

ESTADO DA ARTE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DA CARCINICULTURA

State of the art of the environmental impacts shrimp farming

Ana Carolina Correia de Oliveira Gomes¹, Oriel Herrera Bonilla²

¹ Professora do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), bolsista Capes, Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil. E-mail: anacarolinacorreiaoliveira@gmail.com

² Professor do curso de Ciências Biológicas e do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Estadual do Ceará (UECE), Fortaleza, Ceará, Brasil. E-mail: oriel.herrera@uece.br

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo identificar os principais aspectos e impactos ambientais gerados na carcinicultura e as medidas preventivas, mitigadoras e de gestão utilizadas. Foi realizado o levantamento bibliográfico em plataformas eletrônicas, tendo como critério de exclusão trabalhos anteriores a 2011, revistas com Qualis inferior a B2 e estudos em carcinicultura de água doce, e foram selecionados artigos que versavam sobre a gestão da carcinicultura, a avaliação do ciclo de vida (ACV) e ou os impactos ambientais. Identificaram-se 28 impactos ambientais provenientes da atividade de carcinicultura, causados por 13 aspectos ambientais. Os principais aspectos e impactos apontados na maioria dos trabalhos foram: consumo de energia e redução da biodiversidade da fauna e flora. As medidas de gestão, quando adotadas em altos níveis, asseguraram a sanidade e a produtividade dos camarões aliadas à manutenção da qualidade ambiental e econômica, tendo destaque os sistemas superintensivos. A ferramenta de gestão dos impactos mais utilizada foi a ACV, entretanto a maioria dos trabalhos não detalharam o ciclo de vida completo. Esta revisão permitiu concluir que é possível melhorar o desempenho ambiental da carcinicultura, com aumento da produtividade, através de medidas mitigadoras, como gestão ambiental adequada e boas práticas de manejo, bem como o uso de ferramentas como geoprocessamento costeiro e licenciamento ambiental.

Palavras-chave: ACV, ciclo de vida, camarão, gestão ambiental, boas práticas de manejo.

Recebido em: 15/10/2021

Aprovado em: 8/10/2022

Publicado on-line em: 31/01/2023

ABSTRACT

The objective of this work was identify the main environmental aspects and impacts generated in shrimp farming and the preventive, mitigating and management measures used. A bibliographic survey was carried out on electronic search platforms using as exclusion criteria works prior to 2011, papers with Qualis less than B2 and studies in shrimp farming of fresh water, being selected articles that deal with shrimp farming management, life cycle assessment (LCA) and/or environmental impacts. Were identified 28 environmental impacts from shrimp farming, caused by 13 environmental aspects. The main aspect and impact pointed out in most of the works were: energy consumption and reduction of fauna and flora biodiversity. The management measures, when adopted at high levels, ensure the health and productivity of the shrimp, allied to the maintenance of environmental and economic quality, with emphasis on superintensive systems. The most used impact management tool was LCA, however most of the works did not detail the complete life cycle. This review allowed us to conclude that it is possible to improve the environmental performance of shrimp farming with increased productivity through mitigating measures, such as adequate environmental management and good management practices, as well as the use of tools such as coastal geoprocessing and environmental licensing.

Keywords: *LCA, life cycle, shrimp, environmental management, good management practices.*

INTRODUÇÃO

As próximas décadas apresentarão grandes desafios para a produção de alimentos, como: erradicação da fome e insegurança alimentar; fornecimento de alimentos e outros produtos agrícolas suficientes para atender o crescimento e as mudanças nas demandas globais; aumento da produção de forma sustentável; adaptação às mudanças climáticas e contribuição para sua mitigação (FAO, 2018).

A aquicultura é uma fonte importante para obtenção de proteína animal, que, somada à pesca, fornece aproximadamente 15% da proteína consumida no mundo (Rivera *et al.*, 2017). Entretanto, há evidências de que o aquecimento global já tenha afetado a distribuição de espécies de peixes marinhos e que a produção de pesca de captura e a aquicultura, tanto em ambientes marinhos quanto de água doce, continuarão a ser afetadas pelas mudanças climáticas, com projeções de queda de até 40% em países tropicais, podendo haver um aumento de 30% a 70% em águas de latitude elevadas (FAO, 2018).

Historicamente, a maior parte da produção mundial de camarão ocorre na Ásia e na América Latina. Atualmente, os principais países produtores aquícolas são China, Indonésia e Peru. A carcinicultura tem se expandido devido ao aumento da demanda de países do Hemisfério Norte, que importam 80% de todo camarão produzido no mundo, em especial os Estados Unidos da América, União Europeia e Japão (FAO, 2020).

O Brasil é o terceiro produtor de camarão da América Latina e o nono da lista mundial (Tahim; Damaceno & Araújo, 2019), sendo a região Nordeste responsável por 99,4% da produção nacional e o estado do Ceará por 28,5% (IBGE, 2018). O Nordeste do Brasil possui condições edafoclimáticas favoráveis para o amplo desenvolvimento da carcinicultura (Schardong, 2019), que estava em tendência de crescimento até o ano de 2016, mas, devido

à incidência do vírus da Síndrome da Mancha Branca, sofreu queda na produção e começou a se recuperar em 2018 (IBGE, 2018).

Os principais desafios dessa atividade são o custo com a alimentação do camarão e a geração de efluentes ricos em nutrientes e carga orgânica (Ribeiro *et al.*, 2014; Santaella *et al.*, 2018). O tratamento inadequado e lançamento desses efluentes em corpos hídricos podem acarretar impactos ambientais negativos (Sukumaran *et al.*, 2019), como a eutrofização, a perda de serviços ecossistêmicos, entre outros (Ribeiro *et al.*, 2014; Richards & Friess, 2016).

Dessa forma, é necessário o entendimento dos impactos ambientais gerados pela carcinicultura, a fim de desenvolver sistemas sustentáveis de produção, garantindo a geração de alimento e conservação ambiental. Os trabalhos existentes sobre o tema discutem de forma isolada alguns impactos ambientais; mesmo os trabalhos que fazem análise do ciclo de vida não apontam todos os impactos gerados, focando em alguns deles como indicadores de alteração. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo identificar os principais aspectos e impactos ambientais gerados na carcinicultura e as medidas preventivas, mitigadoras e de gestão utilizadas.

