e/ou os fluxos ambientais); os Estados Unidos é o maior exportador, com 22% da transferência de água virtual azul não sustentável, seguida por Índia (19%) e Paquistão (14%); a China é o maior importador de culturas baseadas em irrigação não sustentável, seguida por Estados Unidos, Turquia, México e Japão.

Para aprimorar os conjuntos de dados anteriores, (TAMEA et al., 2020), construíram um banco de dados abrangente, com informações específicas por país entre os anos de 1961-2016, sobre pegada hídrica unitária (uWF, volume por unidade de peso do bem) e comércio de água virtual para 370 produtos agrícolas. Dessa forma, consideraram a variabilidade anual da uWF

de culturas, incluíram bens produzidos e importados na definição da uWF pelo lado da oferta e rastrearam produtos pelo comércio internacional até a origem da produção.

Usando um método de resolução espacial de 5 minutos de arco, (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2020) mapearam a pegada hídrica azul em escala nacional, identificando as áreas onde o consumo de água ultrapassa os limites sustentáveis dos fluxos ambientais, definidos pela regra dos 80%, que alerta sobre riscos ecológicos quando o escoamento é reduzido em mais de 20%. A análise revela que mais da metade da pegada hídrica azul do consumo global e quase metade dos fluxos virtuais de água azul estão associados a regiões onde os fluxos sustentáveis são infringidos (Oriente Médio, Norte da África, Ásia Central e Sul da Ásia). Além disso, 22% dessas infrações ocorrem fora dos países consumidores, evidenciando a externalização dos impactos hídricos. Ao relacionar o consumo de produtos em um país com a escassez de água em regiões distantes, o artigo busca contribuir para um debate sobre a responsabilidade compartilhada no uso sustentável da água.

Com base em abordagens econométricas, (DVIKUN et al., 2022) investigaram o uso racional de água doce e a adaptação do abastecimento hídrico pelo agronegócio em regiões áridas da Ucrânia, priorizando a segurança hídrica e alimentar de longo prazo. Ao estimar as necessidades futuras de água doce do agronegócio, concluíram que as necessidades atuais já excedem a disponibilidade, e não há razão para esperar que a situação melhore por si só. Portanto, indicam que o governo e as autoridades em todos os níveis devem identificar os vetores prioritários de adaptação do agronegócio às mudanças climáticas, de modo a garantir a segurança hídrica na zona estepe da Ucrânia tanto no presente quanto no futuro.

Ao desenvolverem um estudo de caso da pegada hídrica nacional do Japão, (MOTOSHITA et al., 2023), destacaram a importância do consumo de água induzido remotamente através das cadeias de suprimento e apresentaram considerações para avaliar e gerenciar a sustentabilidade dos recursos hídricos. O estudo obteve que o consumo de água azul gerado pela demanda final japonesa é três vezes maior do que o volume economizado por meio do comércio de água virtual. Os autores também enfatizaram a necessidade de identificar pontos críticos nas cadeias de suprimento globais, considerando fatores como a concentração de consumo excessivo, a pressão do consumo e a proporção desse consumo em relação ao total local.

Este trabalho avança em relação aos demais, por além de calcular os fluxos de água virtual azul no comércio internacional, calcular os valores adicionados e estimar os custos praticados pelos países nas suas exportações e importações de água virtual azul.

3 METODOLOGIA

As bases de dados utilizadas foram a OECD (2024) e Gloria (2024), sendo que foram compatibilizadas por meio da agregação de setores, pois a primeira possuía 45 setores e a segunda 120. A OECD (2024) forneceu a matriz insumo-produto e Gloria (2024) as contas satélites econômicas e ambientais com dados sobre emprego, consumo de água azul e emissões de gases de efeito estufa (GHG - Greenhouse Gases). A compatibilização das duas bases de dados exigiu que o número final de setores se tornasse 40 e 76 regiões (75 países e restante do mundo).

Considerando as estimativas para um determinado país, os impactos das exportações sobre a variável de interesse no sistema produtivo nacional foram estimados com o multiplicador simples para cada setor da economia, este indicador baseado na matriz insumo-produto mostra a quantidade da variável necessária para atender a uma unidade da demanda final. Os valores obtidos foram multiplicados pelas respectivas exportações setoriais para cada país e os resultados mostram as quantidades da variável necessárias nos próprios setores (efeito direto) e em suas cadeias produtivas (efeito indireto) para atender as demandas externas dos demais países e restante do mundo. É importante observar que o consumo intermediário de bens e serviços importados não foi considerado no cálculo, pois o objetivo é estimar a quantidade interna da variável necessária para atender as exportações. As estimativas são detalhadas a seguir baseando-se em um determinado país, as quais foram replicadas para todas os países.

A matriz nacional de cada país foi utilizada para estimar o multiplicador simples (ou gerador) da variável baseando-se em (MILLER; BLAIR, 2009). Iniciando os cálculos para obtenção da matriz inversa de Leontief, deve-se estimar a denominada matriz de coeficientes técnicos a partir da Equação (3.1). O elemento a_{ij} (consumo intermediário com i setores) é a matriz de fluxos monetários do setor i (linha) para o setor j (coluna), \mathbf{a} é o vetor de produção setorial e seus valores são utilizados para estimar $(\hat{\mathbf{a}})^{-1}$ (matriz inversa diagonalizada) que possui os valores da produção setorial inversos $\frac{1}{a_{ii}}$ na diagonal principal e o restante dos valores

zeros. \mathbf{a}_{ij} é matriz de coeficientes técnicos que pode ser calculada por:

$$a_{ij} = a_{ij} (\hat{\mathbf{a}})^{-1} \quad (3.1)$$

O sistema de insumo-produto pode ser expresso por:

$$(\mathbf{I} - \mathbf{a})\mathbf{q} = \mathbf{d} \quad (3.2)$$

A Equação (3.2) utiliza \mathbf{q} , que é a demanda final setorial, \mathbf{I} é a matriz identidade que possui valor 1 na diagonal principal e restante dos valores zeros, e os outros elementos foram definidos anteriormente. Os elementos da equação (3.2) podem ser rearranjados como segue:

$$\mathbf{q} = (\mathbf{I} - \mathbf{a})^{-1}\mathbf{d} \equiv \mathbf{m}\mathbf{d} \quad (3.3)$$

Onde α é a *matriz inversa de Leontief*.

A partir dos coeficientes diretos e da matriz inversa de Leontief é possível estimar para cada setor da economia o quanto é gerado direta e indiretamente de água para cada unidade monetária produzida para a demanda final (MILLER; BLAIR, 2009). O cálculo do multiplicador simples α de água dos setores do Brasil é realizado por:

$$\alpha_{ij} = \sum_{k=1}^n \alpha_{ik} \alpha_{kj}, \quad (3.4)$$

onde α_{ik} são os coeficientes da matriz inversa de Leontief e α_{kj} são os coeficientes diretos da variável α , que são estimados por:

$$\alpha_{kj} = \frac{\alpha_{kj}}{\alpha_{jj}}, \quad (3.5)$$

em que α_{kj} é o valor atribuído para cada setor k e α_{jj} é a produção setorial.

A demanda final possui os componentes Consumo das famílias, Governo, Formação bruta de capital fixo, Instituições civis sem fins lucrativos, Variação de estoque e Exportações. Para o presente estudo, o componente considerado nos cálculos foram as exportações do Brasil para os diversos países. O modelo básico de Leontief e o multiplicador simples de água podem ser usados de forma eficiente para análise do impacto das exportações sobre a demanda por água direto e indireto da economia brasileira. Tem-se que o impacto sobre cada setor é estimado por:

$$\alpha_{ij} = \alpha_{ij} \alpha_{jj}, \quad (3.6)$$

aqui, α_{ij} é o impacto total sobre a variável do país i das exportações do país j para o país i' e α_{jj} é o vetor de exportações do país j para o país i' , sendo i e $i' = 1, 2, 3, \dots, n$ com $i \neq i'$ sendo n o número de países. Para obter os resultados por setor, deve-se utilizar os valores α_{ij} em uma matriz diagonalizada ($\hat{\alpha}$) na qual os valores dos multiplicadores simples da variável estarão na diagonal principal e restante dos valores serão zeros. Os resultados obtidos se referem à quantidade variável internamente necessária para atender à demanda externa (exportações) setorial para cada país. Os valores possuem os efeitos direto (próprio setor) e indireto sobre a cadeia produtiva nacional. A obtenção dos resultados da Equação (3.5) torna possível elaborar o Quadro 1, o qual possui os fluxos da variável no comércio internacional com 4 países. Para o presente estudo, existem 75 países e restante do mundo. A elaboração do Quadro 1 para os resultados da pesquisa tornam possível identificar os impactos, assim como os resultados da Equação (3.6) irão mostrar os valores gerados internamente em cada setor da economia.

