



ALECE ASSEMBLEIA
LEGISLATIVA
DO ESTADO
DO CEARÁ

ECONOMIA
AZUL
NO ESTADO DO CEARÁ
CONTRIBUIÇÕES DA PESCA E DA AQUICULTURA

ORGANIZADORES

JOÃO FELIPE NOGUEIRA MATIAS • LUÍS PARENTE MAIA • RAIMUNDO EDUARDO SILVEIRA FONTENELE

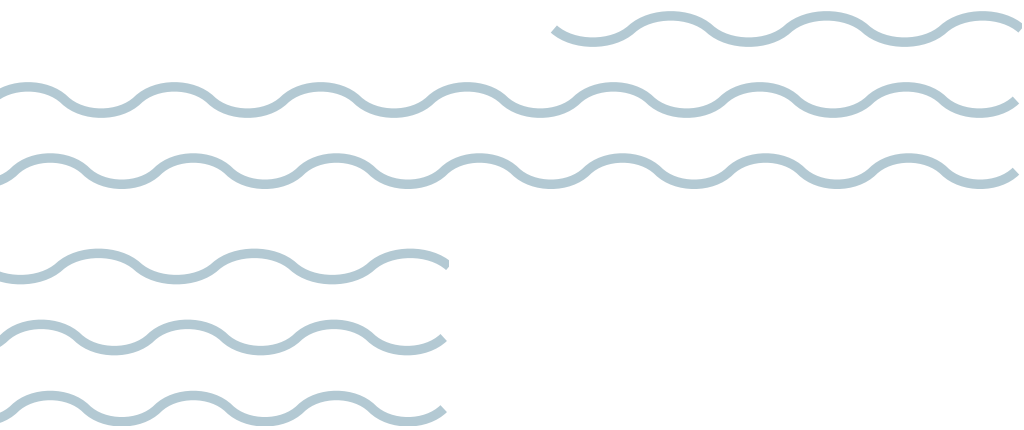
**EDIÇÕES
INESP**



ECONOMIA AZUL NO ESTADO DO CEARÁ:

CONTRIBUIÇÕES DA PESCA
E DA AQUICULTURA





JOÃO FELIPE NOGUEIRA MATIAS
LUÍS PARENTE MAIA
RAIMUNDO EDUARDO SILVEIRA FONTENELE
(Organizadores)

ECONOMIA AZUL NO ESTADO DO CEARÁ:

CONTRIBUIÇÕES DA PESCA E DA AQUICULTURA



ALECE ASSEMBLEIA
LEGISLATIVA
DO ESTADO
DO CEARÁ

INSTITUTO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE
O DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ

Fortaleza, maio/2025

Copyright by Inesp © 2025

**INSTITUTO DE ESTUDOS E PESQUISAS
SOBRE O DESENVOLVIMENTO DO ESTADO
DO CEARÁ – INESP**

João Milton Cunha de Miranda
Diretor Executivo

**Ernandes do Carmo
Valdemice Costa (Valdo)**
Coordenação Editorial

Valquíria Moreira / Rachel Garcia
Assistente Editorial

Valdemice Costa (Valdo)
Projeto Gráfico

José Mário Giffoni
Diagramação



EDIÇÕES INESP
Rua Barbosa de Freitas, 2672, 5º andar
Dionísio Torres, Fortaleza-CE
CEP 60.170-900
Anexo II - Dep. José Euclides Ferreira Gomes - 5º andar
Fone: (85) 3277-3702
presidenciaiinesp@al.ce.gov.br / inesp@al.ce.gov.br

***** DISTRIBUIÇÃO GRATUITA *****

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS ÀS EDIÇÕES INESP.

A presente obra não poderá ser comercializada e sua reprodução, total ou parcial,
por quaisquer meios reprográficos ou digitais, deverá ter a autorização prévia das Edições Inesp.

Catalogado por Daniele Sousa do Nascimento CRB-3/1023

E17 Economia azul no estado do Ceará [livro eletrônico]: contribuições da pesca e da aquicultura / organizadores, João Felipe Nogueira Matias, Luís Parente Maia, Raimundo Eduardo Silveira Fontenele. – Fortaleza: ALECE, INESP, 2025.
319 p. : il. color. ; 1000 KB ; PDF

ISBN: 978-65-6094-076-5

1. Aquicultura. 2. Pesca artesanal. I. Matias, João Felipe Nogueira. II. Maia, Luís Parente. III. Fontenele, Raimundo Eduardo Silveira. VI. Ceará. Assembleia Legislativa. Instituto de Estudos e Pesquisas sobre o Desenvolvimento do Estado.

CDD 639.3

SUMÁRIO

PALAVRA DO PRESIDENTE DA ALECE.....	9
INESP	10
APRESENTAÇÃO.....	11
INTRODUÇÃO GERAL.....	13
DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE MONITORAMENTO PARA A PESCA ARTESANAL E AQUICULTURA NO CEARÁ: DESAFIOS E OPORTUNIDADES.....	21
Daniel de Oliveira Sancho, Raimundo Eduardo Silveira Fontenele	
MODELO DE AVALIAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO SOCIOECONÔMICA DA CADEIA DE VALOR DA PESCA E AQUICULTURA NA ECONOMIA DO ESTADO DO CEARÁ.....	51
Raimundo Eduardo Silveira Fontenele, Gerliane Maia Costa, Daniel de Oliveira Sancho, João Felipe Nogueira Matias	
CONSUMO DE PESCADOS NO ESTADO DO CEARÁ: PREFERÊNCIAS DE COMPRA E PERFIS DE CONSUMIDORES.....	78
Áurio Lúcio Leocádio, Joao Felipe Nogueira Matias, Daniel Barboza Guimarães, Lucas Silva de Amorim, Gabriel de Mesquita Facundo, Ney Barros da Costa Filho	
A PESCA ARTESANAL E O PERFIL DE ALGUNS ASPECTOS LEGAIS DE COMUNIDADES PESQUEIRAS DO ESTADO DO CEARÁ	108
Adylla Maia Cruz, Halana Rodrigues Freire Eloy, Rochelle Cruz de Araújo Bezerra Vidigal, João Felipe Nogueira Matias	
PREÇOS DE EQUILÍBRIO PARA CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE ECOSSISTEMAS MANGUEZAIS: UMA AVALIAÇÃO NO LITORAL CEARENSE.....	121
Francisco Wellington Ribeiro, Raimundo Eduardo Silveira Fontenele	
FATORES QUE AFETAM A ACEITAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA OFFSHORE NO LITORAL DO CEARÁ.....	145
Francisco Wellington Ribeiro, Raimundo Eduardo Silveira Fontenele, Sissi Maria de Freitas	
MERCÚRIO E SEGURANÇA ALIMENTAR: CONCENTRAÇÃO DE HG EM PEIXES, ESTIMATIVA DE EXPOSIÇÃO HUMANA, E RECOMENDAÇÕES AO CONSUMO DE PESCADO PARA O ESTADO DO CEARÁ.....	168
Moises Fernandes Bezerra, Luiz Drude de Lacerda	
OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DA MICROALGA HAEMATOCOCCUS PLUVIALIS VIZANDO A PRODUÇÃO DE ASTAXANTINA.....	205
Rossi Lelis Muniz Souza, Danilo Cavalcante da Silva, Nicaely Maria de Oliveira Pereira, Winston Kleine Ramalho Viana, Aldeney Andrade Soares Filho, Kelma Maria dos Santos Pires Cavalcante, Francisco Geraldo Barbosa, Jair Mafezoli, Fatima Miranda Nunes, Marcos Carlos de Mattos, José Licarion Pinto Segundo Neto, Maria Conceição Ferreira Oliveira.	

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIMICROBIANO DE EXTRATOS DAS
MACROALGAS BRYOTHAMNION TRIQUETRUM, SARGASSUM SP E CODIUM
ISTHMOCLADUM COLETADAS NO LITORAL DO ESTADO DO CEARÁ..... 225
Adylla Maia Cruz, Halana Rodrigues Freire Eloy, Rochelle Cruz
de Araújo Bezerra Vidigal, João Felipe Nogueira Matias

DESCARBONIZAÇÃO DA CARCINICULTURA NO ESTADO DO CEARÁ..... 248
Rozane Valente Marins, Mariany Sousa Cavalcante,
Andréa da Consolação de Oliveira Carvalho

CONSERVAÇÃO SEMINAL E POLISSACARÍDEOS SULFATADOS COMO
SUPLEMENTO DO MEIO DILUIDOR ESPERMÁTICO DE PEIXES..... 275
Marcos Luiz da Silva Apoliano, Carminda Sandra Brito Salmito Vanderley

RELATO DO ACOMPANHAMENTO DA ENGORDA DA GAROUPA-
VERDADEIRA EPINEPHELUS MARGINATUS EM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO
DE ÁGUA..... 300
Viviana Lisboa, Ricardo Camurça, João Felipe Nogueira Matias





PALAVRA DO PRESIDENTE DA ALECE

A democracia não é um estado de maturidade nacional e institucional que se instala, e se preserva pela sua própria natureza, sem que precisemos nos manter vigilantes a fim de combater ataques e construí-la cotidianamente.

E como as gerações mudam, os jovens de hoje precisam aprender com os jovens de ontem que o Parlamento é a expressão mais fiel do poder democrático da população. Os debates, os perfis dos e das parlamentares, as leis produzidas, são resultados do que somos na nossa essência.

Manifesto gratidão aos meus pares, cujos votos me colocaram à frente do Legislativo cearense exatamente nesta celebração de 190 anos do Parlamento. Celebração que é o resultado da continuidade de um processo democrático iniciado em 1835, e é cheio de ranhuras, a exemplo de ditaduras, golpes, uma cruel pandemia, e o doloroso incêndio do Plenário 13 de Maio – o coração dos nossos mandatos. Ranhuras que vamos enfrentando, resistindo e nos reconstruindo com bravura.

Não somos mais a Província do Ceará. Contudo, não podemos esquecer, foi lá que o senador José Martiniano de Alencar plantou a semente da casa em que agora podemos ver germinar uma comissão temática dos direitos e defesas da mulher cearense – um marco moderno e necessário.

Portanto, com firmeza, gentileza, educação e ternura, respeitamos o passado, para construir um futuro melhor. A assembleia que chega aos 190 anos como uma das mais transparentes do país deverá trabalhar para ser a mais transparente do Brasil.

Porque nosso passado e nosso futuro é ousar. O Ceará, que é referência na educação brasileira, não vê fronteiras como barreiras, mas sim como desafios a serem superados. E seguiremos em frente. Tenham certeza.

Deputado Estadual Romeu Aldigueri

Presidente da Assembleia Legislativa do Estado do Ceará



O Instituto de Estudos e Pesquisas sobre o Desenvolvimento do Estado do Ceará (Inesp), criado em 1988, é um órgão técnico e científico de pesquisa, educação e memória. Ao idealizar e gerenciar projetos atuais que se alinhem às demandas legislativas e culturais do estado, objetiva ser referência no cenário nacional.

Durante seus mais de 30 anos de atuação, o Inesp prestou efetiva contribuição ao desenvolvimento do estado, assessorando, por meio de ações inovadoras, a Assembleia Legislativa do Estado do Ceará (Alece). Dentre seus mais recentes projetos, destacam-se o Edições Inesp e o Edições Inesp Digital, que têm como objetivos editar livros, coletâneas de legislação e periódicos especializados. O Edições Inesp Digital obedece a um formato que facilita e amplia o acesso às publicações de forma sustentável e inclusiva. Além da produção, revisão e editoração de textos, ambos os projetos contam com um núcleo de design gráfico.

O Edições Inesp Digital já se consolidou. A demanda por suas publicações alcançou uma marca de 5 milhões de downloads. As estatísticas demonstram um crescente interesse nas publicações, com destaque para as de Literatura, Ensino, Legislação e História, estando a Constituição Estadual e o Regimento Interno entre os primeiros colocados.

ECONOMIA AZUL NO ESTADO DO CEARÁ: CONTRIBUIÇÕES DA PESCA E DA AQUICULTURA é mais uma obra do diversificado catálogo de publicações do Edições Inesp Digital, que, direta ou indiretamente, colaboram para apresentar respostas às questões que afetam a vida do cidadão.

Prof. Dr. João Milton Cunha de Miranda

Diretor Executivo do Inesp

APRESENTAÇÃO

É com grande satisfação que apresento este livro, fruto do trabalho dos pesquisadores do Programa Cientista-Chefe de Economia Azul no Ceará, realizado com o apoio da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP). A economia azul emerge como um pilar essencial para o desenvolvimento sustentável, especialmente no contexto da Amazônia Azul do estado do Ceará. Esta vasta área marinha, que se estende além das regiões costeiras e abrange águas territoriais e zonas econômicas exclusivas, é rica em biodiversidade e recursos naturais. Ela oferece oportunidades para a exploração responsável dos recursos oceânicos, alinhada à preservação ambiental e à promoção do bem-estar social das comunidades costeiras e marítimas. No Ceará, a economia azul inclui setores como a pesca, aquicultura, turismo sustentável e energia renovável, com foco na conservação dos ecossistemas marinhos e no desenvolvimento econômico inclusivo. Alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030, especialmente o ODS 14 (Vida na Água), o Ceará tem um potencial significativo para alavancar uma economia azul que seja economicamente próspera, socialmente inclusiva e ambientalmente sustentável.

Este livro reúne iniciativas inovadoras que buscam superar os desafios e explorar as oportunidades da economia azul no estado. Desde o desenvolvimento de modelos de monitoramento para a pesca artesanal, a avaliação socioeconômica da cadeia de valor da aquicultura, até a conservação dos manguezais e o desenvolvimento de energias renováveis, as ações aqui descritas reforçam a importância da ciência e da tecnologia para promover uma economia do mar sustentável. O livro também destaca a importância de estudos sobre o consumo de pescado e contaminação por mercúrio e projetos inovadores como a descarbonização da carcinicultura.

Este trabalho, apoiado pela FUNCAP, representa um passo importante na construção de uma base científica sólida para a formulação de políticas públicas eficazes e inclusivas, promovendo uma visão integrada da economia azul que contemple todos os setores envolvidos. Com essas iniciativas, estamos contribuindo para que o Ceará se torne referência no desenvolvimento sustentável de sua economia marítima, garantindo benefícios para as gerações futuras e a prosperidade das comunidades locais.

É com grande satisfação que apresento este livro, fruto do trabalho desenvolvido pelos pesquisadores do Programa Cientista-Chefe de Economia Azul no Ceará, com o apoio da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP). A economia azul tem emergido como um pilar essencial para o desenvolvimento sustentável, particularmente no contexto da «Amazônia Azul» do estado do Ceará. Esta área marinha, rica em biodiversidade e recursos naturais, vai além das regiões costeiras, abrangendo águas territoriais e zonas econômicas exclusivas. Ela oferece oportunidades significativas para a exploração sustentável dos recursos oceânicos, conciliando a preservação ambiental com a promoção do bem-estar social das comunidades costeiras e marítimas.

No Ceará, a economia azul envolve setores como pesca, aquicultura, turismo sustentável e energia renovável, com foco na conservação dos ecossistemas marinhos e no desenvolvimento econômico inclusivo. Alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, especialmente o ODS 14 (Vida na Água), o Ceará apresenta um enorme potencial para consolidar uma economia azul próspera, inclusiva e sustentável.

Essas iniciativas representam um avanço importante no desenvolvimento sustentável da economia azul no Ceará, mostrando como a ciência e a tecnologia podem transformar o uso dos recursos marinhos em uma ferramenta para garantir a prosperidade econômica, inclusão social e proteção ambiental para as futuras gerações.

João Felipe Nogueira Matias

Cientista Chefe

INTRODUÇÃO GERAL

A economia azul surge como um pilar essencial para fomentar o desenvolvimento sustentável das regiões costeiras e marinhas, integrando a exploração responsável dos recursos oceânicos com a preservação ambiental e o bem-estar social. Esse conceito está diretamente alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, especialmente os ODS 14 (Vida na Água), 1 (Erradicação da Pobreza), 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), e 12 (Consumo e Produção Responsáveis). No Estado do Ceará, caracterizado por uma vasta faixa litorânea e uma diversidade de atividades econômicas ligadas ao mar, existe um potencial significativo para alavancar a economia azul, promovendo um desenvolvimento econômico, social e ambientalmente equilibrado das comunidades locais.

A década de 2021 a 2030 foi designada pela ONU como a Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável, destacando a necessidade de pesquisa científica robusta e do aumento do conhecimento sobre os oceanos para promover um desenvolvimento sustentável efetivo. No Ceará, essa necessidade se reflete na valorização das contribuições dos diversos setores da economia azul, fundamentais para a segurança alimentar, geração de renda e desenvolvimento socioeconômico regional.

Entretanto, no Brasil, a abordagem sistêmica da economia azul ainda carece de uma base sólida de estudos e da sistematização de dados que viabilizem sua aplicação prática na formulação de políticas públicas eficazes. A informalidade e a dispersão das atividades ligadas ao mar e às regiões costeiras criam barreiras para a obtenção de dados confiáveis sobre a produção e a relevância socioeconômica, especialmente no que diz respeito a atividades seculares, como a pesca artesanal, o que resulta na subvalorização do setor. Outros setores, como o turismo costeiro, o transporte marítimo e as energias renováveis, também carecem de estudos aprofundados que possam orientar seu desenvolvimento sustentável.

Os projetos apresentados neste livro, parte do Programa Cientista-Chefe da Economia Azul da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), seguem uma lógica que aborda o tripé da sustentabilidade: começando pelos aspectos econômicos e sociais e, em seguida, os ambientais.

Nesse contexto, o projeto **“Desenvolvimento de um Modelo de Monitoramento para a Pesca Artesanal e Aquicultura no Ceará: Desafios e Oportunidades”** tem como um de seus focos principais a criação de sistemas robustos de coleta e análise de dados para a pesca artesanal e aquicultura. Esse modelo de monitoramento, que constitui o primeiro capítulo do livro, aborda uma das principais lacunas identificadas, possibilitando uma base metodológica sólida para entender a produção de pescado no estado, contribuindo para a valorização e sustentabilidade do setor.

Em sequência, o segundo capítulo apresenta os resultados do projeto **“Modelo de avaliação da contribuição socioeconômica da cadeia de valor da pesca e aquicultura no Ceará”**. Esse modelo busca calcular diversos indicadores, como os impactos da cadeia produtiva da pesca e aquicultura no crescimento econômico, na distribuição de renda e na balança comercial. A partir dessa avaliação, é possível entender melhor como a pesca e a aquicultura contribuem para o desenvolvimento regional, subsidiando a formulação de políticas públicas que maximizem os benefícios socioeconômicos dessas atividades.

Na sequência do livro, o projeto **“Consumo de Pescados no Estado do Ceará: Preferências de Compra e Perfis de Consumidores”** investiga os fatores que influenciam o consumo de pescado, como condições socioeconômicas, padrões alimentares, características pessoais e atitudes dos consumidores. Embora o pescado seja reconhecido por seus benefícios à saúde, o aumento de sua produção não se traduz em maior consumo, devido a barreiras como alto custo, tabus alimentares e problemas de comercialização. Esta pesquisa visa fornecer dados que apoiem políticas públicas para fortalecer a cadeia produtiva e aumentar o consumo de pescado no estado, considerando as especificidades das áreas urbanas e rurais.

O artigo **“A Pesca Artesanal e o Perfil de Alguns Aspectos Legais de Comunidades Pesqueiras do Estado do Ceará”** analisa o contexto legal da pesca artesanal no Ceará, Brasil, destacando sua importância cultural e econômica. O estudo revela dificuldades enfrentadas pelo setor, como a ausência de coleta de dados sistemática desde 2009, o que compromete a formulação de políticas públicas eficazes. Além disso, discute as exigências legais para os pescadores, como licenças e documentações, e o baixo cumprimento dessas normas devido à falta de informações. O trabalho destaca a necessidade de capacitação

para garantir maior visibilidade e sustentabilidade ao setor, reforçando a importância da regularização e da documentação na formulação de políticas públicas.

O livro também explora a relevância dos manguezais na economia azul, enfatizando seu papel em fornecer serviços ecossistêmicos valiosos, como o sequestro de carbono, regulação climática e suporte à biodiversidade. No Ceará, os manguezais, cobrindo cerca de 20.000 hectares, são fundamentais no contexto das mudanças climáticas, pela capacidade de capturar e armazenar carbono. O estudo **“Preços de Equilíbrio para a Conservação e Recuperação dos Ecossistemas de Manguezais”** busca estabelecer preços de carbono que justifiquem economicamente a conservação e restauração dos manguezais cearenses, servindo como base para mecanismos de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), como o mercado de carbono, essencial para a sustentabilidade desses ecossistemas.

A exploração da energia eólica offshore é outro tema relevante para a expansão da economia azul no Ceará. A pesquisa **“Determinantes da Aceitação da Energia Eólica Offshore na Costa do Ceará”** explora os fatores que influenciam a aceitação da instalação de parques eólicos offshore no litoral cearense. A aceitação dos *stakeholders*, incluindo moradores, pescadores, empresários e pesquisadores, é um fator crucial para o desenvolvimento de tais projetos. O estudo identifica que variáveis como a percepção de criação de oportunidades de emprego e o impacto sobre as áreas de pesca influenciam significativamente a aceitação. O estudo destaca ainda a necessidade de uma governança robusta e inclusiva, onde os interesses dos diversos grupos afetados sejam considerados, assegurando que os projetos de energia eólica offshore sejam social e ambientalmente responsáveis.

Adicionalmente, o desafio da contaminação por mercúrio no pescado comercializado no Ceará foi identificado como uma questão crucial para a segurança alimentar. A presença de mercúrio em concentrações superiores aos limites permitidos afeta tanto a saúde pública quanto o potencial de exportação do pescado, especialmente para mercados como a União Europeia. O projeto **“Mercúrio e Segurança Alimentar”** visa quantificar esses níveis de contaminação e fornece uma base de dados sólida para políticas públicas que assegurem a saúde dos consumidores locais.

Outro aspecto inovador diz respeito à biotecnologia marinha, com destaque para o projeto: **Otimização da produção da microalga *Haematococcus pluvialis* visando à extração de astaxantina**. Esse carotenoide tem grande importância devido às suas propriedades antioxidantes e aos benefícios à saúde, sendo amplamente utilizado nas indústrias de cosméticos, fármacos e rações. O projeto relacionado busca desenvolver estratégias que aumentem a produção de astaxantina natural, alinhando-se com a demanda crescente por antioxidantes mais eficazes e de origem sustentável.

