

CONCEITOS DE ÁGUA VIRTUAL E PEGADA HÍDRICA: ESTUDO DE CASO DA SOJA E ÓLEO DE SOJA NO BRASIL

CONCEPTS OF VIRTUAL WATER AND WATER FOOTPRINT: CASE STUDY OF SOYBEANS AND SOYBEAN OIL IN BRAZIL

Tobias Bleninger

Universidade Federal do Paraná (UFPR) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA), Curitiba (PR) /// bleninger@ufpr.br

Luziadne Katiucia Kotsuka

Universidade Federal do Paraná (UFPR) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA), Curitiba (PR) /// luziadne@gmail.com

RESUMO: Visando analisar a aplicabilidade dos conceitos Água Virtual e Pegada Hídrica, o presente trabalho utilizou os principais conceitos, métodos e ferramentas para mensuração da Pegada Hídrica, bem como fluxo de Água Virtual. Para tanto, foram analisados aspectos qualitativos e quantitativos destas ferramentas, a partir de um estudo de caso, conduzido a fim de estimar as Pegadas Hídricas de um produto agrícola (soja) e um produto industrializado (óleo de soja) com a aplicação da metodologia Water Footprint Network. Os resultados indicaram que, em média, a Pegada Hídrica da soja cultivada na região de Maringá, no estado do Paraná - Brasil, é de 2 210 m³/t e a Pegada Hídrica do óleo de soja produzido no município Araucária, também localizado no estado do Paraná, é de 6 201 m³/t. A quantificação do fluxo de Água Virtual devido a importações e exportações de soja e óleo de soja pelo Brasil resultou no valor de 80 bilhões de metros cúbicos de Água Virtual transportada por ano. A ferramenta Pegada Hídrica é de fácil utilização, entendimento e mostrou-se eficiente para determinação de consumo de água.

Palavras-chave: pegada hídrica, água virtual, soja, óleo de soja

ABSTRACT: To apply those concepts for water resource management, the main concepts, methods and tools used for determining the Water Footprint and the Virtual Water flow. Qualitative and quantitative aspects were analyzed in a case study, to estimate the Water Footprint of an agricultural product (soybeans) and a manufactured product (soybean oil) using the Water Footprint Network methodology. The results indicated that, on average, the Water Footprint of the soybeans cultivated in the region of Maringá, state of Paraná, is 2210 m³/t and the soybean oil Water Footprint produced in Araucaria, also located in the state of Paraná is 6201 m³/t. Quantification of Virtual Water flow due to imports and exports of soybeans and soybean oil in Brazil resulted in the amount of 80 billion cubic meters of virtual water transported per year. The Water Footprint tool is easy to use, understanding, and proved efficient for determining water consumption.

Keywords: water footprint, virtual water, soybeans, soybean oil

1. INTRODUÇÃO

Há décadas discute-se sobre quais as formas de gestão dos recursos hídricos passíveis de evitar ou minimizar problemas de desabastecimento da água no mundo.

Neste sentido, Hoekstra e Hung (2002) e Allan (2011) demonstraram que através da quantificação da água incorporada nos produtos, pode ser compreendido o caráter global da água doce, e quantificados os efeitos do consumo e do comércio no uso dos recursos hídricos. Esta compreensão poderá servir como base para melhorar e tornar mais adequada a gestão dos recursos de água doce existentes no planeta.

Dentro deste contexto, as metodologias da Pegada Hídrica e Água Virtual podem ter grande utilidade, pois possibilitam avaliar e comparar o consumo de água de diversos produtos. Assim como, determinar o fluxo da água embutida nos produtos entre países ou regiões.

Segundo Giacomini e Ohnuma (2012) esta ferramenta tem como premissa mensurar a quantidade de água envolvida na produção de um determinado produto, considerando características específicas ambientais de cada região produtora, de maneira a avaliar todos os impactos e usos envolvidos em todo o processo, desde a matéria-prima até o produto final.

A Pegada Hídrica pode ser calculada para uma cultura específica, para um processo de produção de produto e para um produto final resultante do processo de fabricação.

Para uma cultura específica são necessárias informações sobre o cultivo da cultura em questão na região de interesse. Já a Pegada Hídrica de um processo é a base do cálculo da Pegada Hídrica para um produto. E a Pegada Hídrica de um produto é a agregação da quantidade de água consumida diretamente (operações) ou indiretamente (cadeia de suprimentos) para produção de um determinado bem (Hoekstra *et al.*, 2009).

Esta ferramenta se difere das ferramentas tradicionais de mensuração de água incorporada nos produtos, por considerar componentes que, normalmente, não são contabilizados na abordagem tradicional de consumo de água. De maneira que, a partir da utilização desta ferramenta, podem ser avaliados os usos e consequências do uso da água de forma mais abrangente.

A metodologia de Pegada Hídrica fornece um indicador do consumo da água, que inclui usos diretos e indiretos, utilização de água superficial ou subterrânea,

utilização da água da chuva e poluição gerada. Mas, apesar de ser uma metodologia abrangente, e muito aceita no meio científico e empresarial, no Brasil ainda são poucos os estudos realizados nesta área.

