



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ROMMEL DARLAN FEITOSA

HOTSPOTS DE INOVAÇÃO - DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A
SUSTENTABILIDADE DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DA CARCINICULTURA

FORTALEZA

2022

ROMMEL DARLAN FEITOSA

HOTSPOTS DE INOVAÇÃO - DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A
SUSTENTABILIDADE DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DA CARCINICULTURA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Delfino
Barbosa Filho

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- F336h Feitosa, Rommel Darlan.
Hotspots de inovação - desafios e oportunidades para a sustentabilidade da cadeia de suprimentos da
carcinicultura / Rommel Darlan Feitosa. – 2022.
88 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2022.
Orientação: Prof. Dr. José Antonio Delfino Barbosa Filho.
1. Hotspots de inovação. 2. Aquicultura. 3. Monitoramento remoto. 4. Sustentabilidade. 5.
Carcinicultura. I. Título.

CDD 630

ROMMEL DARLAN FEITOSA

HOTSPOTS DE INOVAÇÃO - DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A
SUSTENTABILIDADE DA CADEIA DE SUPRIMENTOS DA CARCINICULTURA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Aprovada em: 28/07/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Antonio Delfino Barbosa Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rogério César Pereira de Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rossi Lelis Muniz Souza
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Leopoldo Melo Barreto
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB)

Prof. Dr. Márcio Alves Bezerra
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

A toda minha família, especialmente a minha esposa Patrícia e ao meu filho Felipe, que sempre estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis dessa caminhada. **Amo vocês!**

E aos meus pais Ribamar e Fátima, pelo amor e carinho.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

À Deus, pois sou tão pequeno e, mesmo assim, me enxerga e derrama bênçãos todos os dias. Obrigado, meu Deus, pela vida, por mais uma vitória e por me dar forças para continuar.

À Universidade Federal do Ceará, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional.

Ao Prof. Dr. José Antonio Delfino Barbosa Filho (Zeca) pela orientação, paciência, compreensão e esforços para a conclusão dessa caminhada. Por ir além das minhas expectativas como pessoa e profissional, sempre comprometido com a missão de mestre e o sucesso de seus orientados. Sua orientação fez com que cada momento difícil dessa estrada eu tivesse a confiança para prosseguir. Muito obrigado e minha eterna gratidão e amizade!

Ao professor e amigo Manuel Furtado (*In memoriam*) que desde a graduação foi exemplo de força, amizade, competência e dedicação. A certeza de que seu apoio e amizade tornou o caminho mais tênue.

Ao Prof. Dr. Rogério César Pereira de Araújo, pela paciência e auxílio em vários momentos da minha jornada acadêmica, por ser uma pessoa incrivelmente companheira, nos momentos que precisei de apoio.

Ao Prof. Dr. Rossi Lelis Muniz Souza, pela amizade e por fazer parte da minha trajetória profissional e acadêmica, com sua solicitude e inteligência, sempre disposto a ajudar para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Ao Prof. Dr. Leopoldo Melo Barreto, pelas suas contribuições, compreensão e presteza na reta final dessa longa jornada. Meu muito obrigado!

Ao Prof. Dr. Márcio Alves Bezerra, que desde os tempos de graduação sempre foi um exemplo de profissional e como pessoa, trazendo consigo sempre boas energias e positividade, mesmo em situações difíceis, com seu vamos em frente! Meu muito obrigado!

Ao amigo e pesquisador Dr. Luiz Eduardo (Lula) por suas contribuições e motivação na reta final desse trabalho. Meu muito obrigado!

Ao amigo e professor Marcelo Carneiro, por seu reforço na pesquisa e questionário, lembrando tempos de REVIZEE. Meu muito obrigado!

Ao parceiro Fred Nicolas, hoje Engenheiro Mecatrônico, que contribuiu imensamente para a conclusão desse trabalho.

Ao Valter Braga pelo apoio e pela valiosa ajuda para que eu pudesse realizar este trabalho.

A amiga Luciana Maciel, pela importante ajuda, para que eu pudesse me dedicar a finalização desse trabalho.

A toda Família Trapo por toda ajuda e apoio para a consecução desse objetivo.

Aos meus irmãos pela corrente de oração para o meu sucesso.

Ao Padre Oliveira pelo apoio, carinho e amizade em momentos difíceis dessa caminhada. Ele me mostrou o caminho: Deus é fiel!

A todo o Núcleo de Estudos em Ambiente e Bem-Estar Animal (NEAMBE) pela convivência e aprendizagem nesse período acadêmico.

Aos docentes e funcionários lotados no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste sonho.

RESUMO

A aquicultura é uma das atividades de produção de alimentos que mais cresceu no mundo nas últimas décadas. No entanto, a continuidade desse crescimento depende intrinsecamente dos processos de inovação, aumentando a eficiência da produção ao longo de toda a cadeia produtiva aquícola. Assim é importante identificar temas sensíveis que possam contribuir com o desenvolvimento dos processos de inovação que levem a sustentabilidade em todos os elos da cadeia produtiva. Desenvolvendo uma cadeia lógica de evolução, perguntas precisaram ser feitas: Onde desenvolver uma inovação? Qual seria essa inovação? Para responder a essas questões, esta pesquisa foi dividida em duas partes complementares. Na primeira parte, objetivou-se conhecer e identificar os elos da cadeia produtiva da carcinicultura do estado do Ceará. Foram analisados 80 projetos técnicos submetidos no processo de licenciamento ambiental entre os anos de 2012 e 2020, sendo 2 de larvicultura de camarão, 74 de fazendas de cultivo de camarão e 4 envolvendo o processo de beneficiamento de pescado. Desta feita, foi elaborado um fluxo conceitual da cadeia, sendo identificados quatro macros segmentos da cadeia produtiva: 1) Matérias Primas e Suprimentos; 2) Produção Aquícola; 3) Processamento da Produção e 4) Distribuição e Comercialização, identificando os seguintes *hotspots* de inovação: No setor de matérias primas e insumos – Fabricação de Ração. - No setor de produção aquícola – Monitoramento e Controle. - No setor de beneficiamento dos produtos aquícolas – Novos produtos e usos. - No setor de distribuição e mercado consumidor – Bem-estar animal e Rastreabilidade. Na segunda parte da pesquisa, objetivou-se verificar a possibilidade de desenvolvimento de um protótipo de inovação, de baixo custo, que pudesse melhorar a eficiência da produção aquícola. Assim, foi desenvolvido um projeto-piloto denominado de Sistema de Monitoramento Remoto da Aquicultura – SMRA, baseado em tecnologias abertas e de software livres. O protótipo foi testado com sucesso analisando-se 2 critérios básicos: a comunicação de dados e a funcionalidade dos sensores de coleta de dados. A partir da perspectiva de ter sido um estudo-piloto, para a aferição da viabilidade de um processo inovativo com a estratégia de *hotspots*, verificou-se pontos sensíveis e que demandam a inserção de tecnologias, no intuito de contribuir com o desenvolvimento da aquicultura. De acordo com os recursos financeiros e de insumos disponíveis, desenvolveu-se um protótipo, denominado de SMRA, que atendeu todas as expectativas dos objetivos traçados. A evolução do presente tema, depende de investimentos espalhados (públicos e privados) ao longo de toda a cadeia produtiva e da utilização de expertises e conhecimentos multidisciplinares, desde que estejam convergentes com metas claras e específicas. Não existe,

uma ordem cronológica para que estes pontos sejam executados, mas, o que é importante e fundamental é que eles estejam conectados em um objetivo comum com a concepção de soluções inovadoras que sejam sistêmicas. Assim, a grande contribuição deste trabalho está em proporcionar uma visão de desafios e oportunidades, no uso de tecnologias disruptivas na cadeia produtiva aquícola, indicando a necessidade da junção do conhecimento detalhado da realidade e oportunizando frentes de pesquisa e desenvolvimento que atinjam a sustentabilidade da atividade.

Palavras-chave: *Hotspots* de inovação; aquicultura; monitoramento remoto; sustentabilidade; carcinicultura.

ABSTRACT

Aquaculture is one of the fastest growing food production activities in the world in recent decades. However, the continuity of this growth intrinsically depends on innovation processes, increasing production efficiency throughout the entire aquaculture production chain. Therefore, it is important to identify sensitive topics that can contribute to the development of innovation processes that lead to sustainability in all links of the production chain. Developing a logical chain of evolution, questions needed to be asked: Where to develop an innovation? What would this innovation be? To answer these questions, this research was divided into two complementary parts. In the first part, the objective was to understand and identify the links in the shrimp farming production chain in the state of Ceará. 80 technical projects submitted in the environmental licensing process between 2012 and 2020 were analyzed, 2 of which concerned shrimp larviculture, 74 from shrimp farming farms and 4 involving the fish processing process. This time, a conceptual flow of the chain was developed, identifying four macro segments of the production chain: 1) Raw Materials and Supplies; 2) Aquaculture Production; 3) Production Processing and 4) Distribution and Marketing, identifying the following innovation hotspots: In the raw materials and inputs sector – Feed Manufacturing. - In the aquaculture production sector – Monitoring and Control. - In the aquaculture products processing sector – New products and uses. - In the distribution sector and consumer market – Animal welfare and Traceability. The second part of the research aimed to verify the possibility of developing a low-cost innovation prototype that could improve the efficiency of aquaculture production. Therefore, a pilot project called the Aquaculture Remote Monitoring System – ARMS was developed, based on open and free software technologies. The prototype was successfully tested by analyzing 2 basic criteria: data communication and the functionality of the data collection sensors. From the perspective of having been a pilot study, to assess the viability of an innovative process with the hotspot strategy, sensitive points were identified that require the insertion of technologies, with the aim of contributing to the development of aquaculture. According to the financial resources and inputs available, a prototype was developed, called SMRA, which met all expectations of the objectives set. The evolution of this topic depends on investments spread (public and private) throughout the entire production chain and the use of multidisciplinary expertise and knowledge, if they converge with clear and specific goals. There is no chronological order for these points to be carried out, but what is important and fundamental is that they are connected in a common objective with the conception of innovative solutions that are

systemic. Thus, the great contribution of this work is in providing a vision of challenges and opportunities, in the use of disruptive technologies in the aquaculture production chain, indicating the need to combine detailed knowledge of reality and providing opportunities for research and development that achieve the sustainability of the activity.

Keywords: innovation *Hotspots*; aquaculture; remote monitoring; sustainability; shrimp farm.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Área de Estudo – <i>Hotspots</i> de Inovação da Aquicultura, Estado do Ceará, Brasil.....	26
Figura 2	– Sensor de pH utilizado no desenvolvimento do SMRA.....	32
Figura 3	– Sensor de temperatura e controlador.....	32
Figura 4	– Fotos Arduino utilizados no SMRA.....	33
Figura 5	– Raspberry <i>Pi</i> – Modelo 3.....	34
Figura 6	– Placas de Circuito Impressa (PCI) confeccionadas para o SMRA.....	34
Figura 7	– Representação geral das interações do sistema.....	37
Figura 8	– Perspectiva isométrica aberta da caixa do sistema.....	38
Figura 9	– Representação da visualização dos dados em celular ou computador.....	39
Figura 10	– Foto aérea da Estação de Aquicultura Professor Doutor Raimundo Saraiva da Costa (UFC)	40
Figura 11	– Esquema do sistema de monitoramento montado para o primeiro teste.....	40
Figura 12	– Sistema de monitoramento sendo montado no tanque.....	41
Figura 13	– Vista aérea do sistema de monitoramento montado.....	41
Figura 14	– Mapa com o layout da fazenda de carcinicultura e indicação do viveiro, no município de Alto Santo, Estado do Ceará.....	42
Figura 15	– Vista aérea de todos os viveiros em operação na propriedade.....	42
Figura 16	– Vista aérea do viveiro de teste para o SMRA.....	43
Figura 17	– Esquema da cadeia produtiva e de suprimentos da aquicultura, baseada na carcinicultura, no estado do Ceará, Brasil.....	44
Figura 18	– <i>Hotspots</i> de inovação da aquicultura, Estado do Ceará, Brasil.....	48
Figura 19	– Nomenclatura dos sensores quanto a posição.....	57
Figura 20	– Figura esquemática do posicionamento dos sensores no viveiro.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Gráfico geral dos dados obtidos.....	58
Gráfico 2	– Temperaturas dos sensores da Linha 1.....	58
Gráfico 3	– Temperaturas dos sensores da Linha 2.....	59
Gráfico 4	– Temperaturas dos sensores da Linha 3.....	60
Gráfico 5	– Dados de Temperatura Viveiro – Dia 1.....	61
Gráfico 6	– Dados de Temperatura Viveiro – Dia 2.....	62
Gráfico 7	– Dados de Temperatura Viveiro – Dia 3.....	62
Gráfico 8	– Dados de pH Viveiro – Dia 1.....	63
Gráfico 9	– Dados de pH Viveiro – Dia 2.....	63
Gráfico 10	– Dados de pH Viveiro – Dia 3.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Lista de empresas contactadas – Pesquisa de Mercado.....	28
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	<i>Hotspots</i> de inovação na cadeia de suprimentos.....	16
2.2	Tecnologia Disruptiva e Aquicultura de Precisão.....	21
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1	Identificação de <i>Hotspots</i> de inovação na cadeia de suprimentos da carcinicultura.....	26
3.2	Desenvolvimento de um projeto-piloto de inovação disruptiva na cadeia de suprimentos da carcinicultura.....	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1	Caracterização da cadeia de suprimentos para identificação de <i>Hotspots</i> de inovação.....	44
4.1.1	<i>Hotspots de inovação</i>.....	46
4.1.1.1	<i>Matérias primas e insumos Hotspot – Fabricação de ração</i>.....	48
4.1.1.2	<i>Produção Aquícola Hotspot – Monitoramento e controle da produção</i>.....	50
4.1.1.3	<i>Processo de beneficiamento dos produtos aquícolas Hotspot – Tecnologia para novos produtos e utilizações</i>.....	52
4.1.1.4	<i>Distribuição de produtos aquícolas e mercado consumidor Hotspot – Bem- estar animal e rastreabilidade</i>.....	53
4.2	Sistema de Monitoramento Remoto da Aquicultura – SMRA.....	56
4.2.1	<i>Teste de campo do SMRA</i>.....	57
4.2.1.1	<i>Resultado do SMRA – Teste 1</i>.....	57
4.2.1.2	<i>Resultado do SMRA – Teste 2</i>.....	60
5	CONCLUSÃO	66
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios da humanidade é conseguir produzir e fornecer alimentos a uma população que chegará em meados do século XXI a 9,7 bilhões de pessoas (United Nations, 2022). A produção de alimentos é constantemente provocada a utilizar ferramentas que possam controlar e mitigar impactos negativos que, em último estágio, poderá acarretar a total impossibilidade de produção de alimentos saudáveis para um crescente contingente populacional subnutrido e faminto.

O setor de pescados (aquicultura e pesca) cresce em maior proporção ao crescimento populacional (FAO, 2022), com desafios, incluindo a necessidade de reduzir o percentual de estoques pesqueiros sobreexplorados, garantir a efetividade da biossegurança e sanidade nos cultivos, diminuir os impactos ambientais e incrementar o bem-estar animal.

As soluções para superar esses desafios passam, sem dúvida, por trilhar novos caminhos e/ou reformar antigos, inovando e renovando produtos e processos, com a eficiência que proporcione a maximização de benefícios sociais e econômicos, com a preservação dos serviços ambientais para as futuras gerações.

Essa caminhada perpassa pelo processo inovativo, entendendo o fluxo ao longo de uma cadeia produtiva, identificando pontos de oportunidade, compreendendo que as inovações podem ter diferentes níveis de impacto em uma determinada atividade econômica.

Avanços tecnológicos e/ou de processos podem perturbar de várias formas uma cadeia de suprimentos, perturbações que podem ser caracterizadas como algo que impulsiona mudanças na forma de se fazer produtos e processos, a partir das necessidades e demandas existentes ou criadas (Petzold *et al.*, 2019).

Em vista disso, novas tecnologias surgem ao redor do mundo, muitas vezes de forma isolada e no intuito de solucionar uma situação específica. Nagy *et al.* (2016) afirmam que todos esses avanços são meritórios, mas é fundamental uma abordagem de toda a cadeia produtiva e de suprimentos, inspiradas em abordagens de gerenciamento de inovação sistêmica, utilizando-se de intervenções para a criação de *hotspots* de inovação como plataformas colaborativas ou incubadoras que potencializem novas oportunidades.

Nesse contexto, no setor aquícola, as tecnologias inovadoras e disruptivas são diversas e com características próprias, trazendo oportunidades em diferentes áreas do conhecimento incluindo a engenharia genética, inteligência artificial e IoT, cultivo offshore, robótica, recirculação do sistema produtivo, novas espécies para o cultivo, biotecnologia, farmacologia e medicamentos, qualidade da água, produção de energia, estratégias

blockchain, entre tantos outros setores que podem contribuir para o desenvolvimento da aquicultura.

Assim, a inovação, é um processo que nos leva a desenvolver e utilizar novas ideias, criar produtos ou serviços e introduzi-los no mercado, sendo amplamente notabilizada como a força motriz do crescimento econômico, do desenvolvimento sustentável e de mudança social.

Como foco principal, o processo de inovação existe para a solução de problemas, sendo uma ferramenta fundamental para a evolução humana. Mas qual seria a inovação? Onde deve ser realizada? Novas tecnologias para os grandes ou pequenos produtores? Por que romper com o sistema tradicional de produção? São perguntas que precisam ser respondidas.

A inovação é um processo difícil de ser implementado. As formas tradicionais de produção consolidadas, a aversão ao risco, limitações de recursos e a falta de objetividade e a concretude para a solução de um problema real, são pontos de superação para que a inovação possa “caminhar” ao longo de uma cadeia produtiva.

Dentro dessa perspectiva e da dificuldade de direcionar caminhos para o processo de desenvolvimento, a presente pesquisa busca desenvolver uma cadeia lógica de tomada de decisão, para identificação de *hotspots* de inovação na cadeia produtiva da carcinicultura, importante segmento da aquicultura no estado do Ceará.

Assim, duas perguntas precisaram ser realizadas:

- Quais os *hotspots* de inovação existentes? - identificar oportunidades de inovação nos elos da cadeia produtiva;
- É possível iniciar um processo de inovação de baixo custo? – verificar a possibilidade e/ou a viabilidade de um processo de inovação, com o desenvolvimento de um protótipo;

Portanto, a expectativa e a originalidade da presente pesquisa é realizar um estudo-piloto para aferir a viabilidade de um processo de inovação com a análise local de *hotspots* de inovação e a funcionalidade de um protótipo focado na carência de um *hotspot* específico.

Assim, a pesquisa pretende abrir horizontes para futuros processos de inovação ao longo da cadeia de suprimentos da carcinicultura, no intuito de apoiar o crescimento na produção de alimentos e contribuir para a sustentabilidade geral da cadeia produtiva aquícola.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 *Hotspots* de inovação na cadeia de suprimentos

A cadeia de suprimentos é um elemento vital de um setor econômico que abrange a rede de fornecedores, fabricantes, centros de produção e centros de distribuição, formando um entrelaçado pool logístico, na qual uma série de procedimentos estão interligados, criando um fluxo de materiais e serviços provenientes dos fornecedores para os consumidores finais (Joshi, 2022).

A cadeia de suprimentos é uma relação sistêmica com sucessão de estágios que objetivam a transformação de insumos e matérias-primas em um produto, com a intervenção de diversos agentes e fatores políticos, econômicos e financeiros, tecnológicos, socioculturais e legais ou jurídicos (Batalha, 2017). Batalha e Silva (2001) segmenta uma cadeia produtiva, de jusante (início da cadeia) com a inserção de matérias-primas a montante (final da cadeia) com comercialização do produto para o consumidor final e retroalimentando o sistema novamente com os diversos bens de capital e resíduos gerados ao longo da cadeia de suprimentos.

A cadeia de suprimentos também pode ter a reversibilidade sugerida ou imposta por marcos legais ou estratégia de mercado, isto é, o fluxo de materiais é proveniente dos consumidores para os fornecedores, retornando materiais excedentes ou indesejados, denominada de logística reversa (Sarkis *et al.*, 2010).

Sem dúvida as cadeias de suprimentos devem ter a sustentabilidade como requisito imprescindível para o seu sucesso. Isso é comprovado por Joshi *et al.* (2022) que fizeram uma revisão com o resultado de vários artigos entre os anos de 2010 e 2021, apresentando o papel da sustentabilidade na rede da cadeia de abastecimento com identificação de estratégias e diversas metodologias utilizadas nas pesquisas realizadas, introduzindo uma nova estrutura de dimensões de rede de cadeia de abastecimento sustentável com inclusão de indicadores e parâmetros.

O Relatório de Tecnologia e Inovação (UNCTAD, 2021) confeccionado na Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento examina criticamente a relação entre mudança tecnológica em cadeias de suprimentos e a diminuição de desigualdades sociais, tendo perspectivas imensas na agricultura, saúde, educação, energia e outras áreas de desenvolvimento. Este Relatório discute como elevar os benefícios aos pobres,

que intervenções governamentais e modelos de negócios funcionam, que boas práticas e lições existem e quais são os elos que faltam.

Em relação ao termo *hotspot*, ele foi inicialmente usado por biólogos e ecólogos para definir áreas que possuam prioridade na gestão, seja por sua fragilidade ambiental, biodiversidade, espécies endêmicas ou qualquer critério que requeira atenção redobrada da sociedade, ou seja, essas áreas são, portanto, locais que necessitam de atenção urgente, sendo consideradas prioritárias (Panisson, 2021).

Segundo Engel (2015), os *hotspots* de inovação são onde novas tecnologias são desenvolvidas em elevadas taxas de crescimento e onde pools de capital, expertise e talento dão suporte ao desenvolvimento de novas indústrias, processos, materiais e por vezes a novos modelos de negócios. Podem ser conceituados, ainda, como pontos críticos que precisam ter “picos” de inovação em um cenário acidentado e volátil na evolução do conhecimento ao longo de uma cadeia de suprimentos (Cantwell, 2013).

Também podem ser identificados, como uma concentração geográfica de empresas e fornecedores interconectados e instituições/empresas associadas a atividades relacionadas a uma determinada cadeia de suprimentos (Vale do Silício, na Califórnia por exemplo). Invariavelmente competem e colaboram dependendo do tempo e do lugar, e geralmente são denominados de “cluster” (BIS, 2011).

Podem ser *hotspots* globais, conforme afirmam Coda-Zabetta *et al.* (2022) que analisaram a rede global de aglomerações inovadoras, com foco no seu grau de internacionalização, utilizando dados geolocalizados de patentes e publicações mundiais, comparando *Hotspots* Globais de Inovação e Clusters em todo o mundo e relacionando o seu sucesso com as suas ligações e colaborações organizacionais.

Nas cadeias de suprimentos, o estudo de *hotspots* relacionados ao desenvolvimento tecnológico (*hotspots* de inovação) é importante para o crescimento da eficiência e produtividade, conforme avaliou Lezoche *et al.* (2020), que relacionaram o uso de tecnologias na melhoria dos processos de tomada de decisão da cadeia de suprimentos na indústria de alimentos.

No que tange ao desenvolvimento de modelos de negócios circulares¹ é promissor a utilização de *hotspots* de inovação, sendo possível identificar os pontos fortes e as

¹ De acordo com a Confederação Nacional da Indústria (CNI) modelos de negócios circulares são aqueles que associam o desenvolvimento econômico a um melhor uso de recursos naturais, por meio de novos modelos de negócios e da otimização nos processos de fabricação com menor dependência de matéria-prima virgem, priorizando insumos mais duráveis, recicláveis e renováveis.

oportunidades para desenvolver e impulsionar a economia circular em diversos setores econômicos, com a utilização de novas tecnologias (Mentink, 2014).

Jin e Ji (2018) deram como exemplo o hotspot de inovação no processo de desenvolvimento de uma rede de dados chamada de Internet das Coisas² (*Internet of Things - IoT*), enfatizando que esta tecnologia teve um impacto imensurável nos modelos de negócios existentes e que ainda multiplicará os *hotspots* de inovação em diversos modelos de negócios a partir de uma perspectiva global.

Wu e Fang (2022) estudaram *hotspots* de inovação e suas tendências de desenvolvimento de inovação tecnológica na cadeia de suprimentos chinesa em artigos acadêmicos, científicos e tecnológicos publicados, totalizando 2997 documentos catalogados. Neste trabalho, os autores concluíram que o avanço em novas tecnologias ao longo das cadeias de suprimentos deve ser coordenado nas mais diversas frentes e ao invés de ter uma estratégia generalizada para toda a cadeia de suprimentos, deve-se incentivar *hotspots* de inovação em uma plataforma cooperativa entre os vários elos da cadeia.

Na agricultura, por exemplo, Jha *et al.* (2019) afirmam que a *IoT* e a automação agrícola é a principal preocupação e tema emergente, em virtude que métodos tradicionais utilizados não são suficientes para absorver a crescente demanda por alimentos. Klerks (2017) em sua revisão concluiu que a criação de *hotspots* de inovação na cadeia de suprimentos em áreas rurais ainda são fragilizadas e que existem muitas oportunidades, apesar da falta de conexão entre as empresas para a melhoria do ecossistema de inovação.

A implementação de processos de inovação passa por acordos locais e internacionais nem sempre possíveis, Gao *et al.* (2022) destacam que o aumento contínuo do protecionismo comercial entre países e mercados, faz com que haja elevados investimentos em novas tecnologias, e o estímulo ao desenvolvimento de *hotspots* de inovação pode ser uma alternativa no intuito de melhorar a competitividade em ambientes em cadeia de suprimentos cada vez mais fechados a concorrência.