METODOLOGIA

Uma revisão sistemática da literatura foi realizada nos seguintes endereços eletrônicos de busca: Portal de Periódicos da Capes, Scielo e Google Scholar. Buscaram-se artigos científicos com as palavras-chave *Environment* e *Shrimp, Environmental Impact Assessment e Shrimp, e Life Cycle Assessment e Shrimp*. Como critérios de exclusão, foram considerados apenas trabalhos a partir de 2011 e excluídos estudos de carcinicultura de água doce. Como critério de inclusão, foram selecionados apenas artigos que versavam sobre gestão da carcinicultura, sobre avaliação do ciclo de vida (ACV) e ou sobre o impacto ambiental.

Após a seleção e leitura dos trabalhos, foram elencados todos os aspectos e impactos ambientais citados, realizando-se a elaboração de uma matriz de impactos ambientais e correlacionando-os.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Impactos ambientais e dificuldades

Impacto ambiental é a modificação do ambiente provocada pela intervenção humana (Conama, 1986). As alterações no ambiente são ocasionadas pela interação da atividade através de elementos denominados aspectos ambientais (ABNT NBR ISO 14001:2015). Os aspectos ambientais geram os impactos ambientais, sendo que estes variam conforme o potencial poluidor, a forma de gestão, o local, o tamanho do empreendimento, entre outros fatores (Sánchez, 2014). Na Avaliação de Impacto Ambiental, o termo ambiente refere-se a processos naturais e sociais (Sánchez, 2014).

Para levantamento e Avaliação de Impacto Ambiental de produtos e processos na aquicultura destacam-se as ferramentas de gestão ambiental ACV, análise emergética e pegada ecológica (Henares; Medeiros & Camargo, 2019), podendo ser utilizados também a análise de resiliência e o conjunto de indicadores. Existem algumas diferenças entre as ferramentas, como: ênfase na quantificação, presença no estudo de interações, envolvimento dos atores sociais, considerações das condições políticas e históricas, entre outras (Embrapa, 2012).

A ACV é a ferramenta mais utilizada na aquicultura, em que são quantificados e avaliados os impactos ambientais potenciais em todo ciclo de vida do produto e/ou serviço (Bohnes & Laurent, 2019). Já a análise emergética, que é um método mais complexo, medirá o fluxo de energia nos sistemas ecológicos como se fossem os únicos *inputs* do processo, ou seja, caracteriza todos os produtos e serviços como se fossem energia solar dependida. Pode ser utilizada juntamente com um método mais simples, para facilitar o entendimento dos tomadores de decisão (Embrapa, 2012; Henares; Medeiros & Camargo, 2019). A pegada ecológica abrange as interações que ocorrem no processo e é de fácil interpretação, facilitando o envolvimento dos interessados nas tomadas de decisões. A análise de resiliência é a única ferramenta que considera as condições políticas e históricas. Nela é analisada a capacidade de o sistema se adaptar às mudanças e permanecer em funcionamento. O conjunto de indicadores quantifica e/ou descreve dimensões da sustentabilidade, entretanto seu uso isolado não representa a complexidade e as interações que ocorrem (Embrapa, 2012).

As principais razões para os impactos da carcinicultura são a falta de monitoramento ambiental adequado, a falta de conhecimento científico, as práticas de manejo e o planejamento inadequado (Islam & Bhuiyan, 2016), a ilegalidade na criação de camarão (Hatje *et al.*, 2016) e a falta de fiscalização no setor (Ribeiro *et al.*, 2014).

Mesmo em empreendimentos legais muitas vezes os impactos voltados para o cunho social são negligenciados nas avaliações, onde os empreendedores, na maioria das vezes, não possuem nenhuma ligação com as comunidades locais nem incentivo dos órgãos relacionados para realizarem o cultivo de forma sustentável (Ribeiro *et al.*, 2014).

Outra dificuldade para a realização de uma gestão sustentável é que geralmente não há uma compensação mercadológica com a redução dos impactos (Henares; Medeiros & Camargo, 2019). Quando há o emprego de uma forma de gestão mais sustentável, como a recirculação, é visando ao lucro e não propriamente à sustentabilidade por si só (Ribeiro *et al.*, 2014).

Muitos estudos mostram os impactos ambientais existentes nas atividades de aquicultura e as formas de uma produção mais sustentável. Entretanto, não é observado o emprego dessas descobertas pela forma insipiente da transferência das tecnologias desenvolvidas pelas universidades e centros de pesquisa para os aquicultores (Henares; Medeiros & Camargo, 2019), onde muitas vezes as estratégias são adotadas a partir do conhecimento empírico (Ribeiro *et al.*, 2014).

Através dos artigos consultados, foi elaborada a matriz de Avaliação de Impacto Ambiental relacionando os aspectos e impactos ambientais negativos (Quadro 1). Não foi possível classificar os impactos, pois os parâmetros de magnitude, frequência, extensão e reversibilidade são específicos para cada empreendimento e local da atividade; além disso, não há um padrão de avaliação em todos os trabalhos estudados, o que torna a comparação inexequível.

Apesar de poucas relações com os impactos ambientais gerados, o aspecto ambiental mais citado pelos autores foi o consumo de energia, destacando-se como maior causador de impactos ambientais negativos significativos (Quadro 2). Outros aspectos que estiveram presentes em mais trabalhos foram: desmatamento, ocupação de ambientes naturais, despejo de efluentes e introdução de fármacos no ambiente.

Quadro 2 - Relação dos aspectos ambientais negativos das atividades de carcinicultura e autores que os relataram

Aspectos Ambientais Negativos	Autores
Despejo de efluentes	Jeronimo e Balbino, 2012; Tahim, Damaceno e Araújo, 2019
Introdução de fármacos no ambiente	Jeronimo e Balbino, 2012; Tahim, Damaceno e Araújo, 2019
Aumento do escoamento superficial e subsuperficial	Tahim, Damaceno e Araújo, 2019
Ocupação de ambientes naturais	Hossain <i>et al.</i> , 2013; Tahim, Damaceno e Araújo, 2019
Introdução de metais traços	Sharifinia <i>et al.</i> , 2018
Emissão de carbono	Chang <i>et al.</i> , 2017
Consumo de energia	Cao <i>et al.</i> , 2011; Chang <i>et al.</i> , 2017; Henriksson <i>et al.</i> , 2017; Belettini <i>et al.</i> , 2018; Noguera-Muñoz <i>et al.</i> , 2021
Desmatamento	Jeronimo e Balbino, 2012; Alatorre <i>et al.</i> , 2016
Uso da terra	Henriksson <i>et al.</i> , 2017
Consumo de água doce	Henriksson <i>et al.</i> , 2017
Uso de recursos bióticos	Cao <i>et al.</i> , 2011
Uso consuntivo da água	Mohanty <i>et al.</i> , 2017
Uso de combustível	Abdou <i>et al.</i> , 2018

Fonte: elaborado pelos autores (2021).