Neste cenário, a aplicação destes conceitos em produtos e regiões brasileiras é importante. Principalmente, no que se refere a grandes volumes de exportação, como por exemplo o complexo soja (grão, farelo e óleo) que representa significativa parcela das exportações brasileiras e do estado do Paraná.

2. FERRAMENTAS PARA QUANTIFICAÇÃO DA ÁGUA INCORPORADA NOS PRODUTOS

2.1. Água Virtual

O conceito de Água Virtual foi introduzido por John Anthony Allan em 1998, sendo definida como água incorporada em *commodities*. Ou seja, a água envolvida no processo produtivo de qualquer bem industrial ou agrícola.

Em sua essência, esta concepção diz respeito ao comércio indireto da água que está embutida em certos produtos e consiste em compreender que o consumo de água por seres humanos não é limitado pelo uso direto da água em atividades cotidianas, mas também, pela água existente no conteúdo dos produtos consumidos, além da água utilizada para a sua produção, fabricação e transporte, que deve ser contabilizada e avaliada (Hoekstra e Chapagain, 2007; Carmo *et al.*, 2007).

2.2. Pegada Hídrica

Pegada Hídrica é uma ferramenta desenvolvida para o cálculo da água necessária para produção de *commodities*, que representa o volume anual total de água utilizada para produzir os bens e serviços relacionados ao consumo. Este conceito foi introduzido por Hoekstra e Hung (2002), como um indicador para mapear o impacto do consumo humano em recursos globais de água doce.

Usualmente expressa em termos de volume por ano, a Pegada Hídrica inclui as formas de uso, consumo e poluição de água doce que contribuem para a produção de bens e serviços consumidos por habitantes de certa região geográfica (Hoekstra e Chapagain, 2007).

O texto deste artigo foi submetido para revisão e possível publicação em setembro de 2014, tendo sido aceite pela Comissão de Editores Científicos Associados em março de 2015. Este artigo é parte integrante da *Revista Recursos Hídricos*, Vol. 36, Nº 1, 15-24, maio de 2015.
© APRH, ISSN 0870-1741 | DOI 10.5894/rh36n1-2

Em se tratando da Pegada Hídrica como indicador de consumo de água, de acordo com Hoekstra *et al.* (2009), o conceito de Pegada Hídrica se difere da consideração usual de consumo de água, por considerar tanto o consumo direto, quanto indireto. Bem como, neste indicador não é considerado o consumo de água, se esta água for restituída ao meio do qual foi retirada. Ainda, outro diferencial deste indicador ao conceito clássico de retirada da água, se refere à consideração da água proveniente da chuva, umidade do solo e a água que se tornou poluída durante o processo que está sendo analisado.

A Pegada Hídrica divide-se em três componentes: Pegada Hídrica Verde, Azul e Cinza. A Pegada Hídrica Verde representa água proveniente da chuva ou umidade do solo. Este componente é especialmente significativo em produtos agrícolas, pois representa o total de água evaporada dos campos durante o período de crescimento das culturas, incluindo a transpiração pelas plantas e outras formas de evaporação (Wichelns, 2010; Hoekstra *et al.*, 2009).

Já a Pegada Hídrica Azul é constituída pelas águas da superfície ou subterrâneas. Na produção industrial e abastecimento doméstico de água, a parcela Azul é o volume de água extraído das fontes de água doce. Na agricultura a Pegada Hídrica Azul também inclui a evaporação da água de irrigação dos campos (Wichelns, 2010; Hoekstra *et al.*, 2009).

Por fim, a Pegada Hídrica Cinza é aquela que se tornou poluída durante o processo produtivo, sendo definida como a quantidade de água necessária para diluir a carga de poluentes a níveis aceitáveis, estabelecidos nos padrões de qualidade e potabilidade existentes. Ainda que a Água Cinza não represente necessariamente entrada de água no sistema, compõe a Pegada Hídrica por representar o volume de água que seria necessário para a neutralização total da carga ambiental enviada aos corpos hídricos (Hoekstra *et al.*, 2009).

Na Figura 1, destacado em vermelho, são observados os componentes contabilizadas no cálculo do consumo da água na conceituação convencional. Cabe destacar que os usos diretos se referem ao uso da água em atividades cotidianas e os usos indiretos se referem à água utilizada na produção de bens de consumo, consumida a partir de produtos (que possuam água embutida) e a Pegada Hídrica dos produtos de entrada na produção de commodities. Ficando evidente a amplitude do conceito de Pegada Hídrica em comparação com as estatísticas tradicionais de uso de água, que normalmente contabilizam apenas a quantidade de água retirada de água de superfície ou subterrâneas, sem a consideração da água da chuva ou aquela que se tornou poluída durante o processo que está sendo analisado.

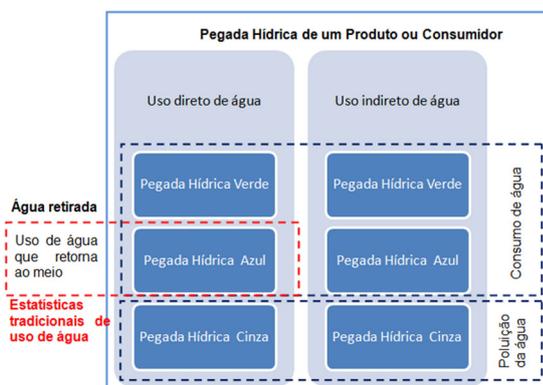


Figura 1 – Representação gráfica da composição da Pegada Hídrica.