O artigo **“Avaliação do Potencial Antimicrobiano de Extratos das Macroalgas *Bryothamnion triquetrum*, *Sargassum* sp. e *Codium isthmocladum* Coletadas no Litoral do Estado do Ceará”** investiga o potencial dessas macroalgas na produção de compostos bioativos com atividade antimicrobiana. A pesquisa foi realizada com amostras coletadas no litoral cearense, e os extratos foram testados contra bactérias patogênicas como *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. Os resultados indicam que os extratos dessas algas possuem atividade bactericida e bacteriostática, especialmente os de *Codium isthmocladum*, que se mostrou mais eficaz contra as cepas testadas. O estudo destaca a importância das macroalgas como fontes promissoras de novos compostos antimicrobianos e a relevância de pesquisas futuras sobre o potencial biotecnológico desses organismos marinhos.

Na sequência, o livro destaca a **“Descarbonização da Carcinicultura no Estado do Ceará”**, que aborda a importância da descarbonização como medida essencial para a sustentabilidade da aquicultura, em especial a carcinicultura no Ceará. O capítulo discute a expansão da carcinicultura e a necessidade de adoção de práticas sustentáveis para mitigar as emissões de gases de efeito estufa, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. Enfatiza-se que a gestão adequada e o desenvolvimento de tecnologias para a redução de emissões são cruciais para atingir a meta de carbono líquido zero, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da economia azul no estado.

O artigo **“Conservação Seminal e Polissacarídeos Sulfatados como Suplemento do Meio Diluidor Espermático de Peixes”** aborda o uso de biotecnologias reprodutivas na aquicultura, com foco na conservação seminal de peixes. O estudo explora técnicas como a criopreservação e o resfriamento do sêmen, destacando a importância

de diluentes e crioprotetores para manter a viabilidade espermática. Além disso, o artigo discute o papel dos polissacarídeos sulfatados, extraídos de macroalgas e outras fontes, como suplementos promissores no meio diluidor, devido à sua capacidade antioxidante. Essas técnicas têm relevância tanto para a produção comercial quanto para a preservação de espécies.

Outro projeto inovador que merece destaque no detalhamento do livro é a **“Engorda da garoupa-verdadeira *Epinephelus marginatus* em sistema de recirculação de água no Estado do Ceará, Brasil”**. Este projeto, iniciado em 2021, visa à diversificação da aquicultura no Ceará, contribuindo para o fortalecimento da economia azul na região. A garoupa-verdadeira foi escolhida devido ao seu valor de mercado e à sua facilidade de cultivo em cativeiro, sendo engordada em um sistema de recirculação de água que promove maior sustentabilidade. O desenvolvimento de novas tecnologias neste projeto reflete um avanço significativo para a produção aquícola sustentável e para a geração de novas oportunidades econômicas locais.

Assim, as iniciativas apresentadas neste livro destacam tanto os desafios quanto as oportunidades no desenvolvimento sustentável dos setores da economia azul no Ceará. Outros setores também desempenham papéis essenciais para o desenvolvimento sustentável da economia azul.

O valor dos serviços prestados pelos ecossistemas marinhos, incluindo os manguezais, a produção aquícola, os recursos energéticos, e os outros setores da economia do mar mencionados, vai muito além dos benefícios econômicos diretos, contribuindo também para a nutrição, saúde, conservação da biodiversidade, mitigação das mudanças climáticas, desenvolvimento social e estabilidade econômica da região. Dessa forma, uma abordagem integrada da economia azul que contemple todos esses setores é essencial para promover um desenvolvimento verdadeiramente sustentável no Estado do Ceará.

A extensão da economia azul, no entanto, vai além do que foi abordado neste livro, e poderá ser explorada de forma mais abrangente em uma futura edição, permitindo uma visão ainda mais integrada das potencialidades e desafios desse modelo de desenvolvimento sustentável. Parte superior do formulário Parte inferior do formulário

Entretanto, os projetos do Programa Cientista-Chefe da Economia Azul visam fornecer uma base científica robusta que permita não apenas entender a produção e os impactos econômicos, mas também fornecer subsídios essenciais para políticas públicas mais inclusivas e efetivas. Dessa forma, o Ceará pode maximizar os benefícios da economia azul, promovendo um desenvolvimento verdadeiramente sustentável, onde os recursos marinhos são utilizados de maneira a garantir prosperidade econômica, inclusão social e proteção ambiental para as futuras gerações.





CAPÍTULO UM

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE MONITORAMENTO PARA A PESCA ARTESANAL E AQUICULTURA NO CEARÁ: DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Daniel de Oliveira Sancho¹,
Raimundo Eduardo Silveira Fontenele²

1 INTRODUÇÃO

A pesca artesanal desempenha um papel crucial na economia e na segurança alimentar de muitas comunidades costeiras, especialmente no estado do Ceará, onde é amplamente praticada ao longo de sua extensa faixa litorânea. No entanto, a mensuração precisa de sua importância econômica enfrenta grandes desafios devido à escassez de dados estruturados e abrangentes sobre essa atividade. A informalidade que caracteriza grande parte das operações da pesca artesanal, voltadas muitas vezes para a subsistência, e a sua execução em pequena escala fora dos circuitos formais da economia resultam em subnotificações e lacunas significativas de informação.

No Ceará, a pesca extrativa artesanal é responsável por uma parcela substancial da produção pesqueira, principalmente nos vinte municípios costeiros. Apesar de sua relevância, há uma carência de mecanismos eficazes para monitorar e registrar essa produção, o que compromete a formulação de políticas públicas que promovam o desenvolvimento sustentável do setor e a correta alocação de recursos. A ausência de um sistema de monitoramento robusto limita a capacidade de entender a verdadeira contribuição socioeconômica da pesca artesanal, gerando um cenário de subvalorização desta atividade.

Por outro lado, a aquicultura, mesmo realizada por pequenos produtores, apresenta uma estrutura mais formalizada e um volume de dados mais consistente. Por operar em ambientes controlados, como

1 Economista; Mestre em economia aplicada ao agronegócio; Assessor de Relações Institucionais, Fecomércio/CE, Núcleo de Estudos em Economia do Mar – NEMA, Fortaleza, Ceará, Brasil.

2 Universidade Federal do Ceará, Núcleo de Estudos em Economia do Mar – NEMA, PPAC/UFC, Programa de Pós-graduação em Administração e Controladoria, Fortaleza, Ceará, Brasil.

tanques e viveiros, a aquicultura facilita o acompanhamento de indicadores de produção e desempenho, como crescimento dos organismos e condições ambientais, possibilitando o registro mais preciso das atividades. Essa atividade está frequentemente integrada a cadeias de suprimento regulamentadas, o que impõe exigências de conformidade e manutenção de dados, diferentemente da pesca extrativa artesanal, que ainda enfrenta desafios logísticos e operacionais significativos para a coleta de informações.

Em contraste, a pesca artesanal extrativa, por ser uma atividade dispersa e menos formalizada, enfrenta desafios logísticos e operacionais significativos para a coleta de dados. A falta de estrutura e investimentos em pesquisa e desenvolvimento para a pesca artesanal, tanto por parte do setor público quanto do privado, agrava essa situação. A ausência de uma base de dados robusta limita o potencial de crescimento sustentável da pesca artesanal e impede uma avaliação precisa de sua contribuição para a economia local.

Nesse contexto, este artigo tem como objetivo central a elaboração de um modelo de monitoramento de dados de produção da pesca artesanal, abrangendo tanto a pesca extrativa quanto a aquicultura, no estado do Ceará. A proposta visa fornecer uma base metodológica sólida para o levantamento, organização e consolidação de informações que permitam uma análise detalhada da produção artesanal. Isso inclui a mensuração do valor adicionado por essas atividades à economia cearense, permitindo uma visão mais precisa de sua relevância socioeconômica.

Dados preliminares indicam que, em 2021, a pesca extrativa artesanal no Ceará gerou um valor adicionado de R\$ 829,4 milhões, representando 0,58% do valor adicionado total da economia do estado, e 8,7% quando comparada ao PIB agropecuário. Apesar de a aquicultura ter uma produção ligeiramente maior (53,27%) em relação à pesca extrativa (46,73%), a maior contribuição para o valor adicionado vem da pesca extrativa. O desenvolvimento de um modelo de monitoramento para esse setor é, portanto, uma ferramenta fundamental para aprimorar a gestão e assegurar que sua contribuição econômica seja devidamente reconhecida e fortalecida.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A pesca é uma das atividades econômicas mais antigas, sendo praticada desde o período colonial no Brasil (CASTRO et al., 2008). Historicamente, a prática da pesca no país foi moldada por influências das culturas indígena, portuguesa e africana. Da tradição indígena, herdaram-se técnicas de preparo do pescado para alimentação, construção de embarcações como canoas e jangadas, além do uso de flechas e arpões; dos portugueses, vieram os anzóis, pesos de metal e redes de pesca; e dos africanos, a introdução de cestos especiais (DIEGUES, 1983).

No Nordeste, a pesca artesanal sempre desempenhou um papel crucial, especialmente em períodos de seca. Um exemplo histórico ocorreu em 1844, quando as comunidades próximas ao Rio Piranhas, que atravessa os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, conseguiram sobreviver através da pesca. No Ceará, durante a seca de 1915, o açude Cedro, em Quixadá-CE, foi fundamental para a sobrevivência de milhares de pessoas, fornecendo cerca de 290 toneladas de pescado em um único ano (VIEIRA, 2007).

A produção pesqueira no Brasil é impulsionada tanto pela pesca em água doce quanto pela pesca em água salgada, desempenhando um papel estratégico no desenvolvimento socioeconômico de diversas regiões (FAO; DUKE UNIVERSITY; WORLD FISH, 2023; MARQUES et al., 2020; VALENTI et al., 2021). No estado do Ceará, em particular, com uma vasta extensão litorânea e significativa atividade de pesca continental, o setor pesqueiro possui grande potencial de expansão, reforçando a necessidade de atenção governamental ao seu desenvolvimento (FLORES; PEDROZA FILHO, 2019; QUEIROZ et al., 2020).

A pesca artesanal tem importância vital como fonte de alimento, emprego, comércio e bem-estar econômico, especialmente em regiões costeiras e ribeirinhas. Ela é reconhecida por suas contribuições nutricionais, econômicas, sociais e ambientais, tanto para as gerações presentes quanto futuras (FAO, 1995). Nas áreas do semiárido, por exemplo, a pesca em açudes públicos desempenha um papel crucial na geração de renda e segurança alimentar. No entanto, essa atividade é muitas vezes subestimada nos indicadores oficiais, apresentando-se como pouco expressiva no cenário socioeconômico nacional (VIEIRA, 2007).

Uma das principais lacunas que limitam o pleno desenvolvimento do setor pesqueiro artesanal no Brasil é a falta de dados precisos e abrangentes, tanto para a pesca em águas interiores quanto para a pesca marinha. Essa ausência de informações impede a formulação de políticas públicas adequadas e a tomada de decisões estratégicas para o setor (IDT, 2002).

Estima-se que a produção nacional de pescado seja de aproximadamente 1.440.000 toneladas, das quais 812 mil toneladas são provenientes da pesca extrativa (IBAMA, 1995-2008; MPA, 2009-2012; FAO, 2023; FREIRE et al., 2021) e 629 mil toneladas da aquicultura (IBGE, 2021), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Evolução da Produção da Pesca e da Aquicultura Brasileiras - 1995-2020.

Ano	Pesca (ton)	Aquicultura (ton)	Total (ton)
1995	606.708	46.202	652.910
1996	632.451	60.721	693.172
1997	644.585	87.673	732.258
1998	606.789	10.914	710.703
1999	603.941	140.656	744.597
2000	666.846	176.530	843.376
2001	730.377	209.378	939.756
2002	755.582	251.287	1.000.869
2003	712.143	278.128	990.271
2004	746.216	269.697	1.015.914
2005	751.293	257.780	1.009.073
2006	779.112	271.695	1.050.808
2007	783.176	289.049	1.072.226
2008	791.057	365.367	1.156.424
2009	825.164	415.649	1.240.813
2010	785.366	479.398	1.264.764

Ano	Pesca (ton)	Aquicultura (ton)	Total (ton)
2011	803.270	628.704	1.431.974
2015	812.000	573.163	1.385.163
2020	812.000	629.400	1.441.400

Fontes: IBAMA (1995-2008); MPA (2009-2012); IBGE (2015;2021); FAO (2023), Freire et al (2021).

Em 2021, o valor da produção aquícola brasileira alcançou aproximadamente R\$ 6,37 bilhões, ou US\$ 1,22 bilhão. A maior parte dessa produção foi proveniente de peixes, que responderam por R\$ 4,7 bilhões, ou US\$ 900 milhões (73,78%); os crustáceos, principalmente camarões, contribuíram com R\$ 1,6 bilhão, ou US\$ 307 milhões (25,11%); enquanto os moluscos somaram R\$ 70,8 milhões, ou US\$ 13,5 milhões (1,10%) (IBGE, 2022).

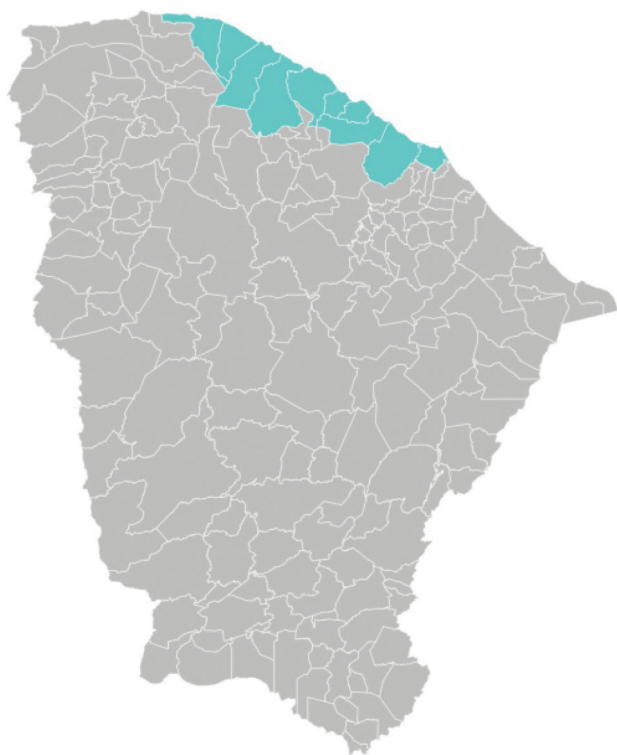
No estado do Ceará, as estatísticas oficiais relacionadas à pesca extrativa artesanal ainda são escassas e fragmentadas, com maior disponibilidade de dados referentes à prática da aquicultura, os quais são divulgados regularmente pelo IBGE. Em relação à pesca extrativa marinha, as informações disponíveis provêm do Relatório Anual de Execução do Projeto de Monitoramento do Desembarque Pesqueiro Regional da Bacia do Ceará. Este relatório abrange os municípios situados na área de influência dos empreendimentos marítimos vinculados à Unidade de Negócios de Exploração e Produção do Rio Grande do Norte e Ceará, resultado de uma parceria entre o IBAMA e a Petrobrás. Os municípios monitorados são: Fortaleza, Caucaia, São Gonçalo do Amarante, Paracuru, Paraipaba, Trairi, Itapipoca, Amontada, Itarema e Acaraú (Figura 1).

Essas limitações na coleta de dados da pesca extrativa artesanal no Ceará, especialmente no que diz respeito às áreas fora da influência dos empreendimentos marítimos mencionados, destacam a necessidade urgente de desenvolver modelos de monitoramento mais abrangentes e sistemáticos. Isso é fundamental para melhorar a compreensão da produção pesqueira artesanal e orientar políticas públicas eficazes para o setor, garantindo uma gestão sustentável dos recursos e o desenvolvimento econômico das comunidades pesqueiras.

3 BASE METODOLÓGICA

A pesquisa primária é fundamental para a obtenção de dados originais e detalhados sobre uma população ou fenômeno específico, oferecendo insights que são frequentemente inacessíveis por meio de fontes secundárias. Ela permite que pesquisadores coletem informações diretamente de respondentes, o que possibilita um maior controle sobre a qualidade e relevância dos dados, adequando as perguntas aos objetivos específicos do estudo. Duas das principais modalidades de pesquisa primária são o censo e o *survey*, ambas amplamente utilizadas em estudos socioeconômicos, de mercado e demográficos.

Figura 1 - Municípios da área de influência das unidades de negócios de exploração e produção – Ceará.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

O censo é uma modalidade exaustiva de pesquisa, cujo objetivo é coletar dados de todos os indivíduos ou unidades pertencentes a

uma população-alvo. Sua abrangência o torna uma ferramenta valiosa para mapear um panorama completo de um grupo ou região, permitindo a construção de uma base de dados sólida para análises detalhadas e comparações temporais. No entanto, o censo frequentemente apresenta desafios significativos em termos de recursos financeiros, humanos e de tempo, além das dificuldades associadas ao alcance de toda a população-alvo.

Por sua vez, o *survey* é uma modalidade mais ágil e econômica, que coleta dados a partir de uma amostra representativa da população. Quando desenhado com rigor estatístico, o *survey* permite que os resultados obtidos sejam generalizados para a população em estudo. A representatividade e o rigor na escolha da amostra são elementos essenciais para garantir a confiabilidade dos dados coletados e sua utilidade em análises subsequentes.

Neste projeto, foi adotada uma metodologia mista, integrando tanto o levantamento primário quanto o levantamento secundário de dados, levando em consideração o contexto complexo da pesca e aqüicultura no estado do Ceará. Essas atividades apresentam desafios específicos de mensuração, dado o seu caráter multifacetado, que abrange desde operações informais de subsistência até empreendimentos comerciais mais estruturados. A falta de dados consistentes, especialmente no que se refere à pesca artesanal extrativa, agrava essa complexidade, tornando fundamental o desenvolvimento de uma abordagem metodológica robusta para a coleta e análise de informações.

3.1 Pesquisa com dados Secundários

A técnica de estimação dos dados de produção da pesca artesanal marítima baseou-se em proporções calibradas, utilizando dois relatórios fundamentais para a construção da tabela de proporções aplicadas ao cálculo. O primeiro relatório é o Relatório Técnico Final do Monitoramento da Atividade Pesqueira no Litoral do Brasil, fruto do convênio SEAP/PROZEE/IBAMA: 109/2004, elaborado pela Fundação de Amparo à Pesquisa de Recursos Vivos na Zona Economicamente Exclusiva (Fundação PROZEE). O segundo é o Boletim Estatística da Pesca, Grandes Regiões e Unidades da Federação, que abrange as edições de 2005 a 2011, publicado pelo Ministério do Meio Ambiente.

O primeiro relatório continha informações para o período de 2000 a 2005, considerando a produção dos municípios litorâneos do Ceará, por espécie. O segundo relatório continha a informação agregada para as Unidades da Federação (Tabela 2).

Tabela 2 - Produção estimada, por tipo de pesca, Ceará - 2005.

Unidade da Federação	Total (ton)	Pesca Extrativa		Aqüicultura	
		Marinha	Continental	Marinha	Continental
Ceará	64.020,5	18.421,5	11.263	17.356	16.980

Fonte: Estatística da Pesca, Grandes Regiões e Unidades da Federação. 2005.

Essa metodologia é particularmente importante no contexto da pesca artesanal, que é caracterizada por práticas muitas vezes informais e dispersas, o que torna o monitoramento regular da produção uma tarefa complexa. A informalidade e o baixo nível de organização de muitos pescadores artesanais dificultam a coleta de dados precisos, tornando essencial o uso de técnicas de estimativa baseadas em fontes secundárias confiáveis para gerar informações robustas. No caso da aqüicultura, os dados são mais acessíveis e regulares, devido ao maior nível de formalização e controle no processo de produção, como o uso de tanques e viveiros, o que facilita a mensuração da produção.

O segundo relatório também apresentava dados de produção por espécie e modalidade, informação contida no primeiro relatório, mas com edições até 2011. Dessa forma, foi possível construir uma tabela com as proporções de produção por espécie, para cada município, com os dados do primeiro relatório, para o período de 2000 a 2005, e estimar os dados seguintes com base nos totais observados, também por espécie, no segundo relatório. A Tabela 3 ilustra o formato para executar a calibragem da proporção, em que, de 2000 a 2005, constam os dados da produção, por espécie, e de 2006 a 2011, constam apenas os totais dessa produção.

Tabela 3 - Evolução da produção (ton) de pescado desembarcada no Estado do Ceará

Espécies	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Agulha	13,4	110,5	41,5	24,0	25,3	15,1						
Albacora	73,8	159,2	111,7	133,7	168,5	86,3						
Arabaiana	26,6	30,2	43,8	62,8	41,8	67,0						
Ariaco	539,4	618,4	605,0	724,9	675,1	625,3						
Arraia	377,5	374,3	502,2	479,0	486,1	651,7						
Bagres	133,8	143,3	126,7	215,1	193,5	160,5						
Beijupira	189,0	170,6	183,1	222,7	296,5	346,6						
Biquara	324,6	374,9	389,1	519,4	496,6	541,5						
Bonito	119,6	315,3	259,8	228,8	232,9	185,1						
Caços	119,8	124,2	134,9	302,0	240,2	319,9						
Caico	998,1	1.131,1	1.029,5	1.349,1	1.589,6	1.728,5						
Camaroes	783,1	489,6	470,0	704,9	647,9	386,9						
Camurim	40,7	54,1	28,4	90,7	83,2	68,4						
Camurupim	123,5	154,4	191,0	129,3	131,4	215,7						
Cangulo	143,9	59,2	32,1	15,3	15,7	18,3						
Carapitanga	199,3	334,9	233,6	368,4	307,5	546,9						
Cavala	1.359,1	1.303,0	1.258,6	1.773,2	2.257,2	1.880,0						
Cioba	158,0	118,8	130,4	175,4	153,0	169,8						
Dentao	67,1	79,4	96,0	61,6	63,8	138,8						
Dourado	124,0	287,8	186,5	249,0	350,5	200,5						
Garoupa	120,3	70,4	61,9	83,0	73,7	54,9						
Guaiuba	743,2	1.346,0	1.337,1	1.442,2	1.655,9	2.090,6						
Guarajuba	202,7	248,8	263,3	384,2	343,9	352,7						
Guaraximbora	127,1	180,1	166,3	134,4	184,3	171,4						
Lagostas	3.002,0	2.833,3	2.965,3	2.486,8	3.102,6	2.970,0						
Mero	14,9	24,6	12,1	7,1	2,3	2,2						
Outros	1.022,6	865,5	866,9	1.148,3	843,4	1.007,9						
Palombeta	84,7	461,7	1.172,7	394,4	883,8	368,0						
Pargos	1.081,6	926,1	776,0	505,2	601,7	522,0						
Pescadas	90,8	85,0	67,6	79,7	134,2	209,8						
Polvo	2,4	5,3	12,2	12,4	2,6	1,9						
Sardinha	911,8	910,8	1.528,3	1.682,5	1.568,8	1.124,7						
Serra	605,8	625,1	616,6	588,4	732,4	493,2						
Sirigado	251,5	385,1	280,3	260,6	184,7	433,6						
Vermelhos	17,8	25,1	15,6	26,2	51,8	25,0						
Xareu	17,9	67,2	58,7	28,5	124,4	240,9						
TOTAL	14.211,4	15.497,1	16.254,9	17.093,0	18.946,9	18.421,3	16.552,0	17.920,0	20.502,0	23.816,0	21.254,7	21.788,0

DADOS A SEREM ESTIMADOS COM BASE NA PROPORÇÃO DE PRODUÇÃO DE CADA ESPÉCIE.