Um aspecto particularmente importante para o avanço de *hotspots* de inovação, é a possibilidade de identificação de pontos que podem ser reforçados continuamente de forma orgânica, naquilo que se torna um processo de causalidade cumulativa, isto é, a inovação acontece pela necessidade de evolução, sem a necessidade de incentivos governamentais ou privados (Cano-Kollmann *et al.*, 2016).

² A Internet das Coisas é um fenômeno tecnológico caracterizada por uma rede de objetos físicos dotados de tecnologia embarcada, sensores e conexão com a capacidade de reunir e transmitir dados como: identificação, localização, sensoriamento e conectividade (Alves, 2019).

Mas no contraponto ao que afirmam os autores supracitados, Akhmadi (2023), assevera que a atividade de inovação possui um crescimento desigual, concentrado em alguns países, principalmente os que possuem o capital humano e financeiro suficiente para o surgimento de novos conhecimentos e a devida perspicácia de mercado para capitalizá-lo. Como exemplo, o autor cita que três quartos dos pedidos de patentes de centros de inovação globais provêm de apenas quatro países – EUA, Japão, China e Alemanha. Esta concentração aumenta o fosso entre as economias desenvolvidas e as em desenvolvimento, surgindo assim a necessidade de incentivos governamentais e privados para a evolução de processos inovativos em cadeias de suprimentos.

No que tange a cadeia de suprimentos do setor de alimentos, de uma forma geral, ela é caracterizada por longos prazos de produção de produtos agrícolas, sazonalidade na produção e consumo, variação na qualidade e no rendimento, requisitos especiais para o manuseio dos produtos, tais como armazenamento frigorífico e a perecibilidade – todos eles tornam a gestão da cadeia de abastecimento alimentar uma tarefa complexa e difícil (Decker *et al.*, 2020).

A sustentabilidade da cadeia produtiva no setor alimentício perpassa pela exploração de acordos colaborativos entre as entidades da cadeia produtiva, que podem resultar em práticas inovadoras e produzir resultados sustentáveis, e propor redesenhar a da cadeia de suprimentos de uma determinada região que visem a valorização econômica, ambiental e social (Ramesh, 2020).

Limpianchob *et al.*, (2020) em um estudo realizado no sudeste asiático, criaram um modelo de cadeia de suprimentos desenvolvendo uma programação linear inteira mista que contribui para a efetivação de “*smart farms*” a fim de maximizar o lucro do aquicultor.

Dekker *et al.* (2015) estabeleceram critérios de análise de cadeias de suprimentos que podem auxiliar no incremento do desempenho ambiental de uma atividade econômica, identificando modelos quantitativos e qualitativos que amparam tomada de decisões estratégicas, táticas e operacionais, desde o design de produto até o consumo final. Enfoque sobre a questão ambiental também foi alvo do trabalho de Hieu (2012), que pesquisou a cadeia de suprimentos da carcinicultura no Vietnã, definindo pontos críticos que estariam contribuindo para a poluição da região de produção,

Souza *et al.* (2023), na região metropolitana de Florianópolis, verificaram que as dificuldades na inovação social na cadeia de suprimentos de provenientes da agricultura familiar se originam pela atuação independente dos elos dessa cadeia. Concluíram que a

inovação não necessariamente é em produtos e processos, mas podem ser na forma de organização e articulação da produção, da oferta e da compra de alimentos.

Com o crescimento da aquicultura, o planejamento da atividade tornou-se cada vez mais urgente, orientando a evolução do setor, proporcionando incentivos e salvaguardas atraindo investimento e impulsionando o desenvolvimento da atividade aquícola. Segundo Brugère *et al.* (2010) a inserção da vertente tecnológica é fundamental, reconhecendo ainda como uma oportunidade para mudanças de paradigmas, desde que assegure a coordenação e a comunicação entre as partes interessadas da cadeia de suprimentos, adotando uma abordagem participativa e de aprendizado.

Com a inserção da vertente tecnológica na Malásia, a aquicultura, que é uma atividade produtiva fundamental para o seu modelo econômico, assim o país desenvolveu mecanismos com o intuito de incrementar e manter *hotspots* de inovação. Entre esses mecanismos, destaca-se, o incentivo e manutenção de parcerias e o contato direto dos atores da cadeia de suprimentos com o setor acadêmico (com pesquisas interdisciplinares, multidisciplinares e transdisciplinares), que buscaram alternativas inovadoras para solucionar problemas e potencializar a capacidade produtiva com metas focadas na sustentabilidade (Mustafa *et al.*, 2015).

No caso da carcinicultura, Koniyo (2022), analisou cadeia de suprimentos da Indonésia, com o enfoque metodológico ACV (Análise do Ciclo de Vida), verificando que para garantir a expansão sustentável do setor, são necessárias inovações/intervenções em pontos críticos (*hotspots*) da cadeia de suprimentos e assim compensar possíveis impactos ambientais associados ao crescimento da produção.

Outro exemplo, de atuação em *hotspots* específicos na cadeia de suprimentos da carcinicultura foi o estudo de viabilidade técnica e econômica de um projeto-piloto de uma bio-refinaria, com a utilização dos resíduos provenientes da casca de camarão como matéria-prima. Este projeto mostrou um grande potencial para o aumento da lucratividade e a valorização dos resíduos (Zuorro *et al.*, 2021).

Para descentralizar dados e ramificar ações ao longo de uma cadeia de suprimentos, adveio recentemente a estratégia *blockchain*, uma tecnologia que torna o conceito de registro compartilhado de sistemas e dados uma realidade, tendo várias formas de aplicação, desde o de criptomoeda até potencialmente qualquer sistema industrial que exija tomada de decisão descentralizada, robusta, confiável e automatizada em uma situação de múltiplas partes interessadas (Belotti *et al.*, 2019).

Contratos, transações e seus registros estão entre as estruturas que definem nossos sistemas econômico, social, jurídico e político, protegendo ativos e estabelecendo limites organizacionais. No entanto, estas ferramentas formadas para as gerir não acompanharam a transformação digital da economia e o *blockchain* promete resolver esse problema (Iansiti; Karim, 2017).

Os setores pesqueiro e aquícola utilizam *blockchains* de diversas formas, Tolentino-Zondervan *et al.* (2023) verificaram o status atual e as perspectivas futuras da aplicação do *blockchain* nestes setores, concluindo que a expectativa no uso dessa tecnologia seja principalmente no movimento de capitais, monitoramento de investimentos e seguros, utilização de processos com o IoT, troca de informações e dados entre os elos da cadeia e principalmente dar maior confiabilidade em todos os processos e na rastreabilidade de produtos e processos.

Yu-Jen e Hsin-Pei (2023) em um trabalho realizado em uma empresa aquícola taiwanesa projetaram e implementaram um processo de rastreabilidade de baseado na tecnologia *blockchain*, adaptado especificamente à cadeia de suprimentos da empresa alvo, atingindo resultados satisfatórios que indicam que o sistema de rastreabilidade *blockchain* beneficia o desenvolvimento da empresa.

Em último arremate verifica-se a importância de criar uma rede colaborativa que projeta a inovação como principio basilar para o desenvolvimento, inserindo a governança no processo ecossistêmico (pessoas, instituições, ambiente e resultados) em que agentes e atores atuam num estado de colaboração por meio de equipes em redes colaborativas, partilham informações, experiências e conhecimentos, se comunicam e confiam uns nos outros e cooperam de forma coordenada, comprometidos com a conquista de objetivos de bem comum em torno de um futuro almejado (Panisson, 2021).

2.2 Tecnologia Disruptiva e Aquicultura de Precisão

Tecnologias disruptivas como a inteligência artificial, engenharia genética, biologia sintética, robótica, sensores inteligentes, impressão 3D, análise de *big data*, supercomputadores, realidade virtual, entre outras, trazem desafios para os mercados e a sociedade (Koutroumpis; Lafond, 2018).

Christensen *et al.* (2015) afirmam que a tecnologia disruptiva é baseada no “*The Disruptive Innovation Model*”, modelo desenvolvido em 1995 pelos mesmos autores, afirmando que a inovação tem um curso normal de evolução, mas em muitas oportunidades e

por diversos fatores, há a necessidade de uma evolução para atender a uma demanda específica, necessária para que determinado produto ou serviço continue competitivo no mercado. Causando assim, uma disrupção, um embate entre o modelo tradicional e normalizado para um modelo novo e diferente.

A situação efetiva de tecnologia disruptiva acontece em muitas oportunidades no processo de evolução de uma inovação tecnológica, causando uma ruptura na estrutura existente. A disrupção pode ser localizada, inserido das balizas de um mercado ou atividade específica, ou pode ser mais ampla, no qual a disrupção se espalha, abrangendo diversos mercados e atividades econômicas (Schuelke-Leech, 2018).

Estas tecnologias possuem o potencial de transformar profundamente a maneira como negociamos, quem negocia e o que é negociado (WTO, 2018). Christensen (2013) em sua teoria da inovação disruptiva afirma que novas tecnologias podem levar à destruição de cadeias de suprimentos e modelos de negócios existentes, perturbando mercados e empresas.

Estudos mais recentes (Schuelke-leech, 2018; Hopster, 2021) direcionam para uma compreensão mais abrangente das tecnologias disruptivas, identificando as dinâmicas resultantes nas cadeias produtivas e a sua relação com a sociedade, focando em processos e causas de ruptura do mercado e a transformação social produzida pelas novas tecnologias.

Lezochea *et al.* (2020) realizaram uma revisão de mais de cem artigos sobre novas tecnologias e os novos métodos de cadeias de abastecimento na agricultura, que nortearam o surgimento da “Agricultura 4.0” como integradora dos recentes desenvolvimentos baseados em tecnologias digitais, bem como no processo de interoperabilidade entre elas. Já Silveira *et al.* (2021) estudaram o desenvolvimento da agricultura 4.0, identificando descrições, tecnologias, barreiras, vantagens e desvantagens.

Xia *et al.* (2022) em um editorial especial, abordaram as tecnologias emergentes e disruptivas para a aquicultura, selecionando sete revisões e quatro artigos de pesquisa de autores da China, EUA, Indonésia, Índia, Singapura, Reino Unido, Austrália e México. As contribuições desses autores incidem em vários aspectos das tecnologias emergentes e disruptivas na aquicultura, representando os mais recentes progressos, pensamentos e ideias.

Em termos tecnológicos, a aquicultura é menos desenvolvida comparando-se com outros setores agropecuários que transformaram o avanço tecnológico como ponto fundamental para o incremento da produtividade e da eficiência de suas atividades (Charania; Li, 2020). Seguindo os caminhos trilhados pela agricultura de precisão, há um avanço tecnológico disruptivo acontecendo chamado de “Aquicultura de Precisão”, um conceito de

gerenciamento sistêmico baseado na observação, medição e resposta à variabilidade espacial e temporal do sistema produtivo aquícola (Ubina; Cheng, 2022).

Esta linha de ação visa um maior conhecimento dos dados de produção baseados em um sistema mais eficaz de monitoramento e controle das variáveis associadas diretamente e indiretamente aos processos produtivos (Xu *et al.*, 2022).

O objetivo da aquíicultura de precisão é aplicar os princípios de engenharia de controle à produção, direcionar os aquícultores a um melhor monitoramento, controle e documentação dos processos do manejo produtivo, relacionando com os aspectos biológicos das espécies cultivadas (Antonucci; Costa, 2019). Para dimensionar o tamanho do desafio da aquíicultura de precisão, 95% dos sistemas de produção aquícola no mundo, no que tange aos fatores e propriedades físico-químicas da água, ainda são medidas manualmente (Shetty *et al.*, 2018).

Segundo O'Donncha e Grant (2019) a materialização da aquíicultura de precisão depende de tecnologias de IoT e possui uma grande dificuldade devido às condições de cultivo limitadas à nossa “visão”, com a cobertura da água. Segundo os mesmos autores os requisitos básicos da aquíicultura de precisão são: Monitoramento contínuo das variáveis biológicas (ou seja, parâmetros relacionados ao estado comportamental e fisiológico dos animais) e o monitoramento contínuo das variáveis ambientais com a efetivação de modelo confiável para prever como as variáveis monitoradas atuam dinamicamente em resposta a fatores externos, além disso é necessário um sistema integrado e on-line para decisão ou controle.

Neste contexto da implementação da tecnologia da Internet das Coisas (IoT) e da inteligência artificial (IA) Lima *et al.* (2022), estudaram as possibilidades no uso dessas estratégias no cultivo e processo de produção de biomassa de microalgas.

Desta feita, destacamos algumas pesquisas que avançam nestes conceitos, como a de Antonucci e Costa (2019) que realizaram uma revisão sobre os temas: visão computacional para monitoramento de animais, ferramentas de monitoramento ambiental e rede de sensores (ou seja, rede de sensores sem fio e de longo alcance), robótica e ferramentas de interpretação e decisão de dados (ou seja, algoritmos, Internet das Coisas e sistemas de apoio à decisão), chegando a conclusão que para o aumento da produção aquícola e prevenir os problemas de qualidade e bem-estar animal, é cada vez mais importante monitorar e controlar o processo de produção com a aquíicultura de precisão.

É importante o monitoramento de aspectos mais sensíveis como baixo nível de oxigênio dissolvido na água, temperatura, salinidade e nível de pH da água. Assim, um dos

problemas relevantes enfrentados pelos produtores para monitorar com eficiência a qualidade da água (Maia *et al.*, 2023), é a capacidade de monitorar e ajustar as operações de manejo de forma independente e simultânea.

Existem avanços sendo realizados, conforme alguns trabalhos listados abaixo.

Das *et al.* (2018) em seu trabalho, descrevem o design de um protótipo operacional baseado nos conceitos da Internet das Coisas para monitoramento em tempo real de várias condições ambientais dos cultivos.

Para a escolha dos melhores locais de produção aquícola Shetty *et al.* (2018) desenvolveram um sistema formado por uma rede de sensores sem fio subaquáticos (WSN), utilizados para medir vários parâmetros da qualidade da água e os dados conectados a um servidor de dados em nuvem.

Simbeye *et al.* (2014) projetaram e implantaram um sistema de monitoramento da qualidade da água (medindo temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH e nível da água), utilizando o padrão Zigbee para comunicação de curto alcance. Segundo Alves e Da Silva (2020), Zigbee é padrão de tecnologia de comunicação e controle sem fio com pequena taxa de velocidade, para uma arquitetura de malha com baixa potência. Uma interface gráfica foi projetada para observar e analisar os valores medidos pelos sensores.

Pensando ainda na qualidade da água e eficiência na identificação de alterações no sistema de cultivo, Encinas *et al.* (2017) reforçam que um dos grandes problemas vinculados a deterioração da qualidade da água é o tempo que se leva para a detecção do problema e a efetividade de uma solução (lento tempo de resposta) produzindo perdas e ineficiência do sistema aquícola, sendo assim um gargalo produtivo.

Chakraborty e Krishnani (2022) desenvolveram biossensores que fazem a detecção precisa de estressores bióticos e abióticos que provocam contaminações químicas e de biotoxinas de origem bacteriana, viral, parasitária e fúngica que prejudicam significativamente uma maior produção aquícola.

Filiciotto *et al.* (2013) desenvolveram um sistema de monitoramento acústico para fins de acompanhamento do bem-estar animal, tentando controlar ruídos e sons para influenciar positivamente o desempenho do crescimento e poderiam reduzir o estresse da espécie *Sparus aurata* em cultivo. Neste campo podemos destacar também os trabalhos de Kolarevic *et al.* (2016) relacionando também o bem-estar na salmonicultura e Reis *et al.* (2022) que desenvolveram um sistema acústico para monitorar o processo de alimentação no cultivo do *L. vannamei*.

Na robótica temos a investigação de Olsen *et al.* (2017) que desenvolveram um ROV (*Remoted Operated Vehicle*) para fins de monitorar a atividade de peixes em cultivo para medição de velocidade e direção. Zhao *et al.* (2020) desenvolveram um ROV para identificar e consertar redes em grandes tanques na aquicultura *off-shore*.

Barbaresi *et al.* (2022) desenvolveram um sistema de monitoramento denominado ISMaCS (Sistema Integrado de Monitoramento e Controle Inteligente) para recolher e analisar dados relevantes de temperatura e dióxido de carbono, validando as medidas coletadas pelo ISMaCS baseado em comparações entre as séries de dados coletadas pelos sensores investigados e de referência.

Outro avanço recente na aquicultura, foi o monitoramento subaquático e em tempo real do consumo de pellets de ração, reduzindo o desperdício e prevenindo a poluição da água, sendo uma estratégia vantajosa seja em termos econômicos ou ambientais. Neste sentido, Hu *et al.* (2021) propuseram um modelo de detecção de pellets de ração não consumidos usando uma rede aprimorada You Only Look Once (YOLO), de alta resolução e eficácia.

Ferrer *et al.* (2020) desenvolveram um sistema de monitoramento do opérculo das espécies *Sparus aurata* e *Dicentrarchus labrax* em ambientes de cultivo, para verificar o nível de *stress* a que os animais são submetidos na aquicultura.

Finalizando, constata-se que a aquicultura é uma atividade bastante diversificada, com inúmeras espécies e cadeia de insumos, e para a consolidação de investimentos em tecnologias inovadoras é necessária maior articulação entre todos os elos da cadeia produtiva, juntando os setores público e privado (Bostock, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Identificação de *Hotspots* de inovação na cadeia de suprimentos da carcinicultura

Nesta primeira etapa, foi realizada duas ações complementares, sendo a primeira com o objetivo de identificar os elos da cadeia de suprimentos da carcinicultura no Estado do Ceará e a segunda se concentrou em verificar quais as lacunas que poderiam ser preenchidas com o desenvolvimento de *hotspots* de inovação para a carcinicultura na região de estudo (Figura 1).

Figura 1 - Área de Estudo - *Hotspots* de Inovação da Aquicultura, Estado do Ceará, Brasil



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para descobrir as lacunas para avanço de *hotspots* foi adaptada a metodologia desenvolvida por Jiang *et al.* (2020). Assim, a pesquisa foi realizada em 3 etapas: identificação do escopo do estudo; identificação da cadeia produtiva; estabelecimento de *hotspots* de inovação e identificação de oportunidades para preenchimento de lacunas de inovação para a sustentabilidade da aquicultura.

A análise da cadeia de suprimentos teve caráter exploratório e conceitual, configurando como um estudo de caso e de análise de dados (Freitas, 2006). Com a utilização e adaptação dos métodos adotados pelos trabalhos de Schrobback *et al.* (2021), Prompatanapak e Lopetcharat (2020), Marques *et al.*, (2020) e Lin e Wu (2016), foram verificados o fluxo de suprimentos da carcinicultura do estado do Ceará.

Para tanto, utilizou-se um banco de dados com 80 projetos técnicos submetidos ao processo de licenciamento ambiental junto ao órgão estadual de meio ambiente do estado do Ceará entre os anos de 2012 e 2020. Destes 80 projetos, 2 eram projetos de larvicultura de camarão, 74 eram projetos de fazendas de cultivo de camarão e 4 envolveram projetos de beneficiamento de pescado. A opção por utilizar esse banco dados foi fundamentada pela sua viabilidade técnica, econômica e ambiental, critérios necessários para serem submetidos ao crivo do licenciamento governamental.

Assim, o estudo de um banco de dados secundário foi selecionado como estratégia de pesquisa porque permitiu a obtenção de características holísticas e significativas da cadeia de suprimentos e orientar a linha de questionamento, analisando as informações oriundas dos diversos projetos técnicos (Yin, 2015).

Verificou-se, então, as similaridades e diferenças dos fluxos de suprimentos descritos nos projetos técnicos e relacionando possíveis *hotspots* de inovação baseado nos seguintes autores: Pathumnakul *et al.* (2022); Akhtaruzzaman *et al.* (2022); Vlachos e Malindretos (2021); Hiue (2012); Mu'Tamar *et al.* (2013); Freitas (2009); Figueiredo-Junior (2006). Para auxiliar na identificação de *hotspots* e tecnologias existentes, utilizou-se a revisão realizada por Halicka (2017) que sopesou os principais conceitos de análise de tecnologias.

3.2 Desenvolvimento de uma projeto-piloto de inovação disruptiva na cadeia de suprimentos da carcinicultura

A segunda etapa do presente trabalho, foi a consecução do projeto-piloto adaptando premissas e protocolos que norteiam etapas de desenvolvimento de projetos-piloto nas mais diversas áreas do conhecimento. Dentre elas, as que foram descritas por Zbrodoff (2012), que delimitou o desenvolvimento de projetos-piloto em quatro partes, tais quais: Parte 1 — Delinear as definições básicas; Parte 2 — Descrever as dificuldades das atividades do projeto piloto e possíveis soluções; Parte 3 — Discutir os benefícios do projeto piloto; e Parte 4 — Fornecer uma análise resumida e conclusões.

Foi adaptada a estrutura conceitual identificada por Boscherini *et al.* (2011) que identifica três etapas pelas quais um projeto piloto passa (ou seja, concepção, realização e transferência dos resultados do projeto) e os aspectos que devem ser considerados. ao longo destas etapas, de modo a mobilizar a organização e revolucionar a sua abordagem estratégica

à gestão da inovação. Foi adaptada também a metodologia do PMI (2021) que determina quais as etapas necessárias para o desenvolvimento de projetos em diferentes escalas.

Para a definição da tecnologia a ser desenvolvida na presente pesquisa, foram observados alguns critérios: capacidade de desenvolvimento, custos financeiros, aquisição de matérias-primas e a possibilidade de testar em campo o projeto. Estes critérios foram baseados nos trabalhos de Muradin e Kulczycka (2020) e Busse *et al.* (2017).

Assim no desenvolvimento do projeto-piloto foi abordada a tecnologia remota que possibilitasse um maior monitoramento e controle do processo de produção em viveiros na carcinicultura, chamado de Sistema de Monitoramento Remoto na Aquicultura (SMRA).

Assim, foram seguidas as seguintes etapas metodológicas.

Etapa I – Planejamento

A produção aquícola é um processo complexo, que envolve muitas etapas, aumentando a demanda de inovações e soluções para instituições de pesquisa e empresas, que investem recursos para a concretização de uma aquicultura de precisão e/ou 4.0 (FAO, 2022).

Baseado nos trabalhos de Yue e Shen (2022) e Gladju *et al.* (2022) foi realizada uma pesquisa de mercado com produtos de monitoramento remoto, para monitoramento e controle dos processos produtivos. Pôde-se, assim, verificar com as mais diversas tecnologias e fontes (Quadro 1), se a alternativa de adquirir um equipamento era mais viável do que desenvolver um protótipo. Dentro dessa perspectiva, identificou-se que os preços de produtos similares variavam de R\$ 19.000,00 a R\$ 260.000,00, preço líquido, sem taxas de importação e impostos.

Quadro 1 - Lista de empresas contactadas – Pesquisa de Mercado (continua)

Aplicação	Desenvolvedor	País	Web site
Monitoramento e controle da taxa de alimentação	Observe Technologies	Inglaterra	https://observe.tech/
	eFishery - Feeder	Indonésia	https://efishery.com/
	Umitron - CELL, FAI & EAGLE	Japão	https://umitron.com/
	AQ1 feeding systems	Austrália	http://www.aq1systems.com/
	Eruvaka - PondMother	Índia	https://eruvaka.com/

Quadro 1 - Lista de empresas contactadas – Pesquisa de Mercado (continuação)

Aplicação	Desenvolvedor	País	Web site
Robótica	RobotFish	China	http://www.qdlbf.com
	Cermaq	Noruega	www.cermaq.com
	Innovasea	Estados Unidos	https://www.innovasea.com/
	SINTEF	Noruega	https://www.sintef.no/en/
	SeaVax	Noruega	https://www.theexplorer.no/
	Sublue	China	https://store.sublue.com/
	MIT Massachussets Institute	Estados Unidos	https://seagrant.mit.edu/auv-lab/
Monitoramento e controle da qualidade da água	Real Tech - LiquidAi	Canada	https://realtechwater.com/
	AquaManager	Grécia	https://www.aqua-manager.com/
	Osmo Systems - Osmobot	Estados Unidos	https://www.enlisteddesign.com/osmo
	Siemens - SIMATIC S7-1500 and Totally Integrated Automation Portal	Alemanha	https://new.siemens.com/
	SmartWater Planet - Medusa and Cloud	Espanha	https://smartwaterplanet.com/
	Shanghai Yuxi Automation Technology	China	http://www.yuxiel.com/
	Eruvaka - PondGuard	India	https://eruvaka.com/
	AKVA Group		https://www.akvagroup.com
	AcquaNativa	Brasil	https://www.acquanativa.com.br
Monitoramento da biomassa de peixes e taxa de crescimento (incluindo contagem e triagem)	XpertSea - Xpercount	Canada	https://www.xpertsea.com/
	VAKI - Bioscanner, SmartFlow and Cloud	Islândia	https://vakiiceland.is/
	InnovaSea - SeaStation	Estados Unidos	https://www.innovasea.com/
	Aquabyte	Noruega	https://www.aquabyte.ai/
	AquaScan	Noruega	https://www.aquascan.com/
	Skala Maskon - AGM fish egg sorter	Noruega	www.skalamaskon.no

Quadro 1 - Lista de empresas contactadas – Pesquisa de Mercado (conclusão)

Aplicação	Desenvolvedor	País	Web site
Monitoramento e previsão de surtos de doenças	AquaCloud	Noruega	https://aquacloud.ai/
	BioSort - iFarm	Noruega	https://www.biosort.no/
	IPI - IREF system	Singapura	https://www.ipi-singapore.org/
	Aquaconnect - FarmMOJO	India	https://aquaconnect.blue/
	4-Deep - Holographic microscopes	Canada	http://4-deep.com/
Monitoramento do comportamento e bem-estar	CageEye	Noruega	https://www.cageeye.com/
	ViewPoint Behavior Technology	França	http://www.viewpoint.fr/
	ZebraZoom	França	https://zebrazoom.org/
	idTracker	Espanha	http://www.idtracker.es/
Rastreamento das atividades aquícolas e planejamento da produção	AKVAgrou - AKVAconnect & Fishtalk	Noruega	https://www.akvagroup.com/
	Scale Aquaculture AS - Mercatus	Noruega	https://scaleaq.com/
	Poseidon AI	Singapura	https://www.poseidon-ai.com/
	Kamahu - SaaS solution	França	https://www.kamahu.com/
Automação de sistemas de processamento de pescado	Marel - FleXicut, FleXisort and RoboBatcher	Islândia	https://marel.com/
	Skaginn3x	Islândia	https://www.skaginn3x.com/

Fonte: Adaptado de Yue e Shen (2022) e Gladju *et al.* (2022)

Com o resultado da pesquisa de mercado e preços, optou-se pelo desenvolvimento de baixo custo, de software e hardware com códigos abertos e livres ao invés de obter algum equipamento no mercado.

