



ANAIS

ELABORAÇÃO DE UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA A AVALIAÇÃO DA PEGADA HÍDRICA NA CADEIA PRODUTIVA DE AVES DE SANTA CATARINA, BRASIL

OSWALDO PARIZOTTO NETO

oswaldospn@aol.com

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

PAULO VITOR GONÇALVES

santos-paulo@live.com

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

LÍDIA TIGGEMANN PRANDO

liditiggemann@gmail.com

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

FABRICIA DA ROSA

fabriciasrosa@hotmail.com

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

RESUMO: O Estado de Santa Catarina depende ativamente do uso da água para o desenvolvimento das atividades industriais e domésticas. Nesse contexto, a cadeia produtiva de criação de aves de corte é uma das principais fontes de uso do recurso hídrico estadual. Assim, o objetivo do trabalho é propor uma metodologia para calcular a Pegada Hídrica (PH) na indústria da cadeia produtiva de aves de Santa Catarina. O termo PH é definido como um indicador multidimensional do uso direto e indireto da água, pois é capaz de mostrar o volume de consumo de água por fonte e indicar o volume poluído por tipo de poluição. A metodologia deste artigo destaca a forma de se calcular o PH do processo de criação animal, como as aves de corte abordadas neste estudo. O PH do processo de criação animal consiste no somatório de três componentes base: a PH indireta referente a alimentação, a PH direta relacionada ao processo de hidratação e a água utilizada para serviços que é consumida. Como resultado, elaborou-se um método adaptado para considerar o cenário da cadeia produtiva de aves de Santa Catarina, onde consolidou-se a abordagem tradicional para a obtenção do PH da criação de animais condicionada com o PH da Indústria de processamento de aves abatidas. A elaboração dessa nova abordagem permite que seja estimado a PH da cadeia produtiva das aves de maneira mais coesa com a realidade do Estado de Santa Catarina e pode subsidiar a construção de uma abordagem NEXUS Energia-Água-Alimento nessa cadeia produtiva e reduzir os custos de produção, uma vez que torna todos os elos mais eficientes quanto ao consumo hídrico. Essa abordagem visa atender o desenvolvimento de novas estratégias de gestão para a cadeia produtiva de aves, buscando lidar melhor com a forma como seus elos dialogam com os recursos hídricos cada vez mais escassos e onerosos.

PALAVRAS CHAVE: Pegada hídrica, gestão de recursos hídricos, aves de corte

ABSTRACT: The State of Santa Catarina actively depends on the use of water for the development of industrial and domestic activities. In this context, the productive chain of broiler chicken breeding is one of the main sources of use of the state's water resources. Thus, the objective of this work is to propose a methodology for calculating the Water Footprint (WF) in the broiler chicken productive chain industry in Santa Catarina. The WF term is defined as a multidimensional indicator of direct and indirect water use, as it is capable of showing the volume of water consumption per source and indicating the volume polluted by type of pollution. The methodology of this article highlights how to calculate the WF of the animal breeding process, such as broiler chickens addressed in this study. The WF of the animal breeding process consists of the sum of three base components: indirect WF referring to feeding, direct WF related to hydration process and water used for services that are consumed. As a result, an adapted method was developed to consider the scenario of Santa Catarina's broiler chicken productive chain, where the traditional approach for obtaining animal breeding WF was consolidated with that of the WF from the industry processing slaughtered chickens. The development of this new

approach allows for a more cohesive estimation of WF in the productive chain of birds with Santa Catarina's reality and can support the construction of an Energy-Water-Food NEXUS approach in this productive chain and reduce production costs, as it makes all links more efficient regarding water consumption. This approach aims to meet the development of new management strategies for bird production chains, seeking to better deal with how their links interact with increasingly scarce and costly water resources.

KEY WORDS: Water footprint, water resources management, broiler chicken breeding

ANAIS

1. INTRODUÇÃO

O estado de Santa Catarina depende ativamente do uso da água consultivo e não consultivo, seja para o desenvolvimento das atividades industriais ou para atividades domésticas necessárias para a sustentação das áreas urbanas e rurais. Nessa perspectiva, o PERH-SC (2018) considera as seguintes atividades como as principais fontes de uso do recurso hídrico do Estado: energia hidrelétrica; aquicultura; mineração; abastecimento humano; navegação e recreação; uso industrial; irrigação; e criação animal. Com relação a criação animal, a criação de aves de corte; no Estado de Santa Catarina, no ano de 2021, foram abatidas 741.902.433 aves, envolvendo mais de 5.000 avicultores.

Nesse contexto, a água do Estado de Santa Catarina deve ser vista como um bem único e insubstituível e que precisa ser mensurado como estratégia de controle de qualidade e quantidade. A água é indispensável para o processo produtivo, assim associa-se com o produto final, uma vez que participa de toda as etapas (insumos agrícolas, industrialização e serviços) de sua produção e pode ser denominada de “água virtual”. Esse conceito será abordado no próximo tópico.