Na presente análise foi introduzida a quantidade *Retenção hídrica*, que basicamente indica, do total de água virtual comercializada por um país (ou região) num dado período, quantos por cento permanece dentro do mesmo. Definimos a retenção hídrica α do país i como

$$\frac{\alpha_i}{100} = \frac{\text{exportações}_i - \text{importações}_i}{\text{exportações}_i + \text{importações}_i} = \frac{\text{Saldo}_i}{\text{exportações}_i + \text{importações}_i}. \quad (3.7)$$

Quadro 1 – Fluxos de água virtual do comércio internacional para 4 países.

		<i>Importação de água virtual (c')</i>			
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>Exportação de água virtual (c)</i>	<i>1</i>	\bar{c}	V_{12}	V_{13}	V_{14}
	<i>2</i>	V_{21}	\bar{c}	V_{23}	V_{24}
	<i>3</i>	V_{31}	V_{32}	\bar{c}	V_{34}
	<i>4</i>	V_{41}	V_{42}	V_{43}	\bar{c}

Fonte: Resultados da pesquisa, 2024

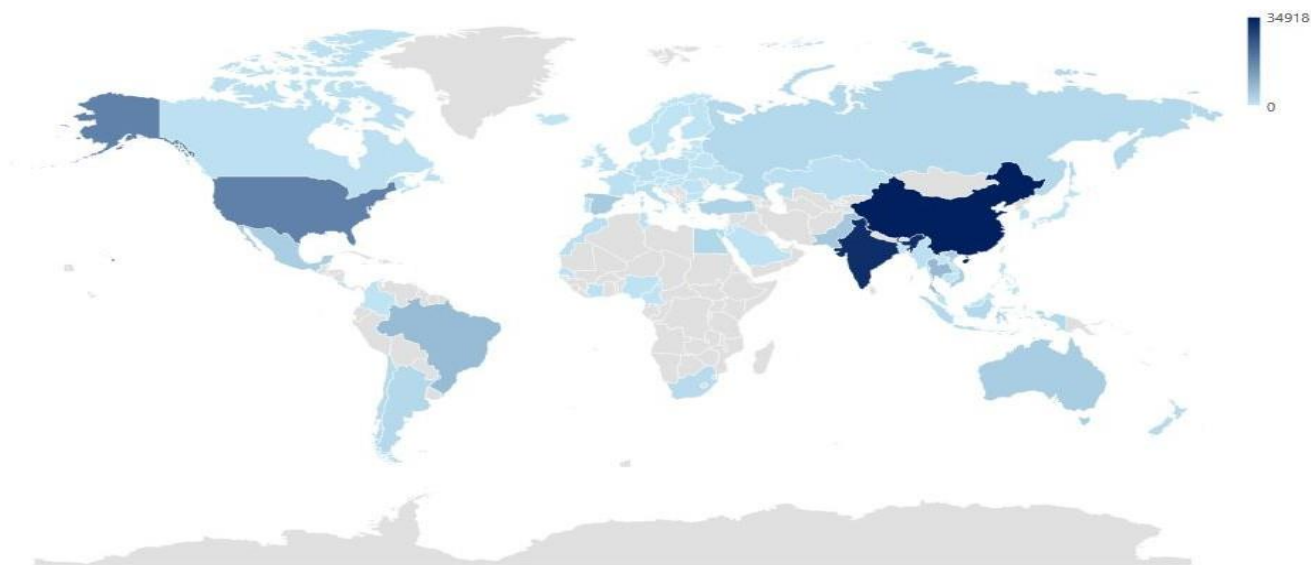
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PAÍSES EXPORTADORES E IMPORTADORES DE ÁGUA VIRTUAL AZUL

Na presente pesquisa, observou-se que o volume total de água virtual azul exportada é da ordem de 180 bilhões de metros cúbicos (179.951 milhões de m³). Dentre os dez maiores exportadores, que juntos exportam um volume da ordem de 138 Bilhões de m³ (138.336 milhões de m³), destacam-se os Estados Unidos (industrializado) e países asiáticos, sendo eles, a China, um país industrializado e países em desenvolvimento, grandes exportadores de *commodities* como Indonésia, Tailândia, Paquistão e Vietnã (World Trade Organization, 2023). É importante destacar que isto não determina que estes países sejam exportadores líquidos (exportações menos importações), devendo-se estimar as importações e o saldo para conhecer os fluxos líquidos entre as diferentes regiões.

A Figura (1) ilustra os valores de exportações de água azul que estão incorporados nos fluxos de bens e serviços entre os países em análise. Os resultados possuem amplitude entre valores próximos de zero (azul claro) até próximo de 35 bilhões de metros cúbicos de água azul (azul escuro). Pode-se identificar visualmente que existem países grandes exportadores de água nos diversos continentes, como na Ásia (China, Índia, Tailândia, Rússia, Paquistão e Vietnam), na Europa (Espanha) e Américas (Estados Unidos, México, Argentina, Chile, Costa Rica e Brasil), na Oceania (Austrália e Nova Zelândia) e África (Egito e África do Sul).

Figura 1 – Exportações de água azul incorporada no comércio internacional dos países selecionados, 2020. Valores em milhões de metros cúbicos

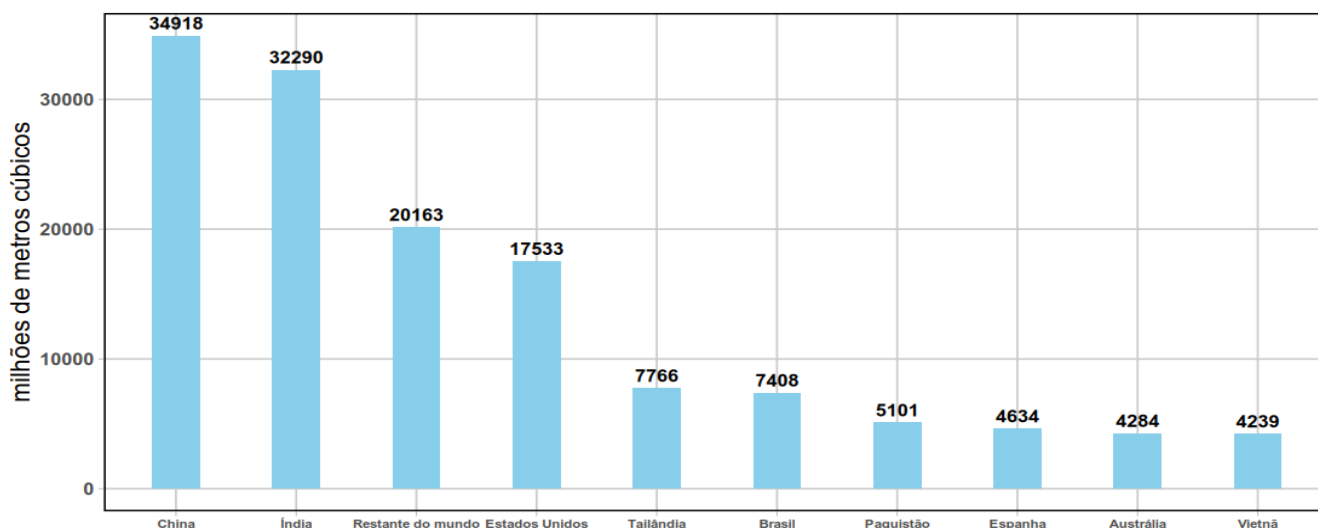


© Australian Bureau of Statistics, GeoNames, Geospatial Data Edit, Microsoft, Microsoft Crowdsourced Enrichment, Navinfo, Open Places, OpenStreetMap, TomTom, Wikipedia, Zanen Da plataforma Bing

Fonte: Resultados da pesquisa, 2024

Do volume total de exportações de água virtual azul, apenas a China é responsável por 19,40%, seguida pelo Índia (17,94%), o restante do mundo (11,20%) e os Estados Unidos (9,74%). O Brasil, figura na sexta posição, com 7.408 milhões de m³ (4,12%)¹ (Figura 2).

Figura 2 – Principais países exportadores de água virtual azul, em valores absolutos, 2020. Valores em milhões de metros cúbicos.