O próximo passo foi identificar em qual nicho um sistema de monitoramento remoto - que atenda a critérios da aquicultura de precisão – e tenha viabilidade de concepção de um protótipo, principalmente pelo custo e possibilidade de aquisição das matérias-primas e insumos para o seu desenvolvimento. Elegeu-se, assim, o desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento Remoto da Aquicultura (SMRA) que possibilitasse monitorar parâmetros da qualidade da água nos cultivos.

Etapa II – Hardware e Software (sistema de comunicação de dados)

Hardware

a. Sensores

Os parâmetros temperatura e pH são indicadores importantes da qualidade do ambiente de cultivo, sendo fundamentais para a prevenção e controle de doenças. No caso do vírus da síndrome da mancha branca (WSSV), por exemplo, quando há uma queda brusca de temperatura e elevado pH as chances de proliferação dessa doença no ambiente de cultivo chegam a mais de 80% (Gunalan *et al.*, 2010).

i. Sensor de Ph

Foi utilizado um sensor analógico de pH da marca AIDEEPEN pH, modelo E201C (Figura 2). Este sensor de pH é utilizado com microcontrolador e possui as conexões necessárias, um tipo universal de conector. O eletrodo pH tem um único cilindro que permite conexão direta com o terminal de entrada de um medidor pH, controlador, ou qualquer dispositivo pH que tenha um terminal de entrada BNC. O conector foi o BNC, pois pode ser usado por qualquer medidor de eletrodo de pH, independente do fabricante. A faixa de medição é de 0-14 pH. Possui uma precisão de $\pm 0,1$ pH a uma temperatura padrão de 25°C e a faixa de temperatura de operação é de 0 - 60°C, tempo de resposta de aproximadamente 30 segundos. Independentemente do fabricante do sensor de pH a ser utilizado, este deve ser calibrado e avaliado periodicamente quanto à estabilidade durante a sua utilização.

Assim, foi realizada a calibragem de todos os sensores usando uma solução padrão de pH (Solução tampão) e realizadas de acordo com as instruções fornecidas pela fabricante. Os sensores de pH, além de calibrados devem ser avaliados de acordo com o ambiente de monitoramento, de acordo com as informações meteorológicas, de turbidez e entrada de materiais (água nova, ração, produtos químicos, fármacos, entre outros) a fim de avaliar a sua confiabilidade, precisão e tempo de utilização (McLean *et al.*, 2021).

Figura 2 – Sensor de pH utilizado no desenvolvimento do SMRA



Fonte: Elaborado pelo autor.

ii. Sensor de Temperatura

Foi utilizado o sensor digital DS18B20 da Dallas Semiconductor (Figura 3), sendo este sensor indicado para aplicações onde é necessário medir a temperatura a uma longa distância do microcontrolador, por ser digital, a leitura do sensor não sofre interferência da distância do cabo de transmissão.

Possui um serial único, assim vários sensores podem ser interligados na mesma interface e cabeamento, possibilitando medir a temperatura em múltiplos lugares por diversos sensores.

A temperatura máxima medida por este sensor é de 100°C, principalmente por conta de seu cabo que é feito em PVC. Sua tensão de alimentação é 3.0 VDC a 5.5 VDC, sua precisão é de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ com variação de -10°C a $+100^\circ\text{C}$, faz leitura de temperaturas entre -55°C a $+125^\circ\text{C}$, interface um fio, ou seja, precisa de somente uma porta digital, ID único de 64 bits, alarme de limite de temperatura, ponta com 6mm de diâmetro e 50mm de comprimento, diâmetro do cabo de 4mm e comprimento do cabo de 95 cm.

Figura 3 – Sensor de temperatura e controlador



Fonte: Elaborado pelo autor.

b. Arduino

O Arduino Nano e Mega (Figura 4) é uma placa microcontroladora baseada na ATmega2560. Possui 54 pinos de entrada/saída digitais (dos quais 14 podem ser usados como saídas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (portas seriais de hardware), um oscilador de cristal de 16MHz, uma conexão USB, uma tomada de alimentação, um cabeçalho ICSP e um botão de reset.

Ele contém tudo o que é necessário para suportar o microcontrolador; basta conectá-lo a um computador com um cabo USB ou alimentá-lo com um adaptador AC-to-DC ou bateria para começar. O Mega é compatível com a maioria de interfaces e equipamentos projetados para o Arduino Uno.

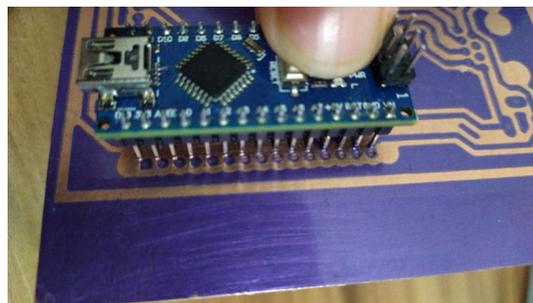
Figura 4 – Fotos Arduino utilizados no SMRA



Arduino MEGA



Arduino Nano



Instalação do Arduino Nano na placa de circuito impressa (PCI)

Fonte: Elaborado pelo autor.

c. Raspberry *pi*

Foi utilizado o Raspberry Pi 3 Modelo B de terceira geração (Figura 5). É um microcomputador de placa única e de tamanho reduzido, podendo ser utilizado para muitas aplicações de controle. O Raspberry Pi 3 traz um processador dez vezes mais poderoso que o Raspberry Pi da primeira geração. Além disso, o Raspberry Pi também é capaz de realizar conexão Bluetooth com outros dispositivos de maneira simples e direta, enquanto os Arduinos

possuem certa dificuldade para realizar essa tarefa. Assim, projetos de IoT ou que envolvem a comunicação wireless entre dispositivos são mais fáceis quando controlados por um Raspberry Pi.

Figura 5 – Raspberry *Pi* – Modelo 3

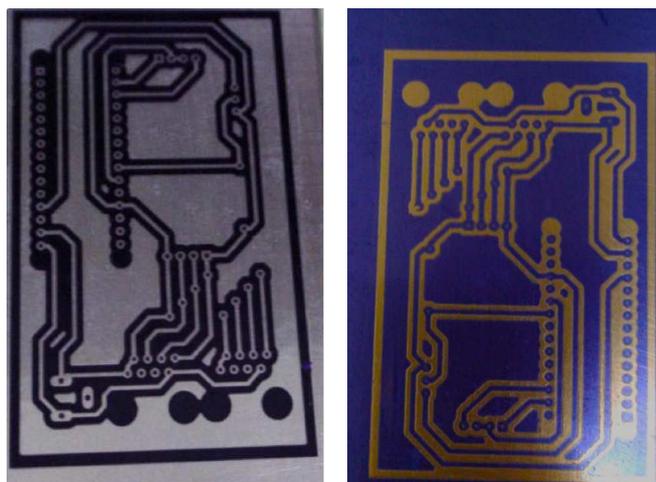


Fonte: Elaborado pelo autor.

d. Placa de Circuito Impressa (PCI)

Foram confeccionadas Placas de Circuito Impressa – PCI (Printed Circuit Board - PCB) (Figura 6), que consiste em uma placa de um polímero isolante (fenolite, fibra de vidro, fibra de poliéster, entre outros materiais) coberta por uma fina camada de cobre. A PCI foi desenvolvida para proporcionar o funcionamento do SMRA (Mello, 2015).

Figura 6 – Placas de Circuito Impressa (PCI) confeccionadas para o SMRA



Fonte: Elaborado pelo autor.

Software – Sistema de Comunicação de Dados

O uso de Arduino é baseado em uma IDE³ Arduino, de código aberto⁴ e baseada em uma linguagem C++ simplificada, tornando fácil a operação. Juntos, o hardware e a IDE do Arduino proporcionam uma forma acessível de projetar e controlar circuitos de tamanhos e complexidades variadas (Low *et. al.*, 2020). É necessário o uso de um sistema operacional, Linux ou Windows, instalado em um computador.

Segundo dados da Raspberry Foundation⁵, o Raspberry *pi* 3 possui um sistema operacional fundamentado no Kernel do Linux, cujo nome é Raspbian, porém outros sistemas operacionais podem ser instalados: Arco, Ubuntu, RISC OS e o Windows 10 para IoT CORE, sendo este último um sistema projetado para IoT. Algumas das linguagens suportadas são C/C++, Java, Python, dentre outras. É necessário apenas um monitor, teclado e mouse para o uso do Raspberry *pi* 3. Foi utilizado o Linux e Windows.

Além deles foi testado o software livre ScadaBR, um software desenvolvido em modelo código aberto, possuindo licença gratuita. Foi desenvolvido com recursos públicos através do apoio da FINEP, SEBRAE e CNPq, que em 2006, financiaram um pequeno time de desenvolvimento durante 2 anos. Toda a documentação e o código-fonte do sistema estão à disposição (<http://www.scadabr.org>), inclusive sendo permitido modificar e redistribuir o software se necessário. O ScadaBR é uma aplicação multiplataforma baseada em Java, ou seja, é possível executá-la usando o Windows, Linux ou outros sistemas operacionais (Constain, 2011).

Etapa III – Desenvolvimento do Sistema

O desenvolvimento do sistema foi baseado nos trabalhos de Parra *et al.* (2018); Bownik e Wlodkovic (2021); Shen e Nugegoda (2021); Lim *et al.* (2022) e Wu *et al.* (2022).

No planejamento de uma possível rede de dados sem fio, com a utilização de internet adaptou-se o trabalho de Harun *et al.* (2012) que apresentaram resultados de estudos de propagação de sinal para planejamento de redes de sensores sem fio em cultivos aquícolas para monitoramento da qualidade da água,

³ Software que auxilia a criação de aplicações do Arduino, combinando ferramentas comuns de desenvolvimento em uma única interface gráfica do usuário (código fonte).

⁴ <https://www.arduino.cc/en/software>

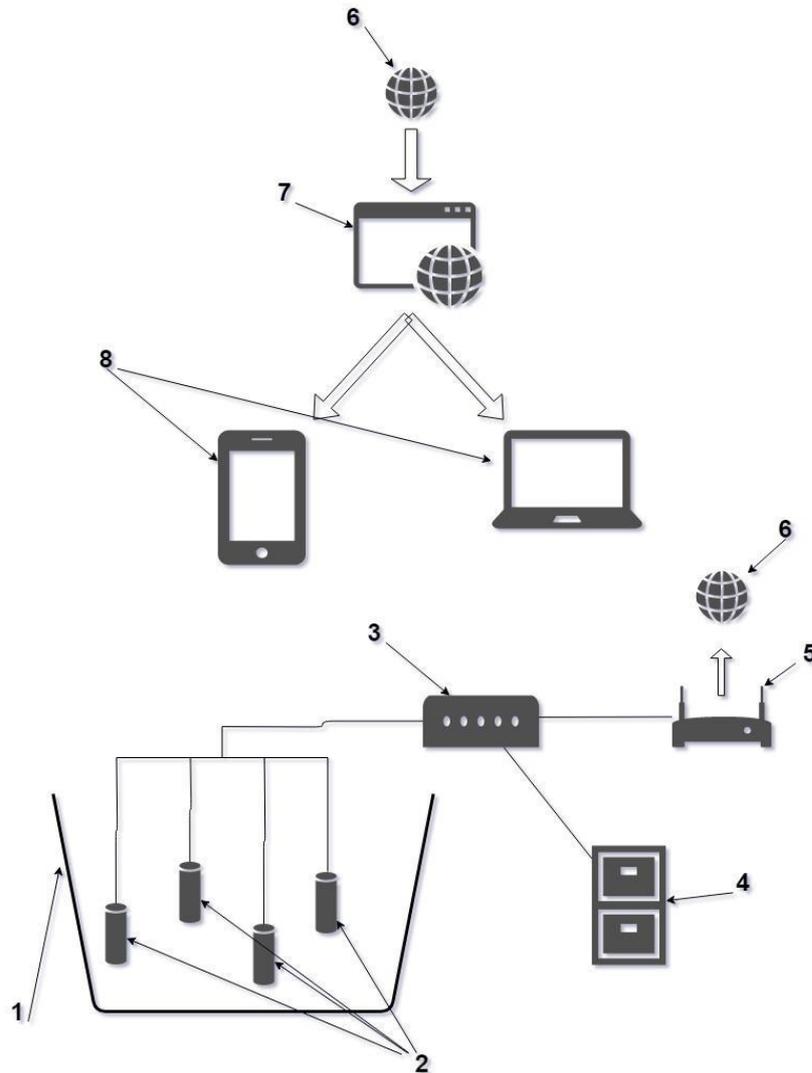
⁵ A Raspberry Pi Foundation é uma instituição de caridade sediada no Reino Unido com a missão de permitir que os jovens realizem todo o seu potencial através do poder da computação e das tecnologias digitais. <https://www.raspberrypi.org>

O Sistema de Monitoramento Remoto para a Aquicultura (SMRA) visa coletar uma grande quantidade de dados de forma automatizada e, a partir de tais dados, proporcionar elementos fiáveis e contínuos que ofereçam um melhor embasamento para tomadas de decisão, gerando maior eficiência ao cultivo.

Na Figura 7 visualizamos um escopo das possíveis interações do Sistema de Monitoramento Remoto em Aquicultura - SMRA. No tanque ou reservatório (1), ou qualquer outra área onde seja possível a prática da aquicultura, são instalados os diversos sensores (2), podendo estes serem dos mais variados parâmetros, como temperatura, pH, oxigênio dissolvido, nitrito, nitrato, amônia ou qualquer outro sensor que possa ser utilizado em aquicultura. Os sensores (2) são à prova d'água, e, portanto, podem ser submersos. As sondas (2) são ligadas através de fios à central do sistema (3), enviando as informações coletadas a cada instante.

A caixa do sistema (3) é responsável pelas principais atividades do sistema apresentado nesta patente, é nela que são analisados os dados e tomadas as devidas ações para o controle dos parâmetros definidos através do acionamento ou desligamento de cargas. O backup (4) é feito de modo que todas as informações coletadas pelos sensores são gravadas com seus respectivos horários de medição em um cartão micro SD. O arquivo de backup é gerado no formato “.csv”, permitindo que seja elaborada uma planilha organizada com todos os dados, facilitando a geração de gráficos para provenientes estudos. A caixa do sistema (3) pode ser ligada a um modem com acesso à internet (5) para o envio das informações e controle de modo remoto. Com o modem (5) conectado a caixa do sistema (3), todas as informações são enviadas para uma página web (6) que as mostrará de forma organizada para o operador. A partir da página (6) é utilizado o aplicativo do sistema (7) que direciona o usuário para o referido endereço virtual. O aplicativo (7) pode ser acessado pelos mais comuns dispositivos eletrônicos (8), como celulares (8), notebooks (8), tablets (8) e outros meios que possuam acesso à internet (8).

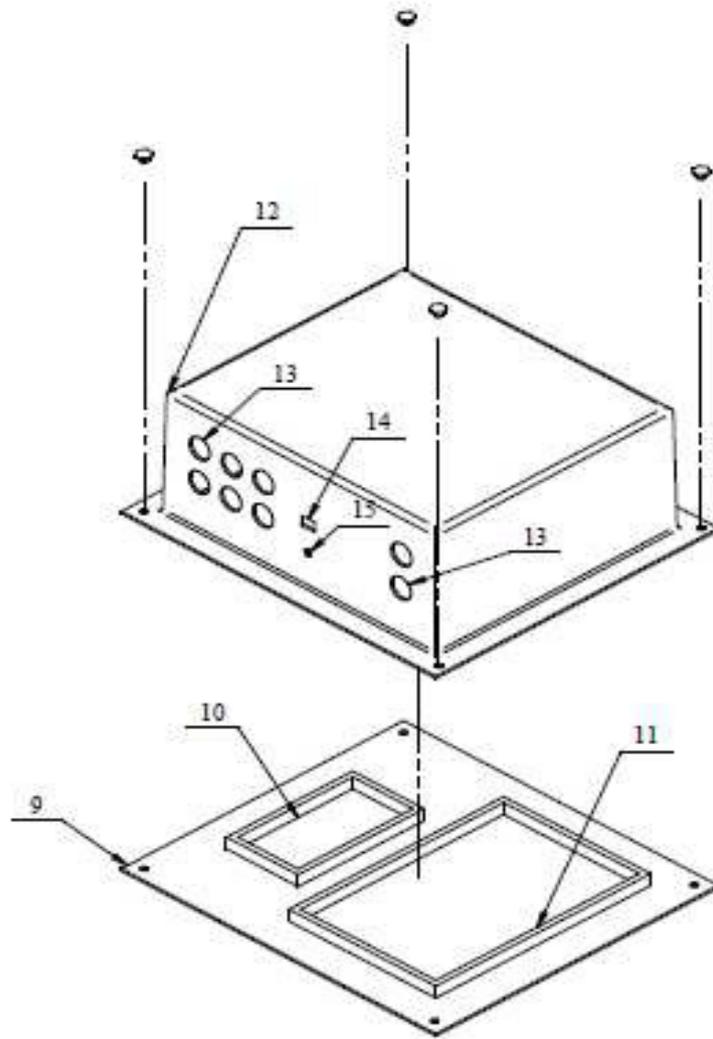
Figura 7 - Representação geral das interações do sistema



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 8 representa a perspectiva isométrica explodida da carcaça da caixa do sistema (3) mostrada na figura anterior. Toda a caixa é feita de material plástico, de modo a evitar corrosão dela, já que esta ficará exposta em locais que podem ter uma alta maresia. A caixa possui uma base (9), esta, por sua vez é confeccionada de tal modo que haja um encaixe para o microcontrolador (10) e encaixe para uma placa que vai conter os outros dispositivos do sistema (11), como por exemplo, módulos de sensores, de internet, de backup etc. Na tampa (12) da caixa do sistema (3) estão as entradas do tipo MIKE 3 vias (13) para os diversos tipos de sensores (2), uma entrada para conexão com cabo RJ45 (14) que deverá levar internet ao sistema e uma entrada para a alimentação do sistema via cabo P4 (15)

Figura 8 - Perspectiva isométrica aberta da caixa do sistema



Fonte: Elaborado pelo autor.

O sistema de monitoramento pode conectar-se à internet através de um cabo de rede vindo de um modem com acesso à rede. As medidas dos sensores são coletadas pela CMR e enviadas para uma página web, podendo ser facilmente monitoradas pelo usuário de qualquer lugar com conexão à internet (Figura 9).

Figura 9 - Representação da visualização dos dados em celular ou computador



Fonte: Elaborado pelo autor.

Também é possível o backup dos dados em um cartão microSD, armazenando os valores de cada sensor em seus respectivos horários.

Os dados obtidos pelos sensores são salvos no cartão SD no formato .csv de planilha. Este formato mostra os valores separados por vírgula, facilitando a geração de gráficos para interpretação dos resultados.

Etapa IV – Localização dos Testes de Campo

1º Teste de Campo

Com o SMRA confeccionado foi realizado o primeiro teste na Estação de aquicultura Professor Doutor Raimundo Saraiva da Costa, da Universidade Federal do Ceará (Figura 10). Os objetivos deste primeiro teste foram os seguintes: verificar a comunicação de dados, o armazenamento dos dados e o envio de dados para o *DataLogger* do sistema.

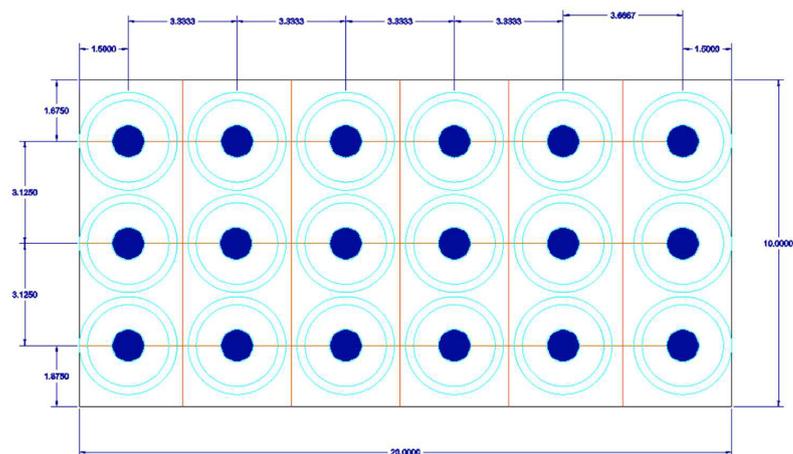
Figura 10 - Foto aérea da Estação de Aquicultura Professor Doutor Raimundo Saraiva da Costa (UFC)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi montado um sistema com 18 pontos de monitoramento (equidistantes) da temperatura em um tanque da estação (20m x 10 m x 1,6m), a uma profundidade média de 60cm e programado para durar 24h (das 17h às 17h), conforme layout abaixo (Figuras 11, 12 e 13).

Figura 11 – Esquema do sistema de monitoramento montado para o primeiro teste



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12 - Sistema de monitoramento sendo montado no tanque



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13 - Vista aérea do sistema de monitoramento montado



Fonte: Elaborado pelo autor.

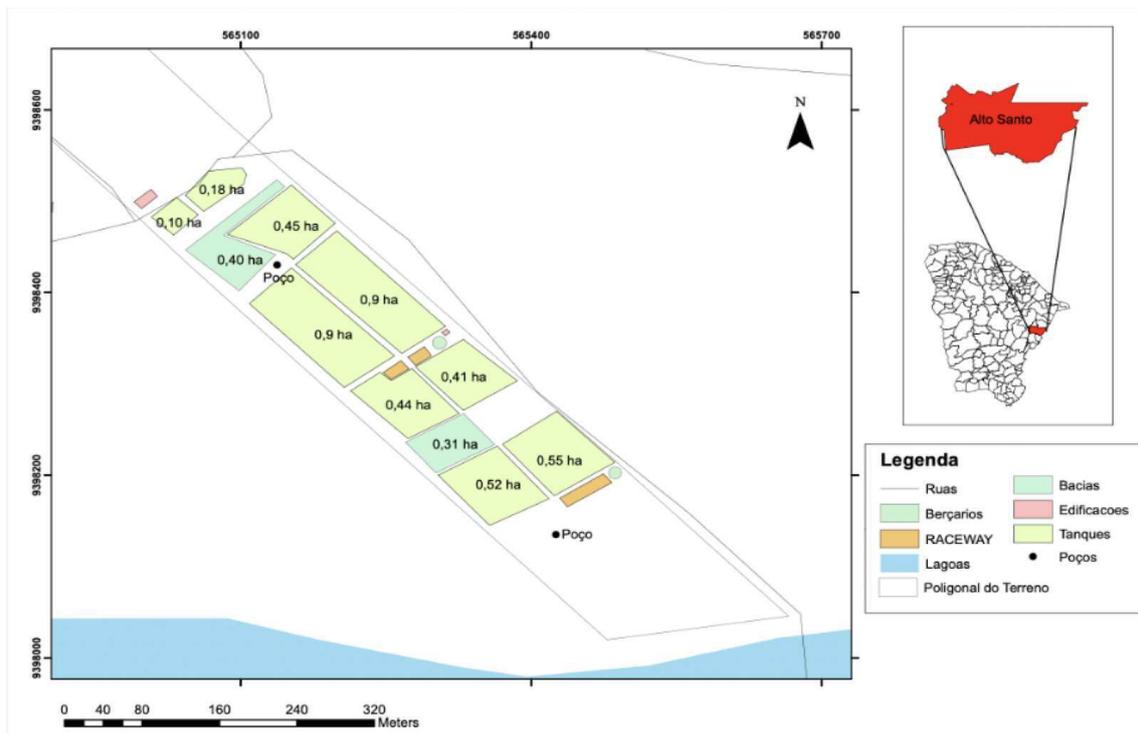
Foram instaladas três linhas de monitoramento contendo seis pontos de medição, distanciados de até três metros do próximo. Sendo assim, em uma única entrada para sensores de temperatura, o número de pontos de medição desse parâmetro poderá chegar até 6, com um total de distância de 18 metros até a caixa do sistema. Essa característica de disposição dos sensores em linha dá ao sistema a possibilidade de criar uma rede de pontos de medição sobre toda a área a ser analisada.

Na caixa do sistema também há entradas para conexão com internet via cabo e para alimentação através de uma fonte de energia. O sistema funcionou por 24h.

2º Teste de Campo

No intuito de obter maiores informações sobre a capacidade do SMRA em tanques maiores, foi realizado um teste em uma fazenda de carcinicultura de pequeno porte no município de Alto Santo, no Estado do Ceará (Figuras 14, 15 e 16). O viveiro escolhido tinha o tamanho de 0,45ha. Foi escolhido por ser o menor em operação na propriedade.