A água utilizada no processo de produção de produto agrícola ou industrial é denominada de “água virtual” contida neste produto (LIU *et al.*, 2019). O termo surge como uma forma de estabelecer ferramentas capazes de mensurar a água que circula intrínseca aos produtos, considerando que quando um país comercializa um produto que utilizou a água como recurso intensivo, ele está exportando água de maneira virtual e vice-versa, evidenciando a comercialização da água com outra perspectiva (HOEKSTRA, 2017).

Esse conceito tem sido amplamente discutido na literatura desde a década de 1990 (ALLAN; 1998; HOEKSTRA, 2003). Mais precisamente, “água virtual” pode ser definida por duas abordagens distintas. Uma é estabelecida pelo ponto de vista da produção e a outra do ponto de vista do consumo (HOEKSTRA, 2017). A primeira abordagem quantifica a água virtual como a “água real” usada para o processo de produção das commodities. É específico do local de produção, pois depende das condições de produção, incluindo local e horário de produção e eficiência local do uso da água.

Na segunda abordagem, o teor de água virtual é definido como a quantidade de água que seria necessária para produzir o produto no local onde o produto é utilizado. Consequentemente é específico do local de consumo. Essa segunda abordagem é particularmente útil considerando a quantidade de água possível de se economizar ao importar uma mercadoria em vez de produzir no país (HOEKSTRA, 2017). Nesse projeto, utilizou-se a primeira abordagem de água virtual por haver uma base empírica coesa e possibilitar o entendimento satisfatório da relação do consumo de água no processo produtivo de aves para abate abordado.

Ressalta-se a importância desse conceito para a criação de aves no Estado de Santa Catarina. Uma vez que a cadeia produtiva deste tipo de cultura animal depende da importação de grãos para a elaboração da ração. Hoekstra (2017) destaca que para a produção de um quilo de grãos – matéria prima base para a produção da ração das aves –, cultivado em locais com boas condições climáticas e irrigado majoritariamente por chuvas (como no caso do Brasil), é necessário de um a dois metros cúbicos de água, que equivale de 1000 kg a 2000 kg. Essa



ANAIS

estimativa enfatiza que a pecuária e os produtos pecuários são mais intensivos em água, e podem conter entre 5 a 20 vezes mais água virtual por quilograma do que em outros tipos de produtos (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2003).

Com isto evidencia-se a importância do aspecto da água virtual para o contexto da criação de aves em Santa Catarina e a necessidade de se contemplar os diferentes vieses que consolidam essa cadeia produtiva no Estado. Assim, o objetivo do trabalho é propor uma metodologia para calcular a pegada hídrica na indústria da cadeia produtiva de aves de Santa Catarina. O termo Pegada Hídrica (PH) surge a partir do conceito de “água virtual” e será discutido de maneira aprofundada na Seção 2 deste trabalho.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1. Pegada Hídrica

Neste tópico serão apresentados os aspectos gerais e a definição do conceito de pegada hídrica (PH). Para isto, é necessário destacar que a água é um recurso finito e vulnerável, essencial para sustentar a vida, o desenvolvimento e o meio ambiente (HOGEBOOM, 2020). E essa dependência se estende para as cadeias produtivas, onde o uso da água é considerado fundamental, sendo este recurso global utilizado como matéria-prima chave para a produção de bens e serviços (CORTE; PORTANOVA, 2014).

Considerando que a exploração da água como recurso pelo processo produtivo exerce uma pressão cada vez maior na sua disponibilidade e conduz o cenário atual para um estado de escassez generalizada de água potável, da sua poluição e do seu esgotamento (HOGEBOOM, 2020), é importante a busca por metodologias indicativas de uso sustentável dos recursos hídricos a fim de auxiliar no planejamento e orientar as tomadas de decisão sobre a utilização da água nas cadeias produtivas (FERREIRA et al., 2020). Nesse contexto, Hoekstra (2003) introduziu o conceito de “pegada hídrica” como um indicador multidimensional do uso direto e indireto da água, pois é capaz de mostrar o volume de consumo de água por fonte e indicar o volume poluído por tipo de poluição.

Destaca-se que o termo supracitado é derivado do conceito de “água virtual”, o qual se refere a quantidade de água necessária para a produção de bens que são comercializados entre países (ALLAN, 1998). Logo, quando um país comercializa um produto que utilizou a água como recurso intensivo, ele está exportando água de forma virtual e vice-versa, evidenciando a comercialização de água em uma perspectiva diferente, capaz de expressar um instrumento de mensuração de segurança hídrica e uso eficiente da água (HOEKSTRA, 2003).

Essa perspectiva de mensuração, além de fomentar o conceito de PH, estabelece uma analogia ao já consolidado instrumento denominado de “Pegada Ecológica”, onde, de acordo com Matustik e Kocí (2021), é considerado o primeiro indicador do gênero “pegada”. No entanto, diferentemente da pegada ecológica, cuja extensão é expressa em hectares, a PH é medida por volume de água doce consumida e a avaliação da sua sustentabilidade varia conforme os fatores locais de onde está sendo aplicada (SILVA et al., 2013).