Fonte: Elaboração própria, com base no Relatório técnico final do monitoramento da atividade pesqueira no litoral do Brasil, 2005; e Estatística da Pesca, Grandes Regiões e Unidades da Federação. 2005.

Para estimar a produção do período de 2006 a 2011, se utilizou a média móvel trienal das proporções do período de 2003 a 2005. Essa proporção foi então aplicada sobre o total da produção observada no período entre 2006 e 2011, a fim de completar a Tabela 3.

Por fim, o mesmo procedimento foi repetido para cada município, levando em consideração a produção por espécie. Dessa forma, foi possível estimar a produção municipal para o período de 2006 a 2011 com base nas proporções calculadas anteriormente, como ilustrado na Tabela 4.

Essa abordagem metodológica permite superar as limitações impostas pela ausência de dados sistemáticos e contínuos no setor da pesca artesanal, oferecendo uma alternativa robusta para a estimativa da produção e a elaboração de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento sustentável tanto da pesca quanto da aquicultura no estado do Ceará. A integração de dados secundários com estimativas cuidadosas é fundamental para compreender a dinâmica desses setores e sua importância para a economia regional.

Tabela 4 - Estimativas da produção (ton) de pescado marítimo e estuarino no Estado do Ceará, municípios selecionados (2005-2011)

Municípios	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Icapuí	630,50	550,14	598,06	689,07	795,62	711,26	729,76
Aracati	429,20	388,94	415,65	478,30	555,89	494,99	508,09
Fortim	437,20	382,04	412,49	477,29	550,78	491,87	505,10
Beberibe	932,40	808,55	877,59	1.014,45	1.169,38	1.045,40	1.073,17
Cascavel	430,20	373,58	402,01	467,25	538,19	480,51	493,83
Aquiraz	305,20	262,03	283,45	329,60	378,87	338,67	348,01
Fortaleza	1.593,10	1.582,37	1.660,73	1.877,63	2.221,69	1.966,36	2.014,54
Caucaia	213,20	194,91	209,17	239,48	278,88	248,42	254,76
São Gonçalo do Amarante	266,30	248,25	266,55	303,03	354,49	315,56	323,27
Paracuru	443,60	414,55	441,39	504,21	589,60	524,14	537,51
Paraipaba	96,20	90,20	97,15	109,98	128,89	114,76	117,48
Trairi	730,20	643,06	695,58	801,70	927,00	827,82	849,54
Itapipoca	478,60	433,91	467,32	535,02	622,30	554,77	568,86
Amontada	262,80	233,54	253,96	290,79	337,11	301,18	308,73
Itarema	1.467,50	1.281,47	1.403,48	1.608,74	1.859,29	1.663,93	1.705,43

Municípios	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Acaraú	1.761,20	1.608,50	1.735,90	1.979,37	2.306,93	2.056,60	2.107,41
Cruz	312,20	292,06	314,14	356,22	417,18	371,40	380,31
Jijoca	143,50	133,06	142,54	162,52	189,89	169,01	173,23
Camocim	6.138,10	5.207,08	5.694,46	6.598,23	7.575,02	6.784,99	6.965,78
Barroquinha	1.350,40	1.423,88	1.548,51	1.679,33	2.019,18	1.793,23	1.823,38
Total	18.421,60	16.552,13	17.920,11	20.502,21	23.816,19	21.254,87	21.788,19

Fonte: Elaboração própria.

O último passo foi estender a série até 2022. Considerando que esse tipo de pesca não sofre grandes transformações que resultem em ganhos de produtividade ao ponto que faça crescer, significativamente, sua produção, optou-se, portanto, utilizar novamente a média móvel dos sete anos anteriores anos para estimar os dados seguintes, isto é, entre 2011 e 2022 (Tabela 5).

Tabela 5 - Estimativas da produção (ton) de pescado marítimo e estuarino no Estado do Ceará, municípios selecionados (2005-2022)

Municípios	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Icapuí	672,06	677,99	696,26	710,29	713,32	701,56	700,18	695,95	699,36	702,42	703,30
Aracati	467,29	472,74	484,71	494,57	496,89	488,47	487,54	484,60	487,07	489,12	489,75
Fortim	465,25	469,26	481,72	491,61	493,66	485,50	484,59	481,65	484,00	486,10	486,73
Beberibe	988,71	996,75	1.023,64	1.044,50	1.048,79	1.031,57	1.029,59	1.023,36	1.028,31	1.032,82	1.034,13
Cascavel	455,08	458,64	470,79	480,61	482,52	474,57	473,72	470,85	473,10	475,17	475,79
Aquiraz	320,83	323,07	331,78	338,69	339,99	334,44	333,83	331,80	333,37	334,84	335,28
Fortaleza	1.845,20	1.881,22	1.923,91	1.961,51	1.973,49	1.938,03	1.933,99	1.922,48	1.933,52	1.940,99	1.943,43
Caucaia	234,12	237,11	243,13	247,98	249,20	244,96	244,47	243,00	244,26	245,29	245,59
São Gonçalo do Amarante	296,78	301,13	308,69	314,71	316,38	310,93	310,27	308,41	310,07	311,35	311,73
Paracuru	493,57	500,71	513,02	523,25	525,97	516,88	515,84	512,75	515,49	517,60	518,26
Paraipaba	107,81	109,47	112,22	114,37	115,00	113,01	112,76	112,09	112,70	113,17	113,30
Trairi	782,13	789,55	810,47	826,89	830,48	816,70	815,11	810,19	814,20	817,72	818,75
Itapipoca	522,97	529,31	542,93	553,74	556,41	547,00	545,89	542,61	545,41	547,71	548,39
Amontada	284,02	287,05	294,69	300,51	301,90	296,87	296,25	294,47	295,96	297,23	297,60
Itarema	1.569,98	1.584,62	1.627,93	1.659,99	1.667,31	1.639,88	1.636,45	1.626,59	1.634,68	1.641,83	1.643,82
Acaraú	1.936,56	1.961,61	2.012,05	2.051,50	2.061,81	2.026,79	2.022,53	2.010,41	2.020,96	2.029,44	2.031,92
Cruz	349,07	354,34	363,24	370,25	372,26	365,84	365,04	362,86	364,83	366,33	366,77
Jijoca	159,11	161,34	165,38	168,64	169,51	166,60	166,26	165,26	166,14	166,83	167,03
Camocim	6.423,38	6.464,13	6.643,71	6.779,32	6.805,19	6.695,22	6.682,39	6.641,91	6.673,12	6.702,98	6.711,45

Municípios	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Barroquinha	1.662,56	1.707,15	1.747,62	1.776,07	1.789,89	1.757,13	1.751,97	1.741,77	1.753,09	1.759,65	1.761,36
Total	20.036,47	20.267,17	20.797,89	21.209,00	21.309,97	20.951,93	20.908,66	20.783,01	20.889,66	20.978,59	21.004,40

Fonte: Elaboração própria.

A estimativa de produção para a pesca artesanal continental foi realizada com base no Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura, utilizando dados referentes ao período entre 2004 e 2011. O método adotado seguiu uma abordagem similar à utilizada para a construção das estimativas da pesca marítima, ou seja, aplicou-se o modelo de proporções calibradas. Os boletins fornecem informações detalhadas sobre a produção pesqueira, tanto marítima quanto extrativa, distribuídas por estado e espécie de pescado para os anos de 2004 a 2006. No entanto, de 2007 a 2011, os dados estão consolidados apenas por estado, sem discriminação por espécie.

A estimação foi realizada em duas etapas principais:

- **Estimativa por média móvel trianual (2004 a 2011):** Para o período entre 2004 e 2006, a produção foi estimada por espécie, utilizando a média móvel trianual. Esses dados foram posteriormente calibrados para o ano de 2011, com base nos totais fornecidos pelos boletins, ajustando as estimativas conforme a produção agregada disponível.
- **Estimativa para o período de 2012 a 2022:** Para os anos subsequentes, a estimativa foi baseada na média móvel das proporções observadas entre 2004 e 2011. Esse método foi considerado adequado, uma vez que não houve indícios de melhorias significativas nos processos da pesca extrativa artesanal ao longo desse período, e os dados da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) indicam uma tendência de redução nos volumes de água armazenada nos açudes do estado.

Dado o cenário de tendência decrescente nos volumes dos açudes e a estabilidade nos métodos de pesca extrativa artesanal, a estimativa foi considerada satisfatória e coerente com a realidade observada no estado do Ceará.

Após consolidar as estimativas de produção até 2022, o próximo passo foi distribuir essa produção entre os municípios cearenses. Para isso, partiu-se do pressuposto de que a pesca extrativa continental ocorre apenas nos municípios que possuem açudes. Foram, então, mapeados os 124 açudes localizados no estado, utilizando a base de dados da COGERH (Tabela 6). A partir desse mapeamento, foi possível alocar a produção estimada de maneira mais precisa, refletindo a distribuição geográfica dos açudes e, conseqüentemente, das atividades pesqueiras nesses municípios.

Esse método de estimação e distribuição da produção pesqueira oferece uma abordagem robusta para superar a falta de dados atualizados e precisos, especialmente no que diz respeito à pesca artesanal continental, e possibilita uma visão mais detalhada da realidade do setor no estado do Ceará.

Tabela 6 - Relação dos açudes monitorados pelo COGERH, 2023.

Município	Nº açudes	Município	Nº açudes	Município	Nº açudes
Abaiara	1	Forquilha	2	Pacatuba	1
Acopiara	1	General Sampaio	1	Parambu	1
Altaneira	1	Granja	2	Pedra Branca	2
Alto Santo	1	Horizonte	1	Pentecoste	1
Aquiraz	1	Ico	2	Pereiro	2
Aracoiaba	1	Iguatu	1	Piquet Carneiro	1
Arneiroz	1	Independencia	3	Potengi	1
Assare	1	Ipu	1	Potiretama	1
Aurora	1	Iracema	3	Quiterianopolis	1
Banabuiu	1	Irauçuba	1	Quixada	2
Barro	1	Itaitinga	1	Quixelo	1
Boa Viagem	2	Itapipoca	2	Quixeramobim	3
Brejo Santo	1	Itapiuna	1	Redencao	1
Campos Sales	1	Jaguaribe	2	Russas	1

Município	Nº açudes	Município	Nº açudes	Município	Nº açudes
Caninde	3	Juazeiro Do Norte	1	Santa Quiteria	1
Canindé	1	Lavras Da Mangabeira	2	Santana Do Acaraú	1
Caridade	3	Maranguape	2	Senador Pompeu	1
Carius	1	Martinópolis	1	Senador Sá	1
Cascavel	1	Massapê	1	Sobral	5
Catarina	1	Mauriti	2	Solonopole	2
Catunda	1	Milhã	1	Tamboril	2
Caucaia	2	Miraima	1	Taua	4
Cedro	1	Mombaça	1	Tejuçuoca	1
Choro	1	Monsenhor Tabosa	1	Ubajara	1
Chorozinho	1	Morada Nova	2	Umirim	2
Coreaú	3	Moraújo	1	Uruburetama	1
Crateus	2	Nova Russas	1	Uruoca	1
Deputado Irapuan Pinheiro	1	Novo Oriente	1	Varjota	1
Erere	1	Oros	1	Várzea Alegre	1

Fonte: COGERH, 2023.

Após a identificação e mapeamento dos açudes, o próximo passo consistiu em coletar duas informações essenciais sobre cada um: a área (em hectares) e o volume médio. O objetivo dessa coleta de dados foi desenvolver um indicador de capacidade produtiva dos açudes, obtido pela multiplicação da área pela média do volume de água armazenado. Esse indicador foi projetado para sinalizar o potencial produtivo de cada açude em termos de pesca artesanal (COSTA, 2022; VIEIRA, 2010). Posteriormente, foi calculada a proporção da capacidade produtiva de cada açude em relação ao total, conforme demonstrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Proporção dos açudes com base no indicador de capacidade produtiva.

Município	Proporção	Município	Proporção	Município	Proporção
Abaiara	0,0012223	Forquilha	0,0062703	Pacatuba	0,002353
Acopiara	0,003371	General Sampaio	0,004853	Parambu	0,0012966
Altaneira	0,0013548	Granja	0,0195143	Pedra Branca	0,0012562
Alto Santo	0,1311716	Horizonte	0,012422	Pentecoste	0,0109607
Aquiraz	0,0011669	Ico	0,0032602	Pereiro	0,0000559
Aracoiaba	0,0123106	Iguatu	0,010279	Piquet Carneiro	0,0043132
Arneiroz	0,1138464	Independência	0,0040876	Potengi	0,0093308
Assare	0,0066386	Ipu	0,0002227	Potiretama	0,0000422
Aurora	0,0015358	Iracema	0,0009041	Quiteriano-polis	0,0045271
Banabuiu	0,0345555	Irauçuba	0,0000983	Quixada	0,0025091
Barro	0,001547	Itaitinga	0,0004341	Quixelo	0,0061543
Boa Viagem	0,0037293	Itapipoca	0,0020984	Quixeramobim	0,0101883
Brejo Santo	0,0190796	Itapiuna	0,0004787	Redencao	0,0043636
Campos Sales	0,0019627	Jaguaribe	0,0005316	Russas	0,0052943
Caninde	0,0027672	Juazeiro do Norte	0,0000973	Santa Quiteria	0,0270813
Caridade	0,0002832	Lavras da Mangabeira	0,0074345	Santana do Acaraú	0,0017779
Carius	0,0063818	Maranguape	0,0005307	Senador Pompeu	0,0055638
Cascavel	0,0049658	Martinópolis	0,0022294	Senador Sá	0,0069226
Catarina	0,0034151	Massapê	0,01119	Sobral	0,0522213
Catunda	0,0014435	Mauriti	0,0007419	Solonopole	0,0212533
Caucaia	0,0063822	Milhã	0,0002971	Tamboril	0,0058139
Cedro	0,0041159	Miraima	0,033879	Taua	0,0100037
Choro	0,0002843	Mombaça	0,0008815	Tejuçuoca	0,0026959
Chorozinho	0,0007756	Morada Nova	0,0016492	Umirim	0,0144277
Coreaú	0,0076256	Moraújo	0,0032154	Uruburetama	0,00084
Crateus	0,0393722	Nova Russas	0,0004092	Uruoca	0,0003898

Município	Proporção	Município	Proporção	Município	Proporção
Deputado Irapuan Pinheiro	0,0019247	Novo Oriente	0,0062935	Varjota	0,071388
Erere	0,0006361	Oros	0,1680084	Várzea Alegre	0,000799

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do COGERH. Obs. Os açudes Caracas, Trapiá I, Estrema, Mons. Tabosa, Madeiro, Pirabibu, Forquilha II e Jaburu I não apresentaram volumes médios para o ano de 2021.

Além disso, as informações sobre os custos de produção foram obtidas a partir do estudo de Vieira (2010). Esta dissertação serviu como uma proxy para balizar os custos de produção nos diferentes municípios do Ceará. A justificativa para o uso desse estudo como referência está na similaridade das práticas de pesca artesanal continental em diversas regiões do Brasil. O tipo de material utilizado para a pesca, bem como as embarcações empregadas - quando disponíveis - apresentam características semelhantes em diferentes localidades.

Assim, foi adotado o pressuposto de que os custos identificados no trabalho de Vieira poderiam ser aplicáveis, com as devidas adaptações, para os demais municípios do estado, funcionando como uma estimativa proxy dos custos reais de produção na pesca artesanal continental. Dessa forma, o modelo permitiu uma uniformização das estimativas de custo, proporcionando maior coerência ao analisar a contribuição econômica da pesca nos diversos açudes mapeados.

3.2 Pesquisa com dados Primários

Para a pesca extrativa, o modelo de coleta de dados primários adotado é não probabilístico, ou seja, nem todos os participantes têm a mesma probabilidade de serem incluídos na pesquisa. Essa escolha metodológica se justifica pela dificuldade de localizar os pescadores fora do ambiente de pesca, especialmente em áreas dispersas ou de difícil acesso. A pesquisa será conduzida por amostragem por conveniência, nos principais pontos de desembarque de municípios do litoral cearense, incluindo Barroquinha, Camocim, Jijoca de Jericoacoara, Acaraú, Itarema, Cruz, Amontada, Itapipoca, Trairi, Paraipaba, Paracuru, São Gonçalo do Amarante, Fortaleza, Aquiraz, Cascavel, Beberibe, Fortim, Aracati e Icapuí.

Neste modelo de amostragem por conveniência, não se estabelece um número fixo de amostras, uma vez que os participantes são selecionados com base na sua disponibilidade e disposição em colaborar com o estudo. Essa abordagem é especialmente útil em situações onde há restrições de tempo ou recursos, permitindo a coleta de dados de maneira ágil e direta. Embora a amostragem por conveniência possa introduzir vieses, por não garantir uma representatividade estatística da população, ela permite o acesso rápido a informações preliminares valiosas, que podem servir de base para a condução de estudos mais amplos e representativos no futuro.

Como parte desta pesquisa, foram conduzidos levantamentos-piloto em dois municípios: Fortaleza e Trairi. Em cada um desses municípios, foram coletados um conjunto de indicadores destinados a identificar a produção anual de pescado, discriminada por tipo de embarcação, além dos custos associados ao processo de pesca. Esses indicadores fornecem uma visão detalhada da produção e das despesas, fundamentais para a análise econômica da atividade. O detalhamento dos indicadores levantados nesses municípios será apresentado em seguida, visando oferecer um quadro mais claro sobre a dinâmica produtiva e os desafios enfrentados pelos pescadores nessas localidades.

a) Estimativa da produção anual (kg)

$$\hat{Y}_{a,i,j} = \sum_{k=1}^n (\bar{Y}_{a,i,j,k} \times C_{a,i,j} \times 12)$$

Em que:

$\hat{Y}_{a,i,k,j}$: estimativa da produção anual no município a , no ponto de desembarque i , tipo de embarcação j ;

$\bar{Y}_{a,i,j,k}$: quantidade média desembarcada no município a , no ponto de desembarque i , tipo de embarcação j e viagem k .

$C_{a,i,j}$: número de viagens no município a , no ponto de desembarque i , tipo de embarcação j ;

b) Número de pescadores ativos

$$N_{a,j} = \sum N_{a,j}$$

Em que:

a = município

j = tipo de embarcação

c) Resultado Bruto da Exploração (RBE)

$$RBE_{a,j} = VBP_{a,j} - CI_{a,j} - VA_{a,j}$$

Em que:

CI = Consumo Intermediário Local e Importado

VA = Valor Adicionado

α = município

j = tipo de embarcação

d) Valor Bruto da Produção (VBP)

$$VBP_{a,j} = \hat{Y}_{a,j} \times \text{Preço médio da primeira venda}_{a,j}$$

Em que:

α = município

i = ponto de desembarque

j = tipo de embarcação

e) Consumo Intermediário (CI)

$$CI_{a,i,j} = \sum L_{a,i,j}$$

Em que:

$L_{a,i,j}$: custos de produção envolvidos na pesca

f) Valor adicionado (VA)

$$VA_{a,j} = \text{Salários}_{a,j} + \text{Taxas e impostos}_{a,j} + RBE_{a,j} + \text{Depreciação}_{a,j}$$

Em que:

α = município

j = tipo de embarcação

Em muitos países, é comum que os salários dos pescadores sejam pagos em forma de pescado, correspondendo geralmente a 50% do volume total capturado, prática observada em diferentes regiões do mundo (FAO, 2014; Béné et al., 2007). Após receberem sua parte, os pescadores têm a liberdade de decidir entre utilizar o pescado para autoconsumo ou vendê-lo no mercado. De forma prática, costuma-se observar as espécies recebidas (quando possível) e considerar para fins de autoconsumo aquelas cujo preço de venda é mais baixo, já que são mais acessíveis para consumo familiar.

O cálculo do valor dos salários é feito com base na diferença entre os 50% destinados ao pescador e a quantidade reservada para autoconsumo, multiplicada pelo preço médio de venda das espécies capturadas. Em relação às taxas e impostos, eles consistem basicamente no pagamento da taxa mensal à colônia de pescadores, que pode variar em valor e frequência conforme o município.

Essa prática de distribuição de pescado como forma de remuneração é amplamente documentada em diversas economias pesqueiras, particularmente em áreas onde a formalização do trabalho é limitada e os acordos comunitários desempenham um papel importante na organização das atividades pesqueiras (FAO, 2014).

Quanto à depreciação, esta se aplica apenas à embarcação, considerando-se uma perda anual de 5%, que reflete a desvalorização do equipamento ao longo do tempo devido ao desgaste natural.

O consumo intermediário abrange os custos operacionais envolvidos na atividade pesqueira. Esses custos diferem entre a aquicultura e a pesca extrativa artesanal. No presente estudo, foram identificadas as contas que compõem os custos operacionais nos municípios pesquisados (Fortaleza e Trairi) e também na aquicultura. As categorias de despesas específicas estão detalhadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Contas de custos das atividades de aquicultura e pesca extrativa artesanal.

Aquicultura		Pesca extrativa
Pós-larvas	Manutenções (diversas)	Água
Ração	Pós-larvas	Alimentação
Silicato	Alevinos/juvenis	Combustível
Melaço	Sanidade	Gelo
Probióticos	Gastos administrativos	Isopor
Ácidos orgânicos	Energia e combustível	Manutenção
Análise de água	Manutenção - Máquinas/equipamentos	Material de pesca
Energia	Manutenção - Benfeitorias	Medicação
Internet		
Combustível		
Alimentação (funcionários)		

Fonte: Elaboração própria, 2024.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados primários foram coletados no período de 07 a 11 de maio de 2024, no Mucuripe, Fortaleza, e de 20 a 25 de maio de 2024, em Flecheiras, Trairi. Um dos principais desafios enfrentados durante essa fase foi a dificuldade em obter informações precisas, dado que não havia registros formais sobre a produção ou os custos envolvidos na atividade pesqueira. Todas as informações foram obtidas com base nas percepções visuais e memórias dos pescadores, o que limitou a acurácia dos dados.