Figura 14 – Mapa com o layout da fazenda de carcinicultura e indicação do viveiro, no município de Alto Santo, Estado do Ceará



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 15 - Vista aérea de todos os viveiros em operação na propriedade



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 16 - Vista aérea do viveiro de teste para o SMRA



Fonte: Elaborado pelo autor.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

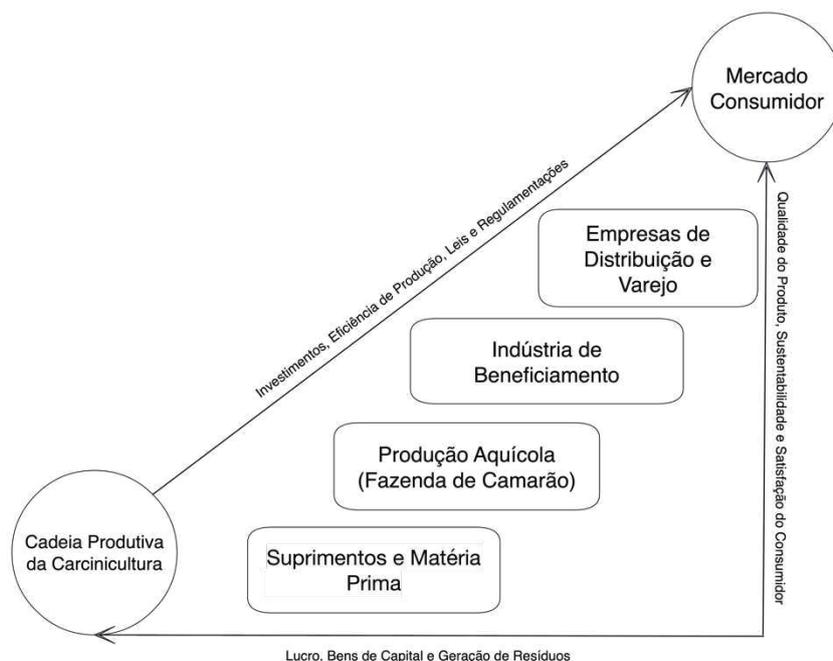
4.1 Caracterização da cadeia de suprimentos para identificação de *Hotspots* de inovação

O desenho de pesquisa iniciou-se então com a identificação de segmentos da cadeia produtiva da carcinicultura na região de estudo compreendendo três etapas, que incluem: (1) coleta de dados dos projetos técnicos, (2) coleta de dados da literatura e (3) identificação dos macroprocessos da cadeia produtiva.

Em todos os documentos pesquisados observou-se, que a cadeia produtiva na carcinicultura continham quatro segmentos: (i) suprimentos e matérias-primas, (ii) produção aquícola (fazenda de camarão), (iii) processo do produto (indústria de beneficiamento), (iv) comercialização e mercado consumidor.

Como resultado de análise do banco de dados de projetos descrevemos os quatro segmentos e as relações sistêmicas na cadeia produtiva da carcinicultura no estado do Ceará (Figura 17).

Figura 17 – Esquema da cadeia produtiva e de suprimentos da aquíicultura, baseada na carcinicultura, no estado do Ceará, Brasil



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, para chegar ao mercado consumidor a cadeia produtiva da carcinicultura precisa realizar investimentos, ser eficiente em sua produção e obedecer às leis e regulamentações para o seu devido funcionamento. Ao mesmo tempo o mercado consumidor exige a qualidade do produto, sustentabilidade, inclusive o bem-estar animal e assim atenderá a sua satisfação com o produto adquirido. Em troca disso, o mercado consumidor entrega a cadeia produtiva da carcinicultura lucro e bens de capital.

Em consonância com os segmentos descritos acima, Todeva e Rakhmatullin (2016) afirmam que uma cadeia de valor descreve toda a gama de atividades em que as empresas se envolvem para trazer um produto (ou serviço) desde sua concepção até seu uso final e além. Isso inclui toda a sequência de criação de valor – desde o design, fornecimento de insumos, produção, marketing, distribuição, suporte pós-venda ao consumidor final e atividade de descarte após o uso, principalmente no contexto da sustentabilidade.

O estudo de cadeia de suprimentos se mostra fundamental quando o intuito é identificar prioridades para o desenvolvimento sustentável, como descreveram Jones *et al.* (2015) realizando um exercício de priorização ao longo da cadeia de suprimentos aquícola britânica, que delineou 25 principais necessidades de conhecimento, identificando alternativas viáveis e consideradas emergentes e de aplicação global.

Corroborando Freitas *et al.* (2009) em análise da cadeia produtiva da carcinicultura no estado de Santa Catarina corrobora com a importância de identificar segmentos para direcionar uma gestão capaz de consolidar, estabelecer e ampliar os nichos ainda não explorados, que dinamizem a produção e tornem a cadeia mais eficaz.

Da mesma forma Bush *et al.* (2019) realizaram uma revisão sobre a cadeia de suprimentos na aquicultura, verificaram a necessidade de maior atenção aos segmentos e categorias de atores negligenciados, como a inovação no processo produtivo e o acesso aos benefícios que a tecnologia pode proporcionar. Afirmam ainda ser imperativo que as pesquisas futuras sejam mais rigorosas e diversificadas sobre a cadeia de suprimentos, para iluminar o desenvolvimento contínuo do setor de aquicultura, contribuindo para a aquicultura de precisão e a expansão sustentável como um componente importante do sistema alimentar global.

Importante salientar que as fases que compõem uma cadeia produtiva, podem estar contidas em uma única empresa ou divididas entre diferentes empresas. Elas podem estar contidas em uma única localização geográfica ou com o efeito da globalização estarem espalhadas por áreas mais amplas e ainda conter setores relacionados e não relacionados diretamente com a atividade de aquicultura.

Toda a cadeia da aquicultura é voltada para o mercado consumidor, e este está cada vez mais sensibilizado pelos mais diversos aspectos e fatores necessários para a rastreabilidade na produção e dos mais diversos produtos provenientes da aquicultura, conforme afirmam Oliveira *et al.* (2021), de que as informações de rastreabilidade é um fator importante em toda a cadeia de suprimentos e precisam ser registradas em uma plataforma externa, disponível não apenas para os operadores da cadeia de suprimentos e autoridades de saúde pública, mas também para os consumidores finais.

A tendência da aquicultura é ser cada vez mais intensiva e, portanto, a produção requer o uso eficiente de energia, recursos e o emprego de tecnologias de baixo carbono que fortalecem a sustentabilidade da aquicultura. A aplicação de tecnologias que favoreçam a sustentabilidade da atividade é fundamental para o contínuo crescimento do setor, como exemplo, Tsakiridis *et al.* (2020) afirmam que a aquicultura intensiva requer o uso eficiente de recursos e o emprego de tecnologias de baixo carbono que fortaleçam a sustentabilidade da aquicultura em toda a cadeia produtiva.

No caso do Brasil, Valenti *et al.* (2021) asseveram que o desafio é desenvolver sistemas de produção verdadeiramente sustentáveis sendo supridos com perenidade de novas tecnologias, incluindo dispositivos digitais e inovações disruptivas simples, auxiliando na melhoria da produtividade e crescimento da atividade no país.

Constata-se que o conhecimento da cadeia produtiva da carcinicultura se torna fundamental para avaliação das necessidades de tecnologias que possam trazer sustentabilidade para o setor, amparadas por inovações e conhecimentos utilizados em diversos setores e fases da produção.

Com o estudo da cadeia produtiva em tela, identificou-se os quatro elos da cadeia produtiva (Matérias primas e insumos; produção aquícola; processo e beneficiamento de produtos; distribuição e mercado consumidor) com os possíveis *hotspots* de inovação que proporcionarão oportunidades de pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias, conforme descrito a seguir.

4.1.1 Hotspots de inovação

É notório que o desenvolvimento da aquicultura depende do desenvolvimento de novas tecnologias e disruptivas, como a robótica, internet das coisas - IoT, novos ingredientes para a ração, biotecnologia e farmacologia, entre outros.

Em todas essas tecnologias, existem grandes lacunas a serem preenchidas entre a disponibilidade da tecnologia e a sua efetiva utilização na cadeia de suprimentos da aquicultura. A dificuldade ainda é aumentada quando se trata de integrar todas essas tecnologias de forma sistêmica em um complexo fluxo de recursos e demandas. Kasmi (2020) afirma ser fundamental a criação de uma sinergia de inovação, através de fluxos de informação e conhecimento, como fonte de criação de *hotspots* de tecnologias inovadoras e assim induzir o desenvolvimento territorial.

Na agricultura, há diversos estudos que analisaram os estímulos necessários para a adoção da tecnologia nas propriedades, concluindo que tais estímulos desempenham um papel fundamental no aumento da produtividade agrícola.

Na aquicultura, Kumar *et al.* (2018) afirmaram que são insipientes trabalhos que estudem os fatores que impulsionam a adoção de novas tecnologias, mesmo que nos últimos anos, as tecnologias aquícolas tenham se desenvolvido consideravelmente nem todas as tecnologias foram prontamente adotadas pelos aquicultores. Esses autores resumem os fatores críticos que influenciam a adoção da tecnologia na aquicultura em cinco pontos: (1) o método de transferência da tecnologia, (2) as características da tecnologia, (3) as características das propriedades, (4) os fatores econômicos e (5) os fatores sociodemográficos e institucionais.

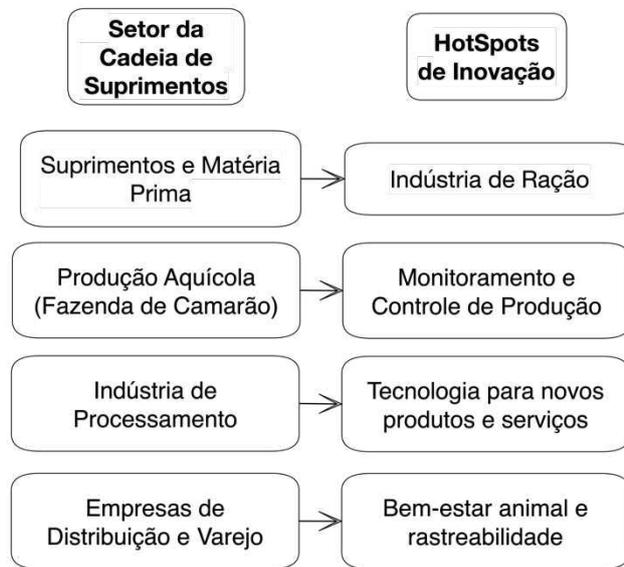
Em estudo realizado no Chile com pequenos produtores aquícolas, Salazar *et al.* (2018) listaram os fatores subjacentes às escolhas de inovação, indicando que a educação, o acesso à Internet, a participação em organizações, os métodos de comercialização, os instrumentos governamentais, a compreensão do crédito e a colaboração social estimulam as tomadas de decisão para a adoção de um processo de inovação.

Uma retrospectiva de 20 anos da aquicultura, incluindo a carcinicultura, foi abordada por Naylor *et al.* (2021), afirmando que a evolução do setor se deve a uma grande pressão exercida para que toda cadeia de valor adote medidas abrangentes de sustentabilidade com uma melhor governança e o uso de novas tecnologias.

A importância da inovação tecnológica no incremento da eficiência e sustentabilidade da aquicultura, já era descrita em uma publicação referencial de Burnell e Allan (2009).

Constatada a devida importância da criação pontos de inovação e baseado em Vlachos e Malindretos (2021), identificou-se quatro setores da cadeia de suprimentos correlacionando com as oportunidades de *hotspots* de inovação para cadeia produtiva da aquicultura no estado do Ceará (Figura 18), oportunidades estas corroboradas por Flora (2010) que já indicava essas prioridades para o avanço da aquicultura.

Figura 18 – *Hotspots* de inovação da aquicultura, Estado do Ceará, Brasil



Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir, justifica-se a escolha e verifica-se avanços, e assim, as possibilidades nos quatro *hotspots* de inovação identificados.

4.1.1.1 *Matérias primas e insumos | Hotspot – Fabricação de ração*

O crescimento da aquicultura é acompanhado e impellido pela indústria de ração, formando uma simbiose, por vezes imperfeita, mas fundamental para o aumento da eficiência em toda a cadeia produtiva. Embora a sustentabilidade esteja frequentemente associada a um sistema de cultivo aquícola de baixa densidade e que use a alimentação natural (Naylor *et al.*, 2021), a aquicultura se estabelecerá como um sistema mais intensivo e com a utilização de ração, é a que vai contribuir para a expansão sustentável da atividade, principalmente com a substituição ou diminuição da concentração das proteínas provenientes da farinha de peixe e dos lipídeos do óleo de peixe, que ainda são os principais ingrediente atualmente utilizados (Tacon, 2020).

Apesar de ambos os ingredientes serem considerados os mais nutritivos e digeríveis para os animais aquáticos cultivados, há uma intensa procura de alternativas que possam diminuir a utilização em rações de derivados da pesca extrativa marinha (FAO, 2022). Tacon *et al.*, (2022) sugeriram orientações para uma efetiva sustentabilidade na cadeia

produtiva da indústria das rações para aquicultura, incluindo a inserção de novas tecnologias na busca de novos ingredientes e formulações.

Neste sentido, Mitra (2021), em seu artigo de revisão, afirma que mesmo com o esforço em pesquisa e desenvolvimento para a geração de novas alternativas, ainda somos confrontados com desafios em relação à disponibilidade e custo de novos ingredientes para a efetiva utilização em escala comercial.

Há um potencial de biomassa marinha ainda não explorada que pode ser utilizada para fins de alimentação na aquicultura, principalmente a biomassa que se encontra em níveis tróficos mais baixos, como o plâncton (principalmente o zooplâncton), conforme estudo realizado por Albrektsen *et al.* (2022). No entanto, os impactos da pesca extrativa em níveis tróficos mais baixos precisam ser mensurados, principalmente os que podem ocorrer ao longo da cadeia trófica marinha (Smith *et al.*, 2011). Assim, é fundamental a análise de diversas variáveis e possibilidades na aglutinação de ingredientes que possa atender às inúmeras exigências nutricionais de cada espécie cultivada e as variáveis econômicas e ambientais (Godoy, 2019).

Essas possibilidades podem ser desde recursos naturais subutilizados, resíduos gerados em processos de transformação da indústria alimentícia, ingredientes microbianos como bactérias e leveduras, insetos e outros animais, alimentação sintética entre tantas outras que devem atender todo o ciclo produtivo, para além da fase larval de cultivo (Hua *et al.*, 2019; Carter; Codabaccu, 2022).

Morais *et al.* (2020) indicam um ciclo de desenvolvimento de novas tecnologias na indústria de ração com o uso de processos e modelos computacionais e estatística avançada, com uma abordagem fechada de rastreamento e seleção de ingredientes com a realização de diversas revisões e criação de modelos que indiquem os melhores ingredientes, sem a necessidade de longos experimentos e análises com custos elevados, inclusive sendo a mesma metodologia utilizada para o desenvolvimento de diversas vacinas para a COVID-19.

Cooney *et al.* (2021) desenvolveram um instrumento multicritério de apoio à decisão em modelos computacionais (redes neurais e metadados) para a formulação de alimentos para a aquicultura, objetivando otimizar custos econômicos, manter o valor nutricional e a digestibilidade dos nutrientes, ao mesmo tempo que se minimizem os impactos ambientais. Este instrumento pode aproveitar grandes conjuntos de dados para identificar padrões e gerar novas formulações que satisfaçam as necessidades específicas das espécies estudadas, com a ferramenta de *blockchain*, seria possível, por exemplo, acelerar o desenvolvimento de novas formulações de rações (Bush *et al.*, 2019).

4.1.1.2 Produção Aquícola | Hotspot – Monitoramento e controle da produção

Nas últimas décadas, uma das grandes preocupações do setor aquícola, inclusive do cultivo de camarão, é a intensificação dos cultivos para uma maior produtividade, principalmente com o aumento da densidade de estocagem (FAO, 2022).

No entanto, o aumento da intensificação pode causar o aumento de doenças e impactos ambientais (Zhang *et al.*, 2022), aumentando as possibilidades de entrada de agentes patogênicos, com possíveis perdas econômicas e consequente redução da rentabilidade. A vibriose é uma das doenças bacterianas que normalmente afetam uma vasta gama de espécies de camarão (Abdel-Latif *et al.*, 2022), inclusive o *Litopenaeus vannamei*, espécie que ocupa praticamente 100% dos cultivos de camarão no estado do Ceará.

O uso de fármacos, como os antibióticos e outros medicamentos são proibidos em muitos países, pois podem gerar consequências negativas para o ser humano e o ambiente (Tang *et al.*, 2017). Para a atenuação do surgimento de doenças e os impactos causados pelo uso de antibióticos, há pesquisas em diversas áreas do conhecimento tais quais vacinação, controle da qualidade da água, probióticos, protocolos de biossegurança, imunomoduladores à base de plantas, entre outros (Feng *et al.*, 2022).

Assim, para focar no *hotspot* de monitoramento e controle, vislumbrou-se diversas ferramentas tecnológicas que auxiliam na eficiência do monitoramento e controle das diversas variáveis biológicas e ambientais, que podem causar impactos positivos ou negativos no setor de produção da aquicultura. Novas tecnologias de monitoramento e controle nos cultivos, possui o objetivo de atingir ótimos índices de performance na produção aquícola, sendo uma preocupação atual, decorrente do crescimento da demanda por mais alimentos no mundo.

Destacam-se ainda os artigos de pesquisa e revisões da literatura como os de Ilheringi (1932); Nash (1970); Ray (1970); Shewfelt (1971); Webber (1973); Neuman (1974); Allen e Johnston (1976); Huguenin e Ansuini (1978); Coche (1978); Koppel (1979); North (1980); Parker (1984); Plaia (1987); Lee (1995); Buschmann *et al.* (1996); Zechendorf (1999); Adams e Thompson (2006); Tonheim *et al.* (2008); Chávez-Crooker, Obrique-Contreras (2010); Martins *et al.* (2010); Crab *et al.* (2012); Saint-Paul (2017); Pahor-Filho *et al.* (2019); Valenti *et al.* (2021); Hersoug *et al.* (2021); Chakraborty e Krihnani (2022); Miyanishi e Nagano (2022); Yinghao *et al.* (2022) entre tantos outros que avançam com novas tecnologias para a sustentabilidade do setor aquícola.

No campo da biotecnologia, Samanta *et al.* (2022) revisaram a importância das nanopartículas nutracêuticas para resolver os desafios na produção aquícola, como a

prevenção e tratamento de doenças, o fornecimento de medicamentos e nutrientes e a gestão da qualidade da água. O avanço da engenharia genética na aquicultura é descrito por You *et al.* (2020).

O uso da acústica para monitoramento e avaliação da resposta alimentar em cultivos de camarão, conseguindo monitorar o som da oclusão mandibular, pode favorecer uma melhor eficiência na oferta de ração nos cultivos (Reis *et al.*, 2022). Li *et al.* (2022) avaliaram os avanços sobre o monitoramento do stress dos animais na aquicultura, verificando que os métodos e equipamentos automatizados mecânicos, visuais e de acústica (inteligência artificial e IoT) que avaliam as respostas ao estresse comportamental e fisiológico são fundamentais para o controle do bem-estar animal. Terayama *et al.* (2019) desenvolveram um sistema automatizado de rede neural profunda, integrando câmeras com sonares para o monitoramento dos animais em ambientes de cultivo, mesmo durante os períodos noturnos.

Todos esses esforços dão origem à aquicultura de precisão, um conceito de gerenciamento sistêmico baseado na observação, medição e resposta à variabilidade espacial e temporal do sistema produtivo aquícola (Antonucci; Costa, 2019). É muito importante a criação de um sistema de precisão para a aquicultura que colete e analise os dados, tome decisões e atue na melhoria da eficiência do cultivo (Føre *et al.*, 2018).

Como muitas propriedades ficam em zonas rurais, com baixa infraestrutura energética, Jamroen *et al.*, (2023) criaram um equipamento automatizado (IoT) de fornecimento de energia contínua, baseado em energia fotovoltaica, para provisão de um sistema de monitoramento e controle na aquicultura. O trabalho de Das *et al.* (2018) que descreve um protótipo operacional baseado nos conceitos da Internet das Coisas para monitoramento em tempo real de várias condições ambientais dos cultivos.

Como exemplo prático, Encinas *et al.* (2017) cita que um dos grandes problemas vinculados a deterioração da qualidade da água é o tempo que se leva para a detecção do problema e a efetividade de uma solução (lento tempo de resposta) produzindo perdas e ineficiência do sistema aquícola. Importante salientar que em 95% dos sistemas de produção aquícola no mundo no que tange aos fatores e propriedades físico-químicas da água, são medidas manualmente (Shetty *et al.*, 2018).

Em relação ao controle de efluentes provenientes do processo produtivo da aquicultura, Ahmad *et al.* (2022) identificou os avanços tecnológicos no tratamento e reutilização destes efluentes diminuindo os impactos negativos.

4.1.1.3 Processo de beneficiamento dos produtos aquícolas | Hotspot – Tecnologia para novos produtos e utilizações

O estabelecimento da “Economia Azul”, isto é, de produtos e serviços provenientes de animais e plantas aquáticas é a mais nova fronteira a ser alcançada (Farmery, *et al.*, 2021). Isso faz com que a aquicultura, além de ser um setor importante para a produção de alimentos, seja também uma fonte de matérias-primas para as mais diversas indústrias e na produção de energia. A produção proveniente do cultivo de algas, por exemplo, é utilizada como fonte primária de carragenina, o ágar-ágar e o ácido algínico utilizados largamente na indústria de alimento (Raja *et al.*, 2022).

A perspectiva ainda é que essa produção possa ser a fonte de produtos alimentícios à base de proteínas, principalmente com o aumento do movimento vegano, uso no setor farmacêutico e produtos de beleza (Couto *et al.*, 2022). Zhang *et al.* (2022), por exemplo, elaborou um modelo eco-industrial de produção da alga *S. latíssima*, com as implicações econômicas e ambientais, concebendo detalhadamente um sistema com práticas de gestão diretamente ligada à indústria de transformação.

A farinha de peixe são produtos muito utilizados pela indústria de ração, por isso existe uma busca de ingredientes para a sua substituição (Hodar *et al.*, 2020). O óleo de peixe, importante fonte de ômega 3, também é bastante utilizado na indústria de alimentos, rações, produtos farmacológicos e suplementos dietéticos (Huang *et al.*, 2018). Proteínas hidrolisadas de pescado também são uma fonte importante para a indústria alimentícia (Petrova *et al.*, 2018).

O colágeno e gelatina proveniente do pescado pode ser utilizado na indústria de alimentos, de cosméticos, farmacêutica e até na engenharia com materiais utilizados em processos construtivos (Jafari *et al.*, 2020; Sionkowska *et al.*, 2020). A pele de peixe também auxilia no tratamento de queimaduras, das mais diversas gravidades (Limaverde *et al.*, 2021).

Recentes avanços em nanopartículas à base de quitosana provenientes dos crustáceos, identificaram propriedades antibacterianas com usos em várias áreas biomédicas. Os nanomateriais baseados em quitosana têm importantes aplicações na indústria química, indústria farmacêutica, indústria têxtil, nanotecnologia envolvendo biossensores, tratamento de água, indústria alimentícia e agricultura (Gao; Wu, 2022).

Para subprodutos derivados da aquicultura, o processo mais eficiente é a recuperação de biomoléculas, como proteínas (colágeno, gelatina), polissacarídeos

(quitosana), lipídios (ômega 3) ou pigmentos (astaxantina ou beta-caroteno). As biomoléculas podem ainda ser aplicadas para consumo humano e animal, indústria alimentícia, cosmética ou farmacêutica (Corral *et al.*, 2022).

Destacamos o cultivo de algas com o objetivo de produzir energia e biocombustível, pois oferecem uma matéria-prima promissora para os biocombustíveis e outros compostos valiosos para a criação de biorefinarias e possuem um imenso potencial para contribuir para um futuro energético e ambiental limpo (Carioca *et al.*, 2009).

Mesmo não tendo estudos que comprovem a viabilidade econômica, existe um espaço amplo para o desenvolvimento de tecnologias integradas com as melhores combinações de culturas, sistemas de cultivo eficientes, e modos de produção para explorar a biomassa algal para aplicações em biorefinaria (Cheng *et al.*, 2022).

Vários trabalhos de revisão indicam um caminho promissor para o desenvolvimento de tecnologia para produção de energia com mais sustentabilidade com a aquicultura, tais quais o de Azwar *et al.* (2022), Alam *et al.* (2021), Efrogmson *et al.* (2021), Ganesan *et al.* (2020), Ge *et al.* (2021), Khan *et al.* (2022) e Rao *et al.* (2021).

4.1.1.4 Distribuição de produtos aquícolas e mercado consumidor | Hotspot – Bem-estar animal e rastreabilidade

A questão do bem-estar animal ao longo da cadeia de produção começa a se tornar um processo significativo, com perspectivas que essa questão aumente na percepção e opção de compra dos consumidores (Honkanen *et al.*, 2009).

Para Broom (1991) o termo “bem-estar” refere-se ao estado de um indivíduo em relação ao seu ambiente, e isto pode ser mensurado. Ainda segundo o autor indica os principais indicadores de baixo bem-estar: esperança de vida reduzida, crescimento prejudicado, reprodução prejudicada, danos corporais, doenças, imunossupressão, atividade adrenal, anomalias de comportamento e autonarcotização.