Para Hogeboom (2020), a PH indica o consumo de água vinculado a uma atividade humana beneficiária. E este fator intrínseco a esta metodologia a torna diferente dos



ANAIS

indicadores tradicionais, os quais consideram e relatam o uso da água, como captação, normalmente como valores brutos de volume retirados de um corpo hídrico. O autor destaca que para a PH, o consumo hídrico refere-se à água que é “perdida” do sistema, e que, portanto, não pode ser usada para outros fins naquele momento e local específico. Em outras palavras, esse conceito indica a apropriação da água de maneira específica no tempo e no local, colidindo com a definição de água virtual, apresentada anteriormente.

Destaca-se ainda que o conceito de PH é fundamentado em quatro principais pensamentos (HOEKSTRA, 2017). O primeiro reside na ideia de a água potável é um recurso global, uma vez que pessoas em um lugar podem e fazem o uso indireto dos recursos hídricos com a comercialização de bens e produtos, e este pensamento se associa diretamente com o conceito de comercialização da água de forma virtual apresentado anteriormente (HOEKSTRA, 2003; ALLAN, 1998). Esse pensamento também se relaciona com o fato de que a água vista como um recurso carece de incentivos para o seu uso sustentável, devido aos padrões de consumo insustentáveis e a forma como está alocada geograficamente (HOEKSTRA, 2017). A segunda ideia base do conceito de PH pauta-se na questão de a água doce apresentar taxas de renovação limitadas, exigindo que sejam estudados os padrões de consumo, produção e comércio para, assim, entender a “pegada” do consumo humano e suprir essa limitação planetária (HOEKSTRA, 2017).

O terceiro pensamento essencial para a construção de PH incide em que para entender o uso dos recursos naturais e os impactos do consumo, é necessário pensar em termos de cadeia de produtivas e ciclo de vida dos produtos (HOEKSTRA, 2017). Nota-se, que esse aspecto que norteia a PH alinhasse diretamente com a perspectiva do projeto, uma vez que o escopo deste trabalho evidencia a necessidade de se entender o uso dos recursos hídricos para poder avaliar da cadeia produtiva de frangos de corte no intuito de estabelecer a sustentabilidade ambiental na mesma.

O quarto aspecto que idealiza o conceito consiste em que numa abordagem abrangente que trata sobre o uso da água potável e a sua escassez, deve-se considerar o consumo de água verde e azul (HOEKSTRA, 2003), bem como a poluição da água denominada de água cinza. Para Hoekstra *et al.* (2017), essas classificações dão origem a três componentes da Pegada Hídrica: a pegada hídrica verde, a pegada hídrica azul e a pegada hídrica cinza. Assim, o autor detalha que a PH azul consiste no consumo de água superficial e subterrânea ao longo da cadeia de suprimentos de um produto por meio da evaporação da água, da sua incorporação ao produto, do seu não retorno à área de captação ou o não retorno no mesmo período. Silva *et al.* (2013) define que a PH verde se volta ao volume de água proveniente das precipitações e consumida no decorrer do processo de produção. Por fim, Mekonnen e Hoekstra (2012) informam que a PH cinza está relacionada ao volume de água doce necessária para assimilar os nutrientes e pesticidas decorrentes da lixiviação e escoamento da cultura que alcançam a água superficial e subterrânea, tendo como parâmetro nas normas de qualidade de água existentes.

Portanto, de acordo com Hogeboom (2020), a PH mensura tanto a apropriação da água como um recurso natural (através da PH verde e azul) quanto como um método para assimilar as perdas e efluentes (através da PH cinza). Desta forma, o método é capaz de unificar os aspectos de qualidade e quantidade de água em um único indicador. A Figura 1, adaptada de

ANAIS

Hoekstra et al. (2003), ilustra detalhadamente a relação destes componentes com o conceito de PH, associando-os com o uso direto e indireto de água.