Fonte: Adaptado de Hoekstra *et al.* (2009).

Devido à abrangência deste método, a Pegada Hídrica como instrumento de gestão dos recursos hídricos torna-se uma ferramenta interessante. A critério de comparação, na ferramenta de Avaliação de Ciclo de Vida não há uma abordagem padrão para o uso da água nesta metodologia, de maneira que, estes impactos recebem atenções limitadas nestas aplicações e são considerados de forma simplificada (UNEP, 2009).

As limitações da ferramenta, de modo geral estão relacionadas com a dificuldade de encontrar todos os dados necessários para os cálculos de Pegada Hídrica, nem sempre disponibilizados para o público e com fácil acesso. Em adição, Hoekstra *et al.* (2011) expõe como limitação, a ferramenta ter como foco analisar o uso de água doce, não abordando outros temas de alterações climáticas, limitada disponibilidade de terra, a degradação do solo, aspectos sociais ou econômicos.

3. METODOLOGIA E RESULTADOS

Para verificar a utilização do instrumento da Pegada Hídrica com foco na disponibilidade de dados no Brasil e características específicas, foi realizada a quantificação da Pegada Hídrica da cultura de soja na região de Maringá, localizada no Estado do Paraná, e do óleo de soja, para uma indústria localizada em Araucária, Região Metropolitana de Curitiba.

Optou-se pela cultura da soja, devido à forte e

crescente presença da produção desta cultura no Brasil. Em seguida a partir de contato com a indústria de óleo de soja (Imcopa - Importação, Exportação e Indústria de Óleos S.A) foram definidos os dados para realização dos cálculos do estudo de caso da Pegada Hídrica do óleo de soja.

A metodologia de Pegada Hídrica, proposta por Hoekstra *et al.* (2011) foi adotada neste estudo, pois apesar de apresentar algumas limitações, é uma metodologia eficaz por contemplar a utilização de água da chuva e a poluição gerada nos corpos hídricos na quantificação, além de ter potencial para utilização na sensibilização do público.

3.1. Cálculo de Pegada Hídrica para produtos agrícolas

A Pegada Hídrica total de um processo de crescimento de cultura (PH_{total}) foi calculada conforme equação (1).

$$PH_{total} = PH_{verde} + PH_{azul} + PH_{cinza} \quad (1)$$

Onde:

$$\begin{aligned} PH_{total} &= \text{Pegada Hídrica total de um processo de} \\ &\text{crescimento de cultura (m}^3\text{/t);} \\ PH_{verde} &= \text{Pegada Hídrica Verde (m}^3\text{/t);} \\ PH_{Azul} &= \text{Pegada Hídrica Azul (m}^3\text{/t);} \\ PH_{Cinza} &= \text{Pegada Hídrica Cinza (m}^3\text{/t).} \end{aligned}$$

A Pegada Hídrica Total calculada para a cultura de soja cultivada na Região de Maringá é de 2 210 m³/t. Sendo que, os valores calculados de Pegadas Hídricas Verde e Cinza correspondem respectivamente a 81% e 19% da Pegada Hídrica Total.

Comparando o resultado encontrado com valores de Pegada Hídrica da cultura da soja observados na literatura, temos os valores de 2 785 m³/t por Ercin *et al.* (2011), 2 572.20 m³/t por Arena *et al.* (2011) e 1 958 m³/t por Hoekstra e Chapagain (2007). Portanto, nota-se que o valor resultante deste estudo é condizente com a literatura consultada.

3.1.1. Pegada Hídrica Verde de produtos agrícolas

O valor do componente PH_{verde} (Pegada Hídrica Verde) foi calculado a partir da equação (2).

$$PH_{verde} = \frac{C_{verde}}{P} \quad (2)$$

Onde:

$$\begin{aligned} PH_{verde} &= \text{Pegada Hídrica Verde (m}^3\text{/t);} \\ C_{verde} &= \text{Consumo de água Verde (m}^3\text{/ha);} \\ P &= \text{Produtividade (t/ha).} \end{aligned}$$

O consumo de Água Verde representa o total de água da chuva evaporado pela cultura durante o período de crescimento, conforme equação (3).

$$C_{verde} = \sum_{d=1}^{dpc} EVT_{verde} \quad (3)$$

Onde:

$$\begin{aligned} C_{verde} &= \text{Consumo de Água Verde (m}^3\text{/ha);} \\ EVT_{verde} &= \text{Evapotranspiração diária de Água Verde} \\ &\text{(mm/dia);} \\ dpc &= \text{Duração do período de crescimento (dias).} \end{aligned}$$

Para estimar a evapotranspiração da cultura da soja na região de Maringá foi utilizado o modelo CROPWAT (FAO, 2010). Neste modelo para os dados de entrada referentes a clima e precipitação foram utilizados valores médios mensais de temperatura máxima e mínima, umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação, oriundos da Estação Meteorológica de Maringá no período de Outubro de 1998 a janeiro de 2013, obtidos junto ao Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR). Para entrada de dados de insolação foram utilizados dados médios mensais do Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR, 2013), da estação meteorológica de Londrina, devido à proximidade com o município de estudo e inexistência de estação com dados de insolação no município de Maringá.