Durante a etapa de tabulação, surgiram frequentes inconsistências nas respostas relacionadas aos custos, uma vez que havia uma grande variabilidade nas informações fornecidas pelos pescadores para um mesmo tipo de despesa. Para mitigar essas discrepâncias, foram realizados ajustes considerando variáveis como o tipo de embarcação, o número de pescadores por embarcação e a quantidade de dias que a embarcação permanecia no mar. Esses ajustes permitiram uniformizar as respostas e garantir uma maior consistência na análise dos dados.

Em relação aos dados secundários, foi possível construir uma base de dados modelo, utilizando o ano de 2021 como referência, pois esse período continha informações consistentes sobre os custos de produção. A base de dados foi organizada de modo a possibilitar tanto a obtenção de níveis agregados quanto desagregados de informação. Para garantir um detalhamento adequado, foram criados códigos específicos que identificam variáveis como a área de pesca, o município, o tipo de pesca e a arte de pesca utilizada (conforme ilustrado na Tabela 8). Esses códigos facilitaram o tratamento dos dados e a análise de padrões diferenciados entre os locais e tipos de atividade pesqueira.

Tabela 8 - Recorte do banco de dados com informações de produção da pesca extrativa e aquicultura, Ceará.

Área	Município	Tipo de Pesca	Artes	Código	Produção (Kg)	Preço (R\$)	Valor da produção (R\$)	Ano
Marinha	Acarauá	Carcinicultura pequeno porte	Viveiro aquícola	2300200AM11CP	2.205.976,97	17,27	38.097.223,28	2021
Marinha	Alto Santo	Carcinicultura pequeno porte	Viveiro aquícola	2300705AM11CP	263.490,57	14,00	3.688.867,92	2021
Marinha	Amontada	Carcinicultura pequeno porte	Viveiro aquícola	2300754AM11CP	374.570,80	16,34	6.120.488,00	2021

Área	Município	Tipo de Pesca	Artes	Código	Produção (Kg)	Preço (R\$)	Valor da produção (R\$)	Ano
Marinha	Aquiraz	Carcinicultura pequeno porte	Viveiro aquícola	2301000AM11CP	15.000,00	16,00	240.000,00	2021
Marinha	Aracati	Carcinicultura pequeno porte	Viveiro aquícola	2301109AM11CP	7.000.037,49	19,23	134.610.723,79	2021
Marinha	Barroquinha	Carcinicultura pequeno porte	Viveiro aquícola	2302057AM11CP	189.492,19	15,75	2.984.503,13	2021
Marinha	Beberibe	Carcinicultura pequeno porte	Viveiro aquícola	2302206AM11CP	3.165.920,10	16,25	51.446.204,04	2021
Marinha	Camocim	Carcinicultura pequeno porte	Viveiro aquícola	2302602AM11CP	223.646,55	15,35	3.432.974,55	2021
Marinha	Amontada	Carcinicultura grande porte	Viveiro aquícola	2300754AM11CG	561.856,20	16,34	9.180.732,00	2021
Marinha	Aracati	Carcinicultura grande porte	Viveiro aquícola	2301109AM11CG	514.708,64	19,23	9.897.847,34	2021
Marinha	Chaval	Carcinicultura pequeno porte	Viveiro aquícola	2303907AM11CP	86.153,85	16,00	1.378.461,54	2021
Marinha	Beberibe	Pesca extrativa	Lancha	2302206AM05PE	396.889,97	29,14	11.565.373,61	2021
Marinha	Beberibe	Pesca extrativa	Bote motorizado	2302206AM03PE	9.526,25	8,00	76.209,96	2021
Marinha	Cascavel	Pesca extrativa	Bote de casco	2303501AM02PE	1.104,27	18,73	20.682,89	2021
Marinha	Cascavel	Pesca extrativa	Bote a remo	2303501AM01PE	1.766,82	14,86	26.255,01	2021

Fonte: IBGE. Petrobrás/IBAMA. Dados primários. Elaboração própria, 2023.

Com relação aos custos levantados, a Tabela 9 apresenta um recorte detalhado que inclui uma lista de códigos relacionados às contas de consumo intermediário local, juntamente com seus respectivos valores anuais. Essa tabela oferece uma visão clara dos principais componentes dos custos operacionais envolvidos na pesca artesanal, permitindo identificar as despesas mais relevantes e facilitando a análise comparativa entre diferentes municípios e práticas de pesca. O levantamento dos custos foi essencial para compreender a estrutura econômica das atividades pesqueiras e para proporcionar uma base sólida para a análise de sua importância econômica, considerando as especificidades de cada local.

Tabela 9 - Recorte do banco de dados das contas de custos da pesca extrativa e aquicultura, Ceará.

Código	Consumo Intermediário Local	Valor (R\$)
2300200AM11CP	Pós-larvas	2.558.933,28
2300200AM11CP	Ração	14.559.447,98

2300200AM11CP	Silicato	529.434,47
2300200AM11CP	Melaço	595.613,78
2300200AM11CP	Probióticos	485.314,93
2300200AM11CP	Ácidos orgânicos	397.075,85
2300200AM11CP	Análise de água	22.059,77
2300200AM11CP	Energia	4.367.834,40
2300200AM11CP	Internet	661.793,09
2300200AM11CP	Combustível	1.389.765,49
2300200AM11CP	Alimentação (funcionários)	529.434,47
2300200AM11CP	Manutenções (diversas)	3.176.606,83

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Com base nos dados coletados, foi possível realizar um esboço preliminar da capacidade de informação gerada pelos indicadores. Esses indicadores permitiram a identificação detalhada dos custos envolvidos na atividade pesqueira, categorizados por município e tipo de embarcação. Além disso, foram levantadas informações sobre os salários pagos aos pescadores, o valor adicionado direto gerado pela atividade e o valor bruto da produção.

A Tabela 10 sintetiza essas informações, oferecendo uma visão abrangente das variáveis econômicas relacionadas à pesca artesanal. Este detalhamento é crucial para entender a dinâmica econômica de cada município, possibilitando comparações entre as diferentes regiões e tipos de embarcação, e fornecendo uma base sólida para análises econômicas mais aprofundadas, como a rentabilidade da atividade e o impacto socioeconômico gerado pela pesca nas comunidades envolvidas.

Tabela 10 - Recorte do banco de dados dos indicadores construídos da pesca extrativa e aquicultura, Ceará.

Código	Ano	Município	Arte	Consumo intermediário local	Salários	Valor Agregado Direto	Valor Agregado Total	Valor Bruto da Produção
2305357AM-02PE2021	2021	Icapuí	Bote de casco	1.536,64	524.790,00	1.048.043,36	1.048.154,82	1.049.580,00
2305357AM-01PE2021	2021	Icapuí	Bote a remo	7,41	3.343,50	6.679,59	6.679,83	6.687,00

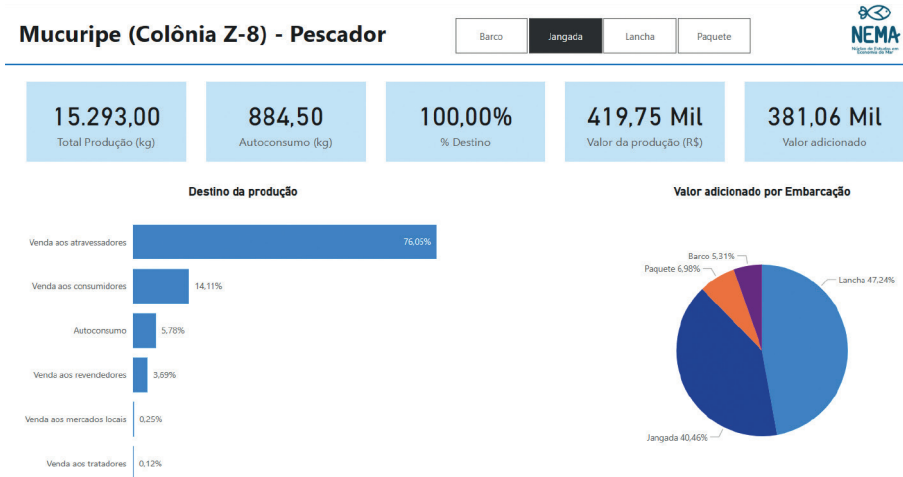
Código	Ano	Município	Arte	Consumo intermediário local	Salários	Valor Agregado Direto	Valor Agregado Total	Valor Bruto da Produção
2305357AM-06PE2021	2021	Icapuí	Paquete	23.334,24	640.375,20	1.257.416,16	1.258.346,03	1.280.750,40
2305357AM-04PE2021	2021	Icapuí	Jangada	373,46	13.569,55	26.765,64	26.776,45	27.139,10
2305357AM-05PE2021	2021	Icapuí	Lancha	490,95	6.886.073,40	13.771.655,85	13.771.666,48	13.772.146,80
2305357AM-03PE2021	2021	Icapuí	Bote motorizado	109,71	38.990,00	77.870,29	77.869,42	77.980,00
2301109AM-02PE2021	2021	Aracati	Bote de casco	66,01	46.918,65	93.771,29	93.776,07	93.837,30
2301109AM-01PE2021	2021	Aracati	Bote a remo	369,92	166.803,50	333.237,08	333.249,27	333.607,00
2301109AM-06PE2021	2021	Aracati	Paquete	45.550,61	1.250.072,20	2.454.593,79	2.456.408,97	2.500.144,40
2301109AM-04PE2021	2021	Aracati	Jangada	11.145,27	404.956,75	798.768,23	799.090,85	809.913,50
2301109AM-05PE2021	2021	Aracati	Lancha	205,98	2.889.085,30	5.777.964,62	5.777.969,08	5.778.170,60
2301109AM-03PE2021	2021	Aracati	Bote motorizado	28,07	9.975,00	19.921,93	19.921,71	19.950,00
2304459AM-02PE2021	2021	Fortim	Bote de casco	740,01	525.952,62	1.051.165,24	1.051.218,91	1.051.905,25
2304459AM-06PE2021	2021	Fortim	Paquete	28.650,76	786.279,61	1.543.908,47	1.545.050,20	1.572.559,23
2304459AM-04PE2021	2021	Fortim	Jangada	1.936,97	70.378,72	138.820,48	138.876,55	140.757,45
2304459AM-05PE2021	2021	Fortim	Lancha	291,47	4.088.125,97	8.175.960,47	8.175.966,78	8.176.251,93
2304459AM-03PE2021	2021	Fortim	Bote motorizado	155,52	63.167,81	126.180,10	126.178,85	126.335,61

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Em sequência, são apresentadas algumas imagens da plataforma de monitoramento que foi desenvolvida para acompanhar o desempenho da atividade pesqueira. A plataforma foi construída utilizando o software Microsoft Power BI, que é adequado para o processamento e análise de grandes volumes de dados, adotando uma abordagem do tipo big data.

A primeira imagem (Figura 2) ilustra os resultados obtidos a partir da aplicação dos questionários no ponto de desembarque do Mucuripe, localizado no município de Fortaleza. A confecção dessa tela visual facilita o entendimento dos dados coletados, permitindo uma análise mais detalhada das informações obtidas e gerando insights valiosos sobre a adequação das perguntas feitas aos pescadores, bem como a qualidade e consistência dos dados recebidos. A visualização oferecida pelo Power BI torna mais eficiente a interpretação dos resultados e possibilita ajustes contínuos no processo de coleta e monitoramento da produção pesqueira, contribuindo para a melhoria da precisão e da relevância dos dados coletados.

Figura 2 – Painel analítico elaborado com o resultado da pesquisa primária no ponto de desembarque do Mucuripe, em Fortaleza, Ceará.

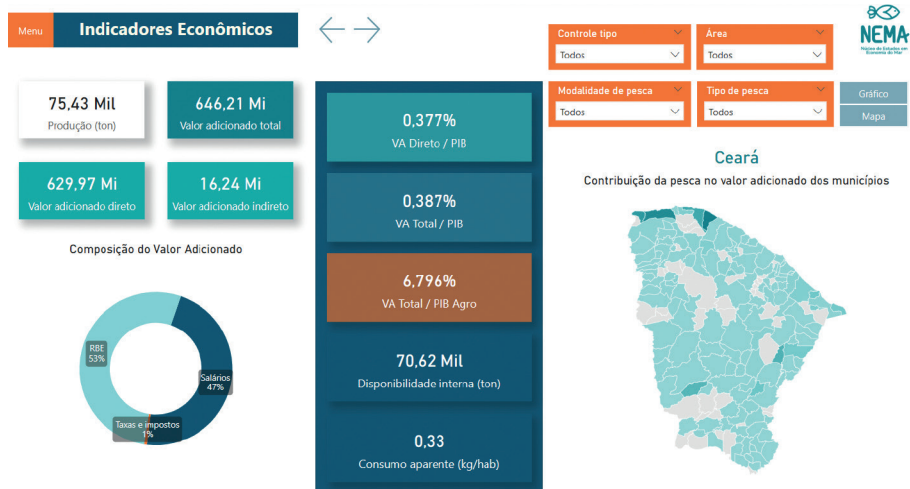


Fonte: Elaboração própria, 2024.

Com base nos dados secundários de produção, nas estimativas realizadas e nos custos levantados por meio da pesquisa primária, foi possível esboçar indicadores para as atividades de pesca extrativa e aquicultura, tanto marinha quanto continental, nos municípios do Ceará. A contribuição da pesca é particularmente expressiva em alguns municípios, especialmente aqueles situados no Litoral Norte. Municípios como Arneiroz, com destaque para a pesca em açudes, e Jaguaribara, pela prática de aquicultura, também se sobressaem no interior do estado.

Na análise em relação ao Produto Interno Bruto (PIB), o setor pesqueiro apresentou uma participação de 0,39% no PIB total do Ceará, de acordo com dados de 2021. Quando a mesma análise é realizada com o PIB agropecuário, a participação do setor aumenta significativamente, alcançando 6,8%. Em termos absolutos, o valor adicionado total da atividade pesqueira foi estimado em R\$ 646,21 milhões. Esses resultados são detalhados e ilustrados na Figura 3, oferecendo uma visão clara do impacto econômico da pesca e aquicultura no estado, tanto em nível regional quanto no contexto agropecuário mais amplo.

Figura 3 - Painel analítico elaborado das atividades de pesca extrativa artesanal e aquicultura, nos municípios do estado do Ceará.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nesta pesquisa foram amplamente satisfatórios, atendendo às expectativas dos *stakeholders* envolvidos no setor de pesca e aquicultura do Ceará. A coleta de dados, tanto primários quanto secundários, permitiu a criação de uma base de informações sólida, ainda que diversos desafios tenham surgido ao longo do processo. Entre as principais dificuldades enfrentadas, destacam-se os problemas durante a aplicação dos questionários nos pontos de desembarque, as inconsistências identificadas durante a tabulação dos dados, e a insuficiência de dados secundários e trabalhos acadêmicos que poderiam servir como referência com uma metodologia compatível para o setor.

A pesca artesanal no Ceará é um setor fundamental para a economia local, contribuindo significativamente para o sustento das comunidades costeiras. No entanto, a pesquisa revelou que o setor enfrenta desafios significativos, incluindo a informalidade, a falta de dados confiáveis e as condições ambientais ameaçadas. Para garantir sua sustentabilidade a longo prazo, é crucial desenvolver estratégias

de gestão eficiente, melhorar a coleta de dados e fortalecer o apoio às comunidades pesqueiras.

A pesquisa demonstrou a importância de um monitoramento mais robusto e contínuo das atividades pesqueiras no estado. A implementação de um sistema de monitoramento mais eficiente, com apoio de tecnologias como Microsoft Power BI, traria vantagens substanciais para o setor. Entre essas vantagens estão:

- **Melhoria na precisão dos dados:** Um sistema de monitoramento constante permitiria a coleta e análise de dados em tempo real, reduzindo a dependência da memória e percepções dos pescadores. Isso geraria informações mais precisas sobre a produção, os custos e os impactos econômicos da pesca e aquicultura, possibilitando ajustes mais rápidos nas políticas públicas e estratégias de manejo.
- **Facilidade no acompanhamento de tendências:** Um monitoramento regular permitiria identificar tendências de produção e de mercado ao longo do tempo, ajudando a prever variações sazonais, desafios logísticos e possíveis crises no setor.
- **Apoio à tomada de decisão:** Para os gestores públicos e privados, ter acesso a dados precisos e atualizados facilitaria a elaboração de políticas públicas e o desenvolvimento de estratégias empresariais voltadas para o crescimento sustentável do setor.
- **Atração de investimentos:** A transparência e a robustez dos dados podem atrair mais investimentos para o setor pesqueiro e aquícola. A existência de uma base confiável de dados aumenta a confiança de investidores e facilita a obtenção de recursos financeiros, tanto de iniciativas públicas quanto privadas.

Contudo, é necessário reconhecer algumas limitações que ainda persistem, dificultando um monitoramento mais amplo e detalhado:

- **Infraestrutura limitada:** A informalidade da pesca artesanal, combinada com a falta de infraestrutura para coleta de dados nos pontos de desembarque, dificulta o monitoramento

de grande parte da produção. Muitos pescadores operam de maneira informal, sem registros sistemáticos, o que compromete a precisão dos dados coletados.

- **Dificuldades logísticas:** A dispersão geográfica das comunidades pesqueiras, especialmente no interior do estado, em áreas com açudes e em regiões costeiras de difícil acesso, torna o acompanhamento regular mais desafiador. Além disso, a variabilidade nas condições climáticas e o isolamento de certas regiões também dificultam o processo de coleta de dados.
- **Falta de capacitação técnica:** Para a implementação de um sistema de monitoramento eficaz, é necessário que as equipes de campo e os próprios pescadores sejam capacitados no uso de ferramentas tecnológicas para o registro de informações. A baixa familiaridade com tecnologias digitais em algumas regiões pode ser uma barreira inicial.
- **Escassez de recursos financeiros:** Embora o monitoramento contínuo traga benefícios significativos, ele requer investimentos substanciais em termos de infraestrutura, treinamento, software e pessoal. A obtenção de recursos para sustentar esse sistema de monitoramento de longo prazo pode ser um desafio, principalmente em regiões que já enfrentam limitações financeiras.
- **Insuficiência de dados históricos:** A falta de registros históricos confiáveis sobre a pesca artesanal e a aquicultura no Ceará dificulta a análise de tendências de longo prazo, o que seria essencial para a elaboração de previsões econômicas mais acuradas e o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes.

Em resumo, o desenvolvimento de um sistema de monitoramento mais robusto para o setor pesqueiro e aquícola no Ceará é fundamental para garantir um maior controle sobre a produção e os custos, proporcionando subsídios valiosos para a formulação de políticas públicas e atração de investimentos.

Para aprofundar a compreensão da pesca artesanal no Ceará, seria benéfico expandir o estudo para incluir um número maior de

colônias de pescadores. Isso permitiria capturar uma visão mais representativa das práticas locais e compará-las entre diferentes regiões do estado. Além disso, a coleta de dados em diferentes períodos do ano possibilitaria uma visão mais detalhada sobre a influência das variações sazonais nas capturas e nos custos de produção.

Apesar das limitações identificadas, os benefícios de um monitoramento eficiente superam os desafios, especialmente no que se refere ao aprimoramento da gestão dos recursos pesqueiros e ao fortalecimento econômico das comunidades que dependem dessa atividade. Portanto, recomenda-se que esforços sejam concentrados em buscar recursos e parcerias estratégicas para viabilizar a implementação de um sistema de monitoramento contínuo, que possa gerar dados confiáveis e de qualidade para o setor.

REFERÊNCIAS

ABCC. Associação Brasileira de Criadores de Camarão. **Censo da carcinicultura dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte**. 2022.

ALMEIDA, L. G. **Caracterização das áreas de pesca artesanal de lagosta na praia da Redonda, Icapuí – CE**. 2010. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

ARARIPE, A. K. S. A. **Pescarias artesanais de peixes na localidade de Fortim, município do Fortim - CE**. 2004. 90 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Pesca) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

CASTRO E SILVA, S. M. M. **Caracterização da pesca artesanal na Costa do Estado do Ceará, Brasil**. 2004. 262 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

CEARÁ. Secretaria do Meio Ambiente. **Produto 12 - relatório consolidado do Zoneamento Ecológico-Econômico da Zona Costeira do Ceará – ZEEC**. Fortaleza, Consórcio TPF-GAU, 2022.

CHERVEL, M.; LE GALL, M. **Manuel d'évaluation économique des projets - la méthode des effets**. Paris: Ministère de la coopération, 1976.

COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Ficha Técnica dos Açudes**. Fortaleza: COGERH, 2020. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/ficha-tecnica-dosacudes-158/>. Acesso em: 13 jun. 2022.

COSTA, G. M. **Evidenciando uma arte antiga da praia do Mucuripe**: a contribuição da cadeia produtiva da pesca artesanal para o desenvolvimento sustentável. 2022. 142 f. Dissertação (Mestrado em Administração e Controladoria) – Programa de Pós-Graduação em Administração e Controladoria, Universidade Federal do Ceará, 2022.

FAO, Duke University & WorldFish. *Illuminating Hidden Harvests: The contributions of small-scale fisheries to sustainable development*. Rome: FAO, 2023.

FONSECA, E.M. Diagnóstico da pesca artesanal na área de influência do porto do Mucuripe, em Fortaleza (CE): subsídios à gestão pesqueira regional. P.279-290. Revista eletrônica Sistemas & Gestão, 2019.

FONTENELE, R. E. S. Economia circular e avaliação econômica de projetos: proposta metodológica para cálculo dos impactos diretos e indiretos. *In*: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO AMBIENTAL E MEIO AMBIENTE - ENGEMA, 20., São Paulo, 2018. **Anais [...]**. São Paulo: ENGEMA, 2018, p. 1-16.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Estatística da pesca 2007 Brasil**: grandes regiões e unidades da federação. Brasília: IBAMA, 2007.

FLORES, R. M. V.; PEDROZA FILHO, M. X. Measuring the impact of fish farming on regional development of poor cities: A case study on Ceará State, Brazil. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 31, n. 4, 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **CNAE-Fiscal – IBGE**. CONCLA, 2022a. Disponível em: <https://concla.ibge.gov.br/busca-online-cnae.html>. Acesso em: 14 jul. 2022.