Fonte: Resultados da pesquisa, 2024

Observa-se que estes são países com forte produção - e exportação - de produtos agrícolas, atividade que requer elevado consumo de água doce, em especial para irrigação. Neste sentido, é observada uma intersecção entre os resultados do presente estudo e os obtidos por (ROSA et al., 2019), a saber, 52% das práticas globais de irrigação, são não sustentáveis (depletam os estoques de água doce e/ou os fluxos ambientais).

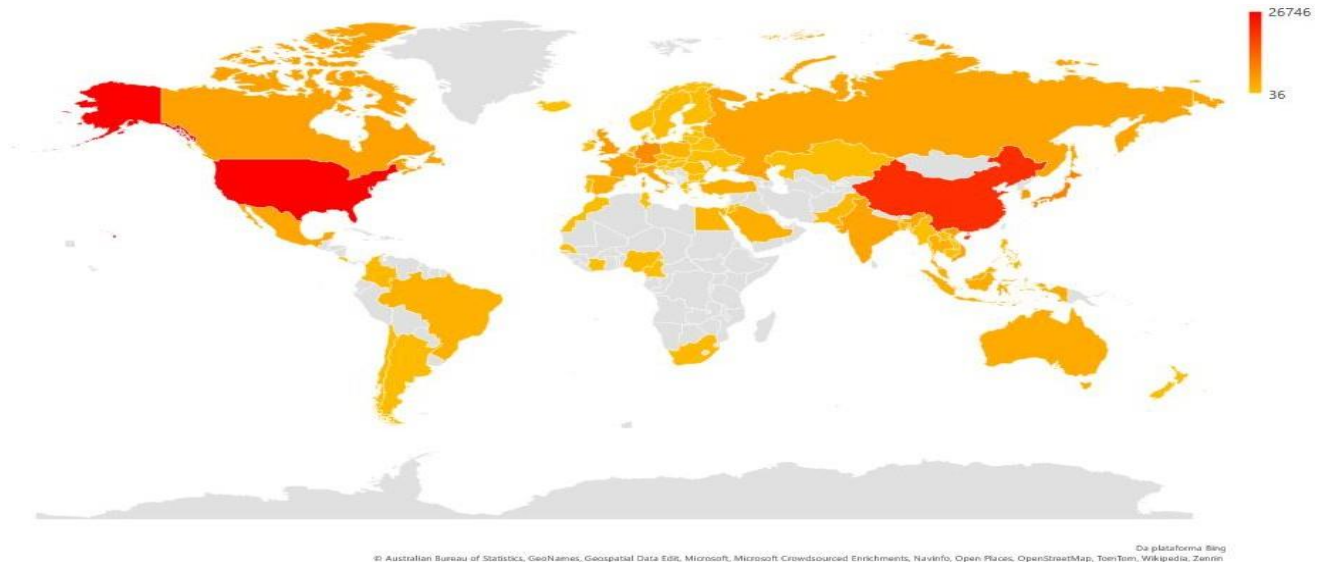
Deste volume, a Índia é responsável por (28%), seguida pela China (16%), Paquistão (13%), e os Estados Unidos (12%). Países que aqui figuram entre os dez maiores exportadores de água virtual azul. Também observa-se que com exceção do Restante do mundo, Brasil, e Vietnã, todos os países aqui classificados como exportadores de água virtual azul aparecem entre os doze maiores exportadores de água não sustentável ou que inflige os requisitos de fluxo ambiental, obtidos por (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2020).

A Figura (3) ilustra os resultados dos valores de importações de água azul incorporados nas importações dos países. Os valores estão entre 36 milhões de metros cúbicos anuais (laranja) e próximo de 27 bilhões de metros cúbicos (vermelho). Nota-se que os grandes importadores de água azul por meio do comércio internacional eram Estados Unidos, China, Alemanha, Japão, Reino Unido e Coreia do Sul. A lista engloba as maiores economias mundiais em termos de Produto Interno Bruto e indica a dependência destas nações de recursos hídricos de países

¹ Uma seleção com os trinta países com maior volume exportado (tabela 4) e importado (tabela 5) de água virtual azul é apresentada no apêndice A.

fornecedores de bens e serviços, notadamente produtos agropecuários que necessitam de maior quantidade de água em seus processos produtivos.

Figura 3 – Importações de água azul incorporada no comércio internacional dos países selecionados, 2020. Valores em milhões de metros cúbicos

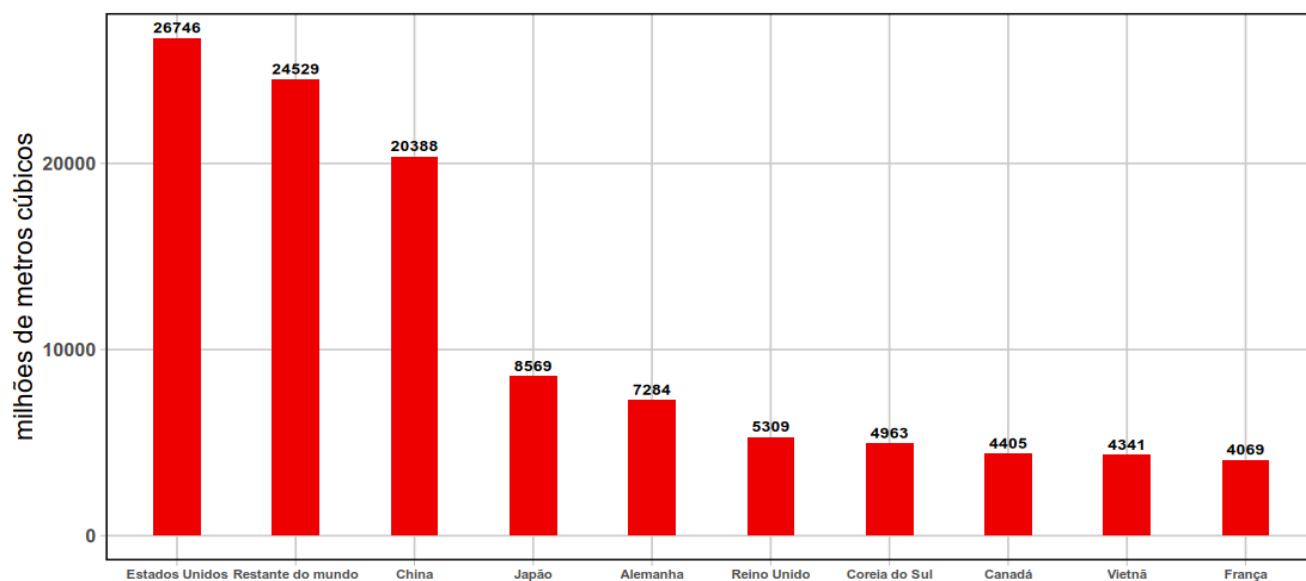


Fonte: Resultados da pesquisa, 2024

Na figura (4) são apresentados os dez países com maior volume de importação de água virtual azul. Observou-se que dentre eles, nove são industrializados (Estados Unidos, China, Japão, Alemanha, Reino Unido, Coreia do Sul, Canadá e França), grandes exportadores de produtos com alto valor agregado como eletrônicos, máquinas, aeronaves, veículos, dentre outros. A exceção é o Vietnã, que embora seja um país em desenvolvimento, também é um grande exportador de eletrônicos e têxteis (World Trade Organization, 2023).

Do montante importado (que é igual a quantidade exportada por hipótese do modelo), os Estados Unidos lideram o ranking, representando 14,86% das importações, seguido do restante do mundo (13,63%), China (11,33%) e Japão (4,76%). Já o Brasil, aparece na vigésima-terceira posição, com 1,22% do volume importado. Dos dez maiores importadores de água virtual azul não sustentável ou que infringe aos requisitos de fluxo ambiental, apresentados por (MEKON-NEN; HOEKSTRA, 2020), observa-se que todos figuram entre os dez principais importadores de água virtual azul aqui apresentados, com exceção do Vietnã e Restante do mundo.