A fim de se determinar a Pegada Hídrica da soja produzida, o sistema de cultivo da soja considerado foi o plantio direto, sem utilização da irrigação, o plantio ocorrendo com aproveitamento dos restos do cultivo de milho, trigo e aveia como cobertura verde. Sendo os coeficientes de cultivo (para os estágios de desenvolvimento da soja) adotados como 1.15 e 0.5 para coeficientes de cultura na fase média e final, respectivamente (ANA, 2009). Foi identificado na Região de Maringá a predominância de Latossolo Vermelho, determinando valores característicos na entrada de dados de solos.

A produtividade adotada para o cálculo da Pegada Hídrica Verde foi de 2 460 kg/ha, média de produtividade de soja no Paraná (Fendrich, 2003).

Como resultado da entrada dos dados no modelo CROPWAT, foram obtidos os valores de 4.89 mm/dia para média de evapotranspiração de referência, e 441 mm para evapotranspiração da cultura, considerando o ciclo da soja de 120 dias.

Assim, a partir do valor de evapotranspiração da cultura foi determinado o valor de 1793 m³/t para Pegada Hídrica Verde da soja cultivada na região de Maringá.

3.1.2. Pegada Hídrica Azul de produtos agrícolas

O valor do componente PH_{Azul} (Pegada Hídrica Azul) pode ser calculado a partir da equação (4).

$$PH_{Azul} = \frac{C_{Azul}}{P} \quad (4)$$

Onde:

$$PH_{Azul} = \text{Pegada Hídrica Azul (m}^3\text{/t);}$$

$$C_{Azul} = \text{Consumo de Água Azul (m}^3\text{/ha).}$$

O consumo de Água Azul representa o total de água de irrigação evaporada pela cultura durante o período de crescimento da cultura, conforme equação (5).

$$C_{Azul} = 10 \times \sum_{d=1}^{dpc} EVT_{Azul} \quad (5)$$

Onde:

$$C_{Azul} = \text{Consumo de Água Azul (m}^3\text{/ha);}$$

$$EVT_{Azul} = \text{Evapotranspiração diária de Água Azul (mm/dia).}$$

Como na região de Maringá o cultivo da soja não é realizado com irrigação da cultura, a componente PHAzul foi considerada como sendo igual à zero.

3.1.3. Pegada Hídrica Cinza de produtos agrícolas

O valor do componente PH_{Cinza} (Pegada Hídrica Cinza) está relacionado à poluição, sendo calculado o volume de água necessário para diluir a carga de poluentes no corpo hídrico receptor, conforme equação (6):

$$PH_{Cinza} = \frac{(\alpha \times TQ)/(C_{max} - C_{nat})}{P} \quad (6)$$

Onde:

$$PH_{Cinza} = \text{Pegada Hídrica Cinza (m}^3\text{/t);}$$

$$\alpha = \text{Fração de lixiviação;}$$

$$TQ = \text{Taxa de aplicação de químicos por hectare (kg/ha);}$$

C_{max} = Concentração máxima admissível do poluente no meio aquático (kg/m³);

C_{nat} = Concentração natural do poluente considerado no meio aquático (kg/m³).

Para cálculo da Pegada Hídrica Cinza da soja o nitrogênio foi considerado como poluente crítico neste estudo, seguindo recomendação de Hoekstra *et al.* (2009). Além disso, o valor assumido para a fração de lixiviação foi de 0.10 com base na recomendação de Chapagain *et al.* (2006) e o valor de taxa de aplicação adotado foi de 50 kg N/ha, seguindo dados da EMBRAPA SOJA (2000).

No que se refere à concentração máxima de nitrogênio, foi assumido o valor de 10 mg/L, conforme limite máximo permitido para rios de Classe II pela Resolução 357 do CONAMA. E, levando-se em conta a recomendação de Hoekstra *et al.* (2009), assumiu-se o valor de concentração natural de nitrogênio no corpo hídrico igual a zero.

A Pegada Hídrica Cinza da soja determinada para região de Maringá foi de 417 m³/t.

3.2. Cálculo de Pegada Hídrica de etapas de processos

A contabilização da Pegada Hídrica para etapas de processo também segue a metodologia apresentada por Hoekstra *et al.* (2011). Na qual, a Pegada Hídrica total de um processo ($PH_{total, proc}$) é o somatório dos componentes Verde, Azul e Cinza.

Assim, a Pegada Hídrica total do processo de fabricação do óleo refinado foi calculada através da soma dos valores de Pegadas Hídricas Verde, Cinza e Azul para o processo de industrialização da soja.