Os aspectos que causam maiores quantidades de impactos são a ocupação de ambientes naturais seguida pelo uso da terra, desmatamento e despejo de efluentes respectivamente, como podem ser visualizados no Quadro 1. Desses aspectos, o único que não aparece como o principal elencado pelos trabalhos é o uso da terra, o qual é o maior causador dos impactos ambientais no meio antrópico, juntamente com a ocupação de ambientes naturais.

Assim, a ocupação de ambientes naturais e o uso da terra se mostraram os maiores causadores dos impactos ambientais, evidenciado no Quadro 1. Diante disso, é crucial a orientação para uma medida preventiva de determinação da localização da atividade, ou seja, antes de inseri-la deve-se realizar uma análise prévia da localização onde se pretende instalar, levando em consideração possíveis impactos ambientais a serem gerados. Para evitar conflitos do uso dos recursos naturais é interessante a utilização de áreas e recursos de pouco interesse, como áreas costeiras e a não utilização de água doce.

O impacto ambiental que teve maior evidência foi a redução da biodiversidade da fauna e flora, retratado por muitos dos trabalhos consultados (Quadro 3). Além do impacto mencionado, foi possível identificar outros impactos ambientais relevantes: alteração na qualidade da água, perda de serviços ecossistêmicos, degradação de manguezais, surto de doenças, aquecimento global, eutrofização e acidificação. Outros tiveram maior cumulação, sendo citados por muitos trabalhos. Foram eles: alteração na qualidade da água, redução da biodiversidade da fauna e flora, degradação de manguezais, eutrofização e perda de serviços ecossistêmicos. É importante que esses impactos estejam sendo estudados, pois o efeito cumulativo pode acarretar a transformação de um impacto ambiental não significativo em significativo.

Quadro 3 – Relação dos impactos ambientais negativos das atividades de carcinicultura e autores que os relataram

Impactos Ambientais Negativos	Autores
Perda de serviços ecossistêmicos	Ribeiro <i>et al.</i> , 2014; Islam e Bhuiyan, 2016; Richards e Friess, 2016
Degradação de manguezais	Paul e Vogl, 2011; Jeronimo e Balbino, 2012; Islam e Bhuiyan, 2016
Redução da biodiversidade da fauna e flora	Hossain <i>et al.</i> , 2013; Jeronimo e Balbino, 2012; Ribeiro <i>et al.</i> , 2014; Alatorre <i>et al.</i> , 2016; Hatje <i>et al.</i> , 2016; Islam e Bhuiyan, 2016; Sharifinia <i>et al.</i> , 2018; Tahim, Damaceno e Araújo, 2019
Risco à saúde humana e animal	Ribeiro <i>et al.</i> , 2014; Sharifinia <i>et al.</i> , 2018
Surto de doenças	Paul e Vogl, 2011; Hossain <i>et al.</i> , 2013; Islam e Bhuiyan, 2016
Alteração na qualidade da água	Jeronimo e Balbino, 2012; Ribeiro <i>et al.</i> , 2014; Islam e Bhuiyan, 2016; Richards e Friess, 2016
Salinização da água subterrânea	Hossain <i>et al.</i> , 2013
Intrusão de água salgada	Paul e Vogl, 2011; Islam e Bhuiyan, 2016
Deterioração da qualidade do solo	Islam e Bhuiyan, 2016
Aceleração de processos erosivos	Richards e Friess, 2016; Tahim, Damaceno e Araújo, 2019
Diminuição da capacidade de armazenamento de água no solo	Tahim <i>et al.</i> , 2019
Sedimentação	Paul e Vogl, 2011; Islam e Bhuiyan, 2016
Redução da matéria orgânica no solo	Tahim, Damaceno e Araújo, 2019
Conflitos de demanda pelos recursos costeiros	Tahim, Damaceno e Araújo, 2019
Disputa por espaço	Barbieri <i>et al.</i> , 2014
Aquecimento global	Cao <i>et al.</i> , 2011; Jonell e Henriksson, 2015; Henriksson <i>et al.</i> , 2017; Belettini <i>et al.</i> , 2018
Acidificação	Cao <i>et al.</i> , 2011; Jonell e Henriksson, 2015; Henriksson <i>et al.</i> , 2017
Eutrofização	Cao <i>et al.</i> , 2011; Ribeiro <i>et al.</i> , 2014; Jonell e Henriksson, 2015; Henriksson <i>et al.</i> , 2017
Dependência de peixes selvagens	Henriksson <i>et al.</i> , 2017
Acúmulo de matéria orgânica em sedimentos bentônicos	Sharifinia <i>et al.</i> , 2018
Deslocamento e marginalização de pescadores	Hossain <i>et al.</i> , 2013
Descolamento tradicional dos meios de subsistência	Paul e Vogl, 2011; Islam e Bhuiyan, 2016
Perda de segurança fundiária	Hossain <i>et al.</i> , 2013
Insegurança alimentar	Hossain <i>et al.</i> , 2013; Islam e Bhuiyan, 2016
Desemprego rural	Hossain <i>et al.</i> , 2013
Perda de recursos pecuários	Hossain <i>et al.</i> , 2013
Agitação social e conflitos	Hossain <i>et al.</i> , 2013; Islam e Bhuiyan, 2016
Mudança do padrão agrícola	Islam e Bhuiyan, 2016

Fonte: elaborado pelos autores (2021).