Figura 4 – Principais países importadores de água virtual azul, em valores absolutos, 2020. Valores em milhões de metros cúbicos



Fonte: Resultados da pesquisa, 2024

4.2 IMPORTAÇÕES E EXPORTAÇÕES LÍQUIDAS DE ÁGUA VIRTUAL AZUL

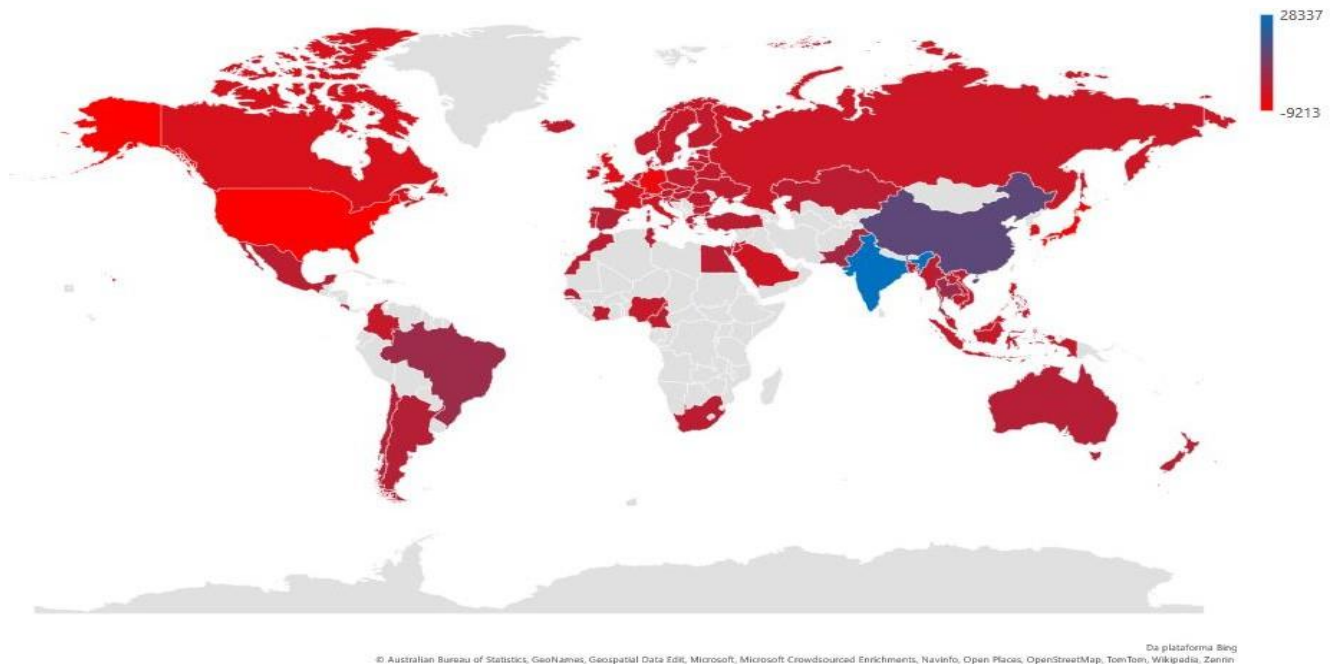
No comércio internacional, no que se refere ao fluxo de água virtual azul, alguns países importam mais do que exportam, sendo superavitários (importadores líquidos) e outros exportam mais do que importam, sendo deficitários (exportadores líquidos).

A Figura (5) ilustra os resultados das exportações líquidas de água azul (exportações menos importações) incorporada nos fluxos do comércio internacional dos países em análise. Os valores estão entre cerca de -9 bilhões de metros cúbicos anuais (vermelho) e 28 bilhões de metros cúbicos no ano de 2020 (azul). Valores negativos indicam países importadores líquidos e valores positivos mostram países que são exportadores líquidos de água azul.

A análise visual por continentes mostra que a América do Norte possui importadores de água azul importantes como Estados Unidos e Canadá, a América do Sul possui países exportadores líquidos importantes tais como Brasil, Chile e Argentina. Na Europa, a maior parte dos países é importadora de água azul em termos líquidos com destaque para a Alemanha, enquanto na Ásia existem grandes exportadores líquidos como China e Índia e importadores tais como Rússia e Japão.

Os resultados mostram de forma visual os fluxos de água azul incorporada nos bens e serviços no comércio internacional, sendo Estados Unidos, Canadá, Japão e Rússia e o continente europeu como grandes importadores. Por outro lado, os países da África, América do Sul e alguns países da Ásia, notadamente China e Índia, como grandes exportadores de água azul do planeta.

Figura 5 – Saldo (exportações líquidas) de água azul incorporada no comércio internacional dos países selecionados, 2020. Valores em milhões de metros cúbicos



Fonte: Resultados da pesquisa, 2024

As figuras (6) e (7) apresentam os resultados obtidos para os vinte principais exportadores e importadores líquidos de água virtual azul, respectivamente. Em termos do fluxo global de água virtual azul, a Ásia se destaca, contendo o primeiro, segundo, terceiro e quinto maior exportador líquido global, a saber, a Índia, com um saldo positivo de 28.337 milhões de m³, a China, com 14.530 milhões de m³, a Tailândia com 5.475 milhões de m³ e o Paquistão com 3.976 milhões de m³. Dentre os vinte maiores exportadores, estão presentes ainda, outros países asiáticos como Turquia, Cazaquistão e Myanmar. Em termos da importações, destacam-se na Ásia o Japão com um saldo de -8174, Coreia do Sul, com saldo de -4.475, Malásia, com saldo -2.224, Arábia Saudita, com saldo de -2.078 e Rússia, com saldo de -1.874 milhões de m³.

As Américas também se destacam, contendo o quarto, oitavo e décimo-primeiro maior exportador líquido, a saber, o Brasil com 5.221 milhões de m³, Argentina com 1.483 milhões de m³ e Chile com 1.009 milhões de m³. Contém também, o primeiro e sétimo maior importador líquido de água, sendo eles, os Estados Unidos, com saldo de -9.213 milhões de m³ e o Canadá, com um saldo de -3.671 milhões de m³.

Em contraste com (ROSA et al., 2019), observa-se que dos principais exportadores líquidos de culturas baseadas em água virtual de irrigação não sustentável: Índia, Paquistão, Espanha, Egito e Austrália também integram os principais exportadores líquidos de água virtual azul. Assim como Canadá, Reino Unido, França, Alemanha, Itália e Rússia são importadores líquidos de culturas baseadas em água virtual de irrigação não sustentável e figuram entre os

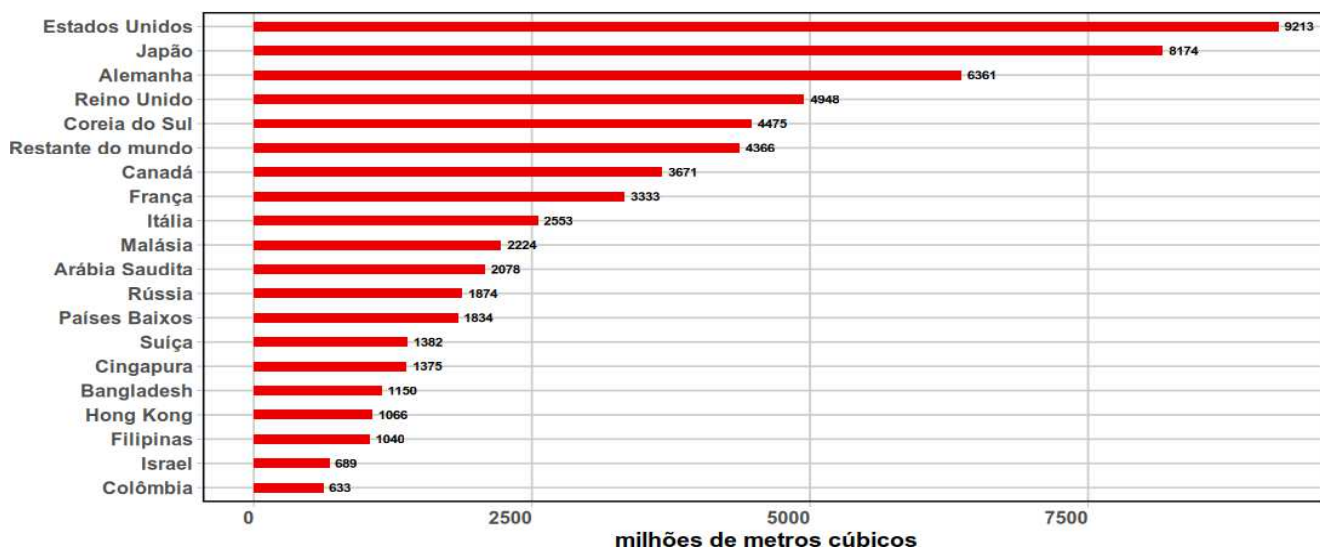
maiores importadores líquidos de água virtual azul.