Várias questões complicam o processo de abordagem do bem-estar dos animais aquáticos de forma consistente. Estes incluem o seguinte: a enorme diversidade entre os animais aquáticos, a baixa compreensão das práticas envolvidas na aquicultura, o ambiente de cultivo (aquático) e relativa escassez de informações científicas (Hastein *et al.*, 2005)

Barr *et al.* (2008) em seu estudo sobre a nocicepção (capacidade de perceber um estímulo nocivo e reagir de maneira reflexiva) examinaram as respostas de um crustáceo decápode (*Palaemon elegans*), a diferentes estímulos (com e sem anestesia) e as respectivas

respostas reflexas (nocicepção) e respostas comportamentais que podem indicar dor. Os resultados foram consistentes para que possamos afirmar que os crustáceos estudados, sentiram dor.

Braithwaite e Huntingford (2004) afirmam que os peixes teleósteos possuem receptores de processamento de dor semelhantes aos dos vertebrados superiores e que a pesquisa desenvolvida por eles também mostrou que a neurofisiologia e o comportamento dos peixes são alterados em resposta à estimulação nociva. Concluem ser fundamental aprofundar estudos sobre as implicações da dor e do sofrimento dos peixes e assim considerar quais as medidas devem ser tomadas para garantir o bem-estar dos peixes provenientes da aquicultura.

No entanto, a avaliação do bem-estar dos animais aquáticos é complexa e, portanto, precisa se adaptar às novas tecnologias que podem ser adaptadas e aplicáveis às condições da aquicultura. Depende de muitos fatores inter-relacionados (Ellis *et al.*, 2002), cujos mecanismos são apenas parcialmente compreendidos na maioria das espécies cultiváveis, por suas especificidades e falta de informações dos diversos parâmetros físico-químicos e fisiológicos em tempo real.

Franks *et al.* (2021) citam a necessidade de estudos e uso de tecnologias inovadoras para incremento do bem-estar animal na aquicultura, como primordial para o crescimento da atividade e a aprovação do mercado consumidor.

Diggles (2019) para comprovar a dificuldade de estabelecer critérios para o bem-estar animal em crustáceos, realizaram uma revisão de trabalhos científicos que objetivavam identificar comportamentos referentes a sensação de “dor”. Nesta revisão os autores afirmaram que é impossível ter confiança científica de que os comportamentos observados em muitos experimentos estejam relacionados a sensação de “dor”, conforme já descrito por Elwood *et al.* (2009).

Medições clássicas de indicadores de bem-estar (indicadores de stress fisiológico e desempenho de crescimento) não são suficientes para aferição precisa do bem-estar dos animais aquáticos, sendo necessários equipamentos termográficos, de acústica, de câmeras, de sonares e uma utilização conjunta desses equipamentos para gerar dados onde se possa aferir o bem-estar na aquicultura (Toni *et al.*, 2019). A utilização de *bio-loggers* para captação de dados biológicos e fisiológicos em tempo real, como por exemplo, dos batimentos cardíacos, com o auxílio da IoT é uma alternativa para a aferição mais precisa do bem-estar (Hvas *et al.*, 2020).

Para além da coleta de dados biológicos e fisiológicos, o estudo da relação de bem-estar dos animais aquáticos e o ambiente de cultivo, é uma tendência importante na

aquicultura marinha, pois o intuito é de transferir a produção para locais mais afastados da costa, conseqüentemente mais expostos e com correntes marinhas mais intensas (Jónsdóttir *et al.*, 2019).

As ações que visam melhorar o bem-estar dos animais implicarão provavelmente em custos para o produtor aquícola, inclusive com processos de rastreabilidade, no entanto, espera-se que tais ações possam incrementar a rentabilidade com mudanças em fatores de produtividade e a disposição à pagar dos consumidores e superar os custos associados à implementação de uma intervenção específica de bem-estar (Kankainen *et al.*, 2012).

A rastreabilidade de produtos e informações, como as de bem-estar animal são cada vez mais necessárias com o fenômeno da globalização, onde as cadeias de abastecimento alimentar e a percepção dos consumidores estão cada vez mais complexas.

É importante e exigido cada vez mais pelos consumidores que seja conhecido a origem dos produtos que consumimos, não só por razões de saúde pública, no que diz respeito aos produtos provenientes da aquicultura, mas também devido à crescente consciencialização das pessoas para os aspectos ambientais e sociais, colocando novos desafios na qualidade dos produtos e no seu impacto ambiental (Freitas *et al.*, 2020).

Introini *et al.*, (2018) indicam dois pontos importantes com inserção de sistemas de rastreabilidade: garantir a segurança e a qualidade dos alimentos, bem como para conquistar a confiança do consumidor. Afirmam ainda que a indústria de alimentos precisa cada vez mais ser orientada para o cliente e de cadeias de abastecimento dinâmicas e colaborativas.

Neste processo de desenvolvimento do conhecimento da cadeia de suprimentos, Marchante *et al.* (2014), utilizando projetos de aquicultura como base, criou um sistema de rastreabilidade baseada em serviços web, que são utilizados para integrar dados de rastreabilidade capturados através de sistemas de Identificação por Rádio Frequência (RFID) com dados ambientais recolhidos com uma infraestrutura de Redes de Sensores Sem Fios (WSN).

Atualmente, uma das ferramentas tecnológicas para o rastreio das informações dos produtos na grande rede global de suprimentos do setor alimentício é a *Blockchain*. Cruz *et al.* (2019) conceberam uma plataforma integrada de rastreabilidade da aquicultura relacionada com a origem geográfica e a localização dos produtos, como também com a medição contínua das condições ambientais, bem-estar animal, de transporte e armazenamento dos produtos. Importante que junto com as ferramentas de rastreabilidade, sejam criados mecanismos e

tecnologias que aumentem a confiança dos consumidores nas garantias que a cadeia de suprimentos fornece, desde o início dessa cadeia (Bottema *et al.*, 2021).

Pandey *et al.* (2022) realizaram uma revisão da literatura sobre o imenso alcance e significado da *Blockchain* na cadeia de suprimentos da indústria da alimentação, inclusive na aquicultura. Este estudo também discute desafios como a escalabilidade, a interoperabilidade e o custo elevado e sugere soluções potenciais para as dificuldades existentes na adoção da tecnologia *Blockchain*. Estes avanços buscam a efetividade da cadeia de suprimentos 4.0, incluindo uma variedade de tecnologias que permitam o desenvolvimento de uma rastreabilidade digital, automatizada e em tempo real (Cruz *et al.*, 2019).

4.2 Sistema de Monitoramento Remoto da Aquicultura – SMRA

O SMRA foi desenvolvido com código aberto - sistema de aquisição de dados, sistema de armazenamento de dados e plataforma de visualização - que permite a digitalização de dados das variáveis ambientais do setor aquícola. Sistemas remotos podem auxiliar na alimentação, (Osaka *et al.*, 2010), injeção de vacinas (Lee *et al.*, 2013) e identificação de animais doentes (Antonucci; Costa, 2020; Sun *et al.*, 2020) e muitas outras funcionalidades.

Na robótica, por exemplo, os robôs têm o potencial de realizar algumas tarefas laboriosas e arriscadas. Na aquicultura, robôs submarinos automatizados são utilizados na inspeção e limpeza do status das redes na indústria do salmão, o que levou menos riscos humanos nas operações (Paspalakis *et al.*, 2020). Os robôs também têm sido usados para inspecionar a saúde dos peixes, monitorar e prevenir fugas de peixes cultivados (Ohrem *et al.*, 2020).

Na literatura, há múltiplos exemplos de abordagens relativamente baratas para a aquicultura e o monitoramento da qualidade da água (Suciu *et al.*, 2022). No entanto, existem poucos sistemas personalizados, que podem funcionar universalmente para todas as espécies e sistemas de cultivo de aquicultura (Kruusma *et al.*, 2020) devido à alta diversidade de espécies e sistemas de aquicultura.

A avaliação objetiva do SMRA nos testes foi baseada em dois fatores basilares: comunicação de dados no sistema e a possível falha dos sensores. Em relação a comunicação, foi verificado se o dado chegou ou não ao *DataLogger* no momento no qual foi programado. Em relação a discrepância de dados, a avaliação foi realizada levando em consideração

diferenças analíticas maiores que 5% da média obtida por esse mesmo sensor no período de coleta de dados e por todos os sensores neste mesmo momento programado de coleta do dado.

Esses critérios para avaliação são básicos para avaliação de Controles Lógicos Programáveis (CPL) e estão de acordo com Simbeye *et al.* (2014); Saha *et al.* (2018); Parra *et al.* (2018); Ajaya *et al.* (2022) e Suciú *et al.* (2022). Importante salientar, que a relação dos dados com o ambiente de cultivo e dados zootécnicos não foram levados em consideração para avaliação do sistema.

4.2.1 Teste de Campo do SMRA

4.2.1.1 Resultado do SMRA – Teste 1

O sistema foi testado por um período de 24 horas (setembro de 2019) na estação de piscicultura da Universidade Federal do Ceará, onde estava sendo cultivada a espécie *Oreochromis niloticus* (Tilápia). Para esse experimento foram utilizados 18 sensores de temperatura e o armazenamento dos dados era feito a cada minuto, totalizando 1.420 medições por sensor.

Com a coleta dos dados, os valores foram exportados para o Excel (.csv) de forma automática pelo sistema. Os dados foram analisados graficamente no intuito de auxiliar a visualização da evolução da temperatura em função do tempo. Na instalação do sistema os sensores ficaram distribuídos em linhas e colunas buscando obter uma cobertura mais uniforme do tanque (Figura 19).

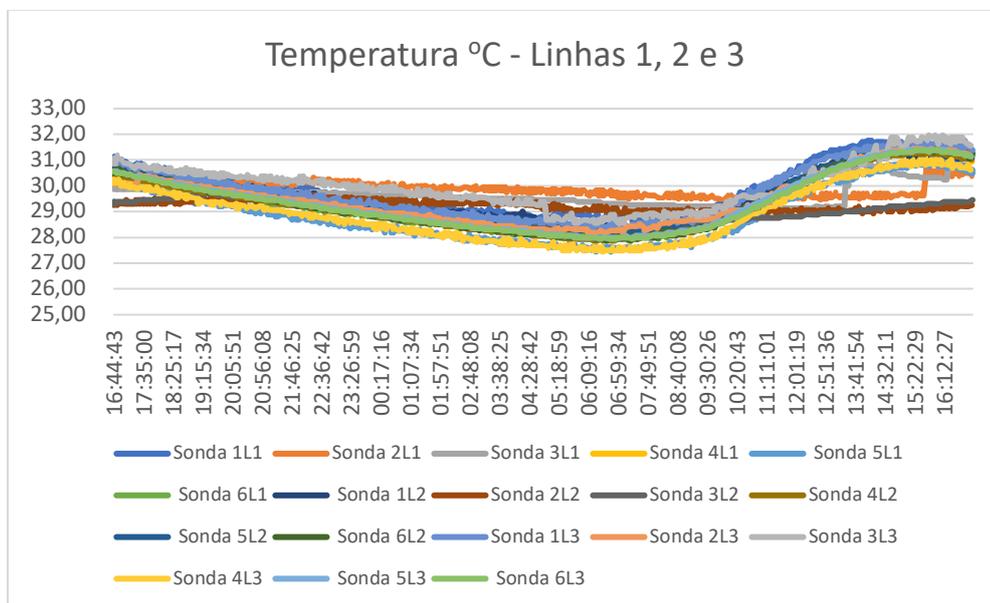
Figura 19 - Nomenclatura dos sensores quanto a posição



Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico a seguir mostra a representação geral de todos os valores de temperatura obtidos no decorrer do tempo de experimento.

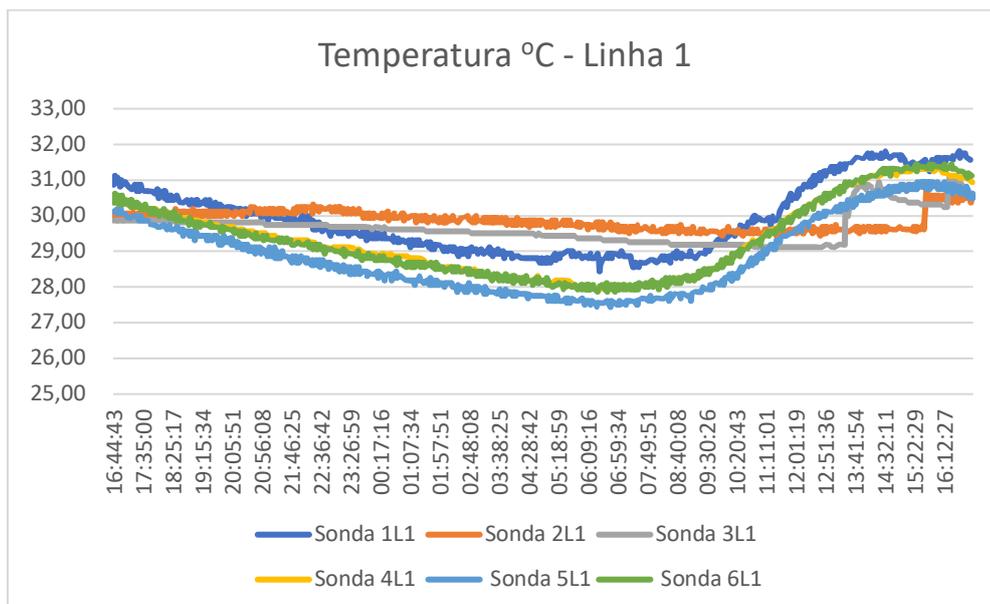
Gráfico 1 - Gráfico geral dos dados obtidos



Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir os valores de determinados grupos de sensores em relação a sua localização e a correspondente validação do SMRA quanto aos critérios selecionados.

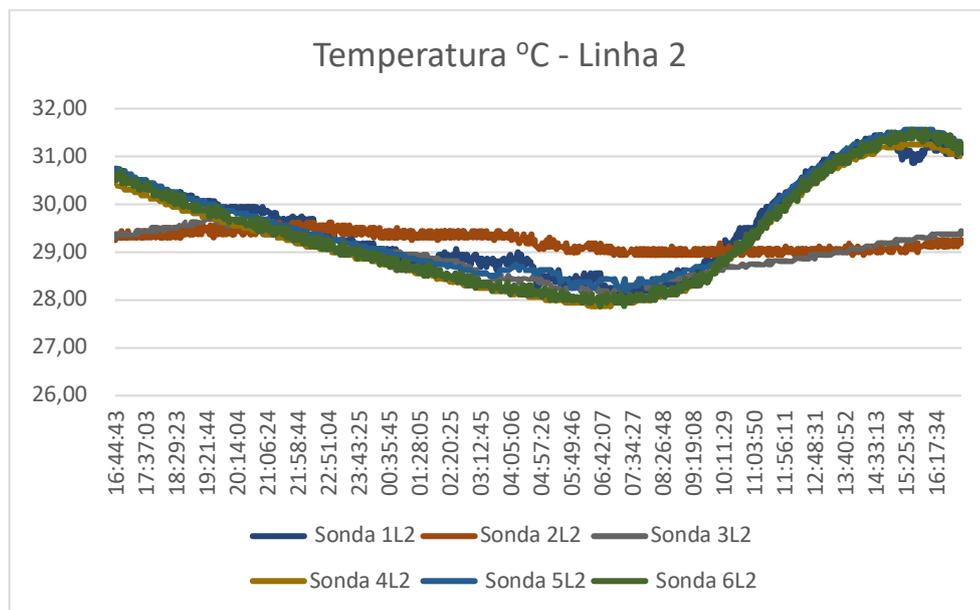
Gráfico 2 – Temperaturas dos sensores da Linha 1



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Comunicação de Dados – não houve falha de comunicação de dados no período de operação do sistema.
- Falha dos Sensores – Houve discrepância dos dados coletados na Sonda 3L1 e 2L1, justificada pois houve uma perturbação do sistema pelo processo de arrazoamento e a sombra de um coqueiro próximo ao tanque.

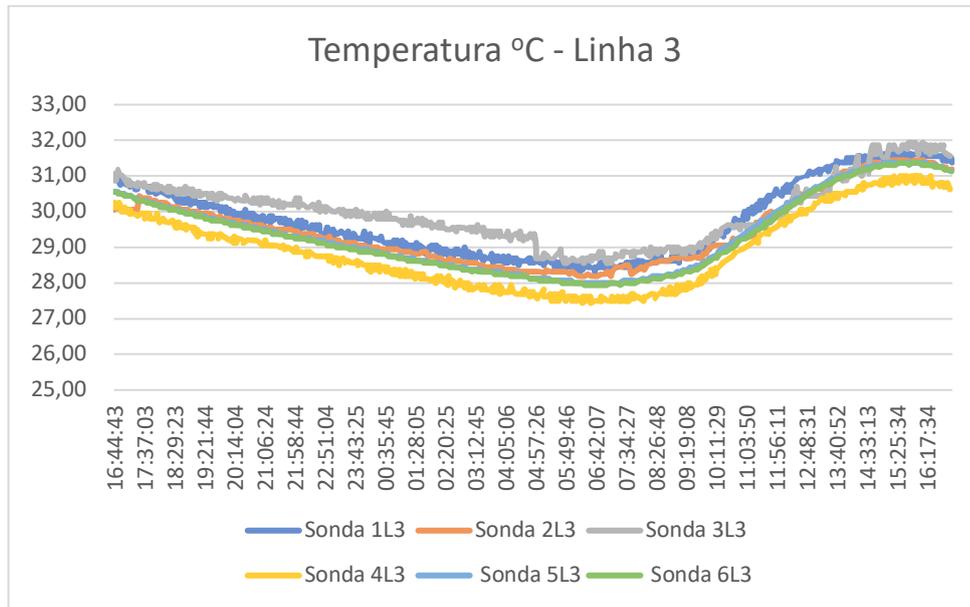
Gráfico 3 - Temperaturas dos sensores da Linha 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Comunicação de Dados – não houve falha de comunicação de dados no período de operação do sistema.
- Falha dos Sensores – 4, 5 e 6 tiveram uma maior variação de temperatura. Este fato ocorreu devido a presença de uma bomba de água de renovação de água acionada de forma constante, movimentando a água na região destes sensores.

Gráfico 4 – Temperaturas dos sensores da Linha 3



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Comunicação de Dados – não houve falha de comunicação de dados no período de operação do sistema.
- Falha dos Sensores – não houve discrepância nos dados coletados.

4.2.1.2 Resultado do SMRA – Teste 2

Em outubro de 2021, foi montado um sistema com 10 pontos de monitoramento com sensores de temperatura (Sensores 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11 e 12) a uma profundidade média de 80cm em viveiro de cultivo de camarão com 0,45ha, município de Alto Santo (CE). Também foram colocados dois pontos de monitoramento com sensores de pH (Sensores 6 e 7) a 80cm de profundidade e programado para durar 72 horas, conforme layout abaixo (Figura 20). O armazenamento dos dados era feito a cada hora, totalizando 69 medições por sensor.

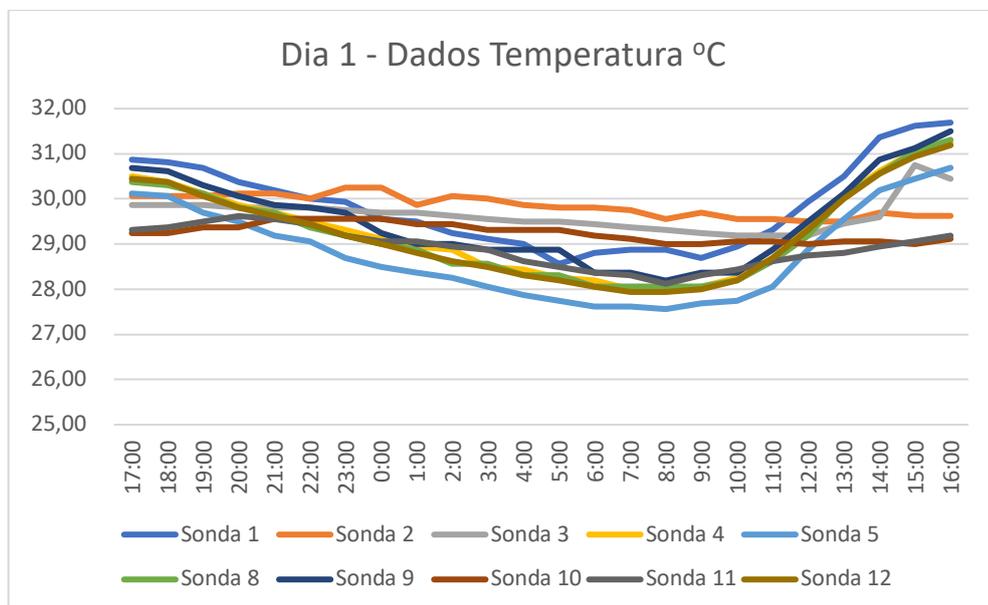
Figura 20 – Figura esquemática do posicionamento dos sensores no viveiro



Fonte: Elaborado pelo autor.

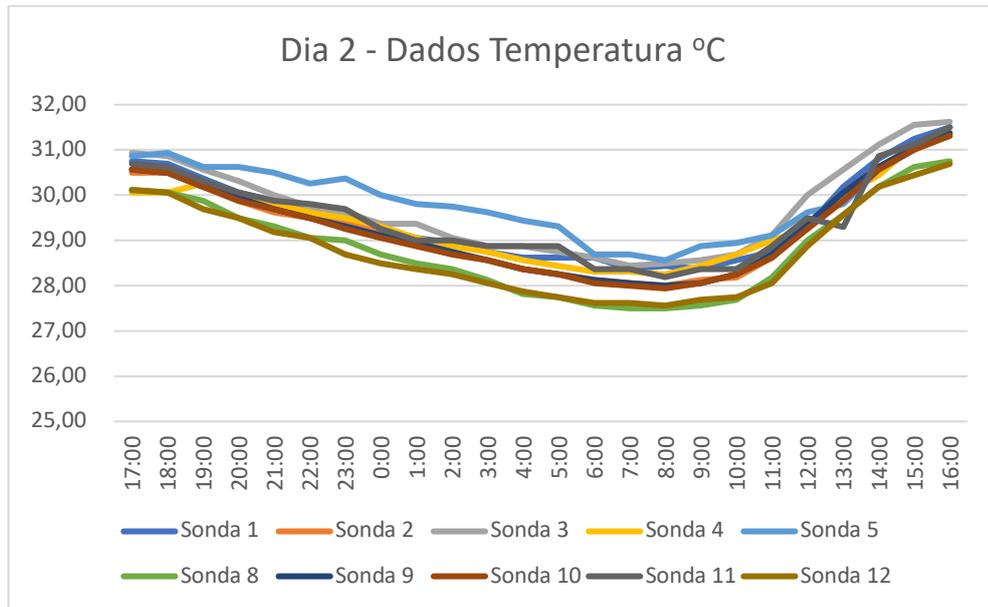
Com a coleta dos dados, os valores foram exportados para o Excel de forma automática pelo sistema, dos quais destacamos os resultados obtidos e descritos nos Gráficos de 5 a 10.

Gráfico 5 – Dados de Temperatura Viveiro – Dia 1



Fonte: Elaborado pelo autor.

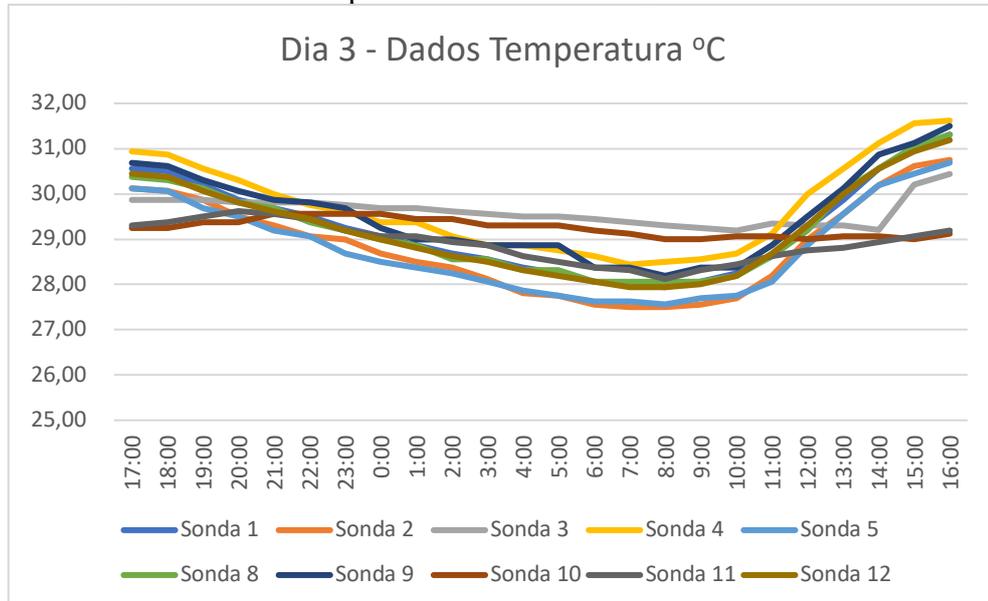
Gráfico 6 – Dados de Temperatura Viveiro – Dia 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Comunicação de Dados – não houve falha de comunicação de dados no período de operação do sistema.
- Falha dos Sensores – não houve constatação de falha dos sensores.