LESSA, R.; BEZERRA JR., J. L.; NÓBREGA, M. F. **Dinâmica das Frotas Pesqueiras da Região Nordeste do Brasil**. Fortaleza: Editora Martins & Cordeiro, 2009.

MARQUES, F. B; WATTERSON, A; DA ROCHA, A. F.; CAVALLI, L.S. Overview of Brazilian aquaculture production. **Aquaculture Research**, 1-8, 2020.

MEDEIROS, C. N. *et al.* **As regiões de planejamento do Estado do Ceará**. Texto para discussão nº 111. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE, 2015. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wpcontent/uploads/sites/45/2014/02/TD_111.pdf. Acesso em: 03 jun. 2022.

MUNOZ, A. E. P. *et al.* **Piscicultores e demais agentes da cadeia produtiva discutem os custos de produção da tilápia no açude Castanhão, Jaguaribara, Ceará.** Informativo Campo Futuro. ed. 13. EMBRAPA, 2015.

QUEIROZ, L. S.; ROSI, S.; MERCADER, A. T.; *et al.* The social and economic framework of artisanal fishing in the State of Ceará, Brazil. **Revista Geosaberes**, v. 11, 2020.

REIS, R. O. **Caracterização da pesca artesanal em águas continentais e o conhecimento pesqueiro local do município de Granja-CE.** 2018. 38 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Pesca) – Departamento de Engenharia de Pesca, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

VIEIRA, C. M. T. Diagnóstico e perspectivas para o desenvolvimento da pesca Artesanal no açude Pereira de Miranda, Pentecoste-CE. Dissertação de mestrado. 2010.

CAPÍTULO 2

MODELO DE AVALIAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO SOCIOECONÔMICA DA CADEIA DE VALOR DA PESCA E AQUICULTURA NA ECONOMIA DO ESTADO DO CEARÁ

Raimundo Eduardo Silveira Fontenele³

Gerliane Maia Costa⁴

Daniel de Oliveira Sancho⁵

João Felipe Nogueira Matias⁶

1 INTRODUÇÃO

A colheita de animais, plantas e microrganismos por meio das atividades de pesca e aquicultura, em águas marinhas e interiores, define de forma ampla a produção pesqueira e aquícola (FAO, 2022). O estado do Ceará tem grande relevância como produtor pesqueiro no contexto nordestino e brasileiro (Fonseca, 2019). No âmbito regional, o Ceará também se destaca como um dos principais polos de aquicultura no Nordeste do Brasil. De acordo com Matias et al. (2021), o estado é dividido em 14 regiões de planejamento, sendo que sete delas concentram cerca de 90% da produção aquícola estadual: Vale do Jaguaribe, Centro-Sul, Litoral Leste, Litoral Norte, Grande Fortaleza, Maciço de Baturité e Litoral Oeste/Vale do Curu.

Segundo os dados mais recentes do Ministério da Pesca e Aquicultura, Brasil (2011), o Ceará ocupa a terceira maior produção pesqueira do Nordeste, atrás apenas da Bahia e do Maranhão. A pesca artesanal no Ceará tem grande importância econômica e social, mas

3 Universidade Federal do Ceará, Núcleo de Estudos em Economia do Mar – NEMA, PPAC/UFC, Programa de Pós-graduação em Administração e Controladoria, Fortaleza, Ceará, Brasil.

4 Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Administração e Controladoria, Fortaleza, Ceará, Brasil, Núcleo de Estudos em Economia do Mar – NEMA, PPAC/UFC.

5 Economista; Mestre em economia aplicada ao agronegócio; Assessor de Relações Institucionais, Fecomércio/CE, Núcleo de Estudos em Economia do Mar – NEMA, Fortaleza, Ceará, Brasil.

6 Cientista-Chefe do Programa Economia Azul - FUNCAP

enfrenta desafios, sendo um deles a ausência de um programa de coleta de dados (Vidigal et al., 2021).

Segundo Moreno (2023), a aquicultura desponta como um dos setores de produção de alimentos de origem animal que mais cresce no mundo. Dados recentes da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2022) reforçam essa constatação, mostrando que a produção global de aquicultura atingiu um recorde histórico de 122,6 milhões de toneladas em 2020, com um valor estimado de aproximadamente US\$ 281,5 bilhões. Deste total, 87,5 milhões de toneladas correspondem a organismos aquáticos e 35,1 milhões de toneladas a algas marinhas.

A literatura acadêmica destaca o potencial significativo da aquicultura para melhorar o bem-estar econômico e social de comunidades rurais em países em desenvolvimento. No caso específico do estado do Ceará, a prática da aquicultura tem se mostrado um importante motor de desenvolvimento, atuando como fonte de alimentos e geradora de renda para as comunidades locais (Silva Neta, 2015).

Diante desse cenário, torna-se fundamental compreender a cadeia produtiva da pesca artesanal e da aquicultura no Ceará, com o objetivo de coletar dados e informações essenciais para o setor. A intenção é desenvolver um modelo de avaliação da contribuição socioeconômica da cadeia de valor da pesca e da aquicultura no estado.

Na prática, os resultados desta pesquisa beneficiarão os diversos stakeholders dos setores de pesca e aquicultura. No campo acadêmico, espera-se que o estudo contribua para o avanço do conhecimento, atuando como um ponto de partida para futuras pesquisas que explorem as múltiplas dimensões da contribuição desses setores para o desenvolvimento econômico e social.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Vale destacar que a pesca e a aquicultura não se restringem apenas aos momentos de captura e produção; elas envolvem toda a cadeia produtiva associada a essas atividades. Uma cadeia produtiva consiste em um conjunto de etapas sucessivas pelas quais os insumos passam até chegarem ao consumidor final (Sidonio et al., 2012). Valenti

(2002) já observava que a cadeia produtiva é composta por diversos elementos interconectados que formam uma rede complexa. O autor sintetiza a cadeia produtiva da aquicultura em três fases principais: pré-produção (incluindo suporte técnico, conjuntura econômica e legal, e infraestrutura), produção e pós-produção (abrangendo processamento, distribuição, comercialização, marketing e o consumidor final).

No caso da pesca artesanal, Carneiro, Diegues e Vieira (2014) definiram a cadeia produtiva como um conjunto de operações integradas de produção e distribuição, realizadas por diferentes agentes. A cadeia produtiva da pesca pode seguir a seguinte sequência: fornecimento de insumos, captura e cultivo de peixes, transformação e distribuição (seja de peixes processados ou in natura), comercialização e, finalmente, consumo.

A análise econômica é uma das diversas análises que podem ser realizadas na cadeia produtiva, esta irá avaliar como o valor agregado é criado e distribuído (Bellù, 2013). Ainda de acordo com Bellù (2013), é importante estudar o valor agregado criado e distribuído da cadeia produtiva, pois com o primeiro é possível identificar a contribuição da cadeia para o Produto Interno Bruto (PIB) e o segundo permite determinar se as atividades da cadeia produtiva estão contribuindo socialmente e se as medidas políticas estão afetando a cadeia produtiva.

A análise econômica é apenas uma das várias perspectivas que podem ser aplicadas ao estudo da cadeia produtiva, e seu foco é avaliar como o valor agregado é gerado e distribuído ao longo dessa cadeia (Bellù, 2013). Conforme Bellù (2013), o estudo do valor agregado é essencial por dois motivos: primeiro, ele permite identificar a contribuição da cadeia produtiva para o Produto Interno Bruto (PIB); segundo, ele possibilita a análise de como essa distribuição impacta socialmente, permitindo verificar se as atividades da cadeia estão contribuindo para o bem-estar social e se as políticas públicas estão afetando a cadeia de maneira positiva.

Segundo Bockel e Tallec (2005) e Fabre, Dabat e Orlandoni (2021), o valor agregado é distribuído entre quatro agentes econômicos principais: as famílias, por meio de salários; as instituições financeiras, por meio de juros; o governo, por meio de impostos; e as empresas, por meio de lucros. Esses quatro agentes são considerados os pilares

fundamentais da economia, pois sua interação sustenta o funcionamento das atividades econômicas.

A “conta de produção” e a “conta de receita” são ferramentas fundamentais para a análise econômica de uma cadeia produtiva em um período específico (Bellù, 2013). A “conta de produção” mede o valor criado pela produção (System of National Accounts, 2009), enquanto a “conta de receita” examina como esse valor é distribuído entre os diferentes agentes econômicos (Bockel & Tallec, 2005; Bellù, 2013).

Essas duas contas podem ser estruturadas de forma conjunta. Do lado direito, coloca-se a produção, ou seja, os produtos vendidos pela cadeia produtiva. Do lado esquerdo, colocam-se o consumo intermediário (bens e serviços utilizados como insumos que são totalmente “consumidos” no processo produtivo) e o valor agregado. Após a elaboração dessas contas para cada um dos agentes, elas devem ser consolidadas em uma única conta para avaliar o impacto global da cadeia produtiva na economia (Fabre, Dabat & Orlandoni, 2021).

Para realizar essa análise, é necessário calcular tanto o valor agregado direto (gerado por todos os atores que operam dentro dos limites da cadeia de valor) quanto o valor agregado indireto (gerado por fornecedores externos à cadeia produtiva). A soma desses dois componentes resulta no valor agregado total, que permite calcular diversos indicadores, como os impactos da cadeia produtiva no crescimento econômico, na distribuição de renda e na balança comercial (Fabre, Dabat & Orlandoni, 2021).

O valor agregado direto da cadeia produtiva pode ser obtido de duas maneiras: pela diferença entre o valor da produção e o consumo intermediário, ou pelo somatório dos valores agregados dos agentes individuais. Já o valor indireto também pode ser calculado de duas formas: separando as cadeias de valor ou utilizando uma matriz de insumo-produto que considere o conteúdo das importações (Fontenele, 2018). Esses cálculos são essenciais para compreender a totalidade dos efeitos econômicos gerados pela cadeia produtiva.

De acordo com Fontenele (2018), a essência do método dos efeitos é avaliar os efeitos diretos, indiretos e totais da cadeia produtiva em relação aos objetivos nacionais, como crescimento econômico, distribuição de renda, equilíbrio fiscal e possíveis desequilíbrios nas contas externas. Assim, após a elaboração das contas consolidadas

da cadeia de valor, os efeitos diretos e indiretos devem ser calculados para se ter uma visão abrangente dos impactos.

No Brasil, os estudos utilizando essa metodologia ainda são escassos (Costa et al., 2022a; Costa et al., 2022b). Entretanto, existem alguns exemplos de pesquisas que aplicaram essa abordagem em contextos internacionais, como na pesca na Gâmbia (Avadí et al., 2020), na União das Comores (Dabat et al., 2023), no Senegal (Dione, Sy & Ndiaye, 2005), no Mali (Dolo, Sako & Diarra, 2005) e nos Camarões (Ngok, Ndjamen & Jiongo, 2005). Além disso, estudos relacionados à aquicultura que utilizaram essa metodologia foram conduzidos na Tanzânia (Iben-gwe & Sobo, 2016), no Camboja (Kruijssen et al., 2018a), na Zâmbia (Kruijssen et al., 2018b) e na Geórgia (Andres et al., 2022).

Esses estudos fornecem importantes referências sobre a aplicação do método dos efeitos em diferentes contextos e setores, servindo como base para futuras pesquisas no Brasil.

3 METODOLOGIA

O presente estudo, quanto aos seus objetivos, caracteriza-se como uma pesquisa descritiva. Em relação aos procedimentos adotados, trata-se de um estudo de caso. No que diz respeito à abordagem do problema, a pesquisa configura-se como quantitativa.

O estado do Ceará foi escolhido como referência de análise para este estudo. Localizado na região Nordeste do Brasil, o Ceará possui uma área total de 148.886,31 km². O estado faz fronteira ao leste com o Rio Grande do Norte e a Paraíba, ao oeste com o Piauí, ao sul com Pernambuco, e ao norte com o Oceano Atlântico. Administrativamente, o Ceará é composto por 184 municípios e está dividido em 14 Regiões de Planejamento (Medeiros et al., 2017).

A coleta de dados ocorreu entre junho e dezembro de 2022. No caso da aquicultura, a coleta de dados de produção iniciou-se com a obtenção de informações publicadas pelo IBGE, disponíveis no site do instituto, sendo o dado mais recente referente ao ano de 2021 (IBGE, 2022). O site disponibiliza informações sobre a quantidade produzida e o valor da produção. Dados sobre consumo intermediário e valor agre-

gado foram obtidos por meio de entrevistas com especialistas, coleta direta junto a empreendimentos locais e consultas a estudos anteriores.

Os valores referentes ao consumo intermediário e ao valor agregado foram obtidos em dois momentos distintos. Para a carcinicultura de camarão, foram realizadas entrevistas com especialistas que, com base em seu conhecimento e em estudos existentes, determinaram valores unitários por quilograma de camarão para empreendimentos de pequeno, médio e grande porte. Esses valores foram multiplicados pela produção total, resultando nas estimativas de consumo intermediário e valor agregado.

Já para a tilápia, foram utilizados os valores unitários por quilograma de tilápia baseados no estudo do projeto Campo Futuro (Munoz et al., 2015). O Campo Futuro é uma parceria entre a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Como os dados do estudo eram de agosto de 2015, os valores foram atualizados conforme o Índice de Preços ao Produtor Amplo - Mercado (IPA-M). Esses valores corrigidos foram então multiplicados pela produção, gerando as estimativas de consumo intermediário e valor agregado para a tilápia.

No caso da pesca, foi aplicada a técnica de estimação de dados de produção, utilizando proporções calibradas e média móvel. Dois relatórios serviram de base para a construção da tabela de proporções: o *Relatório Técnico Final do Monitoramento da Atividade Pesqueira no Litoral do Brasil*, fruto do convênio SEAP/PROZEE/IBAMA (109/2004) para pesca extrativa marinha, e o *Boletim Estatístico da Pesca, Grandes Regiões e Unidades da Federação* (2005-2011) do Ministério do Meio Ambiente, que forneceu dados sobre a pesca extrativa continental. As estimativas de consumo intermediário (local e importado) e valor agregado para a pesca foram obtidas a partir dos estudos de Costa (2022) e Vieira (2010).

A metodologia utilizada para atingir os objetivos deste estudo foi o **Método dos Efeitos**, que se estrutura em cinco fases, analisadas separadamente, mas interligadas nos cálculos, com o objetivo de obter, na última fase, os critérios de avaliação de impacto da contribuição da cadeia produtiva na economia estadual.

As fases do modelo são:

- 1ª. Fase – Definição dos agentes da cadeia produtiva.
- 2ª. Fase – Construção das contas de produção e exploração dos agentes (análise financeira).
- 3ª. Fase – Consolidação da conta de produção e exploração da cadeia produtiva (análise econômica).
- 4ª. Fase – Cálculo dos efeitos diretos, indiretos e primários.
- 5ª. Fase – Estabelecimento dos critérios de avaliação de impacto da contribuição da cadeia produtiva na economia.

Todos os dados foram organizados em uma planilha do Microsoft Excel e, em seguida, transferidos para o *Microsoft Power BI*, onde foi construído um painel de bordo (*dashboard*) para facilitar a análise dos resultados na quinta fase do estudo.

4 RESULTADOS

Os resultados serão apresentados em conformidade com cada uma das fases do modelo, de forma que, na 5ª fase, serão mostrados os impactos da contribuição da cadeia produtiva da pesca e da aquicultura para a economia do Ceará. Cabe ressaltar que, assim como em Costa et al. (2022b), devido à impossibilidade de coletar dados de todos os agentes da cadeia, o estudo se restringiu às etapas de produção e fornecimento de insumos, excluindo as fases de processamento e comercialização.

4.1 1ª Fase – Definição dos agentes da cadeia produtiva

Para facilitar a construção do modelo econômico e a operacionalização do painel de bordo (*dashboard*) na 5ª fase, foi desenvolvido um sistema de codificação. Esse sistema organiza e identifica os diferentes agentes da cadeia produtiva, permitindo realizar combinações para diversas análises. O sistema segue a sequência: Municípios, Área, Embarcação, Tipo de pesca e aquicultura, e Recursos.

As definições no sistema de codificação são as seguintes:

Municípios: Utilizou-se a classificação do IBGE, onde os municípios foram codificados de acordo com seu código numérico, em ordem alfabética, de Abaiara (2300101) a Viçosa do Ceará (2314102);

Área: As atividades de pesca e aquicultura foram classificadas de acordo com o ambiente em que são realizadas, sendo codificadas como área marinha (AM) e área continental (AC);

Embarcação: No caso da pesca extrativa, foram utilizados os tipos de embarcação, e para a aquicultura, as diferentes formas de cultivo. Cada tipo foi codificado com números de 1 a 12.

Tipo de pesca e aquicultura: As atividades de pesca e aquicultura, conforme a legislação vigente, possuem classificações distintas. Para o modelo econômico do método dos efeitos, a classificação utilizada foi:

- Pesca extrativa (PE);
- Piscicultura de pequeno porte (PP);
- Carcinicultura de pequeno porte (CP);
- Carcinicultura de médio porte (CM); e
- Carcinicultura de grande porte (CG).

Recursos: Os recursos foram codificados conforme os principais tipos de espécies com maior produção no estado, numerados sequencialmente de 1 a 17. Para os recursos não identificados, foi utilizada a categoria genérica “Peixes” (03).

Esse sistema de codificação foi essencial para organizar os dados de maneira sistemática, facilitando as análises e combinações que seriam realizadas nas fases subseqüentes do estudo.

4.2 2ª. Fase – Estabelecimento das contas de produção e de exploração da contabilidade nacional dos agentes

Para o estabelecimento das contas de produção-exploração da contabilidade nacional dos agentes, o primeiro passo consiste na listagem de todos os itens que compõem os consumos intermediários, o valor agregado e as categorias do valor bruto da produção.

A fim de evitar a criação de uma conta de produção-exploração específica para cada agente, o que geraria cálculos repetitivos e complexos, bem como para facilitar posteriormente a consolidação das contas, recomenda-se a elaboração de uma conta de produção-exploração comum a todos os agentes da cadeia de valor. Essa conta comum deve incluir fórmulas para os cálculos necessários, conforme especificado nos próximos passos. Para este estudo, foram elaboradas três contas comuns: uma para a carcinicultura, outra para a piscicultura e uma para a pesca extrativa. Cada modelo de conta foi preenchido para os diferentes agentes (códigos) da cadeia produtiva, desde que os dados estivessem disponíveis para isso.

Componentes dos Consumos Intermediários

Os consumos intermediários correspondem aos insumos (bens ou serviços) totalmente utilizados durante o processo de produção em um determinado período (Bellù, 2013; Fabre, Dabat & Orlandoni, 2021). O preço dos consumos intermediários deve ser baseado no valor de compra vigente no momento de sua entrada no processo produtivo, para refletir com maior precisão o seu custo real (Bellù, 2013).

É fundamental que os consumos intermediários sejam separados em dois grupos: aqueles adquiridos localmente e os importados. Essa distinção é importante para o cálculo dos efeitos indiretos, uma vez que insumos comprados localmente geram impactos adicionais na economia local, enquanto os importados podem impactar negativamente a balança comercial ao aumentar as importações. No final da análise, essa separação permite avaliar de forma mais precisa o impacto da cadeia produtiva sobre a balança comercial, destacando as interações entre o mercado doméstico e o comércio internacional.

Valor Agregado

Após definir os consumos intermediários, a conta de produção-exploração deve ser completada no lado dos Usos, com a especificação dos componentes do valor agregado. O valor agregado representa a riqueza criada no processo de produção e inclui as transferências de renda entre os agentes. As categorias do valor agregado dependem das características da cadeia produtiva e, conforme Bockel e Tallec (2005) e Fabre, Dabat e Orlandoni (2021), o valor agregado é distribuído entre:

- Famílias: por meio de salários;
- Instituições financeiras: por meio de juros;
- Governo: por meio de impostos;
- Empresas: por meio de lucros.

Esses quatro agentes são considerados pilares fundamentais da economia.

Subsídios

É importante destacar que os subsídios recebidos pelos agentes aumentam os lucros dos envolvidos na cadeia, mas não fazem parte do cálculo do valor agregado (Fabre, Dabat & Orlandoni, 2021). Os subsídios entram no lado dos Usos, aumentando o salário ou o lucro dos agentes, mas são registrados com sinal negativo no item “subsídios”, anulando-se e, portanto, não somando ao valor agregado.

Cálculo do Resultado Bruto da Exploração (RBE)

O Resultado Bruto da Exploração (RBE) é calculado residualmente pela diferença entre o valor bruto da produção e o total dos consumos intermediários, somado aos outros itens do valor agregado. Esse resultado reflete o desempenho econômico da cadeia produtiva, medindo a riqueza líquida gerada pela exploração das atividades produtivas.

Estruturação do Valor da Produção

Após a definição dos consumos intermediários e dos componentes do valor agregado, o lado dos Recursos na conta de produção-exploração deve ser completado com a estruturação do valor da produção, com ênfase na categoria de vendas. Nesta etapa, é essencial garantir que todo o valor gerado na cadeia produtiva seja devidamente registrado, facilitando a consolidação das contas e a análise final dos impactos econômicos da cadeia produtiva de pesca e aquicultura no estado do Ceará.

Além disso, é importante que o destino da produção seja claramente especificado, separando as seguintes categorias:

- Parte destinada ao auto-consumo: refere-se à fração da produção que é consumida pelos próprios produtores e suas famílias, sem entrar no mercado formal.
- Vendas para o mercado interno: inclui a produção comercializada no mercado doméstico, seja local, regional ou nacional.
- Vendas para o mercado externo: abrange a produção destinada à exportação, que tem impacto direto na balança comercial do estado.

Essa distinção é essencial para avaliar os impactos econômicos de cada parte da produção. O auto-consumo influencia o bem-estar das comunidades locais, enquanto as vendas para os mercados interno e externo afetam o crescimento econômico, a geração de renda e a balança comercial. Esse procedimento padronizado para todos os agentes da cadeia produtiva facilita a consolidação e a análise econômica, permitindo a avaliação detalhada dos efeitos diretos e indiretos, bem como o impacto geral da cadeia produtiva no desenvolvimento econômico e social.

4.3 3ª Fase - Consolidação das Contas de Produção e de Exploração da Contabilidade Nacional dos Agentes (Análise Econômica)

Na etapa de consolidação, as contas de produção-exploração representam a soma das contas individuais de cada agente da cadeia produtiva, formando uma única conta consolidada. Conforme Bockel e Tallec (2005), a agregação das contas dos diferentes agentes permite criar uma visão geral da cadeia produtiva, facilitando a avaliação de seu impacto econômico (Fabre, Dabat & Orlandoni, 2021). Nesta pesquisa, foram formadas cinco contas consolidadas, representando as seguintes categorias: carcinicultura de pequeno porte; carcinicultura de médio porte; carcinicultura de grande porte; piscicultura pequeno porte; e pesca extrativa.