Figura 6 – Principais países exportadores líquidos de água virtual azul, 2020. Valores em milhões de metros cúbicos



Fonte: Resultados da pesquisa, 2024

Figura 7 – Principais países importadores líquidos de água virtual azul, 2020. Valores em milhões de metros cúbicos



Fonte: Resultados da pesquisa, 2024

A tabela (1) apresenta os cinco maiores exportadores e importadores de água virtual azul, e suas respectivas retenções. Observa-se que a maior parte das exportações líquidas de água virtual azul é proveniente da Ásia.

Tabela 1 – Cinco países maiores exportadores líquidos de água virtual azul e cinco maiores importadores líquidos de água virtual azul, 2020

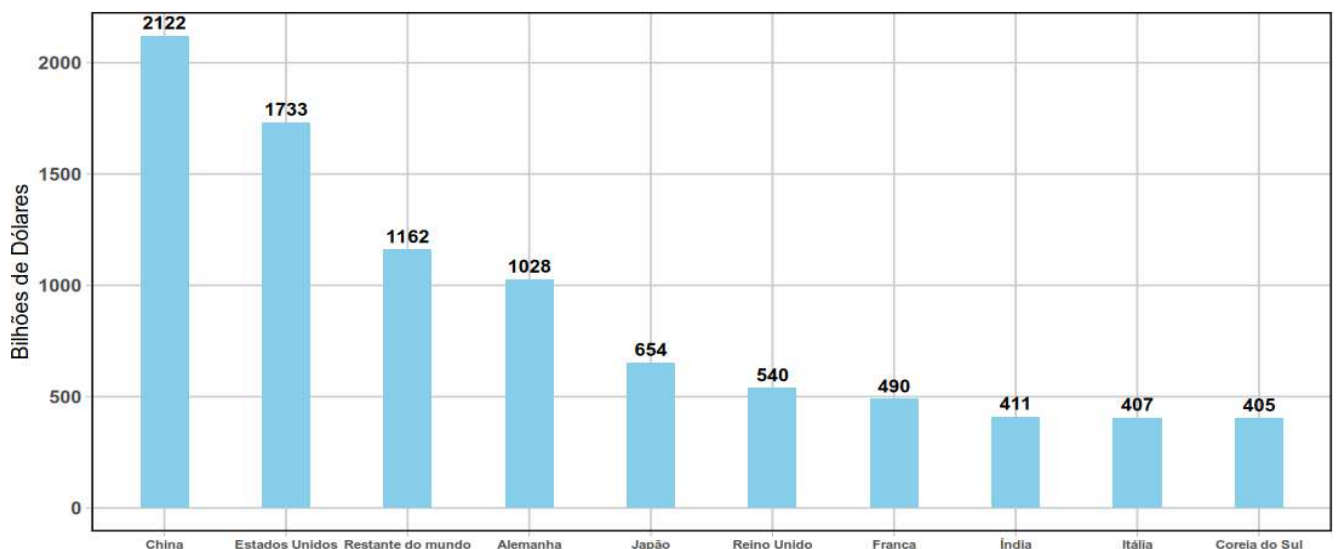
Países	Saldo (milhões de m ³)	Retenção (%)
Índia	28.337	78,19
China	14.530	26,27
Tailândia	5.475	54,44
Brasil	5.221	54,41
Paquistão	3.976	63,86
Estados Unidos	-9.213	-20,81
Japão	-8.174	-91,19
Alemanha	-6.361	-77,50
Reino Unido	-4.948	-87,25
Coreia do Sul	-4.475	-82,10

Fonte: Resultados da pesquisa, 2024

4.3 FLUXOS DE RENDA

A figura (8) apresenta um gráfico com os dez países que mais adicionam valor à economia dos demais países, via exportação de água virtual azul, aqui chamados de *exportadores de renda*. Observa-se um protagonismo da Ásia (China, Japão, Índia e Coreia do Sul) e da Europa (Alemanha, Reino Unido, França e Itália). Com exceção da Índia e do restante do mundo, todos os principais exportadores de renda são países industrializados.

Figura 8 – Principais países geradores de renda em outras economias via exportação de água virtual azul, 2020. Valores em bilhões de dólares

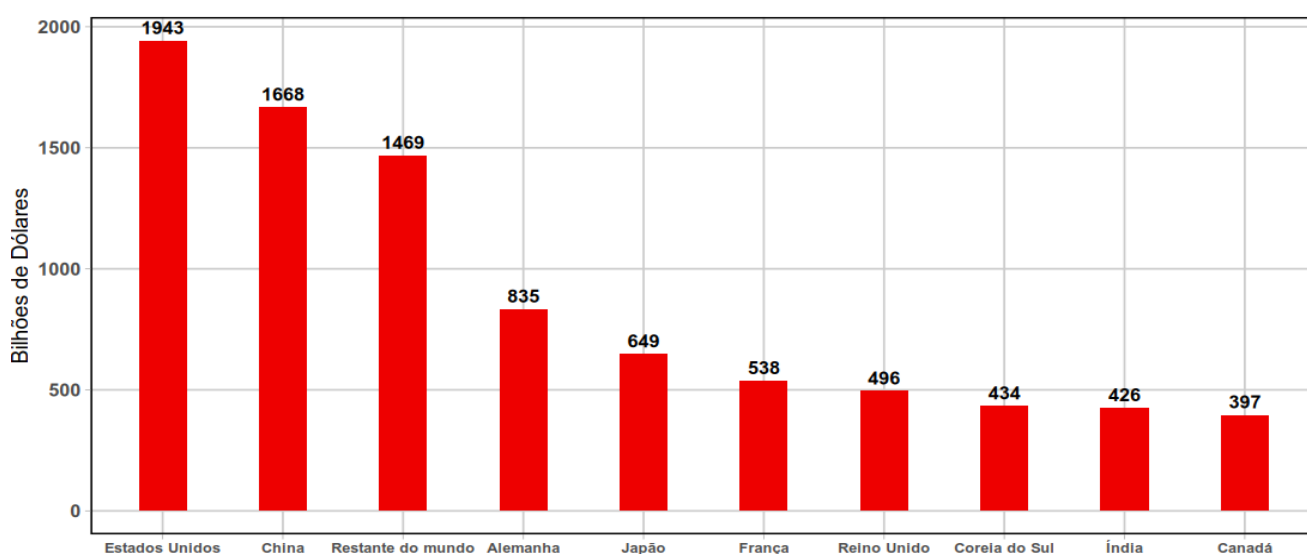


Fonte: Resultados da pesquisa, 2024

A figura (9) apresenta um gráfico com os dez países que mais recebem valor adicionado à sua economia, devido às importações de água virtual azul dos demais países. Estes aqui chamados de *importadores de renda*.

Observa-se que os países que mais geram renda às outras economias via exportação de água virtual azul são, de modo geral, os mesmos que têm renda gerada em suas economias, via importação de água virtual azul. A exceção é o Canadá, que aparece apenas entre os dez maiores importadores de renda, e a Itália que aparece apenas entre os dez maiores exportadores de renda.

Figura 9 – Países que mais recebem valor adicionado a suas economias, via importação de água virtual azul, 2020. Valores em bilhões de dólares



Fonte: Resultados da pesquisa, 2024

4.4 CUSTO DA ÁGUA NO COMÉRCIO INTERNACIONAL

Por meio dos valores adicionados das exportações e importações de cada um dos países e o restante do mundo, é possível estimar o custo da água virtual azul por m^3 , nos dois sentidos. Desta maneira, ao calcular a razão entre o valor adicionado e a volume de água virtual azul exportada ou importada, pode-se obter o preço, em termos de valor adicionado, de cada m^3 de água, praticado entre os países. Com isso, é obtido o saldo, que é a diferença entre o valor adicionado por m^3 de água virtual azul nas exportações, e o valor adicionado por m^3 nas importações.