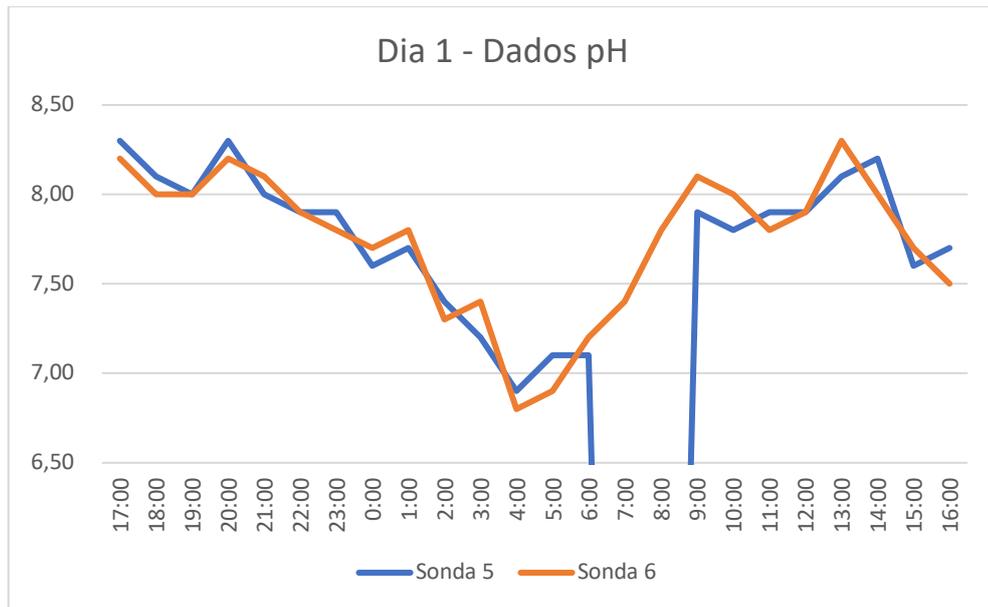
Gráfico 7 – Dados de Temperatura Viveiro – Dia 3



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Comunicação de Dados – não houve falha de comunicação de dados no período de operação do sistema.
- Falha dos Sensores – não houve constatação de falha dos sensores.

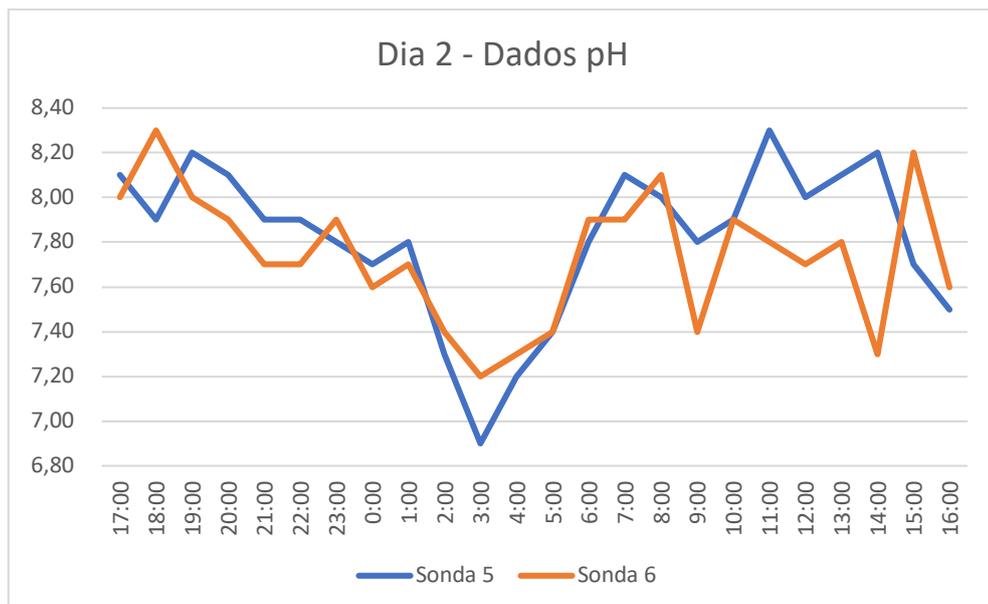
Gráfico 8 – Dados de pH Viveiro – Dia 1



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Comunicação de Dados – no período de 6:00h houve perda de comunicação, houve uma falha nos conectores e foi necessária a troca, voltando assim a comunicar os dados coletados.
- Falha dos Sensores – não houve constatação de falha dos sensores.

Gráfico 9 – Dados de pH Viveiro – Dia 2

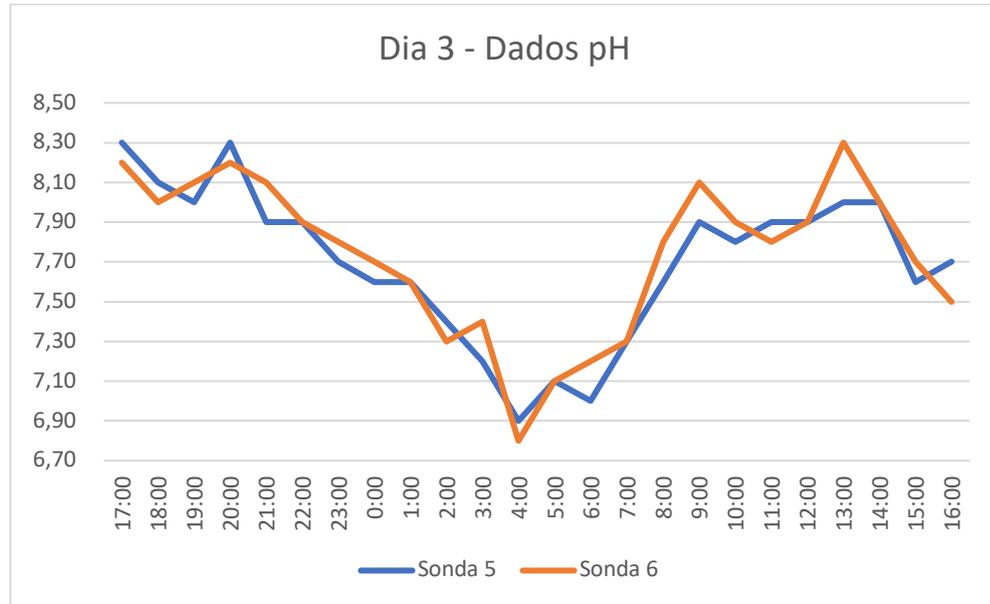


Fonte: Elaborado pelo autor.

- Comunicação de Dados – não houve falha de comunicação de dados no período de operação do sistema.

- Falha dos Sensores – não houve constatação de falha dos sensores.

Gráfico 10 – Dados de pH Viveiro – Dia 3



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Comunicação de Dados – não houve falha de comunicação de dados no período de operação do sistema.

- Falha dos Sensores – não houve constatação de falha dos sensores.

Lee (1995) já afirmava que a avaliação preliminar de controladores lógicos programáveis (CLPs) voltados para a aquicultura remota é baseada em verificar se o sistema fez o que foi programado para fazer. Dentre os trabalhos que corroboram com esse conceito destacamos Lee (2000), continuando com a sua pesquisa, que criou um processo de controle em consonância com os avanços de inteligência artificial. Zion (2012) em seu trabalho no uso de imagens para o monitoramento da aquicultura, afirma também que a transmissão dos dados é um passo fundamental para o sucesso do sistema. Føre *et. al.* (2018) afirmam que entre tantas tecnologias, a melhor é será a de maior confiança no processo de comunicação de dados.

Já Bradley *et. al.* (2019) que dentre as oportunidades de avanço no controle e gestão no setor pesqueiro e aquícola é possível com inovações em sistema de dados confiáveis. Li *et. al.* (2020) em sua revisão sobre métodos contínuos de amostragem remota

de dados na aquicultura, afirmam que a semelhança entre os trabalhos revisados é ter um sistema de comunicação confiável.

Bourke *et. al.* (1993) de forma pioneira, desenvolveram um sistema piloto de apoio à decisão para facilitar a coleta, manipulação e análise de dados físico-químicos e biológicos, chamado de “Aquaculture Research and Monitoring System (ARMS)” que consistiu em pacotes integrados de hardware e software que facilitam o processo de tomada de decisão no sistema produtivo por meio de uma interface de modelagem visual interativa e fácil de usar.

Lim *et. al.* (2022) no desenvolvimento de um sistema de produção de microalgas inteligente, utilizando IoT, também afirmam que o ponto sensível do sistema é o protocolo de comunicação utilizado. Dentro dessa perspectiva objetiva, mesmo sendo testado por períodos curtos, podemos considerar então, que o SMRA possui um protocolo de comunicação confiável, sendo necessário ampliar o tempo de monitoramento e número de sensores em futuras pesquisas.

Tecnicamente, os dados obtidos estão de acordo com os ambientes coletados em relação a sua localização geográfica, condições extensivas de cultivo, dimensões dos tanques e período do ano. Os dados obtidos ficaram entre os limites revisados na literatura, tendo o parâmetro temperatura a variação de 27,5 °C – 34,3 °C e o parâmetro pH a variação de 6,9 – 8,8. Este fato é corroborado por Boyd (1979), Green e Boyd (1995); Boyd (2004), Kumlu *et. al.* (2010), Ferreira *et. al.* (2011), Moser *et. al.* (2012), Jescovitch e Boyd (2017), Han *et. al.* (2018), Kathyayani *et. al.* (2019), Araneda *et. al.* (2020), Moreira *et. al.* (2020), Yu *et. al.* (2020) entre outros.

5 CONCLUSÕES

A partir da perspectiva de ter sido um estudo-piloto, para a aferição da viabilidade de um processo de inovação no estado do Ceará, tecemos as seguintes considerações finais dos pontos de pesquisa delineados inicialmente.

A cadeia produtiva foi identificada e verificada os seus macroprocessos e interações. Com a análise da cadeia produtiva, verificou-se os locais da cadeia que demandam os *hotspots* de inovação com a inserção de tecnologias que possam auxiliar no avanço e sustentabilidade da aquicultura, tais quais;

- No setor de matérias primas e insumos – Fabricação de Ração.
- No setor de produção aquícola – Monitoramento e Controle.
- No setor de beneficiamento dos produtos aquícolas – Novos produtos e usos.
- No setor de distribuição e mercado consumidor – Bem-estar animal e Rastreabilidade.

A importância de direcionar esforços financeiros e científicos para áreas específicas é fundamental para o desenvolvimento sustentável de uma cadeia produtiva, como a da aquicultura, gerando desta forma, diversas oportunidades de negócios, proporcionando conhecimento e empregos.

A integração de tecnologias que avancem na sustentabilidade, tornará a atividade empresarial mais eficiente e em conjunto com agências governamentais, podem direcionar com mais ênfase recursos financeiros para criação de *clusters* e *hotspots* de inovação e criação de *startups* que possam desenvolver soluções específicas ao longo da cadeia de suprimentos.

É essencial que as estratégias para essa evolução sejam coerentes com todos os portes e setores da cadeia produtiva. Enfim, a sustentabilidade da aquicultura depende, sem dúvidas, do avanço tecnológico para um melhor uso de todos os recursos disponíveis.

Portanto, a criação dos *hotspots* de inovação ao longo da cadeia de suprimentos, de forma colaborativa e conectada, tende a acelerar o desenvolvimento de soluções aos problemas e entraves que freiam a sustentabilidade da atividade de carcinicultura. A tentativa de suprir essas lacunas, com investimentos isolados e em tecnologias que não tenham interesse dos atores da cadeia produtiva, é uma tarefa que tende ao fracasso.

Dentro do conceito da aquicultura de precisão e de acordo com os recursos financeiros e de insumos disponíveis, desenvolveu-se um protótipo, denominado de SMRA, que atendeu todas as expectativas dos objetivos traçados. Assim temos, que o sistema de

comunicação de dados do equipamento foi funcional; os sensores não apresentaram falhas significativas e os resultados analíticos ficaram dentro de uma variação esperada para as condições de cultivo.

A seguir, os possíveis avanços neste tema, expondo as limitações do presente trabalho.

Em relação ao estudo da cadeia produtiva da carcinicultura, é necessário que se faça uma pesquisa quantitativa e qualitativa em cada elo da cadeia, com o objetivo de vislumbrar os fluxos de recursos e de informações. Pode-se utilizar, por exemplo, processos de *blockchain* e assim detalhar como eles atuam em cada etapa do processo produtivo. É fundamental, determinar forças e fragilidades de cada setor e as lacunas que podem ser preenchidas com processos de inovação na busca da sustentabilidade da atividade.

No processo de desenvolvimento de um sistema de monitoramento da qualidade da água é necessário que novas validações sejam realizadas, que denotem: maior tempo de monitoramento do cultivo, que sejam realizadas em locais que possuam rede de internet; que as placas de controle e caixas estanque sejam desenvolvidas com impressão 3D; que seja melhorada a interface de dados com a utilização novos softwares; utilização de microcontroladores que tenham mais recursos quanto ao processamento de dados e comunicação sem fio.

Como dito, a evolução depende de investimentos espalhados (públicos e privados) ao longo de toda a cadeia produtiva e da utilização de expertises e conhecimento multidisciplinares, desde que estejam convergentes a metas claras e específicas.

Não existe, uma ordem cronológica para que estes pontos sejam realizados, mas o que é importante e fundamental é que elas estejam conectadas em um objetivo comum com a concepção de soluções inovadoras que sejam sistêmicas.

A grande contribuição deste trabalho está em proporcionar uma visão de desafios e oportunidades, com os *hotspots* de inovação e uso de tecnologias na cadeia produtiva aquícola, indicando a necessidade da junção do conhecimento detalhado da realidade e oportunizando frentes de pesquisa e desenvolvimento que atinjam a sustentabilidade da atividade.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-LATIF H. M. R.; YILMAZ, E.; DAWOOD M. A. O.; RINGØ E., AHMADIFAR E.; YILMAZ, S. Shrimp vibriosis and possible control measures using probiotics, postbiotics, prebiotics, and synbiotics: A review. **Aquaculture**, [s.l.], v. 551, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.737951>. Acesso em: 14 ago. 2022.
- ADAMS A.; THOMPSON K. D. Biotechnology offers revolution to fish health management. **Trends in Biotechnology**, [s.l.], v. 24, n. 5, p. 201-205, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2006.03.004>. Acesso em: 21 maio 2019.
- AHMAD A.L.; CHIN J.Y.; HARUN M.H.; LOW S.C. Environmental impacts and imperative technologies towards sustainable treatment of aquaculture wastewater: A review, **Journal of Water Process Engineering**, [s.l.], v. 46, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102553>. Acesso em: 15 jun. 2022.
- AHMED M.; VERMA A.K.; PATEL R. Collagen extraction and recent biological activities of collagen peptides derived from sea-food waste: A review, **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, [s.l.], v. 18, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100315>. Acesso em: 17 jul. 2021.
- AJAYA, C.G.; RAGHAVENDRAA, K.B.; RAJANNAB, Niranjanamurthy M. Design and development of intensive aquaculture supervising model. **Global Transitions Proceedings**, [s.l.], v. 2, p. 299–303, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gltp.2021.08.021>. Acesso em: 19 jan. 2022.
- AKHMADI, S. Determinants of Innovation: an Evidence-Based Perspective in the Digital Transformation Era. **School of Engineering and Digital Sciences**, [s.l.]. 2023. (Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Science Engineering and Technology). Disponível em: <http://nur.nu.edu.kz/handle/123456789/7133>. Acesso em: 20 set. 2023.
- AKHTARUZZAMAN K.; HOSSAINA E.; SHAHAABB A.; KHANC I. Shrimp Chain: A blockchain-based transparent and traceable framework to enhance the export potentiality of Bangladeshi shrimp. **Smart Agricultural Technology**, [s.l.], v. 2, n. 100041, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100041>. Acesso em: 03 fev. 2023.
- ALAM S.N.; SINGH B.; GULDHE A. Aquatic weed as a biorefinery resource for biofuels and value-added products: Challenges and recent advancements. **Cleaner Engineering and Technology**, [s.l.], v. 4, n. 100235, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100235>. Acesso em: 14 abr. 2022.
- ALBREKTSSEN, S.; KORTET R.; SKOV, P. V.; YTTEBORG E.; GITLESEN S.; KLEINEGRIS D.; MYDLAND, L.; HANSEN, J.; LOCK, E.; MØRKØRE, T.; JAMES, P.; XINXIN W.; WHITAKER R. D.; VANG B.; HATLEN B.; DANESHVAR E.; BHATNAGAR A.; JENSEN, L.; ØVERLAND M. Future feed resources in sustainable salmonid production: A review. **Reviews in Aquaculture**, [s.l.], p. 1-23, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/raq.12673>. Acesso em: 11 abr. 2023.

ALLEN P. G.; JOHNSTON W. E. Research direction and economic feasibility: An example of systems analysis for lobster aquaculture, **Aquaculture**, [s.l.], v. 9, p. 155-180, 1976. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(76\)90057-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(76)90057-0). Acesso em: 20 ago. 2021.

ALVES, C. P.; DA SILVA FILHO, J. B. Um estudo sobre o modelo ZigBee de rede sem fio IEEE 802.15. 4. **Revista Eletrônica de Iniciação Científica em Computação**, [s.l.], v. 18, n.2, 2020.

ALVES, L. Y. M. **Explorando Internet das Coisas e Inteligência Artificial no contexto de Saúde em Casas Inteligentes**: uma abordagem física e emocional. 2019. Tese (Doutorado em Ciências de Computação e Matemática Computacional), Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.55.2019.tde-07102019-102944>. Acesso em: 15 set. 2021.

ANANTRASIRICHAI, N.; BULL, D. Artificial intelligence in the creative industries: a review. **Artificial Intelligence Review**, [s.l.], p. 1-68, 2021. Disponível em: doi.org/10.1007/s10462-021-10039-7. Acesso em: 11 jul. 2022.

ANYADIKE C.C.; MBAJIORGU C.C.; AJAH G.N. Aquacultural System Management Tool (AQUASMAT) I: Model development. **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 69, p. 60–77, 2015. Disponível em: [dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2015.10.002](https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2015.10.002). Acesso em: 06 jul. 2021.

ARANEDA M.; GASCA-LEYVA E.; VELA M.A.; MAY R.D. Effects of temperature and stocking density on intensive culture of Pacific white shrimp in freshwater, **Journal of Thermal Biology**, [s.l.], v. 94, n. 102756, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102756>.

ASCHE, F.; ROLL, K.H.; TVETERAS, R. Innovations through the Supply Chain and Increased Production: The Case of Aquaculture. *In*: FRICK, J., LAUGEN, B.T. (ed) **Advances in Production Management Systems. Value Networks: Innovation, Technologies, and Management**. APMS 2012. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 384. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33980-6_65

ASHLEY, P. J. Fish welfare: Current issues in aquaculture. **Applied Animal Behaviour Science**, [s.l.], v. 104, p. 199–235, 2007. Disponível em: [doi:10.1016/j.applanim.2006.09.001](https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.09.001). Acesso em: 07 mar. 2020.

AZWAR, E.; MAHARI, W.A.; RASTEGARI, H.; TABATABAEI, M.; PENG, W.; TSANG, Y.F.; PARK, Y.K.; CHEN, W.H.; LAM, S.S. Progress in thermochemical conversion of aquatic weeds in shellfish aquaculture for biofuel generation: Technical and economic perspectives. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 344, n. 126202, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126202>. Acesso em: 11 dez. 2022.

BARBARESI, A.; AGRUSTI, M.; CECCARELLI, M.; BOVO, M.; TASSINARI, P.; TORREGGIANI, D. A method for the validation of measurements collected by different monitoring systems applied to aquaculture processing plants. **Biosystems Engineering**, [s.l.], 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.07.011>. Acesso em: 13 jan. 2022.

BARR, S.; LAMING, P. R.; DICK, J. T. A.; ELWOOD, R. W. Nociception or pain in a decapod crustacean? **Animal Behaviour**, [s.l.], v. 75, n. 3, p. 745-751, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2007.07.004>. Acesso em: 17 nov. 2021.

BATALHA, M. O. (Coord.). **Gestão agroindustrial**. 5.ed. São Paulo: Atlas. v. 2, p. 2017.

BATALHA, M.O.; DA SILVA, A. L. Gerenciamento de sistemas Agroindustriais: Definições e Correntes metodológicas. *In*: BATALHA, M.O. (Coord). **Gestão Agroindustriais**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

BELOTTI, M.; BOŽIĆ, N.; PUJOLLE, G.; SECCI, S. A Vademecum on Blockchain Technologies: When, Which, and How. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, [s.l.], v. 21, n. 4, p. 3796-3838, 2019. Disponível em: doi: 10.1109/COMST.2019.2928178. Acesso em: 17 set. 2020.

BOSCHERINI, L.; CHIARONI, D.; CHIESA V.; FRATTINI F. How to use pilot projects to implement open innovation. **International Journal of Innovation Management**, [s.l.], v. 14, p. 1065-1097, 2011. Disponível em: 10.1142/S136391961000301X. Acesso em: 17 nov. 2021.

BOSTOCK, J. The application of science and technology development in shaping current and future aquaculture production systems. **The Journal of Agricultural Science**, 149, p. 133-141, 2011. Disponível em: doi:10.1017/S0021859610001127. Acesso em: 19 nov. 2021.

BOTTEMA, M.J.M.; BUSH S.R.; OOSTERVEER P. Assuring aquaculture sustainability beyond the farm. **Marine Policy**, [s.l.], p. 132-104658, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104658>. Acesso em: 14 dez. 2020.

BOURKE G.; STAGNITTI F.; MITCHELL, B. A. Decision Support System for Aquaculture Research and Management. **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 12, p. 111-123, 1993.

BOWNIK A.; WLODKOWIC D. Advances in real-time monitoring of water quality using automated analysis of animal behaviour. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 789, n. 147796, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147796>. Acesso em: 27 dez. 2021.

BOYD C.E. Pond hydrology. *In*: CRAIG, S.; TUCKER, John A. (Ed.). **Hargreaves, Developments in Aquaculture and Fisheries Science**. [S.l.]: Elsevier, 2004. v. 34, p. 196-214. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0167-9309\(04\)80011-5](https://doi.org/10.1016/S0167-9309(04)80011-5). Acesso em: 7 dez. 2021.

BOYD C.E. Water quality in warmwater fish pounds. **Aquaculture**, [s.l.], v. 27, n. 1, p. 90-91, 1982. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(82\)90116-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(82)90116-8). Acesso em: 14 set. 2021.

BRADLEY, D.; MERRIFIELD, M.; MILLER, K.M.; LOMONICO, S.; WILSON, J.R.; GLEASON M.G. Opportunities to improve fisheries management through innovative technology and advanced data systems. **Fish and Fisheries**, [s.l.], v. 20, n.3, p. 564-583, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/faf.12361>. Acesso em: 09 set. 2021.

BRAITHWAITE, V.A.; HUNTINGFORD, F.A. Fish and welfare: do fish have the capacity for pain perception and suffering? **Animal Welfare**, [s.l.], v.13, p. 87–92, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S096272860001441X>. Acesso em: 23 out. 2021.

BROOM, D.M. Animal welfare—concepts and measurement. **Journal of Animal Science**, [s.l.], v. 69, n. 10, p. 4167-75, 1991.

BRUGÈRE, C.; RIDLER, N.; HAYLOR, G.; MACFADYEN, G.; HISHAMUNDA, N. Aquaculture planning: policy formulation and implementation for sustainable development. **FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper**, [s.l.], n. 542, 2010.

BURNELL, G.; ALLAN, G. (Ed). **New Technologies in Aquaculture Improving Production Efficiency, Quality and Environmental Management**: Woodhead Publishing. 1 st. ed. [S.l.: s.n.], 2009.

BUSCHMANN, A. H.; LÓPEZ, D. A.; MEDINA, A. A review of the environmental effects and alternative production strategies of marine aquaculture in Chile. **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 15, n. 6, p. 397-421, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(96\)01006-0](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(96)01006-0). Acesso em: 23 nov. 2021.

BUSH, S. R.; BELTON, B.; LITTLE, D. C.; ISLAM, S. Emerging trends in aquaculture value chain research. **Aquaculture**, [s.l.], v. 498, p. 428–434, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.08.077>. Acesso em: 21 dez. 2021.

BUSINESS, INNOVATION & SKILLS - BIS. Innovation and research strategy for growth. **BIS Economic Papers**, [s.l.], n. 15, 2011. Disponível em: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7c8b71ed915d48c24107af/8239.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2021.

BUSSE, C.; SCHLEPER, M.C.; WEILENMANN, J.; WAGNER, S.M. Extending the supply chain visibility boundary: utilizing stakeholders for identifying supply chain sustainability risks. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, [s.l.], v. 47, n. 1, p. 18-40, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2015-0043>. Acesso em: 14 dez. 2021.

CANO-KOLLMANN, M.; CANTWELL, J.; HANNIGAN, T.; MUDAMBI R.; SONG J. Knowledge connectivity: An agenda for innovation research in international business. **Journal of International Business Studies**, [s.l.], v. 47, p. 255–262, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1057/jibs.2016.8>. Acesso em: 11 set. 2021.

CANTWELL, J. A. Blurred boundaries between firms, and new boundaries within (large multinational) firms: The impact of decentralized networks for innovation. **Seoul Journal of Economics**, [s.l.], v.26, n.1, p. 1–32, 2013.

CARIOCA, J.O.B.; HILUY-FILHO, J. J.; LEAL, M. R. L. V.; MACAMBIRA, F. S. The hard choice for alternative biofuels to diesel in Brazil. **Biotechnology Advances**, [s.l.], v. 27, n. 6, p. 1043-1050, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.05.012>. Acesso em: 11 dez. 2021.

CARTER, C.G.; CODABACCUS, M. B. Assessing the value of single-cell ingredients in aquafeeds. **Current Opinion in Biotechnology**, [s.l.], v. 76, n. 102734, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2022.102734>. Acesso em: 28 set. 2021.