3.2.1. Pegada Hídrica Azul de etapas de processos

A componente $PH_{Azul, proc}$ (Pegada Hídrica Azul do processo) foi calculada conforme a equação (7).

$$PH_{Azul} = EVA_{Azul} + I_{Azul} + Perdas \quad (7)$$

Onde:

$$PH_{Azul, proc} = \text{Pegada Hídrica Azul do processo (m}^3\text{/t);}$$

$$EVA_{Azul} = \text{Pegada Hídrica Azul evaporada (m}^3\text{/t);}$$

$$I_{Azul} = \text{Pegada Hídrica Azul incorporada (m}^3\text{/t);}$$

$$Perdas = \text{Perdas no fluxo de retorno (m}^3\text{/t).}$$

Através de informações fornecidas pela indústria sobre adição de vapor em diversas etapas da produção de óleo refinado, foi determinada a quantidade total de

água superficial utilizada no processo de fabricação do óleo de soja de 2.16 m³ por tonelada de óleo de soja refinado produzido. Assim, para o processo de produção do óleo de soja, o valor de Pegada Hídrica Azul do processo corresponde a 2.16 m³/t.

3.2.2. Pegada Hídrica Verde de etapas de processos

O componente $PH_{Verde, proc}$ (Pegada Hídrica Verde do processo) foi calculado através da equação (8).

$$PH_{Verde} = EVAP_{AVE} + INCORP_{AVE} \quad (8)$$

Onde:

$PH_{Verde, proc}$ = Pegada Hídrica Verde do processo (m³/t);
 $EVAP_{AVE}$ = Evaporação da Água Verde (m³/t);
 $INCORP_{AVE}$ = Água Verde incorporada (m³/t).

Através de informações de umidade dos produtos em cada processo, foi calculada a evaporação total. Nos cálculos foi utilizada a umidade do produto de entrada (soja) de 11.60% reduzindo-se da umidade do produto final (óleo de soja) de 0.02%. Foi considerado, também, que a quantidade de soja recebida é de 3 200 toneladas por dia e que são produzidas 400 toneladas de óleo refinado por dia. Desta forma, o valor total evaporado foi de 29.12 toneladas de água por dia, resultando na Pegada Hídrica Verde do processo de 0.073 m³/t.

3.2.3. Pegada Hídrica Cinza de etapas de processos

A componente $PH_{Cinza, proc}$ (Pegada Hídrica Cinza do processo) foi calculada conforme equação (9).

$$PH_{Cinza} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} \quad (9)$$

Onde:

$PH_{Cinza, proc}$ = Pegada Hídrica Cinza do processo (m³/t);
 L = Carga do poluente; (kg/min).

A Pegada Hídrica Cinza é calculada para o poluente mais crítico, ou seja, o poluente que produz os maiores volumes de água poluída. Para o cálculo da Pegada Hídrica Cinza, o parâmetro considerado como mais crítico no efluente de indústrias de óleo vegetais foi a DBO (Muller, 2012 e Olivatto, 2009). Sendo assumido o valor de 5 mg/L, conforme limite máximo permitido para rios de Classe II pela Resolução 357 do CONAMA.

Além disso, levando-se em conta a recomendação de Von Sperling *et al.* (2005), o valor de concentração natural de DBO no corpo hídrico foi considerado igual a 1 mg/L.

Em adição, foi adotada uma vazão de 3 m³/h, valor de vazão para efluentes de indústrias de óleos vegetais sugeridos por Olivatto (2009) e Checchet (2007), e concentração da DBO no efluente de 19 mg/L, conforme Olivatto (2009). Resultando no valor de 0.0013 m³/t para Pegada Hídrica Verde do processo.

3.3. Cálculos da Pegada Hídrica de produtos

Na quantificação da Pegada Hídrica do processo de fabricação do óleo de soja, foi utilizado o fluxograma apresentado na Figura 2, que representa os produtos de entrada, intermediários e de saída da indústria de óleo de soja e as umidades consideradas para cada produto envolvido no processo.

A primeira etapa do processo para produção do óleo de soja é o recebimento dos grãos, a soja recebida passa por processos de pré-limpeza, secagem e armazenamento. Em seguida, os grãos de soja passam pelo processamento, no qual são quebrados, descascados, peneirados, aspirados, laminados e expandidos. Na sequência, ocorre o processo de extração, através do uso de solvente orgânico, que resulta em farelo e óleo. Então o óleo passa pela degomagem, que resulta em goma e óleo degomado. O óleo degomado é refinado, através de etapas de neutralização (aplicação de hidróxido de sódio), clarificação (filtração em terra clarificante) e desodorização (destilação sob vácuo). Resultando, assim, no óleo refinado.



Figura 2 - Fluxograma que representa os produtos de entrada, intermediários e de saída na indústria.

Na Figura 3 estão representados os produtos de entrada e saída da indústria, considerados no cálculo da Pegada Hídrica do óleo de soja.

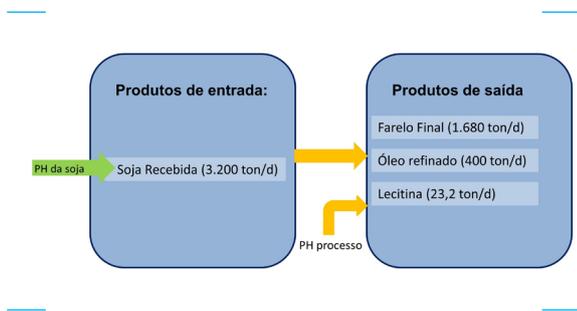


Figura 3 - Produtos de entrada e saída da produção de óleo de soja na indústria.