A tabela 2 apresenta os 15 países que exportam água virtual azul a custos mais elevados e os 15 com menores custos por m^3 . Observa-se que há uma amplitude muito grande no preço médio por metro cúbico na exportação de água virtual azul, praticado entre os países: o país com maior preço (US\$ 87.043,00/ m^3), é Brunei, situado no sudeste asiático, classificado como um país de alta renda, mas com nível de industrialização relativamente baixo. Embora seja considerado um país desenvolvido, sua economia depende fortemente de recursos naturais, em especial o petróleo e o gás natural. Já o menor preço (US\$ 5,00/ m^3) é praticado pela Nova Zelândia, situada na Oceania. É considerada um país desenvolvido, com uma economia

diversificada e industrializada, com foco na exportação de produtos do setor agropecuário e na produção de alimentos, sendo um dos principais exportadores mundiais de produtos agrícolas de alta qualidade, como produtos lácteos (em especial leite em pó), carnes, frutas, vinhos, madeiras e derivados (World Trade Organization, 2023; World Bank, 2024a; World Bank, 2024b).

Tabela 2 – Custo da água virtual azul exportada pelos países, em dólares por m³, 2020

Países	Custo médio (U\$/m³) □	Países	Custo médio (U\$/m³) ↓
Brunei	\$ 87043,00	Nova Zelândia	\$ 5,00
Senegal	\$ 34834,00	Costa Rica	\$ 9,00
México	\$ 13529,00	Indonésia	\$ 13,00
Lituânia	\$ 8725,00	Egito	\$ 16,00
Suíça	\$ 4483,00	Costa do Marfim	\$ 18,00
Jordânia	\$ 1655,00	Suécia	\$ 22,00
Reino Unido	\$ 1494,00	Tailândia	\$ 23,00
Eslováquia	\$ 1190,00	Coreia do Sul	\$ 24,00
Eslovênia	\$ 1144,00	Noruega	\$ 24,00
Alemanha	\$ 1113,00	Argentina	\$ 25,00
Islândia	\$ 1004,00	Malta	\$ 25,00
Índia	\$ 969,00	Letônia	\$ 27,00
Estônia	\$ 939,00	Brasil	\$ 28,00
Dinamarca	\$ 905,00	Arábia Saudita	\$ 30,00
Camboja	\$ 829,00	Estados Unidos	\$ 32,00

Fonte: Resultados da pesquisa, 2024

Na tabela 3 são apresentados os 15 países que importam água virtual azul com os maiores valores em dólares por m³, e os 15 com os menores valores para esta relação. Observa-se que há uma amplitude considerável no custo médio por metro cúbico na importação de água virtual azul, praticado entre os países: o país com maior custo é a Lituânia (U\$482, 00/m³), situada na Europa, cuja economia é caracterizada por uma forte base industrial, especialmente em setores como produtos químicos, máquinas e equipamentos, e têxteis. Além disso, o país possui um setor de serviços em crescimento, com destaque para o turismo e as finanças (World Trade Organization, 2023; World Bank, 2025a).

Já o menor custo na importação de água virtual azul é praticado pela Arábia Saudita (U\$26, 00/m³), país industrializado situado na Ásia, conhecido por suas vastas reservas de petróleo e sua produção, sendo um dos maiores exportadores mundiais. O país possui uma das maiores economias do Oriente Médio, com o petróleo representando uma grande parte das exportações e do PIB (World Bank, 2025b).

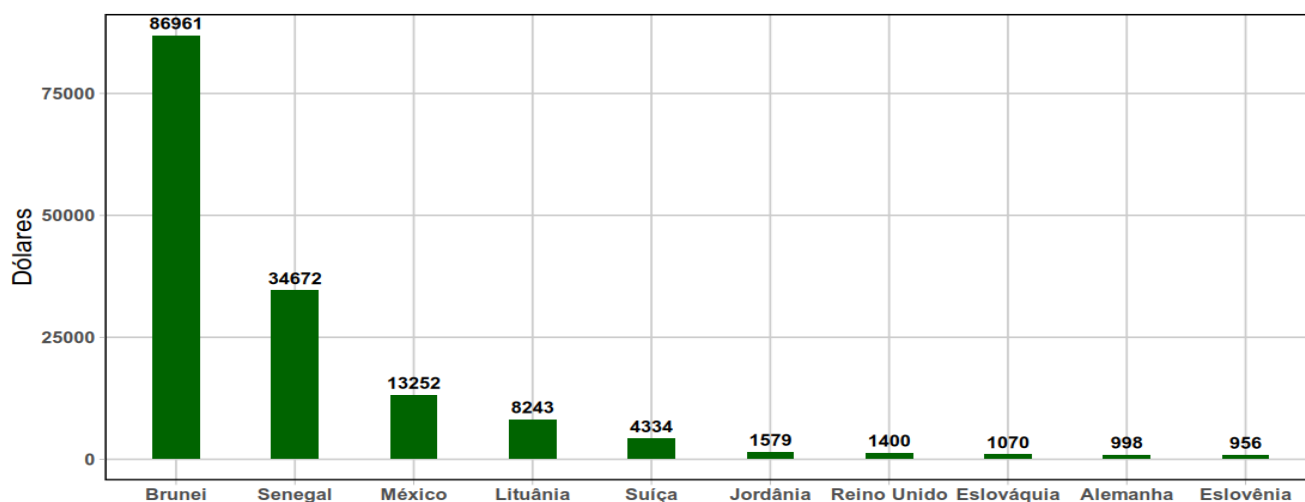
Tabela 3 – Custo da água virtual azul importada pelos países, em dólares por m³, 2020

Países	Custo médio (U\$/m ³) □	Países	Custo médio (U\$/m ³) ↓
Lituânia	\$ 482,00	Arábia Saudita	\$ 26,00
Índia	\$ 471,00	Coreia do Sul	\$ 30,00
México	\$ 278,00	Bangladesh	\$ 33,00
Bélgica	\$ 214,00	Egito	\$ 36,00
Chipre	\$ 189,00	Nova Zelândia	\$ 41,00
Eslovênia	\$ 187,00	Itália	\$ 44,00
Croácia	\$ 184,00	Malta	\$ 44,00
Dinamarca	\$ 180,00	Estados Unidos	\$ 45,00
Áustria	\$ 172,00	Hungria	\$ 46,00
Finlândia	\$ 163,00	Camarões	\$ 47,00
Luxemburgo	\$ 162,00	Cazaquistão	\$ 51,00
Senegal	\$ 162,00	Myanmar	\$ 51,00
Estônia	\$ 158,00	Rússia	\$ 51,00
Laos	\$ 155,00	Colômbia	\$ 54,00
Suíça	\$ 149,00	Tailândia	\$ 54,00

Fonte: Resultados da pesquisa, 2024

A figura (10) apresenta os países para os quais a relação dólar por metro cúbico, é maior na exportação de água virtual azul, do que na importação (superavitários).

Figura 10 – Países cujos valores da água virtual azul, em dólares por metros cúbicos, são maiores na exportação do que na importação de água virtual azul, 2020



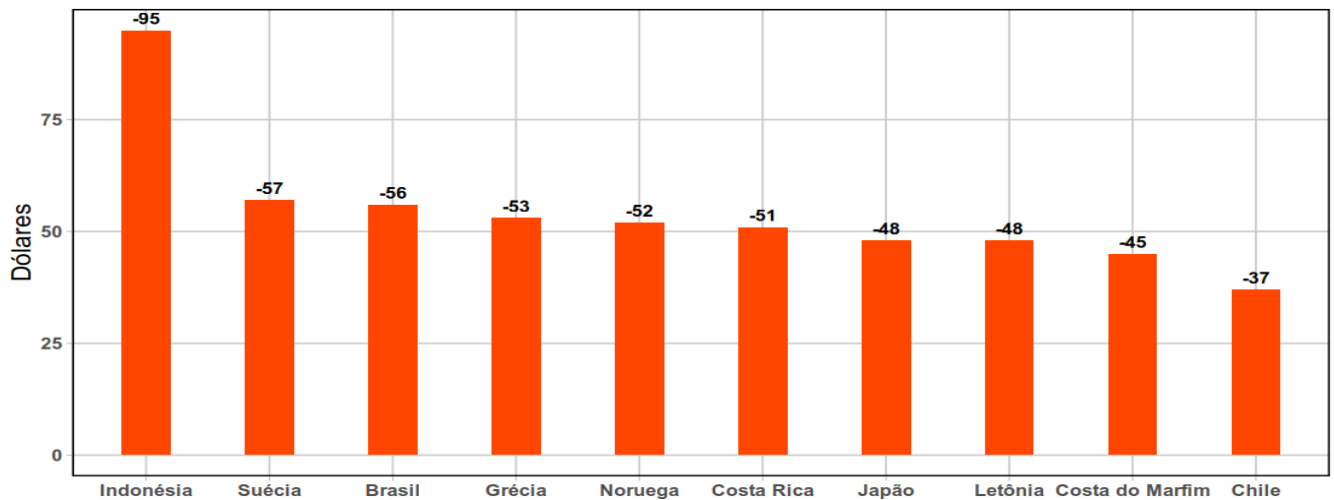
Fonte: Resultados da pesquisa, 2024

Observa-se entre os países superavitários uma predominância de países da Europa: Lituânia, Suíça, Reino Unido, Eslováquia e Alemanha. Todos países industrializados.