Além dos impactos ambientais negativos supramencionados, há também a geração dos impactos positivos na economia, como aumento de renda, emprego (Henriksson *et al.*, 2017; Noguera-Muñoz *et al.*, 2021), giro na economia (Noguera-Muñoz *et al.*, 2021) e fornecimento de proteína.

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

A ACV é uma importante ferramenta para identificação dos impactos ambientais, garantindo o desenvolvimento sustentável (Bohnes & Laurent, 2019; Henares; Medeiros & Camargo, 2019) e as práticas relevantes nos processos de certificação ambiental (Jonell

& Henriksson, 2015). Essa ferramenta vem sendo empregada em estudos amplos que consideram diversas categorias de impacto, assim como em estudos focados em categorias específicas, como os de pegada de carbono baseados na norma ISO 14067 (Beletini *et al.*, 2018).

Alguns trabalhos utilizaram a ferramenta ACV na identificação dos impactos da carcinicultura. A maioria desses estudos considerou os processos desde as fases iniciais de cultivo até a despesca (Cao *et al.*, 2011; Jonell & Henriksson, 2015; Chang *et al.*, 2017; Henriksson *et al.*, 2017; Abdou *et al.*, 2018; Beletini *et al.*, 2018; Bohnes & Laurent, 2019; Noguera-Muñoz *et al.*, 2021). Entre esses trabalhos, o de Chang *et al.* (2017) foi o que abrangeu maior gama de etapas da ACV do ciclo completo do camarão, sendo realizada da pós-larva ao tratamento final dos resíduos pós-consumo, no entanto ficaram de fora a unidade dos reprodutores e o transporte de pós-larvas.

Os principais aspectos e impactos ambientais encontrados nos estudos sobre ACV da carcinicultura foram: emissão de carbono, uso de energia elétrica, emissão de gases de efeito estufa (GEE), aquecimento global, acidificação, eutrofização, uso de recursos bióticos, produção de ração e geração de efluentes. O aspecto ambiental que foi mais medido e evidenciado como maior causador de impactos nos estudos foi o uso de energia elétrica.

Chang *et al.* (2017) analisaram a pegada de carbono de uma fazenda ecológica de camarão branco localizada em Yijhu, em Taiwan, seguindo a ISO/TS 14.067, e concluíram que a pegada de carbono total do ciclo de vida do camarão branco foi 6,9389 kg de CO₂ eq. Observaram ainda que as principais fontes de emissão de carbono foram eletricidade, alimentação, matérias-primas indiretas, tratamento dos resíduos, transporte e refrigeração, sendo o tratamento de efluentes identificado como *hotspot*.

Beletini *et al.* (2018) utilizaram a ACV para avaliar a pegada de carbono de todas as etapas do cultivo superintensivo e semi-intensivo de camarões marinhos no sul do Brasil. Esses autores constataram que o aspecto mais importante foi o uso de energia elétrica. A energia é empregada tanto no sistema superintensivo, necessário para manter o oxigênio dissolvido (OD) e as partículas em suspensão dos bioflocos, quanto no sistema semi-intensivo, para movimentação de grandes volumes de água. Os autores utilizaram o método de linha de base CML-1A, V3.01 EU25, com Software SimaPro® 8.0.2, obtendo valores de 47,9967 kg de CO₂ eq. para o setor de crescimento na cultura superintensiva e de 1,0042 kg de CO₂ eq. na cultura semi-intensiva.

Noguera-Muñoz *et al.* (2021) utilizaram a ACV (desde a unidade de pós-larvas à engorda do camarão) e a análise financeira para avaliar uma fazenda superintensiva no México. Esses autores constataram que a rentabilidade geral é superior à de outras atividades, sendo economicamente viável. Com relação aos impactos ambientais potenciais dessa fazenda, observaram que são maiores do que os encontrados em sistemas semi-intensivos e pouco menores do que os registrados em sistemas intensivos, com valor estimado de 5,08 kg eq. de camarão.

A ACV demonstrou eficácia no estudo que avaliou os efeitos do aquecimento global, da acidificação e da eutrofização de fazendas orgânicas e não orgânicas no delta de Mekong, no Vietnã. Nesse estudo, observou-se que as emissões de GEE, a acidificação e a eutrofização comportaram-se de forma semelhante nos sistemas, sendo que as substâncias que causariam eutrofização foram absorvidas pelo meio. O maior volume de GEE produzido foi o CO₂ liberado durante a transformação do mangue, sendo maior nas fazendas não orgânicas (Jonell & Henriksson, 2015).

Cao *et al.* (2011) avaliaram o desempenho ambiental através da ACV desde a unidade de pós-larva até a engorda em sistemas intensivos e semi-intensivos localizados na China. Os parâmetros avaliados foram aquecimento global, acidificação, eutrofização, uso cumulativo de energia e uso de recursos bióticos. Os autores constataram que a aquicultura intensiva tem impactos ambientais maiores em todas as categorias de impactos, causados principalmente pela produção de ração, pelo uso de eletricidade e pela geração de efluentes.

Visando incentivar a expansão da aquicultura, o governo da Indonésia definiu metas ambiciosas para incentivar a expansão da atividade até 2030. Para fornecer informações e recomendações mais realistas aos formuladores de políticas, Henriksson *et al.* (2017) aplicaram a ACV em dez sistemas dominantes de aquicultura naquele país. Basearam-se em seis projeções de crescimento que são menos ambiciosas do que as metas governamentais. Mesmo com projeções mais realistas, os autores concluíram que tais crescimentos baseados na forma atual de negócios não serão ambientalmente sustentáveis, necessitando já de alterações na indústria e políticas públicas para evitar danos ambientais ao país.

Poucos são os estudos de ACV da pesca de camarão, sendo o estudo de Abdou *et al.* (2018) o primeiro realizado no sul do Mediterrâneo, mais especificamente no Golfo de Gabes. Os autores constataram que a ACV fornece uma informação útil sobre o desempenho ambiental de pesca de arrasto demersal de frutos do mar. Entretanto, além dos critérios propostos pelos autores, deve-se considerar também os impactos ambientais relacionados à biodiversidade e ao ecossistema. A intensidade do impacto ambiental foi proporcional à quantidade de combustível consumida para desembarcar uma tonelada de frutos do mar, em que as atividades de bordo e as espécies escolhidas são as que mais contribuem para o aumento da intensidade dos impactos. Devido à baixa produção, o camarão possui alto consumo de energia, sendo uma das espécies com maior grau de impacto ambiental em pesca por arrastões demersais.