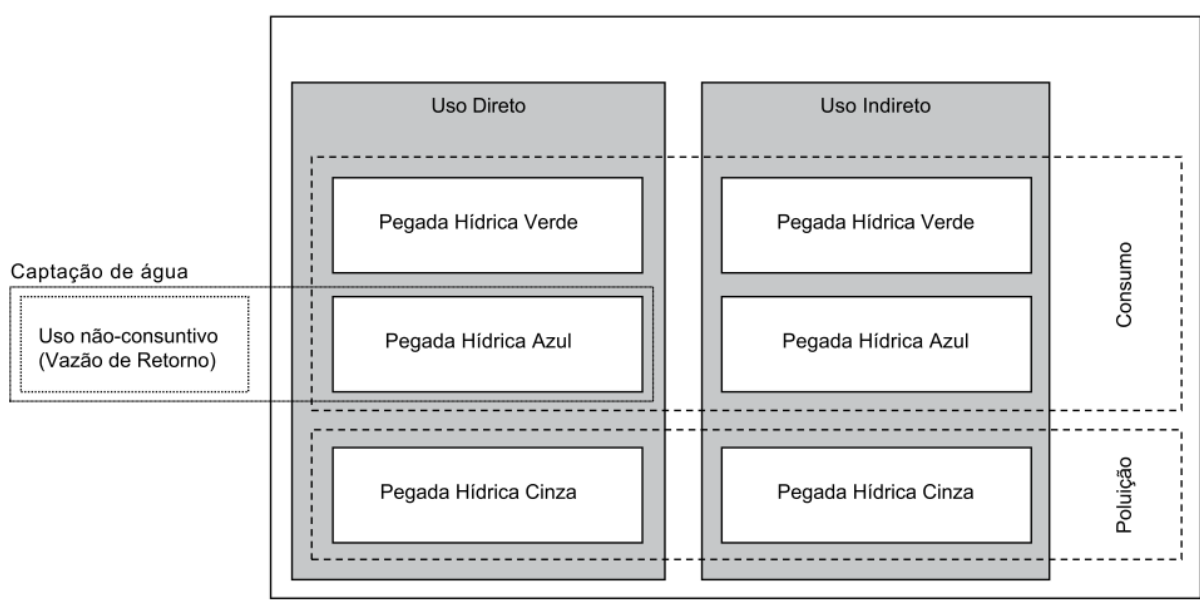


Figura 1. Representação esquemática dos componentes da Pegada Hídrica. Fonte: Hoekstra et al. (2003).

Hoekstra et al. (2003) acrescenta ainda que a avaliação da PH consiste de quatro etapas (Figura 2). A Etapa 1 define objetivos e escopo do estudo, enquanto a Etapa 2 contabiliza a PH. A Etapa 3 constitui a análise de sustentabilidade, e se o PH não for sustentável, então a Etapa 4 serve para propor medidas a fim de alcançar a sustentabilidade.

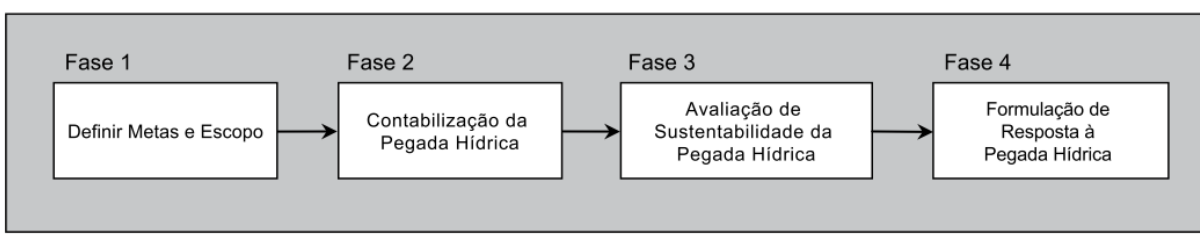


Figura 2. Representação das quatro fases presentes na avaliação da PH. Fonte: Hoekstra et al. (2003).

A Etapa 1 busca relatar uma questão de transparência e clareza para o método, em que é preciso estabelecer a lógica para o desenvolvimento da avaliação e definir seus limites. Como resultado desta etapa, almeja-se definir de maneira preliminar as decisões a serem tomadas durante o estudo, assim como as suposições. Na Etapa 2, os dados são coletados e a quantificação é desenvolvida, onde o nível de detalhamento desta fase é dependente das decisões tomadas na anterior. Por seguida, na Etapa 3, os resultados da PH são avaliados sob o ponto de vista da sustentabilidade ambiental. Por fim, na Etapa 4, com base nos resultados



ANAIS

obtidos anteriormente, são propostas as estratégias ou políticas de resposta para melhorar a gestão dos recursos hídricos.

Por fim, Hoestra et al. (2003) enfatiza que este modelo com as quatro etapas para avaliação da PH deve ser visto como um guia ideal, permitindo que sejam feitas alterações conforme a problemática enfrentada. Onde é permitido a iteração e retorno entre as etapas para elaboração da avaliação sempre que necessário. Isso permite que seja feita uma exploração mais aproximada de cada fase, a fim de identificar pontos críticos e prioridades dentro do sistema construído para aplicação do método. Logo, a utilização da PH viabiliza a avaliação da sustentabilidade com base nos recursos hídricos de maneira intrínseca e com uma perspectiva ampla do objeto a ser estudado, uma vez que constrói um sistema capaz de ser constantemente atualizado conforme dito anteriormente.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

De acordo com Chapagain e Hoekstra (2003), a PH do processo de criação de um animal, como as aves de corte abordadas neste estudo, considera o teor de água virtual ao final de sua vida útil e pode ser definida como o volume de água utilizado para cultivar e processar sua alimentação, para prover água potável para sua dessedentação e para limpar seu alojamento e afins. Assim, a PH de um animal vivo consiste de três componentes: a PH indireta referente a alimentação, a PH direta relacionada ao processo de hidratação e a água utilizada para serviços que é consumida (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2012). A PH de um animal vivo pode ser expressa como:

$$PH_{[a,c,s]} = PH_{feed}[a, c, s] + PH_{drink}[a, c, s] + PH_{serv}[a, c, s]$$

Onde $PH_{feed}[a, c, s]$, $PH_{drink}[a, c, s]$ e $PH_{serv}[a, c, s]$ representam a pegada hídrica de um animal para a categoria animal "a" no país "c" nos sistemas de produção "s" relacionados ao consumo de ração, água potável e água de serviço, respectivamente. Água de serviço refere-se à água utilizada para limpar o local onde o animal fica instalado, lava-lo e realizar outros serviços necessários à manutenção do ambiente. A PH de um animal e seus três componentes podem ser expressa em termos de $m^3/ano/animal$, ou quando, somada ao longo da vida do animal, em termos de $m^3/animal$ (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2003).