4.4 4ª Fase - Cálculo dos Efeitos Diretos, Indiretos e Primários

Após a consolidação das contas individuais, deve-se calcular os efeitos diretos, indiretos e primários da cadeia de valor, conforme indicado por Fontenele (2018). Esta fase é realizada com base nos dados das fases anteriores e tem como objetivo fornecer uma análise completa da contribuição da cadeia produtiva para a economia, o que será fundamental para os critérios de avaliação na 5ª fase.

Cálculo dos Efeitos Diretos

O efeito direto é calculado diretamente a partir da conta de produção-exploração consolidada (obtida na 3ª fase), mostrando a distribuição de renda entre os diferentes agentes econômicos da cadeia de valor. O valor agregado direto da cadeia de valor pode ser obtido de duas formas:

- Pela diferença entre o Valor da Produção e o Consumo Intermediário, conforme fórmula abaixo:

$$VA_{Cadeia\ de\ Valor} = P_{Cadeia\ de\ Valor} - CI_{Cadeia\ de\ Valor}$$

- Pelo somatório dos valores agregados de cada agente individual da cadeia de valor:

$$VA_{Cadeia\ de\ Valor} = \sum VA_{Agentes\ da\ Cadeia\ de\ Valor}$$

Nesta pesquisa, o valor agregado direto total foi de R\$ 597.077.018,84, representando 53,60% do valor total da produção. Os valores agregados foram distribuídos da seguinte maneira:

Tabela 1 - Total do valor agregado direto

Tipo de PESCA e aquicultura	VALOR AGREGADO DIRETO (R\$)	%
Pesca extrativa	440.369.498,23	73,7
Carcinicultura pequeno porte	81.201.628,00	13,6
Carcinicultura médio porte	42.414.291,11	7,1
Carcinicultura grande porte	23.243.181,00	3,9
Piscicultura pequeno porte	9.848.420,50	1,6
Total	597.077.018,84	100,0

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Esses dados mostram que a pesca extrativa contribui com a maior parcela do valor agregado direto, correspondendo a 73,7% do total, evidenciando sua relevância dentro da cadeia produtiva de pesca e aquicultura no Ceará. Em seguida, a carcinicultura de pequeno porte representa 13,6% do valor agregado direto, o que indica uma contribuição significativa para o setor. Essa participação é particularmente importante devido à interiorização da carcinicultura de pequeno porte, que se expandiu para áreas rurais do estado, gerando impacto econômico em regiões mais afastadas do litoral.

A carcinicultura de médio porte e a carcinicultura de grande porte respondem por 7,1% e 3,9% do valor agregado direto, respectivamente, demonstrando um impacto mais modesto em comparação com a pesca extrativa e a carcinicultura de pequeno porte.

Por fim, a piscicultura de pequeno porte apresenta a menor participação no valor agregado direto, com 1,6%, refletindo sua contribuição mais limitada na geração de valor dentro da cadeia produtiva.

Esses resultados são fundamentais para entender a importância relativa de cada atividade dentro da cadeia produtiva de pesca e aquicultura no Ceará, permitindo uma análise mais detalhada sobre o papel de cada segmento na economia estadual, especialmente a carcinicultura de pequeno porte, que se destacou por sua interiorização e seu impacto em áreas menos desenvolvidas do estado.

Cálculo dos Efeitos Indiretos

Os efeitos indiretos refletem as atividades econômicas induzidas pelos agentes ao longo da cadeia de valor. Esses efeitos são essenciais para avaliar o grau de integração da atividade produtiva na economia nacional, que será analisado na 5ª fase deste estudo.

Na prática, os efeitos indiretos são calculados de duas maneiras:

- Separando as cadeias de valor;
- Utilizando uma matriz de insumo-produto (MIP), que inclui o conteúdo de importações.

Para mensurar os efeitos indiretos e as importações indiretas, utilizou-se a Matriz de Insumo-Produto (MIP) do estado do Ceará (IPECE, 2023). Os dados da MIP foram ajustados para obter coeficientes específicos, e os valores foram calculados multiplicando esses coeficientes pelos itens correspondentes no consumo intermediário local. A Tabela 2 apresenta o total do valor agregado indireto e das importações indiretas, dividido por tipo de pesca e aquicultura:

Tabela 2 - Total do valor agregado indireto e das importações indiretas

Tipo de PESCA E AQUICULTURA	Importações indiretas (R\$)	Valor agregado indireto (R\$)	%
Pesca extrativa	1.378.998,55	347.544,92	0,4
Carcinicultura pequeno porte	138.067.029,60	54.380.810,66	67,5
Carcinicultura médio porte	33.864.650,09	10.849.225,17	13,4

Tipo de PESCA E AQUICULTURA	Importações indiretas (R\$)	Valor agregado indireto (R\$)	%
Carcinicultura grande porte	15.299.965,36	6.530.728,12	8,1
Piscicultura pequeno porte	22.345.896,89	8.514.366,54	10,6
Total	210.956.540,49	80.622.675,41	100,0

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Os resultados mostram que, embora a carcinicultura de pequeno porte tenha gerado um menor valor agregado direto (VAD) em comparação à pesca extrativa, conforme apresentado na Tabela 1, essa diferença se deve ao fato de que a pesca extrativa faz menor uso de insumos na produção. A carcinicultura de pequeno porte, por outro lado, depende de uma maior quantidade de insumos para operar, o que aumenta os efeitos indiretos associados ao consumo intermediário. Assim, apesar de a pesca extrativa apresentar uma maior contribuição direta em termos de valor agregado, a carcinicultura de pequeno porte desempenha um papel significativo na cadeia produtiva ao estimular atividades econômicas em outros setores, refletido nos maiores valores de efeitos indiretos.

Observa-se, ao analisar os dados da Tabela 2, que a carcinicultura de pequeno porte é responsável por 67,5% do valor agregado indireto, refletindo seu impacto substancial na economia local e no uso de insumos de outros setores. Isso evidencia que, embora a carcinicultura de pequeno porte tenha um valor agregado direto menor do que a pesca extrativa, seu alto consumo de insumos gera uma contribuição expressiva nos efeitos indiretos, integrando-se de forma mais intensa com outros setores produtivos da economia do Ceará.

Por outro lado, a pesca extrativa, com apenas 0,4% do valor agregado indireto, demonstra uma menor dependência de insumos locais, resultando em efeitos indiretos mais modestos. Esse fato destaca que a pesca extrativa, apesar de gerar um valor agregado direto significativo, tem uma integração limitada com outros setores econômicos, o que explica sua menor contribuição em termos de efeitos indiretos.

A carcinicultura de médio e grande porte e a piscicultura de pequeno porte também desempenham papéis importantes na geração de efeitos indiretos, embora em menor escala que a carcinicultura de

pequeno porte. Esses setores geram, respectivamente, 13,4%, 8,1%, e 10,6% do valor agregado indireto, indicando uma integração econômica intermediária.

Portanto, a carcinicultura de pequeno porte não apenas contribui diretamente para a geração de valor, mas também é fundamental para impulsionar atividades econômicas em outros setores por meio de sua elevada demanda por insumos, o que ressalta sua importância no desenvolvimento socioeconômico do estado.

- Cálculo dos Efeitos Primários

O valor agregado primário (efeitos primários) corresponde ao somatório do valor agregado direto e valor agregado indireto. No caso da presente pesquisa, o valor agregado primário corresponde a R\$ 677.699.694,25.

A pesca extrativa domina a cadeia produtiva de pesca e aquicultura no Ceará, com um valor agregado primário de R\$ 440.717.043,15, representando 65,03% do total.

Apesar de sua contribuição direta significativa, o setor apresenta menor integração com outros segmentos, refletindo um baixo valor agregado indireto devido ao menor uso de insumos locais. Mesmo assim, a pesca extrativa sustenta muitas famílias em regiões litorâneas, sendo essencial para a economia azul do estado. No entanto, há espaço para melhorar sua eficiência e sustentabilidade, promovendo maior interação com outras cadeias produtivas e o uso de tecnologias avançadas.

Tabela 2 - Total do valor agregado primário

Tipo de PESCA E AQUICULTURA	VALOR AGREGADO PRIMÁRIO (R\$)	%
Pesca extrativa	440.717.043,15	65,0
Carcinicultura pequeno porte	135.582.438,66	20,0
Carcinicultura médio porte	53.263.516,28	7,9
Carcinicultura grande porte	29.773.909,12	4,4

Tipo de PESCA E AQUICULTURA	VALOR AGREGADO PRIMÁRIO (R\$)	%
Piscicultura pequeno porte	18.362.787,04	2,7
Total	677.699.694,25	100,0

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A carcinicultura de pequeno porte, com R\$ 135.582.438,66 (20,01% do total), destaca-se não apenas pelo valor direto, mas pelo grande impacto indireto. Seu uso intensivo de insumos locais, como ração, mão de obra e energia, fortalece uma cadeia produtiva local robusta, gerando impactos econômicos em regiões interioranas. Este setor é um motor de desenvolvimento da economia azul, especialmente ao promover a interiorização da produção e estimular a economia rural.

A carcinicultura de médio porte, com um valor agregado primário de R\$ 53.263.516,28 (7,86%), também é relevante. Embora menor que a carcinicultura de pequeno porte, contribui significativamente para a cadeia, especialmente em produção e exportação. A carcinicultura de grande porte, com R\$ 29.773.909,12 (4,39%), é mais focada no mercado externo, tendo um impacto moderado, mas ainda relevante, e pode crescer com práticas mais sustentáveis.

A piscicultura de pequeno porte, com R\$ 18.362.787,04 (2,71%), tem menor participação, mas ainda gera impacto positivo, especialmente nas áreas rurais. O setor pode crescer com a adoção de tecnologias sustentáveis, expandindo sua contribuição à economia azul do estado.

A carcinicultura de pequeno porte é o setor que mais se beneficia dos insumos locais, gerando forte efeito multiplicador. Ao utilizar intensivamente ração, fertilizantes e mão de obra local, o setor estimula atividades econômicas em outras áreas, como a indústria de alimentos e logística.

Além disso, a interiorização da carcinicultura tem um impacto direto nas comunidades rurais, diversificando a base econômica e promovendo resiliência em regiões que dependiam da agricultura. O uso de insumos locais não só amplia a contribuição da carcinicultura para o desenvolvimento econômico do Ceará, mas também fortalece a cadeia de valor regional, gerando empregos e crescimento de pequenas empresas. A economia azul no Ceará, ao promover setores como carcinicultura e

piscicultura, demonstra grande potencial para impulsionar o crescimento sustentável, integrando dimensões sociais, ambientais e econômicas.

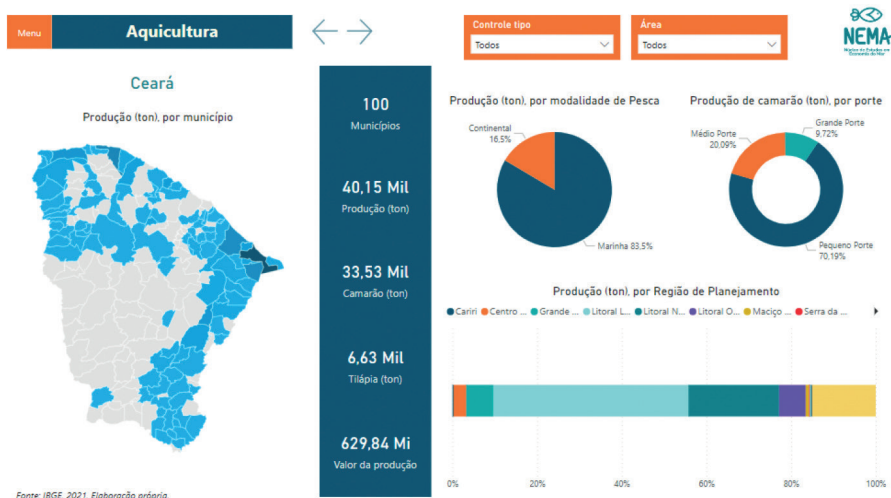
4.5 5ª Fase – Critérios de avaliação de impacto da contribuição da cadeia de valor da pesca extrativa e da aquicultura na economia

Produção aquicultura

Conforme mostrado na Figura 1, 100 municípios do Ceará cultivam peixes e camarões, resultando em uma produção total de 40,15 mil toneladas. Desse total, 33,53 mil toneladas correspondem à produção de camarão e 6,63 mil toneladas à produção de peixes. A maior parte da produção de camarão provém de pequenos produtores (70,19%).

As regiões de planejamento que mais se destacam na produção aquícola são: Litoral Leste, com 18.517,60 toneladas (46,12%); Litoral Norte, com 8.600,36 toneladas (21,42%); e Vale do Jaguaribe, com 6.011,70 toneladas (14,97%). O município de Aracati foi o maior produtor de aquicultura no estado, segundo o mapa do Ceará representado na Figura 1.

Figura 1 – Produção aquicultura

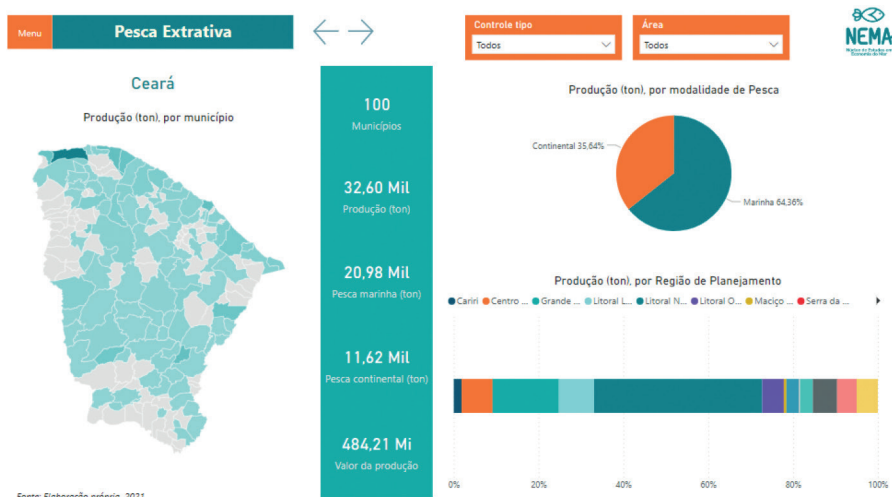


Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Produção pesca extrativa

De acordo com a Figura 2, a pesca extrativa é praticada em 100 municípios do Ceará, sendo 20 na modalidade marinha e 84 na modalidade continental. A soma não é exata, pois alguns municípios praticam ambas as modalidades. A produção total das duas modalidades foi de 32,60 mil toneladas, sendo 20,98 mil toneladas provenientes da pesca marinha e 11,62 mil toneladas da pesca continental.

Figura 2 – Produção pesca extrativa



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

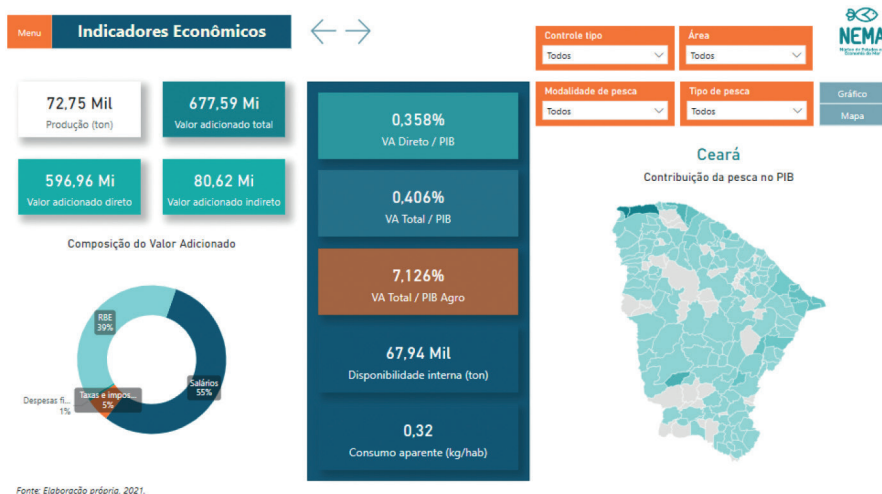
A pesca marinha é responsável pela maior parte da produção (64,36%). As principais regiões de destaque na pesca extrativa são: Litoral Norte, com 12.924,21 toneladas (39,65%); Grande Fortaleza, com 5.093,40 toneladas (15,63%); e Litoral Leste, com 2.710,46 toneladas (8,32%). O município de Camocim foi o maior produtor de pesca extrativa, conforme o mapa do Ceará na Figura 2.

Indicadores econômicos

Nesta seção são apresentados os resultados da contribuição da cadeia de valor da pesca extrativa e da aquicultura para a economia, utilizando como indicadores o impacto no PIB do Ceará, no PIB da agropecuária e na distribuição de renda. De acordo com a Figura 3, a

produção total (aquicultura + pesca extrativa) atingiu 72,75 mil toneladas, gerando um valor adicionado total ou valor agregado primário de R\$ 677,59 milhões.

Figura 3 – Indicadores econômicos



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

- Impacto no PIB do Ceará

Este critério destaca a importância da cadeia de valor para o PIB, calculado pela razão entre o valor agregado primário e o PIB total do Estado do Ceará. Em 2020, o PIB do Ceará foi de R\$ 166.915 milhões. A Figura 3 ilustra a contribuição da aquicultura e da pesca extrativa para o PIB estadual, totalizando 0,406%, com a aquicultura representando 0,142% e a pesca extrativa 0,264%:

$$\text{Importância na Economia} = \frac{\text{Valor Agregado PRIMÁRIO}}{\text{PIB}}$$

Embora não haja dados disponíveis para outros estados brasileiros, estudos internacionais também indicam contribuições relativamente baixas da aquicultura para o PIB. Por exemplo, no Camboja, a aquicultura representou 2,4% do PIB nacional (Kruijssen et al., 2018a), enquanto na Zâmbia a participação foi de 0,32% (Kruijssen et al., 2018b) e na Geórgia, foi ainda menor, apenas 0,09% (Andres et al., 2022).

Na pesca extrativa os valores são um pouco maiores que os da aquicultura, como exemplo na Gâmbia que a participação foi de 6,5% no PIB do país (Avadí *et al.*, 2020), na União das Comores a participação foi de 5,8% no PIB nacional (Dabat *et al.*, 2023), no Senegal a participação foi de 4,08% no PIB do país (Dione; Sy; Ndiaye, 2005), no Mali a participação foi de 3,7% no PIB total do país e concluíram ainda que a contribuição da pesca para a economia do país pode ser melhorada com a divulgação de dados (Dolo; Sako; Diarra, 2005) e no Camarões a participação foi de 1,7%, no PIB do país (Ngok; Ndjamen; Jiongo, 2005).

Já na pesca extrativa, os valores são ligeiramente maiores que os da aquicultura. Na Gâmbia, por exemplo, a pesca extrativa contribuiu com 6,5% para o PIB (Avadí *et al.*, 2020), na União das Comores foi de 5,8% (Dabat *et al.*, 2023), no Senegal a participação foi de 4,08% (Dione, Sy e Ndiaye, 2005), no Mali, 3,7% (Dolo, Sako e Diarra, 2005), e nos Camarões, 1,7% (Ngok, Ndjamen e Jiongo, 2005).

Quando se analisam pesca e aquicultura juntas, as contribuições permanecem próximas. Em toda a África, a participação dos dois setores no PIB foi de 1,26% (Graaf e Garibaldi, 2014), enquanto na região do Mediterrâneo, essa contribuição raramente excede 1% (Breuil, 1997; Sacchi, 2011).

Vale destacar que a presente pesquisa pode subestimar essa contribuição, uma vez que considera apenas as etapas de produção e fornecimento de insumos, excluindo o processamento e a comercialização. Ibengwe e Sobo (2016) identificaram que as contribuições da indústria da pesca e da aquicultura para o PIB da Tanzânia podem ter sido subestimadas. De acordo com o sistema de contas do país, essa indústria contribuiu com 1,4% do PIB em 2011, mas os autores descobriram que a contribuição real era de 3,07%, ressaltando a importância do setor de processamento pós-colheita para a economia.

- Impacto no PIB da agropecuária

Este critério avalia a relevância da cadeia produtiva para o PIB da agropecuária, calculada pela divisão do valor agregado primário pelo PIB agropecuário do Estado do Ceará.

$$\text{Importância na Economia} = \frac{\text{Valor Agregado}_{\text{PRIMÁRIO}}}{\text{PIB da agropecuária}}$$

Na Figura 3, observa-se que a pesca extrativa e a aquicultura contribuem com 7,126% para o PIB agropecuário, sendo 4,634% provenientes da pesca extrativa e 2,492% da aquicultura. Embora não existam dados comparativos para outros estados brasileiros, estudos internacionais revelam contribuições da aquicultura para o PIB agropecuário em diversos países. No Camboja, por exemplo, a aquicultura representou 9,2% do PIB agrícola (Kruijssen et al., 2018a), enquanto na Zâmbia a participação foi de 6,1% (Kruijssen et al., 2018b) e na Geórgia, foi de apenas 0,72% (Andres et al., 2022).

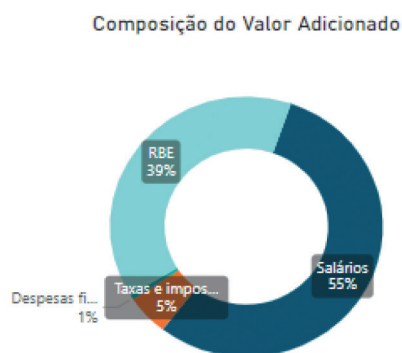
Na pesca extrativa, as contribuições são geralmente maiores. Na Gâmbia, a pesca extrativa representou 20,10% do PIB agropecuário (Ava-dí et al., 2020), na União das Comores foi de 12,90% (Dabat et al., 2023) e no Senegal a participação foi de 13,70% (Dione, Sy e Ndiaye, 2005).

Considerando os dois setores juntos, a pesquisa de Graaf e Garibaldi (2014) encontrou uma participação de 6,02% no PIB agrícola em países africanos, similar aos resultados deste estudo..