Bohnes e Laurent (2019) apontaram pontos fracos em estudos de ACV de produtos aquícolas, tais como: avaliação incompleta do ciclo de vida do produto, amplitude na identificação dos impactos ambientais relevantes para a aquicultura, discussão das limitações metodológicas nas análises, definição da quantidade de informações e pontos estudados que permitam a real interpretação dos dados e inclusão das saídas processuais múltiplas, sendo não apenas a econômica. Além disso, muitos estudos não apresentam o motivo das escolhas metodológicas, inviabilizando análises comparativas.

Medidas preventivas e mitigadoras

As medidas preventivas e mitigadoras mais abordadas nos artigos foram: tratamento de efluentes, gestão integrada da zona costeira, gestão ambiental adequada, utilização de bioflocos e boas práticas de manejo (Quadro 4). Essas medidas reduzem todos os principais aspectos e impactos ambientais supramencionados, sendo que a gestão ambiental adequada e as boas práticas de manejo englobam uma série de procedimentos. Entretanto, é importante a utilização do conjunto de medidas para garantir redução dos possíveis impactos ambientais negativos.

Quadro 4 – Medidas preventivas e mitigadoras dos impactos ambientais relacionados à carcinicultura e autores que as citaram

Medidas Preventivas/Mitigadoras	Autores
Tratamento de efluentes	Cao <i>et al.</i> , 2011; Jeronimo e Balbino, 2012; Ribeiro <i>et al.</i> , 2014; Chang <i>et al.</i> , 2017; Henares, Medeiros e Camargo, 2019
Mudança na composição da ração	Cao <i>et al.</i> , 2011
Sistema de recirculação da água	Ribeiro <i>et al.</i> , 2014; Henares, Medeiros e Camargo, 2019
Biorremediação	Henares, Medeiros e Camargo, 2019; Ribeiro <i>et al.</i> , 2014
Gestão integrada da zona costeira	Hossain <i>et al.</i> , 2013; Ribeiro <i>et al.</i> , 2014; Sharifinia <i>et al.</i> , 2018
Policultivo	Tahim, Damaceno e Araújo, 2019
Aquicultura multitrófica integrada	Henares, Medeiros e Camargo, 2019
Sistemas integrados de aquicultura-agricultura	Henares, Medeiros e Camargo, 2019
Gestão ambiental adequada	Cao <i>et al.</i> , 2011; Ribeiro <i>et al.</i> , 2014; Henares, Medeiros e Camargo, 2019; Tahim, Damaceno e Araújo, 2019
Monitoramento ambiental	Jeronimo e Balbino, 2012
Utilização de bioflocos	Ribeiro <i>et al.</i> , 2014; BelettinI <i>et al.</i> , 2018; Henares, Medeiros e Camargo, 2019; Tahim, Damaceno e Araújo, 2019
Tecnologias de redução do consumo de energia	Chang <i>et al.</i> , 2017
Tecnologias de produção de energia	Cao <i>et al.</i> , 2011
Estabelecimento de procedimentos para Estudo de Impacto Ambiental e monitoramento ambiental	Hossain <i>et al.</i> , 2013
Diálogo com partes interessadas	Hossain <i>et al.</i> , 2013
Desenvolvimento de tecnologias mais acessíveis	Hossain <i>et al.</i> , 2013
Disseminação de informações e treinamento para agricultores	Hossain <i>et al.</i> , 2013
Formulação e implementação de políticas públicas para manejo da carcinicultura	Hossain <i>et al.</i> , 2013
Atendimento à legislação vigente	Jeronimo e Balbino, 2012
Boas práticas de manejo	Mohanty <i>et al.</i> , 2017; BelettinI <i>et al.</i> , 2018; Noguera-Muñoz <i>et al.</i> , 2021
Melhorias tecnológicas	BelettinI <i>et al.</i> , 2018; Noguera-Muñoz <i>et al.</i> , 2021

Fonte: elaborado pelos autores (2021).

Visando à redução dos impactos ambientais e manutenção da segurança alimentar, a procura pela produção sustentável da carcinicultura é cada vez maior (Tahim; Damaceno & Araújo, 2019). Para o alcance dessa sustentabilidade ambiental é importante a prevenção por meio do planejamento nas diversas etapas, mesmo antes do início da atividade (Henares; Medeiros & Camargo, 2019), definindo o local ideal para instalação (Barbieri *et al.*, 2014) e traçando melhores estratégias para a não geração dos impactos ambientais negativos ou sua redução e potencialização nos impactos ambientais positivos.

Caso as medidas preventivas não sejam suficientes, por meio de uma medida de mitigação é possível reduzir ou eliminar vários impactos ambientais. Dessa forma, um conjunto de medidas mitigatórias e/ou preventivas pode reduzir substancialmente o potencial poluidor da atividade.

A correta gestão da aquicultura pode ser baseada nas *Práticas de Melhor Manejo* (BMP) e nas *Práticas da Boa Aquicultura* (GAP) (Ribeiro *et al.*, 2014). Nesses documentos são apresentadas técnicas e tecnologias a serem seguidas, capazes de gerar uma produção aquícola mais sustentável, como parâmetros a serem avaliados para a escolha do local, tratamento de efluentes, controle de fugas, seleção de espécies, técnicas de manejo, entre outros (Embrapa, 2012). Pela interdisciplinaridade de diversas áreas do conhecimento foi possível o surgimento de técnicas, tecnologias e produtos, tais como: uso de bioflocos, camarão orgânico, pós-larvas mais resistentes a patógenos, entre outros (Tahim; Damaceno & Araújo, 2019).

Uma ferramenta importante que pode ser utilizada para planejamento e gestão integrada é o geoprocessamento, pois permite avaliar de forma eficiente os principais impactos ambientais gerados pela atividade, como, por exemplo, a perda de vegetação pela atividade de carcinicultura (Alatorre *et al.*, 2016), permitindo também o delineamento das áreas produtoras (Hossain *et al.*, 2013).