Segundo os autores do método (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2003), no caso das aves de corte, que é um tipo de animal que precisa ser abatido para prover o seu produto final, é indicado que a pegada hídrica deste animal seja avaliada ao fim de sua vida útil, devido ser esse total que será alocado aos diversos produtos. Desta forma é possível delimitar a PH das aves de corte para o cenário específico do estudo, considerando estes aspectos. Para ilustrar os componentes desse tipo de PH, apresenta-se a Figura 3 abaixo.

ANAIS

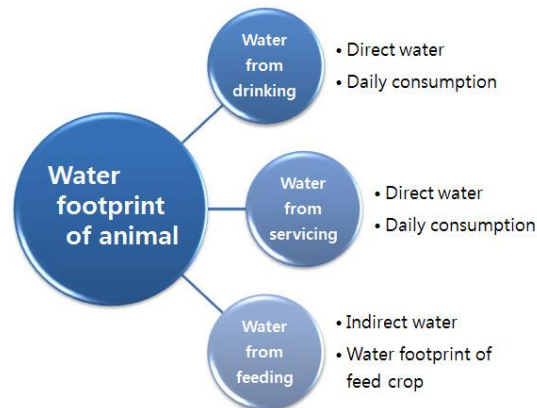


Figura 3. Componentes da Pegada Hídrica de um animal
Fonte: Lee et al. (2015).

Considerando tais componentes, entende-se que o cálculo da PH das aves relacionada à ração consumida consiste de duas partes: a pegada hídrica dos vários ingredientes da ração e a água utilizada para misturar a ração que será disponibilizada para as aves. Logo, é possível expressar o $PH_{feed}[a, c, s]$ com a seguinte equação:

$$PH_{feed}[a, c, s] = \frac{\sum_{p=1}^n (Feed[a, c, s, p] \times PH_{prod}^*[p]) + PH_{mixing}[a, c, s]}{Pop^*[a, c, s]}$$

Em que $Feed[a, c, s, p]$ representa a quantidade anual do ingrediente da ração p consumido pelo animal da categoria a no país abordado c no sistema de produção s (ton/ano), $PH_{prod}^*[p]$ indica a pegada hídrica do ingrediente da ração p (m^3/ton), $PH_{mixing}[a, c, s]$ o volume de água consumida para misturar a ração para o animal da categoria a no país abordado c no sistema de produção s ($m^3/ano/animal$) e a variável $Pop^*[a, c, s]$ considera o número de animais abatidos por ano no caso das aves.

Para Hoekstra (2017), a maior parcela da pegada hídrica dos produtos de origem animal é atribuída à produção de ração animal. Mekonnen e Hoekstra (2012) constataram que a produção de ração animal responde por 98% da pegada hídrica dos produtos de origem animal. No entanto, a composição da ração tem um impacto marcante na contribuição da ração animal para a pegada hídrica total dos produtos de origem animal. Assim, é necessário calcular a pegada hídrica desses ingredientes que fazem parte da elaboração da ração.

Nesse contexto, Hoekstra e Chapagain (2003) e Hoekstra et al. (2017) elaboraram uma metodologia para calcular a pegada hídrica de diferentes culturas, forragens e subprodutos das culturas que são consumidos pelos animais na agropecuária. De acordo com o método citado anteriormente, a pegada hídrica do ingrediente da ração p pode ser calculado da seguinte forma:

$$PH_{prod}^*[p] = \frac{P[p] \times PH_{prod}[p] + \sum_{n_e} T_i[n_e, p] \times PH_{prod}[n_e, p]}{P[p] + \sum_{n_e} T_i[n_e, p]}$$

ANAIS

$P[p]$ é a quantidade de ração produzida em um país por ano e é expressa em toneladas/ano. $T_i[n_e, p]$ é a quantidade de ração p que é importada de um país exportador n_e e é expressa em toneladas/ano. $PH_{prod}[p]$ é a pegada hídrica da ração p quando é produzido no país em análise e é expresso em termos de m^3 /tonelada. $PH_{prod}[n_e, p]$ é a pegada hídrica da ração p quando é produzida no país exportador n_e e pode ser expressada em termos de m^3 /tonelada. Esse fator deve considerar a PH base dos principais insumos para a produção de ração, sendo no caso do Brasil, utilizado principalmente o milho e a soja para a fabricação de ração das aves. Desta forma, serão considerados as pegadas hídricas verde, azul e cinza dessas culturas. Os estudos de Nkhua, Jordaan e Matthews (2019), Mekonnen e Hoekstra (2010) aprofundam sobre esses aspectos das culturas que servem de insumo para a produção de ração de aves e como elas corroboram para o cálculo de PH da produção de aves.