Para a determinação da Pegada Hídrica do óleo de soja foi utilizada abordagem acumulativa, calculada a partir da equação (10).

$$PH_{produto}[p] = \left(PH_{processo}[p] + \sum_{i=1}^y \frac{PH_{prod}[i]}{f_p[p,i]} \right) \times f_y[p] \quad (10)$$

Onde:

- $PH_{produto}[p]$ = Pegada Hídrica do produto final "p" (m^3/t);
- $PH_{prod}[i]$ = Pegada Hídrica do insumo "i" (m^3/t);
- $PH_{proc}[p]$ = Pegada Hídrica do processo que transforma matérias-primas "y" no produto final "z" (m^3/t);
- $f_p[p,i]$ = Fração do produto (t/t);
- $f_y[p]$ = Fração de valor (R\$/R\$).

Os parâmetros $f_p[p,i]$ e $f_y[p,i]$ foram considerados para que o cálculo da Pegada Hídrica possa ser específico para o produto final óleo de soja refinado, levando em conta que há mais dois produtos de saída no processo (lecitina e farelo de soja).

O parâmetro $f_p[p,i]$, referente à comparação entre as massas dos produtos finais produzidos com a massa do produto de entrada foi determinado através da equação (11). Considerando que são produzidas 400 toneladas por dia de óleo de soja refinado, a partir da entrada de 3 200 toneladas diárias de soja.

$$f_p[p,i] = \frac{m[p]}{m[i]} \quad (11)$$

Onde:

- $m[p]$ = Massa do produto final produzido (t);
- $m[i]$ = Massa de matéria-prima utilizada (t).

O parâmetro $f_y[p,i]$, definido como a razão entre o valor de mercado deste produto e o valor de mercado total de todas as saídas de produtos, foi determinado através da equação (12). Segundo a Associação Brasileira de Óleos Vegetais (ABIOVE, 2013) os valores de mercado da tonelada dos produtos óleo de soja refinado, lecitina e farelo de soja são U\$1085.19, U\$1910.51 e U\$490.77, respetivamente.

$$f_y[p] = \frac{preço[p] \times m[p]}{\sum_{s=1}^z (preço[p,s] \times m[p,s])} \quad (12)$$

Onde:

- $preço[p]$ = Preço do produto final produzido (R\$/massa);
- $m[p,s]$ = Massa dos produtos de saída do processo (t);
- $preço[p,s]$ = P preço do produto de saída do processo (R\$/t).

O parâmetro $f_p[p,i]$ resultou no valor de 0.125, o parâmetro $f_y[p,i]$ no valor de 0.333 e a Pegada Hídrica do óleo de soja resultou em 5 886 m^3/t .

3.3.1. Pegada Hídrica Total do óleo de soja, considerando importações de soja

Para o cálculo da Pegada Hídrica do óleo de soja, a soja transportada de outros estados para o Paraná foi considerada como importação. Para consideração da soja importada de outros estados, foi adotada a proporção de 60% de soja oriunda do Mato Grosso, 35% do Paraná e 5% de São Paulo, conforme informações fornecidas indústria.

Devido à ausência de dados de Pegada Hídrica para transporte rodoviário no Brasil, foi utilizado o resultado encontrado por Gerbens-Leenes e Hoekstra (2010) para transporte rodoviário nos Estados Unidos da América, equivalente a 261 litros por tonelada de material transportado por quilômetro. Os valores das Pegadas Hídricas do transporte da soja estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Pegada Hídrica Total do transporte rodoviário da soja para Araucária - Paraná.

Local de Origem	Distância Média (Km)	Pegada Hídrica m ³ /(t.km)	Pegada Hídrica Total do Transporte da Soja (m ³ /t)
Mato Grosso	1723	0.261	449.7
São Paulo	497		129.7
Maringá (PR)	422		110.1

Para este estudo foi adotada a Pegada Hídrica da soja cultivada na região de Maringá, como sendo a mesma da soja cultivada nos estados de Mato Grosso e São Paulo. Resultando no valor de Pegada Hídrica do óleo de soja de 6 201 m³/t.

3.4. Cálculos de fluxos de Água Virtual

A partir da determinação de valores de Pegada Hídrica pode ser realizado o cálculo dos fluxos de Água Virtual importada e exportada entre regiões. Os fluxos de Água Virtual foram calculados através da metodologia recomendada por Hoekstra e Hung (2003), conforme equações (13), (14) e (15):

$$AV_E = E \times PH_i \quad (13)$$

Onde:

AV_E = Água Virtual exportada (m³);
 E = Quantidade exportada do produto (t);
 PH_i = Pegada Hídrica de um determinado produto (m³/t).

$$AV_I = I \times PH_i \quad (14)$$

Onde:

AV_I = Água Virtual importada (m³);
 I = Quantidade importada do produto (t);
 PH_i = Pegada Hídrica de um determinado produto (m³/t).