O uso dos índices de poluição por metais traços, como o fator de contaminação, o grau de contaminação, o índice de risco ecológico potencial, o índice de carga de poluição e o índice de geoacumulação, também é uma ferramenta de gestão adequada para o monitoramento da qualidade ambiental, contribuindo para melhores práticas de gestão do ambiente costeiro (Sharifinia *et al.*, 2018). Essas medidas reduzem todos os principais aspectos e impactos ambientais.

O zoneamento costeiro e os procedimentos de licenciamento ambiental, como estudo de impacto ambiental e monitoramento ambiental, também são importantes ferramentas preventivas e mitigatórias para os impactos advindos de atividades de carcinicultura (Hossain *et al.*, 2013), pois estabelecem diretrizes a serem atingidas e realizam o acompanhamento das atividades com o objetivo de que as práticas sejam cumpridas de acordo com o que foi estabelecido.

Para manter o equilíbrio entre a conservação do mangue e o desenvolvimento econômico, deve ser utilizado um sistema mais eficiente, que requer menos terra para produção. Para isso, podem ser utilizados os sistemas superintensivos com emprego de sistemas heterotróficos e bioflocos que produzem maior quantidade de biomassa por superfície com renovação mínima de água (Noguera-Muñoz *et al.*, 2021). Além de reduzir o uso da água, o sistema de bioflocos utiliza densa população microbiana como alimentação natural, reduzindo a utilização de ração e melhorando a produtividade e biossegurança.

Uma forma de incrementar a produção aquícola de maneira sustentável é a utilização do modelo circular, em que o efluente da criação do camarão é tratado (Henares; Medeiros & Camargo, 2019; Ribeiro *et al.*, 2014). Além da redução do uso de água e despejo de efluentes no meio, de acordo com Tahim, Damaceno e Araújo, (2019) e Mohanty *et al.* (2017), a recirculação contribui para a sanidade dos camarões.

O tratamento do efluente da carcinicultura pode ocorrer de diversas maneiras, como o sistema convencional, aquaponia, *wetlands* ou a combinação deles. De acordo com Chang *et al.* (2017), a utilização de procedimentos simples de tratamento de águas residuárias contribui para a redução da pegada de carbono.

As *wetlands* construídas integram aquicultura e agricultura e são utilizadas há mais de cinquenta anos, sendo que a maior parte foi projetada para tratamento de águas residuárias domésticas e esgotos. Entretanto, atualmente existem aplicações de sucesso para tratamento de águas residuárias de várias atividades, tais como: matadouros, laticínios, pe-

troquímicas, papel e celulose, têxtil, aquicultura, entre outras. A aplicação de *wetlands* para água de recirculação de aquicultura de peixes e camarões passou a ser empregada na década de 1990 (Vymazal, 2014), podendo ser usada tanto na remoção de nutrientes quanto na produção de biomassa vegetal (Schardong, 2019).

Vários são os trabalhos encontrados na literatura que demonstram eficiência da utilização de *wetlands* para tratamento de aquicultura (Assunção, 2011; Lima, 2011; Amorin, 2014; Marques, 2017; Oliveira, 2017; Kumar *et al.*, 2018; Schardong, 2019; Sukumaran *et al.*, 2019). Entretanto, pode haver mudanças nas características físico-químicas e biológicas da planta (Sukumaran *et al.*, 2019).

Gestão como forma de minimização dos impactos ambientais

A carcinicultura é lucrativa e uma atividade importante para fornecimento de proteína; entretanto, está associada a impactos ambientais negativos de alto potencial poluidor. Para que seja possível atrelar sua rentabilidade à sustentabilidade, é importante investimentos em pesquisa de inovação, melhoria nas práticas de manejo e maior interação dos órgãos reguladores e fiscalizadores com os produtores (Ribeiro *et al.*, 2014).

Através de boas práticas de manejo e melhorias tecnológicas é possível alcançar bom desempenho zootécnico dos camarões e redução do consumo de eletricidade com o uso de energia limpa, propiciando a otimização da relação entre a pegada de carbono e a rentabilidade econômica (Noguera-Muñoz *et al.*, 2021). Medidas de gestão eficazes são cruciais e urgentes para mitigação dos impactos ambientais negativos para o desenvolvimento da carcinicultura (Hossain *et al.*, 2013). Estratégias de manejo da água como a recirculação podem ser empregadas, a fim de minimizar os impactos ambientais e reduzir custos (Mohanty *et al.*, 2017).

Para estimular as práticas de manejo sustentáveis é salutar o estreitamento da ligação entre aquicultores, extensionistas e pesquisadores para o desenvolvimento de tecnologias mais acessíveis. A aproximação poderia ser realizada por meio de diálogos regulares envolvendo as partes interessadas, monitoramento ambiental, fortalecimento da educação, melhoria na integração entre setor produtivo e órgãos ambientais, melhoria na legislação ambiental e fortalecimento de agências responsáveis pela transferência de conhecimento através de cursos, contribuindo para a sustentabilidade e igualdade social na carcinicultura (Hossain *et al.*, 2013; Henares; Medeiros & Camargo, 2019).

As boas práticas de manejo abordam detalhadamente os protocolos de execução e monitoramento dos setores, sendo cruciais para garantir a sanidade e a produtividade dos camarões aliadas à manutenção da qualidade ambiental. Os documentos, como *Boas Práticas de Manejo e Biossegurança para a Carcinicultura Marinha Nacional* da ABCC (2012) e *Boas Práticas de Manejo em Aquicultura* (Brasil, 2006), abrangem o levantamento desde a escolha do local para implantação da atividade, construção, instalação e operação técnica, como eliminação de animais e vetores, cultivo e desinfecção de viveiros, entre outros, assim como práticas atreladas à qualidade ambiental, como plano de monitoramento e tratamento ambiental, entre outras.

Quando adotados níveis altos de boas práticas de manejo, pode ocorrer o aumento da produtividade técnica, englobando eficiência técnica produtiva e a melhoria da qualidade ambiental (Araújo *et al.*, 2018).

Ao comparar fazendas de camarão, Jonell e Henriksson (2015) constataram que fazendas extensas de manguezal emitiam maior quantidade de CO₂ por tonelada de ca-

marão do que os sistemas intensivos e semi-intensivos, entretanto esses sistemas são mais impactantes com relação à acidificação e eutrofização do que os sistemas extensivos. Com relação ao sistema orgânico e não orgânico de produção, a acidificação comportou-se de forma semelhante; já quanto ao consumo de CO₂, as fazendas orgânicas apresentaram os menores índices. A eutrofização foi baixa em todos os sistemas, indicando absorção das substâncias eutrofizantes e limitada disponibilidade de nutrientes.