- Distribuição de renda

Além do impacto no PIB do Ceará e no PIB agropecuário, a distribuição de renda também foi analisada por meio da composição do valor agregado. Na Figura 4, observa-se que a maior parte da renda é distribuída em forma de salários (55%), seguida por Rendimento Bruto da Exploração (RBE) com 39%, taxas e impostos (5%) e despesas financeiras (1%).

Figura 4 – Distribuição de renda na cadeia de valor



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Os dados indicam que 94% da renda gerada na pesca extrativa e na aquicultura são distribuídos em salários e RBE, o que demonstra o impacto significativo desses setores na geração de renda para as famílias. Taxas e impostos representam 5% da distribuição, indicando uma contribuição importante para as entidades públicas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo desenvolveu um modelo de avaliação da contribuição socioeconômica da cadeia de valor da pesca e aquicultura no estado do Ceará. Os resultados da quinta fase do modelo revelam que a pesca extrativa e a aquicultura contribuem com 0,406% para o PIB total do Ceará e 7,126% para o PIB agropecuário. Embora essa participação possa parecer modesta em relação ao PIB total do estado, é importante contextualizar esses números. De acordo com os dados mais recentes do IPECE, o setor de serviços é responsável por aproximadamente 75% do PIB do Ceará, enquanto o setor industrial contribui com cerca de 19%. Juntos, esses dois setores somam quase 95% do PIB estadual, englobando atividades como comércio, transporte, educação, saúde, construção e manufatura. Esses setores dominam a economia cearense, justificando a menor proporção da pesca e aquicultura no PIB total.

No entanto, a contribuição de 0,406% não deve ser subestimada. A geração de receita e valor agregado pelos agentes da cadeia produtiva demonstra que, apesar de seu tamanho relativamente menor, os setores de pesca e aquicultura são economicamente viáveis e sustentáveis. Eles têm um papel crucial na economia agropecuária do estado e desempenham um papel significativo na geração de empregos e na distribuição de renda em regiões específicas, especialmente nas áreas costeiras e rurais. Isso reforça a importância de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento sustentável desses setores, que têm potencial de crescimento e impacto social relevante.

O estudo foi conduzido em cinco fases metodológicas. Na Fase 1, identificaram-se os agentes da cadeia produtiva, utilizando códigos que consideravam variáveis como município, área de atuação e tipo de pesca ou aquicultura. Na Fase 2, foram elaboradas as contas de produção-exploração para cada agente, abrangendo o consumo interme-

diário e o valor agregado no lado dos usos, e as receitas de vendas no lado dos recursos. Na Fase 3, consolidaram-se as contas de produção para diferentes tipos de pesca e aquicultura, resultando em um conjunto de dados contábeis totalizados. Na Fase 4, calcularam-se os efeitos diretos, indiretos e primários, servindo de base para as análises e conclusões da Fase 5, onde se verificou a contribuição de 0,406% para a economia do Ceará e 7,126% para o PIB agropecuário, com 94% da renda distribuída em salários e RBE.

Este estudo é relevante tanto para os stakeholders dos setores de pesca e aquicultura quanto para a comunidade acadêmica, incentivando novas pesquisas que aprofundem o conhecimento sobre a contribuição econômica desses setores. Uma das limitações do estudo foi a escassez de dados sobre custos intermediários e valor agregado, o que exigiu a realização de estimativas.

Sugere-se que estudos futuros apliquem metodologias semelhantes para analisar a pesca e aquicultura em outros estados brasileiros, permitindo um entendimento mais abrangente e facilitando comparações com os resultados obtidos nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANDRES, L.; PONSIOEN, T.; SHUBITIDZE, G.; CHOBANIANI, N.; KOTYZA, P.; SMUTKA, L. **Freshwater aquaculture value chain analysis in Georgia**. European Union: Value Chain Analysis for Development Project (VCA4D), 2022.

AVADÍ, A.; DEME, M.; MBAYE, A.; NDENN, J. Fisheries value chain analysis in the Gambia. European Union: Value Chain Analysis for Development Project (VCA4D), 2020.

BELLÛ, L. G. **Value chain analysis for policy making**: methodological guidelines and country cases for a quantitative approach. Rome: FAO, 2013.

BOCKEL, L.; TALLEC, F. **Commodity chain analysis**: financial analysis. EASYPol Module 044. Rome: FAO, 2005.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. **Boletim estatístico da pesca e aquicultura**. Brasília: MPA, 2011.

BREUIL, C. **Les pêches en Méditerranée**: éléments d'information sur le contexte halieutique et les enjeux économiques de leur aménagement. Rome: FAO, 1997.

CARNEIRO, A. M. M.; DIEGUES, A. C. S.; VIEIRA, L. F. S. Extensão participativa para a sustentabilidade da pesca artesanal. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 32, p. 81-99, 2014.

COSTA, G. M. **Evidenciando uma arte antiga da praia do Mucuripe**: a contribuição da cadeia produtiva da pesca artesanal para o desenvolvimento sustentável. 2022. 142 f. Dissertação (Mestrado em Administração e Controladoria) – Programa de Pós-Graduação em Administração e Controladoria, Universidade Federal do Ceará, 2022.

COSTA, G. M.; FONTENELE, R. E. S.; BRITO, R. M.; MATIAS, J. F. N.; SOUSA, E. S. “As velas do Mucuripe vão sair para pescar”: a participação dos jangadeiros do Mucuripe na economia de Fortaleza/CE. *In*: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO AMBIENTAL E MEIO AMBIENTE - ENGEMA, 24., São Paulo, 2022. **Anais [...]**. São Paulo: ENGEMA, 2022a, p. 1-13.

COSTA, G. M.; FONTENELE, R. E. S.; MATIAS, J. F. N.; SOUSA, E. S.; SANCHO, D. O. Evidenciando uma arte antiga da praia do Mucuripe: a contribuição da cadeia produtiva da pesca artesanal para o desenvolvimento sustentável. *In*: ENCONTRO DA ANPAD, 46., 2022, on-line. **Anais [...]**. Maringá: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração, 2022b, p. 1-26.

DABAT, M-H.; AVADÍ, A.; SFEZ, P.; SAÏD, M. **Analyse de la chaîne de valeur de la pêche en Union des Comores**. European Union: Value Chain Analysis for Development Project (VCA4D), 2023.

DIONE, M. D.; SY, M. A. B.; NDIAYE, M. M. S. **Contribution économique et sociale de la pêche artisanale au Seneg**. Rome: FAO, 2005.

DOLO, M.; SAKO, M. A.; DIARRA, S. **Evaluation de la contribution socio-économique de la pêche au PIB et au développement rural au Mali**. Rome: FAO, 2005.

FABRE, P.; DABAT, M.; ORLANDONI, O. **Methodological brief for agri-based value chain analysis**: frame and tools - key features. Value Chain Analysis for Development (VCA4D). Paris: Agrinatura EEIG, 2021.

FAO. Food and Agriculture Organization. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2022**. Towards Blue Transformation. Rome: FAO, 2022.

FONSECA, E. M. Diagnóstico da pesca artesanal na área de influência do porto do Mucuripe, em Fortaleza (CE): subsídios à gestão pesqueira regional. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v. 14, n. 3, p. 279-290, 2019.

FONTENELE, R. E. S. Economia circular e avaliação econômica de projetos: proposta metodológica para cálculo dos impactos diretos e indiretos. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO AMBIENTAL E MEIO AMBIENTE - ENGEMA, 20., São Paulo, 2018. **Anais** [...]. São Paulo: ENGEMA, 2018, p. 1-16.

GRAAF, G.; GARIBALDI, L. **The value of african fisheries**. Rome: FAO, 2014.

IBENGWE, L.; SOBO, F. The value of Tanzania fisheries and aquaculture: assessment of the contribution of the sector to gross domestic product. In: TAYLOR, W. W. et al. (eds.). Freshwater, fish and the future: proceedings of the global cross-sectoral conference. Rome: FAO, Rome; Michigan State University, East Lansing; American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 2016. p. 131-145.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da Pecuária Municipal 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/> Acesso em: 27 jan. 2023.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Tabela de Recursos e Usos e Matriz de Insumo-Produto Regionais para Economia Cearense. 2023. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/tabela-de-recursos-e-usos-e-matriz-de-insumo-produto-regionais-para-economia-cearense/> Acesso em: 30 ago. 2023.

KRUIJSSEN, F.; MARTIN, A.; POELMAN, M.; SEM, V. Aquaculture value chain analysis in Cambodia. European Union: Value Chain Analysis for Development Project (VCA4D), 2018a.

KRUIJSSEN, F.; AVADÍ, A.; COLE, S.; MUNGULE, C. Aquaculture value chain analysis in Zambia. European Union: Value Chain Analysis for Development Project (VCA4D), 2018b.

MATIAS, J. F. N.; SOUZA, R. A. L.; MATIAS, M. L.; LISBOA, V.; CATTER, K. M.; ELOY, H. R. F.; VIDIGAL, R. C. A. B.; SOUZA, R. L. M. A teoria dos stakeholders como ferramenta de planejamento estratégico na aquicultura: estudo de caso na região Norte - Amazônica (Pará) e na região Nordeste (Ceará) do Brasil. Revista S&G, v. 16, n. 1, p. 34-43, 2021.

MEDEIROS, C. N.; SOUSA, F. J.; LIMA, K. A.; LIMA, J. R. Panorama socioeconômico das regiões de planejamento do Estado do Ceará. Fortaleza: IPECE, 2017.

MORENO, L. T. O aquanegócio dos pescados no Brasil e os reflexos para as comunidades pesqueiras tradicionais. *Ambientes*, v. 5, n. 1, p. 196-240, 2023.

MUNOZ, A. E. P.; FLORES, R. M. V.; PEDROZA FILHO, M. X.; BARROSO, R. M.; MATAVELI, M.; REZENDE, F. P. Piscicultores e demais agentes da cadeia

produtiva discutem os custos de produção da tilápia no açude Castanhão, Jaguaribara, Ceará. Informativo Campo Futuro. ed. 13. EMBRAPA, 2015.

NGOK, E.; NDJAMEN, D.; JIONGO, V. D. Contribution économique et sociale de la pêche artisanale aux moyens d'existence durables et à la réduction de la pauvreté. Rome: FAO, 2005.

SACCHI, J. Analysis of economic activities in the Mediterranean: fishery and aquaculture sectors. Valbonne: Plan Bleu, 2011.

SIDONIO, L. et al. Panorama da aquicultura no Brasil: desafios e oportunidades. BNDES Setorial, v. 35, p. 421-463, 2012.

SILVA NETA, M. E. Piscicultura no açude castanhão em Jaguaribara Ceará: uma avaliação econômica, social e ambiental. 2015. 70 p. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Departamento de Economia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

SYSTEM OF NATIONAL ACCOUNTS. System of national accounts 2008. New York: SNA, 2009.

VALENTI, W. C. Aquicultura sustentável. In: CONGRESSO DE ZOOTECNIA, 12., Vila Real, Portugal, 2002. Anais [...]. Vila Real: Associação Portuguesa dos Engenheiros Zootécnicos, 2002, p.111-118.

VIDIGAL, R. C. A. B.; ELOY, H. R. F.; CATTER, K. M.; SOUZA, R. L. M.; LISBOA, V.; MATIAS, J. F. N.; CRUZ, A. M. Inovações para a pesca artesanal: subsídios para o desenvolvimento da atividade no estado do Ceará. Revista S&G, v. 16, n. 3, p. 229-241, 2021.

VIEIRA, C. M. T. Diagnóstico e perspectivas para o desenvolvimento da pesca artesanal no açude Pereira de Miranda, Pentecoste-CE. 2010. 151 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Curso de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

CAPÍTULO TRÊS

CONSUMO DE PESCADOS NO ESTADO DO CEARÁ: PREFERÊNCIAS DE COMPRA E PERFIS DE CONSUMIDORES

Áurio Lúcio Leocádio⁷
Joao Felipe Nogueira Matias⁸
Daniel Barboza Guimarães⁹
Lucas Silva de Amorim¹⁰
Gabriel de Mesquita Facundo¹¹
Ney Barros da Costa Filho¹²

RESUMO

O consumo de pescado pode ser influenciado por diversos fatores, dos quais se destacam os socioeconômicos, os padrões de consumo alimentar, características pessoais, intenção de consumo e dimensões atitudinais dos consumidores. Embora o consumo do pescado seja considerado como um hábito saudável e desejável, não se observa um respectivo aumento do consumo. Entre a dicotomia do aumento na produção de pescado e os níveis baixos de consumo, algumas explicações podem ser pressupostas: o alto custo do produto final, tabus alimentares, diferenças socioambientais e problemas na estrutura de comercialização. Esta pesquisa fornece dados que auxiliem as decisões de políticas públicas a potencializarem cadeia produtiva e ampliar o consumo de pescados no Estado do Ceará. Assim, o objetivo geral é analisar o comportamento de consumo de pescados dos consumidores residentes nas Regiões de Planejamento do Estado do Ceará, nas zonas urbana e rural. Os dados foram coletados de forma presencial, sen-

7 Doutor em Administração Instituição atual: Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: auri-leocadio42@gmail.com

8 Doutor em biotecnologia de recursos pesqueiros Instituição atual Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: jfn.matias@gmail.com

9 Doutor em economia Instituição atual Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: danielbg@ufc.br

10 Mestre em Administração e Controladoria Instituição atual Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: lucas.rmamorim@gmail.com

11 Doutor em Aquicultura Instituição atual Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: gabriel_biel@hotmail.com

12 Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente Instituição atual Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: nbcfilho@gmail.com

do definido para cada região de planejamento, o município-polo para coleta dos dados. Foram coletados 1126 questionários sendo 888 nas zonas urbanas das regiões de planejamento do Estado e 238 nas zonas rurais. O perfil dos respondentes apresenta predominância das classes socioeconômicas B2 e C1, com renda de até 6 salários-mínimos. A compra média é de 2,35 kg e os supermercados são considerados o local preferência de compra, seguido das peixarias. A maioria dos consumidores preferem comprar o peixe inteiro, congelado ou recém-abatido, sem vísceras. A frequência média de consumo é de até 4 vezes/mês, consumidos predominantemente nas residências. O principal motivo do consumo ocorre por ser um alimento saudável. A rejeição ao consumo de peixe é maior nos moradores da zona urbana (6,61%) em relação a zona rural (2,28%). E o consumo per capita geral é de 423 gramas.

PALAVRAS-CHAVE: Consumo de Pescados; Região de Planejamento do Estado do Ceará; Políticas Públicas; Perfil do Consumidor; Compra de Pescados.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização da pesquisa

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) apresentam uma estrutura holística para o trabalho em direção a atingir os objetivos de desenvolvimento estabelecidos na Agenda 2030. Os 17 ODS estão necessariamente interconectados, em reconhecimento aos vínculos entre por exemplo, pobreza, desigualdade, mudanças climáticas, degradação ambiental, paz e justiça. (FAO, 2023). O problema da alimentação envolve diversos ODS, de forma mais intensa, os objetivos relacionados à erradicação da pobreza (1), fome zero (2), saúde e bem estar(3), vida na água (14) e consumo e produção responsáveis (12) (ONU, 2015).

As consequências globais e regionais da insegurança alimentar e da desnutrição globais são profundas. Segundo Relatório da FAO (2023), os pescados têm uma contribuição importante para o desenvolvimento sustentável, em função da melhoria nutricional, principalmente para as populações mais vulneráveis.

No Brasil, tem sido observada uma crescente preocupação com a incorporação de hábitos saudáveis, esporte e saúde; sendo priorizados hábitos alimentares associados a essa nova postura (Silveira et al., 2019). Isso tem fortalecido uma atenção maior ao consumo de pescado, impulsionando essa proteína de origem animal à mesa do brasileiro e ressaltando suas vantagens à saúde humana. Os alimentos aquáticos da pesca representam uma fonte crucial e às vezes insubstituível de micronutrientes e ácidos graxos importantes para o crescimento e a boa saúde.

Entretanto, embora se considere o consumo do pescado como um hábito saudável e desejável, não se observa um respectivo aumento do consumo deste produto de forma a incentivar a oferta. Entre a dicotomia do aumento na produção de pescado e baixa no consumo desse tipo de carne, algumas justificativas podem ser apontadas: o alto custo do produto final, a presença de tabus alimentares e a faixa etária dos consumidores (Nauman et al., 1995; Bombardelli; Sypereck; Sanches, 2005; Costa et al., 2013).

O governo brasileiro tem realizado esforços para consolidar o pescado como fonte de proteína de origem animal na alimentação da população. Tem-se como exemplo a ação do Ministério da Pesca e Aquicultura, (MPA), que possui como uma de suas iniciativas a elevação do consumo nacional per capita da proteína alimentar oriunda da carne de pescado em benefício da população.

Nesse contexto, surgiu a necessidade de caracterizar a importância da carne de pescado como fonte de alimento e de discussão envolvendo as ações de incentivos implementadas pelo setor público, através de seus órgãos responsáveis no Brasil (Silveira et al., 2012)

A pesquisa seguiu nessa lógica, reconhecendo que para ampliar a ação de introdução da carne de pescado como parte integrante da alimentação dos brasileiros, há a necessidade de maior conhecimento dos potenciais consumidores dessa proteína animal. Torna-se, portanto, bastante justificável identificar e analisar o perfil desses consumidores como forma de auxiliar a colocação do produto no mercado e facilitar a aceitação de processados de pescado pelos consumidores brasileiros, buscando um melhor entendimento da temática, principalmente em nível regional/local, devido à grande diversidade cultural apresentada no Brasil, em suas regiões, raças e religiões.

Os dados existentes em relação as diferenças regionais do consumo de pescados apontam a necessidade de tratar as realidades regionais de forma mais detalhada e consistente. Perobelli et al. (1999) citam que o desenvolvimento socioeconômico não ocorre de forma territorialmente equilibrada. Assim, deve-se analisar o processo de planejamento regional como um instrumento que pode contribuir para a atenuação e/ou redução dessas desigualdades, almejando promover o aumento da renda, a melhoria dos indicadores sociais e, por consequência, a diminuição dos desequilíbrios regionais. (IPECE, 2015).

Nessa ótica, esta pesquisa buscou pela abrangência de dados coletados, ampliando a representatividade das análises, considerando a necessidade eminente de aplicação das informações sobre o consumo. A oferta e o consumo de peixes e outros organismos aquáticos no Brasil compreendem uma grande complexidade de fatores que interagem, desde a origem e produção desses bens, até seu processamento e comercialização (Lopes; Freitas, 2023).

Desta forma, a pesquisa partiu do pressuposto que o consumo de pescado é influenciado por diversos fatores, dos quais se destacam os socioeconômicos, os padrões de consumo alimentar, características pessoais, estado de saúde e dimensões atitudinais (Santori; Amancio, 2012). Assim, no levantamento de dados existentes sobre a compra de pescados, destaca-se as Pesquisa de Orçamento Familiar (POF), realizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), destacando algumas informações importantes: A região Norte possui o maior consumo de pescado per capita do país; enquanto isso, a região Nordeste apresenta o segundo maior consumo, ficando acima da média nacional. Por outro lado, todas as regiões apresentaram um decréscimo no consumo de pescado entre os anos de 2002 e 2018.

Outro dado que subsidiou esta pesquisa em relação as regiões do país, dados do Anuário Peixe apontam que as regiões Nordeste, Sul e Sudeste apresentaram aumento no cultivo de peixes, crescimento de 20,6%, 11,3% e 7,6%, respectivamente (ANUÁRIO PEIXE BR, 2019). Na região Nordeste, os estados que concentram a maior produção de peixes são Bahia, Ceará, Maranhão e Pernambuco (IBGE, 2015).

Diante da contextualização acima, os principais argumentos que sustentam esta pesquisa podem ser apontados: a) o potencial de ampliação do consumo de pescados pela população; b) as vantagens

nutricionais desse tipo de alimento; c) os esforços na esfera pública para incentivar a produção e; d) a limitação de dados sobre o efetivo consumo de pescado.

Esses pressupostos levaram ao objetivo geral da pesquisa

- Analisar o comportamento de compra e consumo de pescados dos consumidores residentes nas Regiões de Planejamento do Estado do Ceará, nas zonas urbana e rural.

Objetivos específicos

- Identificar perfis de consumidores de consumidores de pescado por regiões de planejamento do Estado do Ceará.
- Analisar as preferências de compra de pescados nas regiões de planejamento do Estado do Ceará, incluindo informações de frequência de compra, locais de compra e tipo de pescado;
- Analisar os aspectos explicativos sobre o consumo de pescados nas regiões de planejamento do Estado do Ceará.
- Avaliar o nível de competências dos consumidores relacionadas ao consumo de pescados.
- Propor um framework explicativo com caminhos decisórios para políticas públicas potencializadoras entre as cadeias produtivas e o consumo de pescados.

Considerando que esta é uma etapa parcial da pesquisa, para responder essa pergunta, foi realizada a coleta de dados nas Regiões de Planejamento do Estado do Ceará, incluindo as zonas urbanas e rurais. Esta pesquisa se justifica, portanto, por contribuir para uma compreensão mais holística do consumo de pescados, sob a perspectiva do próprio consumidor, considerando as diferenças estruturais e sociais que podem definir sua importância e porque elas são essenciais para os esforços de ampliação do consumo pela população cearense.

2. COMPORTAMENTO DE COMPRA E CONSUMO DE PESCADOS

Até meados do século XX, os estudos sobre o consumo e produção de alimentos foi o foco central da sociologia rural e da agricultura (Warde, 2016). Nesse sentido, as discussões sobre o consumo de alimentos ganharam impulso a partir da consolidação do processo de globalização da produção e distribuição de alimentos, que passou a se concentrar cada vez mais nas mãos das grandes empresas transnacionais.

Além da dificuldade em reunir as evidências empíricas, Warde (2016) destaca que o estudo do consumo a partir das teorias culturais apresentou duas limitações centrais. Primeiro, a ênfase era dada às questões simbólicas e de identidade. Segundo, considerou-se o consumo como uma ação voluntária e individual. Esta pesquisa propõe ampliar essa visão microeconômica, mantendo a perspectiva racional do consumidor para explicar o consumo de pescados. Contudo, a tarefa de reunir as evidências empíricas sobre a alimentação está se tornando cada vez mais exigente. Isso resulta em parte da natureza multidisciplinar do estudo da alimentação.

O consumo de peixe entre e dentro dos países é altamente variável e afetado por fatores distintos, como a condição socioeconômica, a disponibilidade de produtos e as preferências alimentares (Pode et al., 2015).

Além disso, fatores individuais também são responsáveis por seus padrões, conforme relatado por Verbeke e Vackier (2005). Segundo esses autores, as pessoas tendem a consumir maiores quantidades de peixe devido a alguns motivadores, como o seu sabor e aspecto saudável, enquanto a abundância de espinhas e seu eventual alto preço de mercado constituem fatores negativos em relação ao consumo dessa fonte proteica.