Para obter o fluxo de Água Virtual, deve-se subtrair os

valores de Água Virtual exportada (AV_E) dos valores de Água Virtual importada (AV_I), conforme equação (15):

$$FLUXO_{AV} = AV_E - AV_I \quad (15)$$

Onde:

AV_E = Água Virtual exportada (m³);
 AV_I = Água Virtual importada (m³);
 $FLUXO_{AV}$ = Fluxo de Água Virtual (m³).

Foram utilizados dados da exportação brasileira da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2013), com valores de médias de exportações e importações no período dos anos de 2009 a 2012.

Para a estimativa de fluxos de Água Virtual entre o Brasil e demais países foram utilizadas, por simplificação, as Pegadas Hídricas da soja cultivada na região de Maringá e a do óleo de soja produzido na região de Araucária.

A partir dos resultados obtidos de fluxo de Água Virtual da soja e do óleo de soja produzidos no Brasil, foram desenvolvidos os mapas apresentados na Figura 4.

Os valores totais de fluxos de Água Virtual da soja e óleo de soja estão apresentados na Tabela 2. A partir dos resultados demonstrados na Tabela 2 pode ser observado que os fluxos de Água Virtual da soja e óleo de soja resultaram em valores positivos, significando que as exportações de ambos os produtos são superiores as importações. Em adição, o fluxo de Água Virtual da produção de soja e óleo de soja com origem brasileira transporta (importa e exporta) cerca de 80 bilhões de metros cúbicos de Água Virtual por ano.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos no Estudo de Caso, para a estimativa de Pegada Hídrica da cultura de soja na região de Maringá (sul do Brasil), e do óleo de soja industrializado em Araucária na Região Metropolitana de Curitiba (sul do Brasil), constatou-se que os valores encontrados são coerentes com os valores da literatura. E apesar da relativa baixa disponibilidade de dados relacionados ao uso da água levar à utilização de alguns valores sugeridos pela literatura, foi possível obter informações relevantes para o estudo mostrando a viabilidade da aplicação dos conceitos propostos.

De maneira que, a metodologia utilizada foi considerada eficiente, com resultados confiáveis e que mesmo com diferenças culturais e climáticas, os resultados obtidos são próximos aos encontrados por outros autores em outros países.

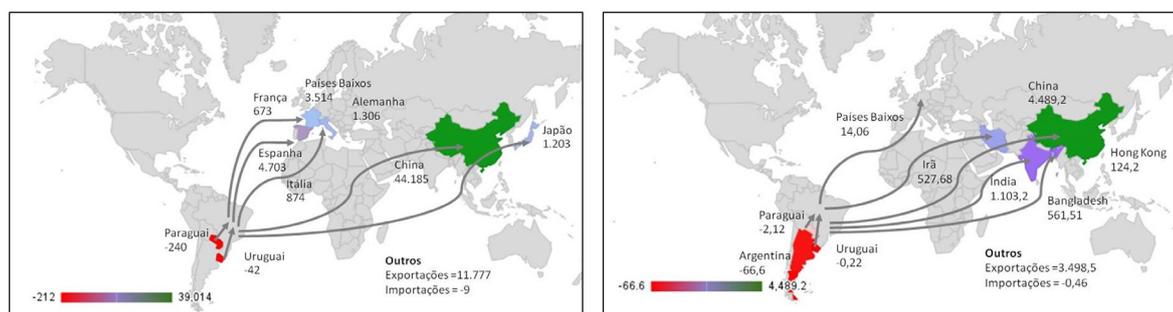


Figura 4 - Mapa dos fluxos de Água Virtual da soja (esquerda) e óleo de soja (direita) produzidos no Brasil (em milhões de m³).

Tabela 2 – Resumo dos fluxos de Água Virtual da soja e óleo de soja produzidos pelo Brasil.

	Exportações (t)	Importações (t)	AVE [10 ⁶ m³]	AVI [10 ⁶ m³]	FLUXOAV [10 ⁶ m³]
Soja	30 884 460	131 549	68 236	291	67 945
Óleo de Soja	1 663 992	11 205	10 318	69,5	10 249

A ferramenta Pegada Hídrica mostrou-se ampla na determinação de consumo de água por incluir volumes de utilização referentes à precipitação, consumo de água doce e poluição. Além de ser de fácil utilização e entendimento, pois os cálculos de Pegada Hídrica e Água Virtual são simples, sem muita dificuldade para serem realizados, tornando a utilização deste conceito muito potencial como indicador para tomadas de decisão na gestão brasileira de recursos hídricos.

Por fim, com relação à análise do fluxo de Água Virtual, os resultados mostraram que a quantidade de água exportada pelo Brasil através dos produtos soja e óleo de soja é substancial. De maneira que, devem ser realizados outros estudos a fim de mensurar a amplitude da água exportada através de outros produtos com altos índices de exportação, como milho, arroz, carne bovina, dentre outros.

Os benefícios da aplicação destes conceitos na gestão hídrica brasileira se referem à atualização do Brasil com novos conceitos de gestão hídrica. Bem como, a consideração de um aspecto desprezado até o momento (água incorporada nos bens de consumo) e que tem se mostrado de grande valia e com valores significativos para não serem considerados.