A figura (11) apresenta os países para os quais a relação dólar por metro cúbico, é maior na importação de água virtual azul, do que na exportação (deficitários). Dentre os dez países deficitários, destacam-se novamente países europeus industrializados, a saber, Suécia, Grécia,

Noruega e Letônia. Também figuram três países em desenvolvimento, grandes exportadores de commodities, da América, sendo eles, o Brasil, a Costa Rica e o Chile. Há também dois países asiáticos, a Indonésia, que apresenta o maior déficit, sendo um país em desenvolvimento, grande exportador de commodities e produtos da indústria têxtil, e o Japão, que é um país desenvolvido, exportador de produtos com alto valor agregado.

Figura 11 – Países cujos valores da água virtual azul, em dólares por metros cúbicos, são maiores na importação do que na exportação de água virtual azul, 2020



Fonte: Resultados da pesquisa, 2024

4.5 CUSTO MÉDIO DA ÁGUA VIRTUAL AZUL

A figura (12) apresenta a relação dólar por metro cúbico para a água virtual azul exportada pelos quinze países principais exportadores líquidos, incluindo a Índia (U\$105, 00/m³) e excluindo-a (U\$44, 00). Os dois valores foram considerados pois dentre os quinze países maiores exportadores líquidos, a Índia é o que possui o maior valor em dólares por metro cúbico na exportação de água no comércio internacional de água virtual azul (U\$969, 00/m³): um valor aproximadamente nove vezes maior do que o segundo colocado, a Turquia, que exporta sua água com custo médio de (U\$108, 00/m³). Considerar a Índia, portanto, incide um aumento de aproximadamente 138, 64% no custo médio de exportação da água virtual azul, dentre os países deficitários.

A figura (13) apresenta a relação dólar por metro cúbico para a água virtual azul exportada pelos quinze países principais importadores líquidos, bem como o custo médio da água virtual azul exportada, incluindo a Suíça (U\$677, 00) e excluindo-a (U\$406, 00). Da mesma maneira, os dois valores foram considerados pois dentre os quinze países maiores importadores líquidos, a Suíça é o que possui o maior valor em dólares por metro cúbico na exportação de água no comércio internacional de água virtual azul (U\$4483, 00/m³): um valor aproximadamente três vezes maior do que o segundo colocado, o Reino Unido, que exporta sua água

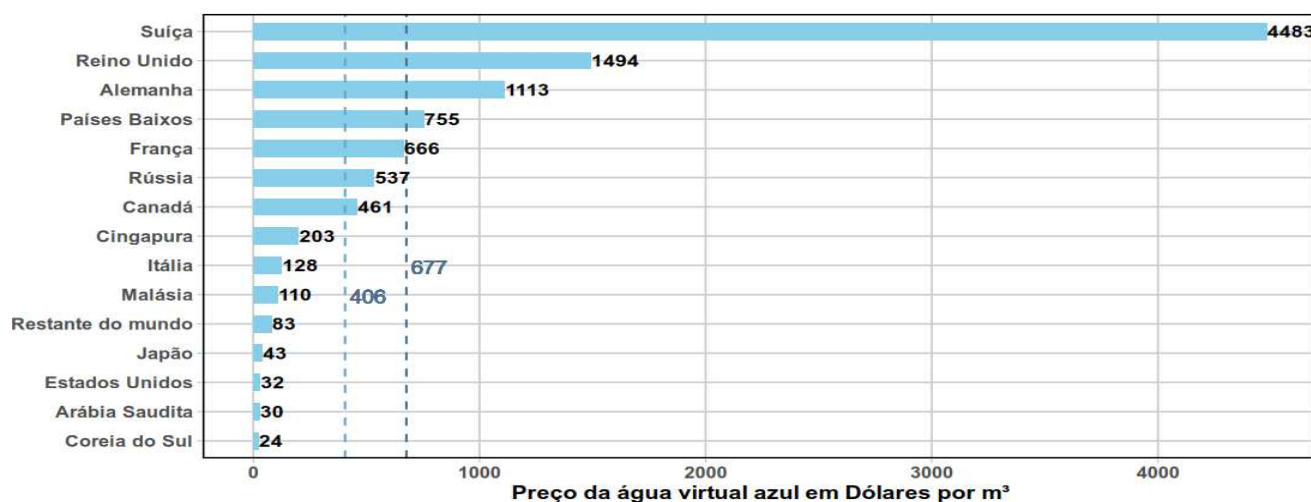
Figura 12 – Valores da relação dólar por metro cúbico, para água virtual azul exportada por países exportadores líquidos de água virtual azul, 2020



Fonte: Resultados da pesquisa, 2024

com custo médio de (U\$1494, 00/m³). Considerar a Suíça, portanto, incide um aumento de aproximadamente 66, 75% no custo médio de exportação da água virtual azul, dentre os países superavitários.

Figura 13 – Valores da relação dólar por metro cúbico, para água virtual azul exportada por países importadores líquidos de água virtual azul, 2020



Fonte: Resultados da pesquisa, 2024

Ao analisar a figura (12) e a figura (13) comparativamente, observou-se que em média, os países que exportam a sua água com menores valores em dólares por metro cúbico, são os países em desenvolvimento, grandes exportadores de *commodities* e produtos de baixo valor agregado, enquanto os países desenvolvidos exportam sua água virtual azul a valores elevados em dólares por metro cúbico: associada a produtos industrializados, de alta tecnologia e com alto valor agregado.

Ao comparar as duas médias que incluem Índia e Suíça, observou-se que os países superavitários (importadores líquidos) exportam a sua água a um valor médio 544, 76% maior do que os países deficitários (exportadores líquidos). Se a Índia e a Suíça não forem consideradas, o custo médio da água virtual azul exportada pelos países superavitários é da ordem de 822, 73% maior que dos países deficitários.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho se propôs a entender por meio de uma análise de insumo-produto, o custo da água virtual azul no comércio internacional, com base nos fluxos de água virtual azul e do valor adicionado entre os países. Foi realizada uma agregação entre as bases de dados OECD(2024), com 45 setores e Gloria(2024), com 120 setores, resultando em 76 regiões (75 países e o restante do mundo) e 40 setores.

Neste contexto, observou-se uma grande heterogeneidade nos custos por m³ de água virtual azul praticados entre os países., em vista aos seus respectivos graus de industrialização, tipo de produtos exportados e importados e geografia. A exemplo, há entre os dez países que exportam sua água virtual azul a maiores valores em dólar por metro cúbico, países europeus e industrializados como a Suíça, Lituânia, Reino Unido e Alemanha.

Em contra-partida, estão entre os dez países que exportam sua água virtual azul a menores valores em dólar por metro cúbico, países também europeus e industrializados, como Suécia e Noruega. De forma simplificada, ao olhar apenas para os dez países que exportam sua água a maiores valores em dólar por metro cúbico, é possível dizer que há uma predominância de países desenvolvidos (Brunei, Lituânia, Suíça, Reino Unido, Eslováquia e Eslovênia). Da mesma forma, ao considerar apenas os dez países que exportam sua água com um menor valor em dólar por metro cúbico, houve uma predominância de países em desenvolvimento (Argentina, Costa Rica, Costa do Marfim, Tailândia, Indonésia e Egito). Ao analisar os dez países que importam água virtual azul a um valor maior em dólar por metro cúbico, e os dez que importam água virtual azul a um valor menor em dólar por metro cúbico, foi possível concluir que há uma predominância de países desenvolvidos em ambos os casos.

Em termos dos fluxos de água virtual azul, observou-se, que o país maior exportador líquido deste recurso é a Índia, e o país maior importador líquido é os Estados Unidos. Em termos globais, a Ásia, por exemplo, é a região que contém os países com maior exportação líquida de água virtual azul. Mas também contém o segundo maior importador líquido de água virtual azul (Japão), bem como a Coreia do Sul, que é a quinta maior importadora líquida, dentre outros países.