A quantidade e a composição dos alimentos consumidos dependem do tipo de animal e do sistema de produção, bem como do país em que ocorre a produção. As diferenças nas práticas climáticas e agrícolas entre os diferentes países fazem com que a pegada hídrica das culturas forrageiras seja diferente de um país para outro (NKHUOA; JORDAAN; MATTHEWS, 2019; MEKONNEN; HOEKSTRA, 2012). A alimentação total consumida por um determinado animal seguindo um sistema de produção em um país pode ser calculada da seguinte forma:

$$Feed[a, c, s] = FCE[a, c, s] \times P[a, c, s]$$

$Feed[a, c, s]$ representa a quantidade total de ração consumida por um animal (tonelada/ano). FCE é a eficiência de conversão alimentar do animal (kg de massa seca de ração/kg de produto). $P[a, c, s]$ é a quantidade total de produto produzido por um animal, por exemplo, carne produzida por frangos de corte. O termo “eficiência de conversão alimentar” é usado para descrever a quantidade de ração que um animal deve consumir para produzir uma unidade de produto (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2010). Uma baixa taxa de FCE sugere que um animal é um usuário eficiente de alimentos.

$PH_{mixing}[a, c, s]$ representa o volume de água utilizado para misturar os componentes da ração animal pode ser estimado em aproximadamente 50% do volume de ração consumida pelo animal (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2012). Assim, $PH_{mixing}[a, c, s]$ pode ser expressa como:

$$PH_{mixing}[a, c, s] = 50\% \times Feed[a, c, s]$$

Em que, PH_{mixing} é a pegada hídrica para a mistura da ração (m^3 /ano/animal). A PH_{mixing} para a mistura alimentar total, expressa como PH_{mixing}^T (m^3 /animal) é calculado multiplicando PH_{mixing} para cada animal (m^3 /ano/animal) pela idade de abate do animal correspondente (em anos) de acordo com Mourad, Jaafar e Dagher (2019).

Para o cálculo de $PH_{drink}[a, c, s]$ e $PH_{serv}[a, c, s]$ podem ser calculados de acordo com a metodologia elaborada por Mekonnen e Hoekstra (2012) e adaptada por Nkhua, Jordaan e Matthews (2019). Os autores citados anteriormente também avaliaram a produção



ANAIS

de aves e apresentaram a forma de se considerar o volume de água ingerida pelas aves e a quantidade de água requerida para os serviços de manutenção do processo produtivo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos últimos anos, a produção de carne de aves brasileira cresceu 112% (ABPA, 2022). De acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal (2022), no ano de 2021, registrou-se uma produção de 14 milhões de toneladas de carne de aves, valor superior em 20% ao de 2018 (ABPA, 2022). Essa produção representa um valor bruto de 108 milhões de reais (ABPA, 2022). Sendo subsidiada por um rebanho estimado em 1,5 bilhão de cabeças de galináceos para o ano de 2021 (IBGE, 2022), com uma capacidade de alojamento em matriz de corte registrada em 55 milhões de cabeças de aves para o mesmo ano (ABPA, 2022). Além disso, a quantidade de aves produzidas tem como principal comprador o mercado interno, responsável por consumir, no ano de 2021, uma parcela de 68% da quantidade total de carne de aves de corte do cenário nacional. Esse número elevado é impulsionado pelo consumo brasileiro per capita, o qual registrou 45 kg/habitante/ano (EMBRAPA, 2022).

Os 32% restantes, cerca de 4,6 milhões de toneladas, representam a quantidade exportada pelo Brasil (ABPA, 2022). Esses números indicam o Brasil como líder mundial de exportação aviária no ano de 2021 e colocam o país junto com os Estados Unidos, responsáveis por aproximadamente 70% do comércio global de aves, sendo, respectivamente, responsáveis por 41% de 29,9% (ABPA, 2022). A exportação brasileira apresentou ainda um faturamento de 7,6 milhões de dólares no ano de 2021, com crescimento de 20% com relação ao ano anterior (ABPA, 2022).

Nesse cenário de produção de aves, de acordo com dados da Embrapa, em 2021, o estado de Santa Catarina destacou-se como o segundo maior produtor nacional, sendo responsável por 14,89% da quantidade de carne de aves para abate produzida no Brasil (EMBRAPA, 2022). Este percentual representa cerca de 17 milhões de cabeças de frango (IBGE, 2021). O estado também se destacou no setor de exportação, sendo visto como o segundo maior exportador nacional com um total registrado em 22,95% da quantidade total vendida para o exterior (EMBRAPA, 2022).

Nota-se que a produção de aves apresenta custo médio de produção estimado em R\$ 5,65/kg no ano primeiro trimestre de 2022, este valor representa um aumento de 82,96% se comparado com o mesmo período em 2020 (EMBRAPA, 2022). Tal custo de produção está relacionado diretamente com o preço dos insumos utilizados para a fabricação da ração que serve de alimento para as aves. O milho, por exemplo, corresponde a cerca de 65% da composição da ração para aves, deste modo, pode ser considerado o elemento que mais onera o custo de produção das rações, onde as variações na sua disponibilidade e preço impactam positivamente na rentabilidade dos rebanhos de aves (ZANOTTO et al., 2016). De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria de Alimentos Animal (SINDIRAÇÕES), o consumo de ração pelo setor de produção de aves corresponde a maior demanda no Brasil, com valor estimado em 42,9 milhões de toneladas para o ano de 2022 (SINDIRAÇÕES, 2022). Enquanto que o valor do preço do grão de milho custa cerca de R\$ 82,50 por saca de 60 kg, indicando um aumento de 12% com relação ao ano de 2020 (SINDIRAÇÕES, 2022).