O sistema superintensivo é interessante do ponto de vista ambiental, pois garante o desenvolvimento sustentável através da viabilidade econômica, social e ambiental, produzindo maior quantidade de biomassa em menor área (Noguera-Muñoz *et al.*, 2021). Em sistemas intensivos, a perda de água por evaporação é inferior aos sistemas convencionais, pois requer menor volume e lâmina de água, sendo assim, provavelmente, o sistema intensivo com uso de bioflocos de menor impacto que o sistema convencional (Belettini *et al.*, 2018).

Além de serem menos impactantes do ponto de vista ambiental, os sistemas superintensivos com reuso da água e bioflocos na criação do camarão marinho em comparação com os sistemas semi-intensivos (tradicionais) também são mais eficientes e competitivos economicamente (Matias *et al.*, 2020).

Apesar da existência de leis e de tecnologias que visam ao aumento da produtividade e à redução dos impactos negativos, a ilegalidade, falta de fiscalização e desenfredda busca por lucro mantêm a atividade de carcinicultura com degradação ambiental (Ribeiro *et al.*, 2014).

CONCLUSÃO

Os principais aspectos ambientais da atividade de carcinicultura são: consumo de energia, desmatamento, ocupação de ambientes naturais, despejo de efluentes, introdução de fármacos no ambiente e uso da terra. O consumo de energia teve destaque como maior causador de impactos ambientais negativos significativos.

O impacto ambiental que teve maior evidência foi a redução da biodiversidade da fauna e flora, seguido pela alteração na qualidade da água, perda de serviços ecossistêmicos, degradação de manguezais, surto de doenças, aquecimento global, eutrofização e acidificação.

Com relação às medidas preventivas e mitigadoras dos impactos ambientais relacionados à carcinicultura, evidenciaram-se tratamento de efluentes, gestão integrada da zona costeira, gestão ambiental adequada, utilização de bioflocos e boas práticas de manejo. Essas medidas juntas reduzem todos os principais aspectos e impactos ambientais supramencionados, sendo que a gestão ambiental adequada e boas práticas de manejo englobam uma série de procedimentos. Entretanto, é importante a utilização do conjunto amplo de medidas para garantir a redução dos possíveis impactos ambientais negativos.

As medidas de gestão, quando adotadas em altos níveis, asseguram a sanidade e produtividade dos camarões aliadas à manutenção da qualidade ambiental e econômica, tendo destaque os sistemas superintensivos, que são mais eficientes e competitivos economicamente, e garantindo o desenvolvimento sustentável através da viabilidade econômica, social e ambiental.

Os trabalhos futuros devem focar também nos impactos ambientais decorrentes da implantação do empreendimento, considerando as alternativas locais, incluindo a alternativa zero, ou seja, da não implantação dele.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCC. Associação Brasileira de Criadores de Camarão. *Boas práticas de manejo e biossegurança para a carcinicultura marinha nacional*. 2012, 58 p. Disponível em: https://abccam.com.br/wp-content/uploads/2012/02/BPMS_E_BIOSSEGURANA_-_ABCC_FEVEREIRO_2012.pdf.

Abdou, K. *et al.* Environmental life cycle assessment of seafood production: a case study of trawler catches in Tunisia. *Science of the Total Environment*, v. 610-611, p. 298-307, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.067>.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR ISO 14.001: sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso*. Rio de Janeiro: ABNT, 2015, 41 p.

Alatorre, L.C. *et al.* Temporal changes of NDVI for qualitative environmental assessment of mangroves: Shrimp farming impact on the health decline of the arid mangroves in the Gulf of California (1990-2010). *Journal of Arid Environments*, v. 125, p. 98-109, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.10.010>.

Amorin, R.V. *Produção de tilápias-do-nilo em sistemas sem renovação de água com wetlands para tratamento de efluentes*. Dissertação de mestrado, Pós-Graduação em Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, 56 p., Jaboticabal, 2014.

Araújo, A.M.M. *et al.* Análise das boas práticas de manejo na carcinicultura e seus efeitos sobre a produtividade no estado do Ceará. *Arq. Ciên. Mar*, Fortaleza, v. 51, n. 1, p. 7-25, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.32360/acmar.v51i1.20387>.

Assunção, A.W.A. *Tratamento de efluentes de piscicultura utilizando sistema wetland povoado com espécies de macrófitas aquáticas de três tipos ecológicos diferentes*. Dissertação de mestrado, Pós-Graduação em Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, 64 p., Jaboticabal, 2011.

Barbieri, E. *et al.* Avaliação dos impactos ambientais e socioeconômicos da aquicultura na região estuarina-lagunar de Cananeia, São Paulo, Brasil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 14, p. 385-398, 2014. Doi: <https://doi.org/10.5894/rgci486>.

Belettini, F. *et al.* Carbon footprint in commercial cultivation of marine shrimp: a case study in southern Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 47, p. 1-5, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/rbz4720160353>.

Bohnes, F.A. & Laurent, A. LCA of aquaculture systems: methodological issues and potential improvements. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 24, p. 324-337, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1517-x>.

Brasil. Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca. *Boas práticas de manejo da aquicultura*. Itaipu Binacional: Foz do Iguaçu, Brasil, 2006. Disponível em: https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/Manual_de_Boas_Pr%C3%A1ticas_em_Aq%C3%BCicultura.pdf.

Cao, L. *et al.* Life cycle assessment of chinese shrimp farming systems targeted for export and domestic sales. *Environmental Science Technology*, v. 45, p. 6531-6538, 2011. DOI: [dx.doi.org/10.1021/es104058z](https://doi.org/10.1021/es104058z).

Chang, C. *et al.* Carbon footprint analysis in the aquaculture industry: assessment of an ecological shrimp farm. *Journal of Cleaner Production*, v. 168, p. 1101-1107, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.109>.

Conama. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre o Conselho Nacional de Meio Ambiente. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 23 de janeiro de 1986. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>.

Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Métodos para medir a sustentabilidade na aquicultura*. Teresina: Embrapa, 2012, 71 p. ISSN 0104-866X. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1005723/metodos-para-medir-a-sustentabilidade-na-aquicultura>.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *The state of world fisheries and aquaculture 2020: sustainability in action*. Rome: FAO, 2020, 206 p. ISSN 2410-5902. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca9229en/ca9229en.pdf>.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *The future of food and agriculture: alternative pathways to 2050*. FAO: Rome, 2018, 202 p. ISSN 2522-722X. Disponível em: <http://www.fao.org/3/I8429EN/i8429en.pdf>.

Hatje, V. *et al.* Detection of environmental impacts of shrimp farming through multiple lines of evidence. *Environmental Pollution*, v. 219, p. 672-684, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.056>.

Henares, M.N.P.; Medeiros, M.V. & Camargo, F.M. Overview of strategies that contribute to the environmental sustainability of pond aquaculture: rearing systems, residue treatment, and environmental assessment tools. *Reviews in Aquaculture*, v. 12, p. 453-470, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/raq.12327>.

Henriksson, P.J.G. *et al.* Indonesian aquaculture futures e evaluating environmental and socioeconomic potentials and limitations. *Journal of Cleaner Production*, v. 162, p. 1482-1490, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.133>.

Hossain, M.S.; Uddin, M.J. & Fakhruddin, A.N.M. Impacts of shrimp farming on the coastal environment of Bangladesh and approach for management. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, v. 12, p. 313-332, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11157-013-9311-5>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção da pecuária municipal 2018*. Rio de Janeiro, v. 46, p. 1-8, 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=o-que-e>.

Islam, S.M.D. & Bhuiyan, M.A.H. Impact scenarios of shrimp farming in coastal region of Bangladesh: an approach of an ecological model for sustainable management. *Aquaculture International*, v. 24, p. 1163-1190, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10499-016-9978-z>.

Jeronimo, C.E. & Balbino, C.P. Caracterização físico-química de efluentes da carcinicultura e seus impactos ao meio ambiente. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 8, p. 1639-1650, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/223611706273>.

Jonell, M. & Henriksson, P.J.G. Mangrove-shrimp farms in Vietnam-Comparing organic and conventional systems using life cycle assessment. *Aquaculture*, v. 447, p. 66-75, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.11.001>.

Kumar, S.D. Condições ótimas para o tratamento de efluente de cultivo de camarão usando microalga marinha imobilizada *Picochlorum maculatum*. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, v. 88, p. 1177-1185, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40011-017-0855-y>.

Lima, F.T. *Capacidade de retenção e dinâmica de um "wetland" construído no tratamento de águas residuais*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, 123 p., Jaboticabal, 2011.

Marques, E.A.T. *Piscicultura e sistema de wetland construída no semiárido: características e potencialidades*. Tese de doutorado, Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (Prodema), Universidade Federal de Pernambuco, 205 p., Recife, 2017.

Matias, J.F.N. *et al.* Comparative analysis of the economic efficiency and competitiveness of sea shrimp crops in the semi-intensive (traditional) and super-intensive system (with reuse of water and use of biofloc - BFT) used in Brazil. *Sistemas & Gestão Journal*, v. 15, p. 123-130, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.20985/1980-5160.2020.v15n2.1643>.

Mohanty, R.K. *et al.* Effects of various shrimp (*Penaeus monodon*) densities on their growth, water and sediment quality, and water budget. *Aquaculture International*, v. 25, p. 2161-2176, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10499-017-0181-7>.

Noguera-Muñoz, F.A. *et al.* Sustainability assessment of white shrimp (*Penaeus vannamei*) production in super-intensive system in the municipality of san blas, Nayarit, Mexico. *Water*, v. 13, p. 1-16, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13030304>.

Oliveira, G.S. *Avaliação de dois sistemas aquapônicos com a halófito Sarcocornia ambigua (Michx.) Alonso & Crespo para recirculação de água da piscicultura marinha intensiva*. Dissertação de mestrado, Pós-Graduação em Aquicultura, Universidade Federal do Rio Grande, 46 p., Rio Grande, 2017.

Paul, B.G. & Vogl, C.R. Impacts of shrimp farming in Bangladesh: challenges and alternatives. *Ocean & Coastal Management*, v. 54, p. 201-211, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2010.12.001>.

Ribeiro, L.F. *et al.* Desafios da carcinicultura: aspectos legais, impactos ambientais e alternativas mitigadoras. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 14, p. 365-383, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5894/rgci453>.

Richards, D.R. & Friess, D.A. Rates and drivers of mangrove deforestation in southeast Asia, 2000-2012. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 113, p. 344-349, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1510272113>.

Rivera, A. Stakeholder perceptions of enhancement opportunities in the Chilean small and medium scale mussel aquaculture industry. *Aquaculture*, v. 479, p. 423-432, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.06.015>.

Sánchez, L.E. *Avaliação de impacto ambiental*. 2 ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2013, 529 p. ISBN: 978-85-7975-090-8.

Santaella, S.T. *et al.* Biofloc production in activated sludge system treating shrimp farming effluent. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. Rio de Janeiro, v. 23, p. 1143-1152, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018177677>.

Schardong, R.M.F. *Cultivo das halófitas, Batis maritima, Sarcocornia ambigua e Sporobolus virginicus, com águas residuárias da criação do camarão Litopenaeus vannamei: experimentos de bancada em substrato com areia e sistema de aquaponia*. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, 133 p., Fortaleza, 2019.

Sharifinia, M. *et al.* Ecological risk assessment of trace metals in the surface sediments of the Persian Gulf and Gulf of Oman: evidence from subtropical estuaries of the Iranian coastal Waters. *Chemosphere*, v. 191, p. 485-493, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.077>.

Sukumaran, D. *et al.* The role of antioxidant metabolism in phytoremediation of shrimp farm effluent by *Acrostichum aureum* Linn. *American Journal of Environmental Protection*, v. 7, p. 7-12, 2019. DOI: <https://doi.org/10.12691/env-7-1-2>.

Tahim, E.F.; Damaceno, M.N. & Araújo, I.F. Trajetória tecnológica e sustentabilidade ambiental na cadeia de produção da carcinicultura no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 57, p. 93-108, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790570106>.