Observou-se ao avaliar o valor em dólar por metro cúbico nas exportação de água virtual azul dentre os quinze países maiores exportadores líquidos e os quinze maiores importadores líquidos, que de modo geral, as nações industrializadas e desenvolvidas, são aquelas que exportam a sua água a um valor médio em dólar por metro cúbico, de seis a dez vezes maior do que o valor médio praticado pelos países em desenvolvimento, exportadores de *commodities* e produtos de baixo valor agregado.

Este resultado aponta para a necessidade do desenvolvimento de iniciativas que possam

prevenir e atenuar: os desequilíbrios hídricos entre as diversas regiões do mundo, em especial, entre as nações desenvolvidas/industrializadas e em desenvolvimento; a escassez de água azul, especialmente em regiões mais pobres. Enfatiza-se que a água azul, é a mesma que é utilizada para o uso doméstico geral (banho, ingestão humano e etc.), consumo animal, irrigação, dentre outras atividades essenciais.

Espera-se que os resultados possam orientar no desenvolvimento de políticas públicas e parcerias internacionais, regulando o comércio, oferecendo uma melhor gestão dos recursos hídricos e arrefecendo potenciais crises hídricas.

REFERÊNCIAS

- [1] HOEKSTRA, A. Y. et al. *Manual de avaliação da pegada hídrica: globalização da água: estabelecendo o padrão global*. São Carlos: EESC-USP, 2011. Tradução: Solução Supernova. Título original: *The water footprint assessment manual: setting the global standard*.
- [2] COIN, J. P. Os fluxos de água virtual nas exportações dos setores do agronegócio brasileiro. 2022.
- [3] FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Uso da terra: 2021/2022*. Rome: FAO, 2021. Base de Dados FAOSTAT. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data>>. Acesso em: 17 dez. 2024.
- [4] YANG, H. et al. Virtual water trade: an assessment of water use efficiency in the international food trade. *Hydrology and Earth System Sciences*, Copernicus GmbH, v. 10, n. 3, p. 443–454, 2006.
- [5] CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y.; SAVENIJE, H. H. Water saving through international trade of agricultural products. *Hydrology and Earth System Sciences*, Copernicus Publications Göttingen, Germany, v. 10, n. 3, p. 455–468, 2006.
- [6] MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. Blue water footprint linked to national consumption and international trade is unsustainable. *Nature Food*, Nature Publishing Group UK London, v. 1, n. 12, p. 792–800, 2020.
- [7] MIERZWA, J.; HESPANHOL, I. *Água na indústria: uso racional e reúso*. [S.l.]: Oficina de Textos, 2005. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=V1iXBAAAQBAJ>>. ISBN 9788586238956.
- [8] ROCHA, M.; GOMES, R.; JESUS RAILDO E CERQUEIRA, A. de. Potencial de utilização de sistemas de microgeração de energia elétrica e de aproveitamento de água de chuva. *Revista Gestão & Sustentabilidade*, v. 1, n. 1, p. 250–268, 09 2019. Disponível em: <<https://periodicos.uuffs.edu.br/index.php/RGES/article/view/10887>>.
- [9] ALLAN, J. A. Virtual water: a strategic resource. *Ground water*, National Ground Water Association, v. 36, n. 4, p. 545–547, 1998.
- [10] AY, H. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. In: *Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade 12, Delft, 2003*. [S.l.: s.n.], 2003. p. 25–47.
- [11] HOEKSTRA, A. Y. Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis. *Ecological economics*, Elsevier, v. 68, n. 7, p. 1963–1974, 2009.
- [12] BLENINGER, T.; KOTSUKA, L. K. Conceitos de água virtual e pegada hídrica: Estudo de caso da soja e óleo de soja no Brasil. *Journal of Water Resources/Recursos Hídricos*, v. 36, n. 1, 2015.

- [13] OEL, P. V.; MEKONNEN, M.; HOEKSTRA, A. Y. The external water footprint of the netherlands: Geographically-explicit quantification and impact assessment. *Ecological Economics*, Elsevier, v. 69, n. 1, p. 82–92, 2009.
- [14] YU, Y. et al. Assessing regional and global water footprints for the uk. *Ecological Economics*, Elsevier, v. 69, n. 5, p. 1140–1147, 2010.
- [15] MAO, X.; YANG, Z. Ecological network analysis for virtual water trade system: A case study for the baiyangdian basin in northern china. *Ecological Informatics*, Elsevier, v. 10, p. 17–24, 2012.
- [16] BERGMANN, A. C. et al. O papel do brasil no comércio internacional de água virtual: uma análise insumo-produto. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2019.
- [17] FILHO, U. A. S. et al. Fluxos de água virtual do comércio internacional do brasil.
- [18] KONAR, M. et al. Water for food: The global virtual water trade network. *Water Resources Research*, Wiley Online Library, v. 47, n. 5, 2011.
- [19] ROSA, L. et al. Global unsustainable virtual water flows in agricultural trade. *Environmental Research Letters*, IOP Publishing, v. 14, n. 11, p. 114001, 2019.
- [20] TAMEA, S. et al. Virtual water trade and water footprint of agricultural goods: the 1961–2016 cwasi database. *Earth System Science Data Discussions*, Göttingen, Germany, v. 2020, p. 1–23, 2020.
- [21] DVIGUN, A. et al. Rational use of fresh water as a guarantee of agribusiness development in the context of the exacerbated climate crisis. *Science and innovation*, v. 18, n. 2, p. 85–99, 2022.
- [22] MOTOSHITA, M. et al. Responsibility for sustainable water consumption in the global supply chains. *Resources, Conservation and Recycling*, Elsevier, v. 196, p. 107055, 2023.
- [23] MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- [24] World Trade Organization. *World Trade Statistical Review 2023*. 2023. <https://www.wto.org/english/res_e/publications_e/wtsr_2023_e.htm>. Acesso em: 2 set. 2024.
- [25] World Bank. *Brunei Darussalam Overview*. 2024. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/country/brunei-darussalam>>.
- [26] World Bank. *New Zealand Overview*. 2024. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/country/new-zealand>>.
- [27] World Bank. *Lithuania | Data*. 2025. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/country/lithuania>>.
- [28] World Bank. *Saudi Arabia | Data*. 2025. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/country/saudi-arabia>>.

Apêndices

APÊNDICE A – TABELAS

Tabela 4 – Trinta países maiores exportadores de água azul, 2020. Valores em milhões de metros cúbicos

Países	Siglas	Exportações (milhões de m ³)
China	CHN	34918
Índia	IND	32290
Restante do mundo	ROW	20163
Estados Unidos	USA	17533
Tailândia	THA	7766
Brasil	BRA	7408
Paquistão	PAK	5101
Espanha	ESP	4634
Austrália	AUS	4284
Vietnã	VNM	4239
México	MEX	4118
Turquia	TUR	3274
Egito	EGY	2262
Argentina	ARG	2245
Indonésia	IDN	2214
Rússia	RUS	2100
Costa Rica	CRI	1798
Chile	CHL	1701
Nova Zelândia	NZL	1622
África do Sul	ZAF	1613
Itália	ITA	1310
Polônia	POL	1099
Marrocos	MAR	991
Cazaquistão	KAZ	976
Bélgica	BEL	936
Alemanha	DEU	924
Países Baixos	NLD	749
França	FRA	736
Canadá	CAN	734
Myanmar	MMR	653

Fonte: Resultados da pesquisa, 2024.

Tabela 5 – Trito países maiores importadores de água virtual azul, 2020. Valores em milhões de metros cúbicos.

Países	Siglas	Importações(milhões de m ³)
Estados Unidos	USA	26746
Restante do mundo	ROW	24529
China	CHN	20388
Japão	JPN	8569
Alemanha	DEU	7284
Reino Unido	GBR	5309
Coreia do Sul	KOR	4963
Canadá	CAN	4405
Vietnã	VNM	4341
França	FRA	4069
Rússia	RUS	3974
Índia	IND	3953
Itália	ITA	3863
México	MEX	3714
Espanha	ESP	3019
Austrália	AUS	2941
Indonésia	IDN	2844
Países Baixos	NLD	2583
Turquia	TUR	2497
Malásia	MYS	2494
Arábia Saudita	SAU	2390
Tailândia	THA	2291
Brasil	BRA	2188
Polônia	POL	1589
Egito	EGY	1556
Filipinas	PHL	1509
Bangladesh	BGD	1504
Suíça	CHE	1442
Cingapura	SGP	1381
Paquistão	PAK	1125

Fonte: Resultados da pesquisa, 2024.