Através da análise destes conceitos e ferramentas

poderá ser identificado até que ponto o uso da água visando à produção e desenvolvimento econômico pode afetar a manutenção dos recursos hídricos em uma dada região.

BIBLIOGRAFIA

ABIOVE (2013) - Estatística Mensal do Complexo Soja - Janeiro de 2013. São Paulo. Disponível em: <http://www.abiove.com.br> (Acesso em Agosto de 2014).

ALLAN, J. A. (2011) - Virtual Water: Tackling the threat to our planet's most precious resource. Ed. I.B.Tauris. Nova York, NY. 368 p.

ANA (2009) - Manual de Procedimentos Técnicos e administrativos de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas. Brasília-DF.

ARENA, A. P., PIASTRELLINI, R. e CIVIT, B. (2011) - Water Footprint of soybean production in Argentina. *Life Cycle Management Conference*, Berlim, Alemanha.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> (Acesso em Agosto de 2014).

- CARMO, R. L., OJIMA, A. L. R. O., OJIMA, R., NASCIMENTO, T. T. (2007) - Água Virtual, escassez e gestão: o Brasil como grande exportador de água. *Ambiente & Sociedade*, v. X, n. 1, p. 83-96.
- CHAPAGAIN, A. K., HOEKSTRA, A. Y., SAVENIJE, H. H. G., GAUTAM, R. (2006) - The Water Footprint of cotton consumption- An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics*, v.60, n. 1, p. 186-203.
- CHECCHET, J. (2007). Avaliação do Desempenho de Flotação por Ar Dissolvido no Tratamento de Efluente de Refinaria de Óleo de Soja. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, p. 122.
- CONAB. Conab 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1044&t=1>. [Acesso em Agosto de 2014].
- EMBRAPA SOJA (2000) - Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil. Embrapa Soja. - Londrina: Embrapa Soja/Fundação MT.
- ERCIN, A. E., HOEKSTRA, A. Y. (2012) - Carbon and Water Footprints: Concepts, methodologies and policy responses. Unitec Nations World Water Assesment Programme, *Side Publications Series* n.4, UNESCO, Paris.
- FENDRICH, R. (2003) - Chuva e Produtividade da Soja na Fazenda Experimental Gralha Azul da PUCPR. *Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais*, Curitiba, v.1, n.2, p. 37-46, abr./jun.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. CROPWAT 8.0 model, Food and Agriculture Organization. Roma, Itália, 2010. Disponível em: www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html. [Acesso em Agosto de 2014].
- GERBENS-LEENES, P.W. AND HOEKSTRA, A. Y. (2010) - Burning water: The water footprint of biofuel-based transport, *Value of Water Research Report Series* n.44, UNESCO-IHE.
- GIACOMIN, G. S. e OHNUMA. (2012) - Análise de Resultados de Pegada Hídrica por Países e Produtos Específicos. *Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, p. 1562-1572.
- HOEKSTRA, A. Y., CHAPAGAIN, A. K. (2007) - Water Footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management* 21 (1), p. 35-48.
- HOEKSTRA, A. Y., CHAPAGAIN, A. K., ALDAYA, M. M., MEKONNEN, M. M. (2009) - Water Footprint Manual: State of the Art. *Water Footprint Network, Enschede*, The Netherlands.
- HOEKSTRA, A. Y., CHAPAGAIN, A. K., ALDAYA, M. M. AND MEKONNEN, M. M. (2011) - The Water Footprint assessment manual: Setting the global standard, *Earthscan*, London, UK.
- HOEKSTRA, A. Y., HUNG, P. Q. (2002) - 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, UNESCO-IHE, Delft, Holanda.
- HOEKSTRA, A. Y., HUNG, P. Q. (2003) - Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Virtual water trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual water Trade. *Value of Water Research Report Series*, v. 12. IHE, Delft, Holanda.
- IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Médias Históricas na Estação de Londrina. Disponível em: http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Londrina.htm. [Acesso em Agosto de 2014].
- MULLER, G. T. (2012) - Emprego da Pegada Hídrica e da Análise de Ciclo de Vida para a Avaliação do Uso da Água na Cadeia Produtiva do Biodiesel de Soja. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p.188.
- OLIVATTO, L. M. (2009) - Análise da eficiência de Estação de Tratamento de Efluentes em indústria de extração de óleo de soja e proposições de novas metodologias de análises e tratamentos. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de São Carlos, Sorocaba.
- SIMEPAR – SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ. Série Histórica de dados climáticos da Estação Climatológica de Maringá (PR), 1998 a 2013.
- UNEP/SETAC (2009) - Life Cycle Management: How business uses it to decrease footprint, create opportunities and make value chains more sustainable.
- VON SPERLING, M.; BASTOS, R. K. X.; KATO, M. T. (2005) - Removal of E.coli and helminth eggs in UASB – polishing pond systems. *Water Science and Technology*, v. 51, n. 12. p. 91-97.
- WICHELNS, D. (2010) - Virtual Water: A Helpful Perspective but not a Sufficient Policy Criterion. *Water Resource Management*, v. 24, p. 2203-2219.