CHAKRABORTY, P.; KRISHNANI, K.K. Emerging bioanalytical sensors for rapid and close-to-real-time detection of priority abiotic and biotic stressors in aquaculture and culture-based fisheries. **Science of The Total Environment**, [s.l.], v. 838, n. 2, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156128>. Acesso em: 2 fev. 2023.

CHARANIA, I.; LI, X. Smart farming: Agriculture's shift from a labor intensive to technology native industry, **Internet of Things**, [s.l.], v. 9, n. 100142, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2019.100142>. Acesso em: 21 maio 2021.

CHÁVEZ-CROOKER, P.; OBREQUE-CONTRERAS, J. Bioremediation of aquaculture wastes. **Current Opinion in Biotechnology**, [s.l.], v. 21, n. 3, p. 313-317, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2010.04.001>. Acesso em: 26 nov. 2020.

CHENG, P.; LI, Y.; WANG, C.; GUO, J.; ZHOU, C.; ZHANG, R.; MA, Y.; MA, X.; WANG, L.; CHENG, Y.; YAN, X.; RUAN, R. Integrated marine microalgae biorefineries for improved bioactive compounds: a review. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 817, n. 152895, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152895>. Acesso em: 10 fev. 2023.

CHRISTENSEN, C.; RAYNOR, M.; McDONALD, R. What is Disruptive Innovation? **Harvard Business Review**, [s.l.], v.93, p. 44-53, 2015. Disponível em: <https://hbr.org/2015/12/what-is-disruptive-innovation>. Acesso em: 14 set. 2021.

CHRISTENSEN, C.M, **Disruptive innovation**. In: THE Encyclopedia of Human-Computer Interaction, 2. th ed. [S.l.]: Interaction Design Foundation, 2013.

CODA-ZABETTA, M.; CHACUA, C.; LISSONI, F.; MIGUELEZ, E.; RAFFO, J.; YIN, D. **The missing link: international migration in global clusters of innovation**. In: CASTELLANI, D.; PERRI, A.; SCALERA, V.; ZANFEI, A. (Ed.) Cross-border Innovation in a Changing World. Oxford University Press, 2021.

CONSTAIN, N.B.P. **Integração de sistemas SCADA com a implementação de controle supervísório em CLP para sistemas de manufatura**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas, Florianópolis, 2011.

COONEY, R.; WAN, A. H. L.; O'DONNCHA, F.; CLIFFORD, E. Designing environmentally efficient aquafeeds through the use of multicriteria decision support tools. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, [s.l.], v. 23, n.100276, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100276>. Acesso em: 27 out. 2022.

CORRAL, M.F.; RONZA, P.; OLIVEIRA, P.G.; PEREIRA, A.G.; LOSADA, A.P. M.A.; PRIETO, M.A.M.I.; QUIROGA, M.I.; GANDARA J.S. Aquaculture as a circular bio-economy model with Galicia as a study case: How to transform waste into revalorized by-products. **Trends in Food Science & Technology**, [s.l.], v. 119, p. 23-35, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tfs.2022.119>.

em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.026>. Acesso em: 14 fev. 2023.

COUTO, E.; ASSEMAN, P.P.; CARNEIRO, G.C.; SOARES, D.C. The potential of algae and aquatic macrophytes in the pharmaceutical and personal care products (PPCPs) environmental removal: a review. **Chemosphere**, [s.l.], v. 302, n. 134808, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134808>. Acesso em: 07 fev. 2023.

CRAB, R.; DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. **Aquaculture**, [s.l.], v. 356–357, p. 351–356. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046>. Acesso em: 04 fev. 2013.

CRUZ, E.F.; MOREIRA, P.; CARREIRA, R.; GOMES, J.; OLIVEIRA, J.; GOMES, R. On the Design of a Platform for Traceability in the Fishery and Aquaculture Value Chain. *In*: IBERIAN CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES (CISTI), 14., 2019, [s.l.]. **Anais [...]**. [S.l.:s.n.], 2019. p. 1-6, Disponível em: doi: 10.23919/CISTI.2019.8760891. Acesso em: 10 abr. 2021.

DEKKER, R.; BLOEMHOF-RUWAARD, J.; MALLIDIS, I. **A Hierarchical Decision-Making Framework for Quantitative Green Supply Chain Management**. *In*: IAKOVOU, Eleftherios; BOCHTIS, Dionysis; VLACHOS, Dimitrios; AIDONIS, Dimitrios. *Supply Chain Management for Sustainable Food Networks*. 1. th ed. [S.l.:s.n.], 2015. Disponível em: 10.1002/9781118937495. Acesso em: 8 set. 2022.

DIGGLES, B. K. Review of some scientific issues related to crustacean welfare. **ICES Journal of Marine Science**, [s.l.], v.76, n.1, p. 66–81., 2019. Disponível em: doi:10.1093/icesjms/fsy058. Acesso em: 17 abr. 2022.

EFROYMSON, R. A.; JAGER, H.I.; MANDAL, S.; PARISH, E.S.; MATHEWS, T.J. Better management practices for environmentally sustainable production of microalgae and algal biofuels, **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 289, n. 125150, 2021. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125150>. Acesso em: 09 nov. 2020.

ELWOOD, R. W.; BARR, S.; PATTERSON, L. Pain and stress in crustaceans? **Applied Animal Behaviour Science**, [s.l.], v. 118, n.3, p. 128-136, 2009. Disponível em: 10.1016/j.applanim.2009.02.018. Acesso em: 01 out. 2021.

ENCINAS, C.; RUIZ, E.; CORTEZ, J.; ESPINOZA, A. Design and implementation of a distributed IoT system for the monitoring of water quality in aquaculture. **Wireless Telecommunications Symposium (WTS)**, [s.l.], 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/WTS.2017.7943540>. Acesso em: 11 set. 2021.

ENGEL, J. S. Global Clusters of Innovation: lessons from Silicon Valley. **California Management Review**, [s. l.], v. 57, n. 2, p. 36–66, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1525/cm.2015.57.2.36>. Acesso em: 7 fev. 2021.

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2022**. Towards Blue Transformation. Rome: FAO, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cc0461en>. Acesso em: 4 jan. 2023.

FARMERY, A. K.; ALLISON, E.H.; ANDREW, N.L.; TROELL, M.; VOYER, M.; CAMPBELL, B.; ERIKSSON, H.; FABINYI, M.; SONG, A.M.; STEENBERGEN, D. Blind spots in visions of a “blue economy” could undermine the ocean's contribution to eliminating hunger and malnutrition. **One Earth**, [s.l.], v. 4, n. 1, p.28-38, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.12.002>. Acesso em: 04 fev. 2022.

FARRUKH, M.U.; BASHIR, M.K.; HASSAN, S.; ADIL, S. A.; KRAGT, M.E. Mapping the food security studies in India, Pakistan and Bangladesh: Review of research priorities and gaps. **Global Food Security**, [s.l.], v. 26, n. 100370, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100370>. Acesso em: 16 jun. 2021.

FENG, Y.; HU, J.; CHEN, Y.; XU, J.; YANG, B.; JIANG, J. Ecological effects of antibiotics on aquaculture ecosystems based on microbial community in sediments. **Ocean & Coastal Management**, [s.l.], v. 224, n. 106173, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106173>. Acesso em: 14 dez. 2021.

FERREIRA, N.; BONETTI, C.; SEIFFERT, W. Hydrological and water quality indices as management tools in marine shrimp culture. **Aquaculture**, [s.l.], v. 318, p. 425-433, 2011. Disponível em: doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.05.045. Acesso em: 10 set. 2021.

FIGUEIREDO JUNIOR, C. A. **A Cadeia produtiva do camarão cultivado no estado do Ceará - uma análise crítica**. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

FLORA, C.B.; KULVER, K.; CASTLE, D. (Ed) Aquaculture, Innovation and Social Transformation. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, [s.l.], v. 23, p. 391–392, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10806-009-9215-0>. Acesso em: 11 dez. 2021.

FØRE, M.; FRANK, K.; NORTON, T.; SVENDSEN, E.; ALFREDSEN, J.O.; DEMPSTER T.; EGUIRAUN, H.; WATSON, W.; STAHL, A.; SUNDE, L.M.; SCHELLEWALD, C. R.; SKØIEN, K.R.; ALVER, M.O.; BERCKMANS D. Precision fish farming: A new framework to improve production in aquaculture. **Biosystems Engineering**, [s.l.], v.173, p. 176-193, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.10.014>. Acesso em: 19 jan. 2021.

FREITAS, J.; VAZ-PIRES P.; CÂMARA J.S. From aquaculture production to consumption: Freshness, safety, traceability and authentication, the four pillars of quality, **Aquaculture**, [s.l.], v. 518, n. 734857, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734857>. Acesso em: 10 nov. 2021.

FREITAS, R. R. **Análise da cadeia produtiva da carcinicultura marinha em Laguna, SC**. 2006. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

FREITAS, R. R.; VINATEA, L.; NETTO, S. A. Analysis of the marine shrimp culture production chain in Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [s.l.], v. 81, n.2, p. 287-295, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/6wfhHhgXPWYqgmtq3nJqTPg/?format=pdf&lang=em>. Acesso em: 01 nov. 2021.

GANESAN, R.; MANIGANDAN, S.; SAMUEL, M.S.; SHANMUGANATHAN, R.; BRINDHADEVI, K.; CHI, N.T.L.; DUC, P.A.; PUGAZHENDHI, A. A review on prospective production of biofuel from microalgae, **Biotechnology Reports**, [s.l.], v. 27, n. e00509, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00509>. Acesso em: 18 abr. 2021.

GANESH, K.; CAROLE, E.; CRAIG T. Factors Driving Aquaculture Technology Adoption. **Journal of the World Aquaculture Society**, [s.l.], v. 49, 2018. Disponível em: [10.1111/jwas.12514](https://doi.org/10.1111/jwas.12514). Acesso em: 20 out. 2021.

GAO Y.; WU Y. Recent advances of chitosan-based nanoparticles for biomedical and biotechnological applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s.l.], v.203, p. 379-388, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.01.162>. Acesso em: 20 out. 2022.

GAO, Y.; LIN, R.; LU, Y. A. Visualized Analysis of the Research Current Hotspots and Trends on Innovation Chain Based on the Knowledge Map. **Sustainability**, [s.l.], v. 14, n. 1708, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14031708>. Acesso em: 06 fev. 2023.

GE, S.; YEK, P. N.; CHENG, Y.W.; XIA, C.; MAHARI, W.A.; LIEW, R.K.; PENG, W.; YUAN, T.Q.; TABATABAEI, M.; AGHBASHLO, M.; SONNE, C.; LAM, S.S. Progress in microwave pyrolysis conversion of agricultural waste to value-added biofuels: A batch to continuous approach, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 135, n. 110148. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110148>. Acesso em: 01 mar. 2021.

GLADJU, J.; KAMALAM, B.S.; KANAGARAJ, A. Applications of data mining and machine learning framework in aquaculture and fisheries: A review. **Smart Agricultural Technology**, [s.l.], v. 2, n. 100061, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100061>. Acesso em: 09 dez. 2022.

GODOY, B. R. **Oportunidades e desafios para indústria de rações para piscicultura**. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Faculdade de Ciências e Engenharia, UNESP “Júlio de Mesquita Filho”, Tupã, 2019. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/182053/godoy_br_me_tupa.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 03 mar. 2021.

GREEN B.W.; BOYD, C.E. Water budgets for fishponds in the dry tropics, **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 14, n. 4, p. 347-356, 1995. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0144-8609\(95\)00002-V](https://doi.org/10.1016/0144-8609(95)00002-V). Acesso em: 14 set. 2020.

GUNALAN, B.; SOUNDARAPANDIAN, P.; DINAKARAN, G.K. The Effect of Temperature and Ph on WSSV Infection in Cultured Marine Shrimp *Penaeus monodon* (Fabricius). **Middle-East Journal of Scientific Research**, [s.l.], v. 5, n.1, p. 28-33, 2010.

HALICKA, K. Main Concepts of Technology Analysis in the Light of the Literature on the Subject. **Procedia Engineering**, [s.l.], v.182, p. 291 – 298, 2017.

HAN, S.; WANG, B.J.; LIU, M.; WANG, M.Q.; JIANG, K.Y.; LIU, X.W.; WANG, L. Adaptation of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* to gradual changes to a low-pH environment. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s.l.], v.149, p. 203-210, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.052>. Acesso em: 14 jun. 2021.

HARUN, A.; NDZI, D.L.; RAMLI, M.F.; SHAKAFF, A.Y.M.; AHMAD, M.N. Signal Propagation In Aquaculture Environment For Wireless Sensor Network Applications. **Progress In Electromagnetics Research**, [s.l.], v. 131, p. 477-494, 2012. Disponível em: <http://www.jpier.org/PIER/pier.php?paper=12072506>. Acesso em: 10 jan. 2020.

HASTEIN, T.; SCARFE, A. D.; LUND, V. L. Science-based assessment of welfare: aquatic animals. **Revue scientifique et technique: International Office of Epizootics**, [s.l.], v. 24, n. 2, p. 529-547, 2005.

HERSOUG, B.; MIKKELSEN, E.; OSMUNDTSEN, T. C. What's the clue; better planning, new technology or just more money? - The area challenge in Norwegian salmon farming, **Ocean & Coastal Management**, [s.l.], v. 199, n.105415, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105415>. Acesso em: 3 abr. 2022.

HIEU, T. C. **Shrimp supply chains, common property and pollution management at Tam Giang Cau Hai Lagoon, Vietnam**. 2012. Tese (Doutorado em Philosophy) - Lincoln University, New Zealand, 2012. Disponível em: https://researcharchive.lincoln.ac.nz/bitstream/handle/10182/5056/Hieu_phd.pdf?isAllowed=y&sequence=3. Acesso: 9 set. 2021.

HODAR, A.R.; VASAVA, R.J.; MAHAVADIYA, D.R.; JOSHI, N.H. Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: a review. **Journal of Experimental Zoology India**, [s.l.], v. 23, n. 1, p. 13-21, 2020.

HONKANEN, P.; OLSEN, O.S. Environmental and animal welfare issues in food choice: The case of farmed fish. **British Food Journal**, [s.l.], v. 111, n. 3, p. 293-309, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/00070700910941480>. Acesso em: 29 set. 2020.

HOPSTER, J. What are socially disruptive technologies? **Technology in Society**, [s.l.], v. 67, n. 101750, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101750>. Acesso em: 01 jan. 2022.

HU, X.; LIU, Y.; ZHAO, Z.; LIU, J.; YANG, X.; SUN, C.; CHEN, S.; LI, B.; ZHOU, C. Real-time detection of uneaten feed pellets in underwater images for aquaculture using an improved YOLO-V4 network. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s.l.], v. 185, p. 106135, 2021. Disponível em: doi.org/10.1016/j.compag.2021.106135. Acesso em: 11 fev. 2022.

HUA, K.; COBCROFT, J. M.; COLE, A.; CONDON, K.; JERRY, D. R.; MANGOTT, A.; PRAEGER, C. J.; VUCKO, M. J.; ZENG, C.; ZENGER, K.; STRUGNELL, J. M. The Future of Aquatic Protein: Implications for Protein Sources in Aquaculture Diets, **One Earth**, [s.l.], v. 1, n. 3, p. 316-329, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018>. Acesso em: 11 dez. 2020.

HUANG, T. H.; WANG, P.W.; YANG, S.C.; CHOU, W.L.; FANG, J.Y. Cosmetic and Therapeutic Applications of Fish Oil's Fatty Acids on the Skin. **Marine Drugs**, [s.l.], v. 16, n.8, jul. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/md16080256>. Acesso em: 3 nov. 2020.

HUGUENIN, J. E.; ANSUINI, F.J. A review of the technology and economics of marine fish cage systems, **Aquaculture**, [s.l.], v. 15, n. 2, p. 151-170, 1978. Disponível em: 0044-8486, [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(78\)90060-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(78)90060-1). Acesso em: 10 fev. 2019.

HVAS, M.; FOLKEDAL, O.; OPPEDAL, F. Heart rate bio-loggers as welfare indicators in Atlantic salmon (*Salmo salar*) aquaculture. **Aquaculture**, [s.l.], v. 529, n. 735630, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735630>. Acesso em: 11 fev. 2021.

IANSITI, M.; KARIM, R. L. The truth about blockchain. **Harvard Business Review**, [s.l.], v. 95, n. 1, p. 118-127, 2017. Disponível em: https://e-tarjome.com/storage/btn_uploaded/2019-09-25/1569393941_10128-etarjome-English.pdf. Acesso em: 17 nov. 2020.

ILHERINGI, R. Criação de peixes em viveiros no Recife. **Boletim da Secretaria de Agricultura, Indústria e Viação - Recife**, PE 1, 35–40, 1932. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84994807997&partnerID=40&md5=ac2954d88aa42cb17f8ae82fde80fca1>. Acesso em: 30 jan. 2019.

INTROINI, C.I.; BOZA, A.; DIAZ, A.M.D. Traceability in the Food Supply Chain: Review of the literature from a technological perspective. **Dirección y Organización**, [s.l.], v. 64, p. 50-55, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10251/121089>. Acesso em: 19 fev. 2019.

JAFARI, H.; LISTA, A.; SIEKAPEN, M.M.; GHAFFARI-BOHLOULI, P.; NIE, L.; ALIMORADI, H.; SHAVANDI, A. Fish Collagen: Extraction, Characterization, and Applications for Biomaterials. **Engineering. Polymers**, [s.l.], v.12, n. 2230, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym12102230>. Acesso em: 27 dez. 2020.

JAMROEN, C.; YONSIRI, N.; OTHON, T.; WISITTHIWONG, N.; JANREUNG, S. A standalone photovoltaic/battery energy-powered water quality monitoring system based on narrowband internet of things for aquaculture: Design and implementation, **Smart Agricultural Technology**, [s.l.], v. 3, n. 100072, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100072>. Acesso em: 4 mar. 2023.

JESCOVITCH L.N.; BOYD C.E. A case study: Impacts of deviating from model research design to the commercial industry for split-pond aquaculture, **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 79, p. 35-41, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.09.001>. Acesso em: 19 nov. 2020.

JHA, K.; DOSHI, A.; PATEL, P.; SHAH, M. A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. **Artificial Intelligence in Agriculture**, [s.l.], v. 2, p. 1-12, 2019. doi.org/10.1016/j.aiia.2019.05.004. Disponível em: 3 jul. 2020.

JIANG, H.; DONG, K.; ZHANG, K.; LIANG, Q. The hotspots, reference routes, and research trends of marginal abatement costs: A systematic review. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 252, n. 119809, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119809>. Acesso em: 21 abr. 2021.

JIN, Y.; JI, S. Mapping hotspots and emerging trends of business model innovation under networking in Internet of Things. **EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking**, [s.l.], v. 96, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13638-018-1115-4>. Acesso em: 29 jan. 2021.

JONES, A.C.; MEAD, A.; KAISER, M. J.; AUSTEN, M.A.; ADRIAN, A.W. *et al.* Prioritization of knowledge needs for sustainable aquaculture: A national and global perspective. **Fish and Fisheries**, [s.l.], v. 16, p. 668-683, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/faf.12086>. Acesso em: 17 jul. 2021.

JÓNSDÓTTIR, K. E.; HVAS, M.; ALFREDSEN, J. A.; FØRE, M.; ALVER, M. O. BJELLAND, H. V.; OPPEDAL, F. Fish welfare based classification method of ocean current speeds at aquaculture sites. **Aquaculture Environment Interactions**, [s.l.], v. 11, p. 249-261, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3354/aei00310>. 13 ago. 2021.

JOSHI S. A review on sustainable supply chain network design: Dimensions, paradigms, concepts, framework and future directions. **Sustainable Operations and Computers**, [s.l.], v. 3, p. 136-148, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.01.001>. Acesso em: 4 dez. 2022.

KANKAINEN, M.; BERRILL, I. K.; NOBLE, C.; RUOHONEN, K.; SETÄLÄ, J.; KOLE, A. P. W.; MEJDELL, C. M.; KADRI, S.; TURNBULL, J. F. Modeling the economic impact of welfare interventions in fish farming—a case study from the UK rainbow trout industry, **Aquaculture Economics & Management**, [s.l.], v. 16, n. 4, p. 315-340, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/13657305.2012.729248>. Acesso em: 21 set. 2021.

KASMI, F. Industrial Symbiosis and Territorial Development: The Cross-Fertilization of Proximity Dynamics and the Role of Information and Knowledge Flows. **Journal of the Knowledge Economy**, [s.l.], v. 12, p. 342–362, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13132-020-00631-7>. Acesso em: 11 out. 2021.

KATHYAYANI, S.A.; POORNIMA, M.; SUKUMARAN, S.; NAGAVEL, A., MURALIDHAR, M. Effect of ammonia stress on immune variables of Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* under varying levels of pH and susceptibility to white spot syndrome virus. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s.l.], v. 184, n. 109626, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109626>. Acesso em: 28 fev. 2021.

KHAN, S.; NAUSHAD, M.; IQBAL, J.; BATHULA, C.; AL-MUHTASEB, A. H. Challenges and perspectives on innovative technologies for biofuel production and sustainable environmental management, **Fuel**, [s.l.], v. 325, n. 124845, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124845>. Acesso em: 21 dez. 2022.

KLERKS, H. **Innovation in the rural areas of the Metropoolregio Eindhoven and urban-rural partnerships**. Dissertação (Master of Science) - Programme Master Human

Geography. Faculteit der Managementwetenschappen, Radboud Universiteit Nijmegen, 2017. Disponível em: <http://theses.uibn.ru.nl/handle/123456789/5392>. Acesso em: 7 ago. 2021.

KONIYO, Y. Role of Innovations/Interventions to Bring Sustainability in Aquaculture Growth in Indonesia: Integration of Life Cycle Assessment (LCA) Framework. **FishTaxa**, [s.l.], v. 26, p. 19-32, 2022. Disponível em: <https://fishtaxa.com/menuscript/index.php/ft/article/view/117/123>. Acesso em: 16 dez. 2022.

KOPPEL B. The changing functions of research management: Technology assessment and the challenges to contemporary agricultural research organisation, **Agricultural Administration**, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 123-139, 1979. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0309-586X\(79\)90027-X](https://doi.org/10.1016/0309-586X(79)90027-X). Acesso em: 3 set. 2021.

KOUTROUMPIS, P.; LAFOND, F., **Disruptive technologies and regional innovation policy**, Background paper for an OECD/EC Workshop on 22 November 2018 within the workshop series “Broadening innovation policy: New insights for regions and cities”. Paris, [s.n.] 2018.

KUMAR, G.; ENGLE, C.; TUCKER, C. Factors Driving Aquaculture Technology Adoption. **Journal of the World Aquaculture Society**, [s.l.], v. 49, p. 447-476, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jwas.12514>. Acesso em: 30 jan. 2021.

KUMLU, M.; KUMLU, M.; TURKMEN, S. Combined effects of temperature and salinity on critical thermal minima of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Crustacea: Penaeidae). **Journal of Thermal Biology**, [s.l.], v. 35, n.6, p. 302-304, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2010.06.008>. Acesso em: 13 out. 2021.

LEE, P. G. A review of automated control systems for aquaculture and design criteria for their implementation, **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 14, n. 3, p. 205-227, 1995. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0144-8609\(94\)00002-I](https://doi.org/10.1016/0144-8609(94)00002-I). Acesso em: 11 abr. 2020.

LEE, P.G. Process control and artificial intelligence software for aquaculture. **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 23, n. 1-3, p. 13-36, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(00\)00044-3](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(00)00044-3). Acesso em: 19 nov. 2021.

LEZOCHEA, M.; HERNANDEZ, J.; DÍAZ, M. M. E. A.; PANNETO, H; KACPRZYK, J. Agri-food 4.0: A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture. **Computers in Industry**, [s.l.], v. 117, n. 103187, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103187>. Acesso em: 3 dez. 2021.

LI, D.; MIAO, Z.; PENG, F.; WANG, L.; HAO, Y.; WANG, Z.; CHEN, T.; LI, H.; ZHENG, Y. Automatic counting methods in aquaculture: a review. **Journal of the World Aquaculture Society**, [s.l.], p. 1-15, 19 out. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jwas.12745>. Acesso em: 9 mar. 2021.

LI, D.; WANG, G.; DU, L.; ZHENG, Y.; WANG, Z. Recent advances in intelligent recognition methods for fish stress behavior. **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 96, n. 102222, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2021.102222>. Acesso em: 6 maio 2023.

LIM, H.R.; KHOO, K.S.; CHIA, W.Y.; CHEW, K.W.; HO, S.H.; SHOW, P. L. Smart microalgae farming with internet-of-things for sustainable agriculture. **Biotechnology Advances**, [s.l.], v. 57, n. 107931, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2022.107931>. Acesso em: 19 dez. 2022.

LIMA, H.R.; KHOOC, K.S.; CHIAB, W.Y.; CHEWD, K.W.; HOA, S. H.; SHOWB, P. L. Smart microalgae farming with internet-of-things for sustainable agriculture. **Biotechnology Advances**, [s.l.], v. 57, n. 107931, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2022.107931>. Acesso em: 3 mar. 2023.

LIMAVERDE; M.E.Q.; FERREIRA-JÚNIOR, A.E.C.; SILVA, P.G.B.; MIGUEL, E.C.; MATHOR, M.B.; LIMA-JÚNIOR, E.M.; MORAES-FILHO, M.O.; ALVES, A.P.N. Nile tilapia skin (*Oreochromis niloticus*) for burn treatment: ultrastructural analysis and quantitative assessment of collagen. **Acta Histochemica**, [s.l.], v. 123, n. 6, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.acthis.2021.151762>. Acesso em: 8 jul. 2022.