ANAIS

Isso demonstra a importância do setor para o estado e embasa a justificativa deste artigo para o desenvolvimento de uma metodologia que contemple as diferentes etapas do processo de cálculo de PH para cadeia de aves. Nesse contexto, elaborou-se uma adaptação da metodologia elaborada por Chapagain e Hoekstra (2003) para a mensuração da PH em processos de criação animal. Essa adaptação consiste em considerar o elo das indústrias de abate na cadeia de produção de abates de aves em Santa Catarina, onde devem ser contemplados – além dos aspectos principais do cálculo de pegada hídrica, os quais são PH_{feed} , PH_{drink} e PH_{serv} , que foram citados na metodologia deste trabalho – o cálculo de PH para esse processo industrial, elaborando assim um método direcionado e específico para essa cadeia produtiva no Estado.

Nesse contexto, considera-se que a PH para o produto obtido a partir da indústria de aves deve considerar a água virtual contida no processo de pecuária adicionado da água para processamento necessária na indústria (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2003). Assim, a água para processamento por tonelada de ave pode ser definida pela seguinte Equação:

$$APR_{[a,c]} = \frac{Q_{proc}[a,c]}{P_a[a,c]}$$

Onde, $APR_{[a,c]}$ é a água de processamento requerida por tonelada de animal a para a produção dos produtos primários da indústria abordada no país de origem c (m^3/ton). $Q_{proc}[a,c]$ é o volume de água requerida para o processamento em m^3 por animal a no país de origem c . O $P_a[a,c]$ considera o peso do animal a vivo no país de origem c .

Como mencionado anteriormente, o conteúdo de água virtual total do animal vivo ($PH_{[a,c,s]}$) e a água requerida para processamento ($APR_{[a,c]}$) devem ser atribuídas para os produtos da indústria por tonelada de animal vivo de maneira lógica. Para isso, os autores da metodologia (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2003) consideram a introdução de dois termos, “fração do produto” e “fração do valor”. A fração do produto $pf_{[p,c]}$ do produto p no país de origem c é definida pelo peso do produto obtido pela tonelada de animal vivo.

$$pf[c,p] = \frac{P_p[p,c]}{P_a[a,c]}$$

Em que $P_p[a,c]$ considera o peso do produto p obtido de um animal a no país de origem c . $P_a[a,c]$ é a mesma variável descrita anteriormente. No caso das aves para abate a fração do produto ($pf_{[p,c]}$) é menor que um, porque o produto é derivado de uma parte do animal utilizado no processo produtivo.

A fração de valor, $vf_{[p,c]}$, é a razão entre o preço de mercado de um produto obtido através do animal a com a soma do valor de mercado de todos produtos produzidos a partir do animal a .



ANAIS

$$vf_{[p,c]} = \left[\frac{v[p] \times pf[p,c]}{\sum(v[p] \times pf[p,c])} \right]$$

O denominador é totalizado sobre os produtos primários originários do animal *a*. A variável *v[p]* é o valor de mercado do produto *p* (R\$/ton). Conseqüentemente, a pegada hídrica (PH) do produto *p* determinada em m³/ton é estabelecida da seguinte forma:

$$PH_{p[p,c]} = (PH_{[a,c,s]} + APR_{[a,c]}) \times \frac{vf_{[p,c]}}{pf[c,p]}$$

E assim, determina-se a PH no elo que envolve a indústria da cadeia de produção das aves. Dessa forma, é possível estabelecer uma conexão entre as diferentes etapas da cadeia produtiva e obter um diagnóstico abrangente da relação dos produtos de aves e da indústria com os recursos hídricos do Estado de Santa Catarina. Portanto, como resultado, construiu-se um modelo que traduz melhor a dinâmica de utilização dos recursos hídricos para a cadeia produtiva de aves abordada. Este modelo pode ser descrito da seguinte forma:

$$PH_{[a,c,s]} = PH_{feed}[a, c, s] + PH_{drink}[a, c, s] + PH_{serv}[a, c, s] + PH_{p[p,c]}$$

Essa associação do método tradicional para mensuração do PH para a criação de animais permite que sejam investigados desde a fase de preparação da ração, passando pelo processo de dessedentação das aves e pelo processo de manutenção do ambiente para a criação das aves, além de viabilizar que sejam consolidados os dados de PH para o processo industrial de abate e venda de frangos já processados. Destaca-se que esse setor industrial é relevante para a Santa Catarina conforme supracitado anteriormente. Assim, diagnosticar o comportamento da cadeia com o seu consumo de água permite que novos níveis de sustentabilidade sejam alcançados, contemplando um aspecto relevante para a construção de um ambiente Nexus Energia-Água-Alimentos neste setor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por objetivo propor uma metodologia para calcular a pegada hídrica na indústria da cadeia produtiva de aves de Santa Catarina. Foram considerados os diferentes aspectos que norteiam o cálculo do índice de PH para a criação de animais. Ademais, como contribuição deste trabalho, foi proposta uma adaptação ao método elaborado por Hoekstra (2003), em que se considerou a inserção do critério de PH da Indústria no método para retratar melhor a realidade da cadeia de produção de aves do Estado de Santa Catarina.