LIMPIANCHOB, C.; SASABE, M.; KASAHARA, S. A push strategy optimisation model for a marine shrimp farming supply chain network. **International Journal of Operational Research**, [s.l.], v. 39, n. 2, p. 262-277, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1504/IJOR.2020.109757>. Acesso em: 11 set. 2021.

LIN D. Y.; WU M. Pricing and inventory problem in shrimp supply chain: A case study of Taiwan's white shrimp industry. **Aquaculture**, [s.l.], v. 456, p. 24–35, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.01.021>. Acesso em: 14 maio 2021.

LOW, N.H.N.; CRYSTAL, A. Ng., MICHELI F. A low-cost modular control system for multistressor experiments. **Limnology and Oceanography Methods**, [s.l.], v. 18, n. 10, p. 623-634, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/lom3.10389>. Acesso em: 14 jul. 2021.

MAIA, A. L. V.; DE LUCENA, R. P.; DE SENA SILVA, M. A. F. Gestão ambiental no Ceará: a carcinicultura no município de jaguaruana. **Revista foco**, [s.l.], v. 16, n. 6, p. e2107-e2107, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n6-005>. Acesso em: 6 jan. 2023.

MARCHANTE, A.P.; MELCON, A.A.; TREBAR, M.; FILIPPIN, P. Advanced traceability system in aquaculture supply chain. **Journal of Food Engineering**, [s.l.], v. 122, p. 99–109, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.09.007>. Acesso em: 30 jul. 2021.

MARQUES, F.B.; WATTERSON, A.; ROCHA, A.F.; CAVALLI, L.S. Overview of Brazilian aquaculture production. **Aquaculture Research**, [s.l.], v. 51, p. 4838–4845, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/are.14828>. Acesso em: 21 set. 2021.

MARTINA L. V. M. Aquaculture Disruptive Technologies. **Hydrology Current Research**, [s.l.], v. 12, n. 360, 2021. Disponível em: <https://www.hilarispublisher.com/open-access/aquaculture-disruptive-technologies.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2022.

MARTINS, C.I.M.; EDING E, H.; VERDEGEM, M.C.J.; HEINSBROEK, L.T.N.; SCHNEIDER, O.; BLANCHETON, J.P.; D'ORBCASTEL, E. R.; VERRETH, J.A.J. New

developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability, **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 43, n. 3, p. 83-93, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.09.002>. Acesso em: 28 out. 2021.

McLEAN, K.M.; PASULKA, A.L.; BOCKMON, E.E. A low-cost, accessible, and high-performing Arduino-based seawater pH control system for biological applications, **HardwareX**, [s.l.], v. 10, n. e00247, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2021.e00247>. Acesso em: 01 mar. 2022.

MENTINK, B. **Circular Business Model Innovation: A process framework and a tool for business model innovation in a circular economy**. Dissertação (Master of Science) - Leiden University and Delft University of Technology, 2014. Disponível em: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:c2554c91-8aaf-4fdd-91b7-4ca08e8ea621>. Acesso em: 2 ago. 2014.

MITRA A. Thought of alternate aquafeed: conundrum in aquaculture sustainability? **Proceedings of the Zoological Society**, [s.l.], v. 74, n.1, p. 1–18, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12595-020-00352-4>. Acesso em: 3 fev. 2022.

MIYANISHI, H.; NAGANO, N. Reproductive farming technology in Japanese eel and chub mackerel, **Aquaculture and Fisheries**, [s.l.], v. 7, n. 5, p. 595-600, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2022.03.003>. Acesso em: 21 dez. 2022.

MORAIS, T.; INACIO, A.; COUTINHO, T.; MINISTRO, M.; COTAS, J.; PEREIRA, L.; BAHCEVANDZIEV, K. Seaweed potential in the animal feed: a review. **Journal of Marine Science and Engineering**, [s.l.], v. 8, n.24, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jmse8080559>. Acesso em: 26 out. 2021.

MOREIRA, T. S.; ARAÚJO, A.L.A.C.; MENEZES, T.B.B.; NASCIMENTO-FILHO, K.P.; LIMA, R.L.; SOUSA, R.R.; MATIAS, J.F.N.; CÉSAR, J.R.O.; OLIVEIRA, E.G.; COSTA F.H.F. Influence of pyroligneous extract on water quality and productive performance of *Penaeus vannamei*. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n.12, p 33471-33487, 2020. Disponível em: [10.34117/bjdv5n12-389](https://doi.org/10.34117/bjdv5n12-389). Acesso em: 29 jul. 2021.

MOSER, J.R.; ÁLVAREZ, D.A.G.; CANO, F.M.; GARCIA, T.E.; MOLINA, D.E.C.; CLARK, G.P.; RISOLETA, F.; MARQUES, M.R.F.; BARAJAS, F.J.M.; LÓPEZ, J.H. Water temperature influences viral load and detection of White Spot Syndrome Virus (WSSV) in *Litopenaeus vannamei* and wild crustaceans, **Aquaculture**, [s.l.], v. 326-329, p. 9-14, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.10.033>. Acesso em: 17 set. 2021.

MU'TAMAR, M. F. F.; ERIYATNO, Machfud; SOEWARDI, K. Dynamic Model Analysis of Raw Material Supply in Minapolitan Shrimp Agroindustry. **Industrial Engineering Letters**, [s.l.], v. 3, n. 11, p. 36-43, 2013.

MURADIN, M.; KULCZYCKA, J. The Identification of Hotspots in the Bioenergy Production Chain. **Energies**, [s.l.], v. 13, n. 5757, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en13215757>. Acesso em: 16 nov. 2021.

- MUSTAFA, F. H.; SENOO, S.; MUSTAFA, S.; BAGUL, A. H. B. P. Transforming Aquaculture Research and Industry for Management of Seafood Security Relevance of Nurturing a Unique Innovation Ecosystem. **International Journal of Management Studies**, [s.l.], v. 22, n.2, p. 53–71, 2015. Disponível em: <https://e-journal.uum.edu.my/index.php/ijms/article/view/10452>. Acesso em: 22 maio 2021.
- NAGY, D.; SCHUESSLER, J.; DUBINSKY, A. Defining and identifying disruptive innovations. **Industrial Marketing Management**, [s.l.], v. 57, p. 119-126, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2015.11.017>. Acesso em: 24 abr. 2021.
- NASH, C. E. Marine fish farming. **Marine Pollution Bulletin**, [s.l.], v.1, n. 2, p. 28-30, 1970. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(70\)90206-7](https://doi.org/10.1016/0025-326X(70)90206-7). Acesso em: 13 out. 2020.
- NAYLOR, R. L.; HARDY, R. W.; BUSCHMANN, A. H.; BUSH, S. R.; CAO, L.; KLINGER, D. H.; LITTLE, D. C.; LUBCHENCO, J.; SHUMWAY, S. E.; TROELL, M. A 20-year retrospective review of global aquaculture. **Nature**, [s.l.], v. 591, p. 551–563, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>. Acesso em: 3 fev. 2022.
- NEUMAN, L. D. The marine technology society 9th annual conference marine industries: Problems and opportunities: Washington, D.C., U.S.A. 10–12 September 1973, **Ocean Management**, [s.l.], v. 2, n.2, p. 139-146, 1974. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0302-184X\(74\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0302-184X(74)90005-5). Acesso em: 13 nov. 2021.
- O'DONNCHA, F.; GRANT, J. Precision Aquaculture. **IEEE Internet of Things Magazine**, [s.l.], v. 2, p. 26-30, 2019. Disponível em: [10.1109/IOTM.0001.1900033](https://doi.org/10.1109/IOTM.0001.1900033). Acesso em: 11 jun. 2020.
- OLIVEIRA, J.; LIMA, J. E.; SILVA, D.; KUPRYCH, V.; FARIA, P. M.; TEIXEIRA, C.; CRUZ, E. F.; CRUZ, A. M. R. Traceability system for quality monitoring in the fishery and aquaculture value chain. **Journal of Agriculture and Food Research**, [s.l.], v. 5, n. 100169, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100169>. Acesso em: 16 abr. 2022.
- PAHOR-FILHO, E.; MANSANO, C.F.M.; PEREIRA, M.M.; STÉFANI, M.V. The most frequently bullfrog productive systems used in Brazilian aquaculture: A review, **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 87, n. 102023, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2019.102023>. Acesso em: 23 out. 2020.
- PANDEY, V.; PANT, M.; SNASEL, V. Blockchain technology in food supply chains: Review and bibliometric analysis. **Technology in Society**, [s.l.], v. 69, n. 101954, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101954>. Acesso em: 11 dez. 2022.
- PANISSON, C. **Desenvolvimento regional inteligente a partir da governança em rede no contexto de ecossistemas de empreendedorismo inovador**. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/229190>. Acesso em: 02 maio 2022.

PARKER, N. C. Technological Innovations in Aquaculture, **Fisheries**, [s.l.], v. 9, n. 4, p. 13-16, 1984. Disponível em: [10.1577/1548-8446\(1984\)009<0013:TIIA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1984)009<0013:TIIA>2.0.CO;2). Acesso em: 9 out. 2020.

PARRA, L.; LLORET, G.; LLORET, J.; RODILLA, M. Physical Sensors for Precision Aquaculture: A Review. **IEEE Sensors Journal**, [s.l.], v. 18, n. 10, p. 3915-3923, may 2018. Disponível em: [10.1109/JSEN.2018.2817158](https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2817158). Disponível em: 14 nov. 2020.

PARRA, L.; ROCHER, J.; ESCRIVÁ, J.; LLORET, J. Design and development of low-cost smart turbidity sensor for water quality monitoring in fish farms. **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 81, p. 10–18, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.01.004>. Disponível em: 17 ago. 2021.

PATHUMNAKUL, S.; PIEWTHONGNGAM, B.; KHAMJAN, S. Integrating a shrimp-growth function, farming skills information, and a supply allocation algorithm to manage the shrimp supply chain. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s.l.], v. 66 p. 93–105, 2009. Disponível em: [doi:10.1016/j.compag.2008.12.008](https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.12.008). Acesso em: 7 jul. 2021.

PETROVA, I.; TOLSTOREBROV, I.; EIKEVIK, T.M. Production of fish protein hydrolysates step by step: technological aspects, equipment used, major energy costs and methods of their minimizing. **International Aquatic Research**, [s.l.], v. 10, p. 223–24, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40071-018-0207-4>. Acesso em: 9 set. 2020.

PETZOLD, N.; LANDINEZ, L.; BAAKEN, T. Disruptive innovation from a process view: A systematic literature review. **Creativity and Innovation Management**, [s.l.], v. 28, p. 157–174, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/caim.12313>. Acesso em: 19 ago. 2020.

PLAIA, W. C. A computerized environmental monitoring and control system for use in aquaculture. **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 6, n. 1, p. 27-37, 1987. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0144-8609\(87\)90016-1](https://doi.org/10.1016/0144-8609(87)90016-1). Acesso em: 30 abr. 2020.

PMI. **A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK guide)**. 7th ed. [S.l.]: Project Management Institute, 2021.

PROMPATANAPAK, A.; LOPETCHARAT, K. Managing changes and risk in seafood supply chain: A case study from Thailand. **Aquaculture**, [s.l.], v. 525, n. 735318, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735318>. Acesso em: 13 maio 2021.

RAJA, K.; KADIRVEL, V.; SUBRAMANIYAN, T. Seaweeds, an aquatic plant-based protein for sustainable nutrition - A review. **Future Foods**, [s.l.], v. 5, n. 100142, p. 2666-8335, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100142>. Acesso em: 13 ago. 2022.

RAO, N.R.H.; TAMBURIC, B.; DOAN, Y.T.T.; NGUYEN, B.D.; HENDERSON, R.K. Algal biotechnology in Australia and Vietnam: Opportunities and challenges, **Algal Research**, [s.l.], v. 56, n. 102335, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102335>. Acesso em: 04 mar. 2022.

RAY, C. Ecology, law, and the ‘Marine Revolution’. **Biological Conservation**, , [s.l.], v. 3, n. 1, p. 7-17, 1970. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(70\)90051-0](https://doi.org/10.1016/0006-3207(70)90051-0). Acesso em: 17 nov. 2020.

REIS, J.; PEIXOTO, S.; SOARES, R.; RHODES, M.; CHING, C.; DAVIS, D.A. Passive acoustic monitoring as a tool to assess feed response and growth of shrimp in ponds and research systems, **Aquaculture**, [s.l.], v. 546, n. 737326, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737326>. Acesso em: 21 jan. 2023

SAHA, S. R.; HASAN RAJIB, R.S.; KABIR, S. **IoT Based Automated Fish Farm Aquaculture Monitoring System**. International Conference on Innovations in Science, Engineering and Technology (ICISSET), 2018, p. 201-206, Disponível em: 10.1109/ICISSET.2018.8745543. Acesso em: 11 ago. 2020.

SAINT-PAUL, U. Native fish species boosting Brazilian’s aquaculture development. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, [s.l.], v.5, n.1, p.1-9, 2017. Disponível em: [10.2312/ActaFish.2017.5.1.1-9](https://doi.org/10.2312/ActaFish.2017.5.1.1-9). Acesso em: 28 mar. 2020.

SALAZAR, C.; JAIME, M.; FIGUEROA, Y.; FUENTES, R. Innovation in small-scale aquaculture in Chile, **Aquaculture Economics & Management**, [s.l.], v. 22, n. 2, p. 151-167, 2018. Disponível em: [10.1080/13657305.2017.1409293](https://doi.org/10.1080/13657305.2017.1409293). Acesso em: 7 set. 2021.

SAMANTA, P.; DEY, S.; GHOSH, A.R.; KIM, J.K. Nanoparticle nutraceuticals in aquaculture: A recent advances. **Aquaculture**, [s.l.], v. 560, n. 738494, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738494>. Acesso em: 4 fev. 2023.

SARKIS, J.; HELMS, M. M.; HERVANI, A. A. Reverse logistics and social sustainability. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, [s.l.], v. 17, p. 337–354, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/csr.220>. Acesso em: 4 out. 2021.

SCHROBBACK, P.; ROLFE, J.; RUST, S.; UGALDE, S. Challenges and opportunities of aquaculture supply chains: Case study of oysters in Australia. **Ocean and Coastal Management**, [s.l.], v. 215, n. 105966, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105966>. Acesso em: 9 out. 2022.

SCHUELKE-LEECH B. A. A model for understanding the orders of magnitude of disruptive technologies. **Technological Forecasting & Social Change**, [s.l.], v. 129, p. 261–274, 2018.

SHEN H.; NUGEGODA, D. Real-time automated behavioural monitoring of mussels during contaminant exposures using an improved microcontroller-based device. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 806, n. 150567, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150567>. Acesso em: 16 dez. 2022.

SHEWFELT, L. Commercial Fish Farming in the Southeastern United States. Paper presented at the 14th National Conference, Canadian Institute of Food Technology, Winnipeg, Manitoba, June 15-18, 1971. **Canadian Institute of Food Technology Journal**, , [s.l.], v. 4, n. 4, p. A72-A73, 1971. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0008-3860\(71\)74214-7](https://doi.org/10.1016/S0008-3860(71)74214-7). Acesso em: 3 ago.2020.

SILVEIRA, F.; LERMEN, F. H.; AMARAL, F.G. An overview of agriculture 4.0 development: Systematic review of descriptions, technologies, barriers, advantages, and disadvantages, **Computers and Electronics in Agriculture**, [s.l.], v. 189, n. 106405, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106405>. Acesso em: 5 set. 2022.

SIMBEYE, D.; YANG S. Water Quality Monitoring and Control for Aquaculture Based on Wireless Sensor Networks. **Journal of Networks**, [s.l.], v. 9, p. 840-849, 2014. Disponível em: [10.4304/jnw.9.4.840-849](https://doi.org/10.4304/jnw.9.4.840-849). Acesso em: 6 nov. 2021.

SIONKOWSKA, A.; ADAMIAK, K.; MUSIAŁ, K.; GADOMSKA, M. Collagen Based Materials in Cosmetic Applications: A Review. **Materials**, [s.l.], v. 13, n. 4217, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma13194217>. Acesso em: 11 jul. 2021.

SMITH, A.; BROWN, C. J.; BULMAN, C.M. *et al.* Impacts of fishing low-trophic level species on marine ecosystems. **Science**, [s.l.], v. 333, p. 1147-1150, 2011. Disponível em: [10.1126/science.1209395](https://doi.org/10.1126/science.1209395). Acesso em: 16 set. 2021.

SOUZA, J. C.; PUGAS, A. S.; ROVER, O. J.; NODARI, E. S. Social innovation networks and agrifood citizenship. The case of Florianópolis Area, Santa Catarina / Brazil, **Journal of Rural Studies**, [s.l.], v. 99, p. 223-232, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.09.002>. Acesso em: 30 abr. 2022.

SUCIU, I.; BOQUET, G.; TUSET-PEIRÓ, P.; VILAJOSANA, X. ADO: An open digital end-to-end tank-based aquaculture platform. **HardwareX**, [s.l.], v. 11, n. e00283, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2022.e00283>. Acesso em: 5 jan. 2023.

TACON, A. G. J.; METIAN, M.; AARON, A.; MCNEVIN, A. A. Future Feeds: Suggested Guidelines for Sustainable Development, **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, [s.l.], v. 30, n. 2, p. 135-142, 2022. Disponível em: [10.1080/23308249.2020.1860474](https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1860474). Acesso em: 7 set. 2022.

TANG, K. L.; CAFFREY, N. P.; NÓBREGA, D. B.; CORK, S. C.; RONKSLEY, P. E.; BARKEMA, H. W.; POLACHEK, A. J.; GANSHORN, H.; SHARMA, N.; KELLNER, J. D.; GHALI, W. A., Restricting the use of antibiotics in food-producing animals and its associations with antibiotic resistance in food-producing animals and human beings: a systematic review and meta-analysis, **The Lancet Planetary Health**, [s.l.], v.1, n.8, p.e316-e327, 2017. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30141-9](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30141-9). Acesso em: 12 fev. 2020.

TERAYAMA, K.; SHIN, K.; MIZUNO, K.; TSUDA, K. Integration of sonar and optical camera images using deep neural network for fish monitoring, **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 86, n. 102000, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2019.102000>. Acesso em: 21 out. 2020.

TODEVA, E.; RAKHMATULLIN, R. Industry Global Value Chains, Connectivity and Regional Smart Specialisation in Europe. An Overview of Theoretical Approaches and Mapping Methodologies. **JRC Science for Policy Report**, [s.l.], European Union, v. 28086EN, 2016.

TOLENTINO-ZONDERVAN, F.; NGOC, P. T. A.; ROSKAM, J. L. Use cases and future prospects of blockchain applications in global fishery and aquaculture value chains, **Aquaculture**, [s.l.], v. 565, n. 739158, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.739158>. Acesso em: 5 jan. 2023.

TONHEIM, T. C.; BØGWALD, J.; DALMO, R. A. What happens to the DNA vaccine in fish? A review of current knowledge. **Fish & Shellfish Immunology**, [s.l.], v. 25, n. 1–2, p. 1-18, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2008.03.007>. Acesso em: 23

TONI, M.; MANCIOCCO, A.; ANGIULLI, E.; ALLEVA, E.; CIONI, C.; MALAVASI, S. Review: Assessing fish welfare in research and aquaculture, with a focus on European directives. **Animal**, [s.l.], v. 13, n. 1, p.161–170, 2019. Disponível em: [10.1017/S1751731118000940](https://doi.org/10.1017/S1751731118000940). Acesso em: 31 jan. 2020.

TSAKIRIDIS, A.; O'DONOGHUE, C.; HYNES, S.; KILCLINE, K. A comparison of environmental and economic sustainability across seafood and livestock product value chains. **Marine Policy**, [s.l.], v. 117, n. 103968, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103968>. Acesso em: 27 mar. 2021.

UBINA, N. A.; CHENG, S.C. A Review of Unmanned System Technologies with Its Application to Aquaculture Farm Monitoring and Management. **Drones**, [s.l.], v. 6, n. 12, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/drones6010012>. Acesso em: 26 dez. 2022.

UNCTAD. **Technology and Innovation Report. Catching Technological Waves - Innovation With Equity**. [S.l.]: United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), 2021. Disponível em: https://unctad.org/system/files/official-document/tir2020_en.pdf. Acesso em: 3 set. 2022.

UNITED NATIONS. **World Population Prospects 2022: Summary of Results**, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf. Acesso em: 10 dez. 2022.

VALENTI, W. C.; BARROS, H. P. B.; MORAES-VALENTI, P.; BUENO, G. W.; CAVALLI R. O. Aquaculture in Brazil: past, present and future. **Aquaculture Reports**, [s.l.], v. 19, n. 100611, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611>. Acesso em: 13 ago. 2022.

VLACHOS, I.; MALINDRETOS, G. Supply chain redesign in the aquaculture supply chain: a longitudinal case study. **Production Planning & Control**, [s.l.], 2021. Disponível em: [10.1080/09537287.2021.1959663](https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1959663). Acesso em: 9 abr. 2022.

WEBBER H. H. Risks to the aquaculture enterprise, **Aquaculture**, [s.l.], v. 2, p. 157-172, 1973. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(73\)90143-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(73)90143-9). Acesso em: 22 maio 2021.

WTO **World Trade Report 2018**. [S.l.], 2018. Disponível em: https://www.wto.org/english/res_e/publications_e/world_trade_report18_e.pdf. Acesso em: 1 jun. 2021.

WU, S.; FANG, L. Research Hot Spots and Their Development Trends of Supply Chain Technology Innovation. **Frontiers in Business, Economics and Management**, [s.l.], v. 5, n. 2, 2022. Disponível em: 3 fev. 2023.

XIA, J.; GOMES, G. B.; YUE, G.H. Editorial special issue: Emerging and disruptive technologies for aquaculture, **Aquaculture and Fisheries**, [s.l.], v. 7, n. 2, p. 109-110, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.12.001>. Acesso em: 12 mar. 2022.

XU, J.; GU, B.; TIAN, G. Review of agricultural IoT technology. **Artificial Intelligence in Agriculture**, [s.l.], v. 6, p. 10–22, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2022.01.001>. Acesso em: 14 out. 2022.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

YINGHAO, W. Y.; YUNHONG, Duana, Y.; YAOGUANG, Wei Y.; LIU, J. Application of intelligent and unmanned equipment in aquaculture: A review. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s.l.], v. 199, n. 107201, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107201>. Acesso em: 29 dez. 2022.

YOU, X.; SHAN, X.; SHI, Q. Research advances in the genomics and applications for molecular breeding of aquaculture animals, **Aquaculture**, [s.l.], v. 526, n. 735357, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735357>. Acesso em: 22 maio 2021.

YU, Q.; XIE, J.; HUANG, M.; CHEN, C.; QIAN, D.; QIN, J.G.; CHEN, L.; JIA, Y.; LI, E. Growth and health responses to a long-term pH stress in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*, **Aquaculture Reports**, [s.l.], v. 16, n. 100280, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100280>. 11 ago. 2021.

YUE, K.; SHEN, Y. An overview of disruptive technologies for aquaculture. **Aquaculture and Fisheries**, [s.l.], v. 7, p. 111–120, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.04.009>. Acesso em: 26 dez. 2022.

YU-JEN, P.; HSIN-PEI, S. Application of blockchain technology in aquaculture management. **Journal of Marine Science and Technology**, [s.l.], v. 31, n. 3, 2023. Disponível em: 10.51400/2709-6998.2701. Acesso em: 30 set. 2023.

ZBRODOFF, S. **Pilot projects—making innovations and new concepts fly**. Paper presented at PMI® Global Congress 2012—North America, Vancouver, British Columbia, Canada. Newtown Square, 2012. PA: Project Management Institute. Disponível em: <https://www.pmi.org/learning/library/pilot-projects-innovations-new-concepts-6043>. Acesso em: 15 abr. 2021.

ZECHENDORF, B., Sustainable development: how can biotechnology contribute? **Trends in Biotechnology**, [s.l.], v. 17, n. 6, p. 219-225, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(98\)01297-9](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(98)01297-9). Acesso em: 7 maio 2021.

ZHANG, S.; GUO, Y.; LI, S.; KE, Z.; ZHAO, H.; YANG, J.; WANG, Y.; LI, D.; WANG, L.; YANG, W.; ZHANG, Z. Investigation on environment monitoring system for a combination of hydroponics and aquaculture in greenhouse, **Information Processing in Agriculture**, , [s.l.], v. 9, n. 1, p. 123-134, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2021.06.006>. Acesso em: 15 fev. 2023

ZHANG, X.; BODERSKOV, T.; BRUHN, A.; THOMSEN, M. Blue growth and bioextraction potentials of Danish *Saccharina latissima* aquaculture — A model of eco-industrial production systems mitigating marine eutrophication and climate change, **Algal Research**, [s.l.], v. 64, n. 102686, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102686>. Acesso em: 24 fev. 2022.

ZHAO, Y. P.; NIU, L.J.; DU, H.; WEI, C. An adaptive method of damage detection for fishing nets based on image processing technology **Aquacultural Engineering**, , [s.l.], v. 90, n. 102071, 2020. Disponível em: doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102071. Acesso em: 30 set. 2021.

ZION, B. The use of computer vision technologies in aquaculture - a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s.l.], v. 88, p. 125-132, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.07.010>. Acesso em: 11 set. 2020.

ZUORRO, A.; MORENO-SADER, K. A.; GONZÁLEZ-DELGADO, A. D. Evaluating the feasibility of a pilot-scale shrimp biorefinery via techno-economic analysis, **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 320, n. 128740, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128740>. Acesso em: 28 dez. 2021.