Espera-se com a elaboração dessa abordagem, auxiliar todo o cenário de produção estadual de aves de Santa Catarina no contexto de sustentabilidade no uso da água. Logo, acredita-se que a abordagem possa ser utilizada para se conhecer e estimar o consumo hídrico do processo de elaboração da ração, de criação das aves e de industrialização e venda do produto final (frangos abatidos). Essa estimativa pode subsidiar a construção de uma



ANAIS

abordagem NEXUS Energia-Água-Alimento nessa cadeia produtiva e reduzir os custos de produção, uma vez que torna todos os elos mais eficientes quanto ao consumo hídrico, um fator preponderante para qualquer processo produtivo.

Essa abordagem visa atender o desenvolvimento de novas estratégias de gestão para a cadeia produtiva de aves, buscando lidar melhor com a forma como seus elos dialogam com os recursos hídricos cada vez mais escassos e onerosos. Como pesquisas futuras, indica-se a utilização do método proposto para a elaboração de softwares que viabilizem e facilitem a consulta direta em relação a PH com os produtores de ração, criadores de aves e o setor industrial.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLAN, J. A. Virtual Water: A Strategic Resource Global Solutions to Regional Deficits. **Ground Water**, v. 36, n. 4, p. 545–546, jul. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório Anual**. São Paulo: ABPA, 2022.

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. **Value of Water Research Report Series**, n. 13, 2003.

CORTE, T.; PORTANOVA, R. S. A (re)definição do direito à água no século XXI à ordem ambiental internacional. 2014. Disponível em: <http://www.publicadireito.com.br/artigos/?cod=7c09c2a7d351667d>. Acesso em 18 mar. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Embrapa Suínos e Aves**. Concórdia, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas>. Acesso em: 19 mar. 2023.

FERREIRA, F. N.; RIBEIRO, H. M. C.; BELTRÃO, N. E.; TERRAZAS, W. D. M. A pegada hídrica na agroindústria de palma no Estado do Pará. In: PONTES, A. N.; ROSÁRIO, A. S. (orgs.). **Ciências Ambientais: política, sociedade e economia da Amazônia**. Belém: EDUEPA, 2020. cap. 6. p. 98-110.

HOEKSTRA, A. Y. Water Footprint Assessment: Evolvement of a New Research Field. **Water Resources Management**, v. 31, n. 10, p. 3061–3081, ago. 2017.

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

HOGEBOM, R. J. The Water Footprint Concept and Water's Grand Environmental Challenges. **One Earth**, v. 2, n. 3, p. 218–222, mar. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Trimestral do Abate de Animais**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/>. Acesso em: 19 mar. 2023.

LEE, S.-H. et al. Estimation of Water Footprint for Livestock Products in Korea. **Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers**, v. 57, n. 2, p. 85–92, 2015.

LIU, W. et al. Savings and losses of global water resources in food-related virtual water trade. **WIREs Water**, v. 6, n. 1, jan. 2019.

VIII SIMPÓSIO EM GESTÃO DO AGRONEGÓCIO. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Erradicação da Pobreza e Agricultura Sustentável**, Jaboicabal-SP: 14 a 17 de junho de 2023.



ANAIS

MATUŠTÍK, J.; KOČÍ, V. What is a footprint? A conceptual analysis of environmental footprint indicators. **Journal of Cleaner Production**, v. 285, p. 124833, fev. 2021.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. **Ecosystems**, v. 15, n. 3, p. 401–415, abr. 2012.

MOURAD, R.; JAAFAR, H. H.; DAGHIR, N. New estimates of water footprint for animal products in fifteen countries of the Middle East and North Africa (2010–2016). **Water Resources and Industry**, v. 22, p. 100113, dez. 2019.

NKHUOA, P. G.; JORDAAN, H.; MATTHEWS, N. Case study of broilers produced from maize. In: JORDAAN, H. et al. Determining the water footprints of selected field and forage crops, and derived products in South Africa. **Bloemfontein**, 2019.

PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS-SC. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina**. 2018. Disponível em: <https://www.aguas.sc.gov.br/instrumentos/planoestadual-instrumentos>. Acesso em: 12 dez. 2022.

SILVA, V. de P. R. da *et al.* Pegada Hídrica: técnica de avaliação do uso consuntivo de água doce. In: SILVA, Bernardo Barbosa da (org.). **Aplicações ambientais brasileiras de geoprocessamento e sensoriamento remoto**. Campina Grande: Editora EDUFPG, 2013. cap. 8. p.139-152.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL. **Boletim Informativo do Setor**. 2022. Disponível em: https://sindiracoes.org.br/wp-content/uploads/2022/08/boletim_informativo_do_setor_agosto_2022_vs_final_port_sindiracoes.pdf. Acesso em: 23 mar. 2023.

ZANOTTO, D. L. et al. **Método rápido para análise de granulometria do milho em fábrica de ração**. 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158162/1/Cot538.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2022.