A literatura internacional aponta diversos aspectos que podem ser relevantes para a análise do comportamento de consumo de peixe:

Condição Socioeconômica: A renda e o nível educacional e os padrões de consumo podem se relacionar com a disposição para comprar peixe. Tanto pelo poder aquisitivo, quanto pelo acesso a uma variedade de peixes, incluindo opções mais caras e exóticas. (Trondsen

et al., 2004; Dey et al., 2011; can et al., 2015; Dai, et al., 2022; Kang et al., 2022; Adeli et al., 2022)

Preferências Alimentares: O gosto pessoal e a cultura podem determinar quais tipos de peixe são consumidos. Algumas culturas têm um consumo elevado de peixe, enquanto outras podem preferir outras fontes de proteína. (Adeli et al., 2022).

Valores Saudáveis: A preocupação com a saúde pode levar os consumidores a preferir a carne de peixes por considerar um alimento saudável devido ao seu perfil nutricional, sendo fonte de ômega-3 e proteínas (Trondsen et al., 2004; Dey et al., 2011; Dai, et al., 2022; Adeli et al., 2022; Kang et al., 2022).

Preferências Culturais e Tradições: Algumas populações podem preferir certos tipos de peixe devido a tradições culinárias específicas. Entender essas preferências pode ajudar a identificar padrões de consumo (Dai, et al., 2022; Kang et al., 2022). **Disponibilidade de Produtos:** A facilidade de acesso a diferentes tipos de peixes pode influenciar o consumo. Mercados locais e a proximidade de áreas de pesca afetam a disponibilidade de produtos frescos (Dai, et al., 2022; Adeli et al., 2022; Kang et al., 2022). **Consumo per capita e frequência de consumo:** São aspectos pesquisados sob uma perspectiva econômica e comercial, tratam de coletar o consumo per capita e a frequência de consumo (Trondsen et al., 2004; Dey et al., 2011; Can et al., 2015; Che et al., 2022).

Tipos de Peixes: Uma variedade de peixes disponíveis (como tilápia, salmão, atum, sardinha, etc.) e a presença de peixes locais ou sazonais podem moldar as escolhas dos consumidores (Adeli et al., 2022).

Qualidade e Frescor: A percepção de frescor e a qualidade do peixe são cruciais. Os consumidores geralmente procuram peixes que pareçam frescos e de alta qualidade, ou que possam ser avaliados pela cor, cheiro e textura (Adeli et al., 2022; Dai et al., 2022; Kang et al., 2022; Che et al., 2022).

Origem e Sustentabilidade: Muitos consumidores estão cada vez mais específicos na origem do peixe e em práticas sustentáveis de pesca. Certificações de sustentabilidade podem influenciar a decisão de compra (Lopes; Freitas, 2023).

Método de Criação ou Captura: Peixes criados em cativeiro versus peixes selvagens geram diferentes percepções de qualidade e impacto ambiental entre os consumidores, afetando suas escolhas (Che et al., 2022).

Preço e Promoções: O preço é sempre um fator decisivo. Ofertas e promoções podem atrair para experimentar novos tipos de peixe ou para aumentar a frequência de compra (Che et al., 2022; Dey et al., 2011).

Modo de Comercialização e Processamento: Os peixes podem ser vendidos inteiros, filetados, congelados ou em conserva. A forma como o peixe é processado e apresentado pode influenciar a decisão de compra, dependendo da conveniência desejada pelo consumidor (Adeli et al., 2022).

Segurança Alimentar e Rotulagem: Informações claras e precisas sobre o produto, incluindo dados de validade e orientações de preparo, aumentam a confiança do consumidor e influenciam as compras (Dai et al., 2022; Kang et al., 2022; Adeli et al., 2022).

A realização desta pesquisa levantou resultados de diversas pesquisas sobre consumo de pescados realizadas no Brasil e forneceram dados relevantes em relação a importantes aspectos: estimativas médias de consumo por regiões (IBGE, 2019); vantagens nutricionais do pescado (Sartori; Amancio, 2012); frequência e tipo de consumo (Minozzo et al., 2008; Minozzo, 2011); características dos consumidores e não consumidores de pescado (Maciel et al., 2012; Lopes et al., 2016); avaliação de aspectos de comercialização (Sousa, 2002; Veloso et al., 2022).

Considerar esses aspectos pode fornecer insights importantes sobre o comportamento de compra e consumo do consumidor de pescados e orientar estratégias de marketing e comercialização.

3 PERCURSO METODOLÓGICO E OPERACIONAL DA PESQUISA

Com o objetivo de analisar o comportamento de consumo de pescados dos consumidores residentes nas Regiões de Planejamento

do Estado do Ceará, foi realizada uma pesquisa quantitativa, de caráter, explicativo e descritivo.

A técnica utilizada para a obtenção da amostra representativa da população do Estado do Ceará foi a não-probabilística por quotas. A utilização deste tipo de amostragem é sugerida por Malhotra (2006) em projetos de pesquisa de mercado que se enquadrem em certas condições de efetivação, entre as quais: (1) Baixo orçamento; (2) Curto tempo disponível, (3) Tamanho grande da população, (4) Pequena variância da característica; (5) Baixo custo de erros de amostragem; (6) Alto custo de erros não amostrais.

O procedimento de campo ocorreu por meio de um levantamento (survey), pois se propôs a obter informações de um grupo de pessoas que são selecionadas, de modo antecipado, visando obter respostas a respeito de uma determinada dúvida de comportamento de consumo a ser estudado (Ludwing, 2015).

O procedimento de coleta de dados desta pesquisa considerou a divisão geopolítica do Estado do Ceará, abrangendo, assim, as 14 Regiões de Planejamento, sendo as mesmas: Cariri, Centro Sul, Grande Fortaleza, Litoral Leste, Litoral Norte, Litoral Oeste/ Vale do Curu, Maciço de Baturité, Serra da Ibiapaba, Sertão Central, Sertão de Canindé, Sertão dos Crateús, Sertão dos Inhamuns, Sertão de Sobral e Vale do Jaguaribe (IPECE, 2023).

Justifica-se essa abrangência de coleta de dados, pela ampliação da representatividade amostral à população do Estado do Ceará de forma a facilitar a aplicação dos dados da pesquisa ao planejamento e monitoramento de políticas públicas para o segmento de pescados, assim como para a elaboração de outros instrumentos de planejamento no setor de pescados em geral, como, por exemplo, o Plano Plurianual (PPA) e a Lei Orçamentária Anual (LOA).

Seguindo essa lógica, o cálculo amostral da pesquisa foi obtido considerando a população do Estado do Ceará, estimando um erro de 3%, com intervalo de confiança de 95%, para populações finitas, obtendo-se um total de 1111 questionários necessários, sendo 838 para zonas urbanas e 274 para zonas rurais. Diante da existência das 14 regiões supracitadas e, considerando a presença de uma possível heterogeneidade entre as populações de cada uma delas, calculou-se o tamanho da amostra por amostragem estratificada. A divisão entre os

estratos (Região de Planejamento) se deu de forma proporcional ao contingente populacional de cada estrato. Além disso, fez-se, em cada Região de Planejamento, uma estratificação, por meio do percentual de urbanização de cada região, obtendo, assim, a quantidade mínima de questionários a serem coletados para as zonas urbanas e rurais,

Optou-se pela definição do município-polo, utilizando o pressuposto apontado pelo IPECE (2023) de que um polo (sede de uma região) deve ser um município expressivo, que exerça influência sobre os municípios vizinhos. Tratam-se, portanto, de cidades mais desenvolvidas, com maior população, maiores níveis de renda, que são capazes de provocar externalidades positivas sobre outros municípios. Tal pressuposto possibilitou o acesso a residentes de zonas rurais que se deslocam organicamente para as zonas urbanas do município-polo para atividades bancárias, comerciais, hospitalares, educacionais, dentre outras.

Foram considerados aptos a participar da pesquisa, consumidores acima de 18 anos, solteiros ou chefes de família, que se manifestaram como consumidores de pescados e que confirmaram a autorização para participação da pesquisa e para uso dos dados.

O questionário de pesquisa foi elaborado com base nos tópicos necessários ao atendimento dos objetivos da pesquisa. Assim, para cada eixo que ampara os objetivos da pesquisa, foram definidos os tópicos relacionados e as formas de mensuração, com uso de perguntas elaboradas exclusivamente para esta pesquisa.

O instrumento de coleta foi preparado com perguntas fechadas, e preenchido pelo pesquisador, por meio de entrevista pessoal, atestada no formulário de coleta pelo próprio respondente, atendendo aos cuidados éticos necessários.

Quadro 1: Quadro de amarração do Instrumento de coleta

Tópico relacionado	Mensuração
Dados socioeconômicos	Classificação socioeconômica (ABEP)
Dados demográficos	Localização Zona (urbana/rural) Número de moradores da residência/que comem peixe
Locais de aquisição	Indicação de locais de comercialização

Tópico relacionado	Mensuração
Forma de apresentação	Indicação do estado do pescado na compra
Consumo efetivo realizado	Frequência de consumo; Quantidade média comprada
Tipos de Pescados consumidos	Indicação dos tipos de pescados consumidos

Fonte: Próprios autores

Encerrada a fase de coleta de dados e tabulação dos dados, foi realizada a limpeza dos dados, identificação de respostas inadequadas e primeiras medidas de padronização dos dados e tabulação das variáveis socioeconômicas. Fez-se uso do software SPSS para emissão dos outputs da descrição dos dados e das estatísticas descritivas e uso da técnica de análise de clusters.

Em relação à análise dos dados, foi utilizada a técnica de Two Step Cluster Analysis. A segmentação de perfis de consumo através do Two-Step Cluster é ideal para identificar grupos distintos de consumidores, baseando-se em variáveis contínuas (como escalas ou frequência de consumo) e categóricas (como gênero, classe social, preferências alimentares) (Tkaczynski, 2017). Para o presente estudo, foram utilizadas as variáveis contínuas pertencentes à dimensão de competências proposta por Carrillo et al. (2011). Além disso, o consumo de pescados (KG) também foi inserido como variável contínua na análise de clusterização.

No tocante às variáveis categóricas, foram inseridas as variáveis de zona (rural e urbana) e classe socioeconômica. Por fim, ressalta-se que, para a utilização do Two Step Cluster, foi estabelecido um valor fixo de 3 clusters a serem gerados, com base em análises preliminares que indicaram que essa quantidade melhor representaria os diferentes perfis de consumo dentro da amostra (Tkaczynski, 2017; Askan et al, 2021). Essa abordagem permite a criação de segmentos distintos, facilitando a análise e interpretação das características de cada grupo identificado (Tkaczynski, 2017).

4 PERFIL DEMOGRÁFICO E SOCIOECONÔMICO DOS RESPONDENTES

Nesta seção são apresentados o perfil demográfico dos respondentes, além do enquadramento socioeconômico com base nos questionários aplicados nas Regiões do Estado do Ceará.

Cabe destacar que a amostra obtida não teve por objetivo representar a população real da região pesquisada, embora o esforço de coleta tenha observado as diferenças sociais e estruturais de cada município, visando a maior proximidade com a realidade.

Dentre os respondentes, 524 (46,5%) residem na Grande Fortaleza, com os demais respondentes distribuídos nas demais regiões de planejamento do Estado. A grande maioria afirmou residir em zona urbana, 888 (78,9%) e 238 (21,1%) em zona rural de cada região pesquisada. A tabela 1 apresenta as quantidades de respondentes por região de planejamento e zona de residência (urbana e rural).

Tabela 1: Distribuição dos respondentes por região de planejamento e zona de residência.

Região de Planejamento	Geral	%	Urbana	%	Rural	%
Centro-Sul	49	4,4	33	3,7	16	6,7
Grande Fortaleza	524	46,5	462	52,0	62	26,1
Litoral Leste	19	1,7	17	1,9	2	0,8
Litoral Norte	45	4,0	21	2,4	24	10,1
Litoral Oeste/Vale do Curu	55	4,9	37	4,2	18	7,6
Maciço de Baturité	36	3,2	24	2,7	12	5,0
Região do Cariri	150	13,3	99	11,1	51	21,4
Serra da Ibiapaba	33	2,9	27	3,0	6	2,5
Sertão Central	52	4,6	34	3,8	18	7,6
Sertão de Canindé	22	2,0	16	1,8	6	2,5
Sertão de Crateús	35	3,1	26	2,9	9	3,8
Sertão de Sobral	71	6,3	63	7,1	8	3,4
Sertão dos Inhamuns	10	0,9	10	1,1	0	0,0
Vale do Jaguaribe	25	2,2	19	2,1	6	2,5
Geral	1126	100,0	888	78,9	238	21,1

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

A divisão apresentada no gráfico 1 será mantida em toda esta seção, assim, todas as análises serão feitas considerando a estratificação cidade/zona apresentada acima. Diante disso, a tabela a seguir apresenta informações referentes às características dos respondentes, no tocante ao gênero, idade, estado civil e nível de instrução.

4.1 Perfil demográfico dos consumidores

Em relação ao gênero do respondente, observou-se certo equilíbrio, uma vez que 540 (48,1%) são do gênero masculino e 583 (51,9%) são do gênero feminino. Quanto à idade dos respondentes, observou-se que a amostra é composta, em sua maioria, por pessoas com idade superior a 35 anos (72,7%), caracterizando-se como uma amostra de pessoas na fase adulta.

Este perfil de gênero e idade dos respondentes apresentou-se adequado, considerando que as etapas no ciclo de vida familiar, que correspondem as atividades de compra e consumo, são predominantemente as de ciclo de vida Nicho Cheio, caracterizando-se decisores e compradores no processo de compra familiar. Esses dados estão de acordo com o que foi apontado em estudo anterior (Adeli et al., 2022), que também destaca que famílias com filhos tendem a consumir mais pescado.

Em relação à escolaridade, tem-se que a maioria dos respondentes tem escolaridade com ensino médio ou acima. 327 consumidores (29,8%) já concluíram o ensino médio e 430 consumidores (39,2%) apresentaram nível superior completo. Assim, tem-se uma amostra formada, em sua grande parte, por pessoas com adequado nível de conhecimento e esclarecimento. Além disso, tais níveis de escolaridade podem proporcionar bons empregos e, conseqüentemente, melhores salários, o que amplia a possibilidade de se ter uma alimentação mais diversificada.

Cabe ressaltar que a predominância de escolaridade obtida a partir do ensino médio, está adequada a pesquisa, considerando que o nível de detalhamento dos dados a serem coletados, exigia uma capacidade cognitiva e interpretativa, difícil de se obter com indivíduos de escolaridade baixa.

4.2 Perfil socioeconômico dos consumidores

O perfil socioeconômico dos consumidores foi obtido pelos dados fornecidos de renda média e pela classificação socioeconômica, com base no **Critério Brasil 2023**, da ABEP (Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa) (ABEP, 2023).

Seguindo metodologia desenvolvida pela ABEP (2023), chegou à uma categorização dos respondentes em classes socioeconômicas. Assim, tem-se que 315 (28,0%), pertencem à classe social B2, seguido dos integrantes da classe C1, com 171 (15,2%) indicando uma amostra majoritariamente de classes médias.

Tabela 2: Caracterização dos respondentes quanto aos aspectos econômicos.

Classificação Socioeconômica	Geral	%	Urbana	%	Rural	%
A	203	18,0	179	20,2	24	10,1
B1	165	14,7	142	16,0	23	9,7
B2	315	28,0	269	30,3	46	19,3
C1	171	15,2	127	14,3	44	18,5
C2	160	14,2	111	12,5	49	20,6
DE	112	9,9	60	6,8	52	21,8
Geral	1126	100,0	888	100,0	238	100,0

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

Cabe destacar que a maior diferença entre as zonas urbana e rural foram encontradas na classificação socioeconômica dos respondentes. Enquanto nas zonas urbanas, predominou respondentes da classe socioeconômica A, B1 e B2, com 56,5% dos respondentes, na zona rural esse perfil é diferente, onde 60,9 % dos respondentes pertencem as classes: C1, C2 e DE.

5 COMPRA DE PESCADOS

5.1 Locais de compra de pescado

De forma geral, as compras de pescado são realizadas, preferencialmente, em supermercados e peixarias, onde 694 respondentes (62,0% dos respondentes que informaram a 1ª opção de compra) escolheram o item “Supermercados” e 243 (21,7% dos respondentes que informaram a 1ª opção de compra) escolheram o item “Peixarias”.

Após identificados os locais de compra, foi solicitado aos respondentes que citassem a 1ª opção de local de compra, e na sequência a 2ª opção e 3ª opção, respectivamente.

Observa-se que, mais de 83,7% das pessoas que informaram a 1ª opção de local de compra de pescado, assinalaram supermercados ou peixarias, o que pode ser reflexo de uma amostra que, majoritariamente, advém de zonas urbanas, onde devido as distâncias serem maiores e a correria do dia a dia, as pessoas realizam as compras domésticas em um único local. Além disso, mesmo nas demais regiões de planejamento, como os respondentes residem predominantemente em zonas urbanas, os supermercados e peixarias também predominaram como 1ª opção de local de compra.

As opções “Direto dos Pescadores”, “Feiras-Livres” e “vendedores ambulantes” começam a apresentar alguma representatividade como opção de local de compra, entre os residentes na zona rural, totalizando 61 pessoas (25,6% dos respondentes).

Tabela 3: Locais de compra de pescados

Local de Compra	Geral	%	Urbana	%	Rural	%
Direto dos pescadores	65	5,8	39	4,4	26	10,9
Feiras-livres	89	8,0	66	7,5	23	9,7
No carro que vende peixe	5	0,4	1	0,1	4	1,7
Peixarias	243	21,7	200	22,7	43	18,1
Pesque-pague	4	0,4	1	0,1	3	1,3
Supermercados	694	62,0	567	64,4	127	53,4

Vendedores ambulantes	19	1,7	7	0,8	12	5,0
Geral	1119	100,0	881	100,0	238	100,0

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

Analisando os dados com objetivo de comparar os locais de compra nas zonas urbanas e rurais, percebe-se a predominância da compra em supermercados nas duas zonas, na 1ª opção. Há que se destacar que as zonas rurais de algumas regiões de planejamento, estão próximas a supermercados. A proximidade das feiras nos pequenos distritos, assim como com pescadores extrativistas, pode explicar esse resultado. Esse resultado apontando a proximidade e acesso como determinantes para compra de pescados, também foi apresentado por Kang et al. (2022) e Dai et al. (2022).

Considerando a estrutura de comércio dos municípios nas zonas urbanas, com supermercados, peixarias e centros comerciais pulverizados por bairros, podemos entender que os dados obtidos sejam fidedignos da realidade de compra apontada pelos respondentes.

Entretanto, a existência de feiras itinerantes, presentes em alguns bairros e de forma mais representativa em algumas zonas rurais explica os dados obtidos. Outro aspecto a ser ressaltado é compra direto dos pescadores. Vale lembrar que 4 regiões de planejamento do Estado, são situadas em áreas litorâneas, com produção de pesca extrativista. Essa realidade explica o “acesso aos pescadores” como um local de compra do pescado.

5.2 Preferências pelo pescado “in natura” e pelo tratamento no momento da compra

Considerando que no local de compra existem possibilidades diferentes de se adquirir o pescado “in natura”, de acordo com o estado que está sendo apresentado, a pesquisa propôs identificar essa preferência em relação aos possíveis estados: congelado, em conserva, resfriado, recém-abatido ou vivo, salgado, defumado. Assim, a tabela 4 apresenta o estado preferido que as pessoas compram pescados:

Tabela 4: Preferência pelo estado “in natura” do pescado na compra

Como Compra	Geral	%	Urbana	%	Rural	%
Congelado	457	40,9	385	43,8	72	30,3
Em conserva (enlatado)	6	0,5	6	0,7	0	0,0
Resfriado	122	10,9	106	12,0	16	6,7
Salgado	6	0,5	6	0,7	0	0,0
Seco	1	0,1	0	0,0	1	0,4
Vivo (recém abatido)	526	47,0	377	42,8	149	62,6
Geral	1118	100,0	880	100,0	238	100,0

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

Observando a tabela, tem-se que predominam os itens “Congelado” e “Vivo (Recém Abatido)”, onde 457 (40,9%) escolheram uma “congelado” e 526 (47%) optaram por “Vivo/recém-abatido”. Em seguida tem-se a opção “Resfriados”, com 122 respostas (10,9%). As opções “Congelado” e “Resfriados” predominam em supermercados, ao passo que a opção “Vivo (Recém Abatido)” está mais associado às peixarias, o que se mostra condizente com os locais de compra mais citados pelos respondentes. Na zona rural, foi identificado uma predominância pelo pescado recém-abatido, onde 62,6% dos respondentes dessa zona, optaram em 1ª opção por esse estado. Na zona urbana, esse estado foi apontado por 42,8% dos respondentes.

A predominância de supermercados e peixarias como locais de compra preferidos pode influenciar no estado em que o peixe é comprado. Resultados similares são apontados por Lopes e Freitas (2023) e Che et al. (2022), que destacam o estado do peixe e características como frescor, como diferenciais na compra de peixe.

Considerando que o pescado pode ser comprado com ou sem tratamento, a pesquisa identificou a preferência pelos diversos tratamentos dados ao pescado comprado pelos respondentes.

O fato da amostra ser predominante da região da Grande Fortaleza e, mesmo nas demais regiões, ser majoritariamente urbana, pode ser um fator importante para os locais de compra e o estado do peixe no momento da compra. Tal comportamento pode apontar uma

busca por praticidade, fato que parece ser ainda mais comprovado pelos resultados expostos na tabela 5.

Tabela 5: Tratamento dado ao pescado no momento da compra

Preferência de compra	Geral	%	Urbana	%	Rural	%
Filé	258	23,2	230	26,3	28	11,9
Inteiro (sem tratar) com víscera	191	17,2	122	13,9	69	29,4
Inteiro (tratado) sem vísceras	580	52,3	455	52,0	125	53,2
inteiro(tratado) com cabeças	15	1,4	12	1,4	3	1,3
Pescado pelo pai dele	1	0,1	1	0,1	0	0,0
Posta	65	5,9	55	6,3	10	4,3
Geral	1110	100,0	875	100,0	235	100,0

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

Observando a tabela acima, predominam os itens “Inteiro (Tratado) sem Vísceras”, “postas” e “Filé”, onde, das 903 pessoas que assinaram a 1ª opção, 396 (81,4%) escolheram uma dessas opções. Assim, os dados parecem indicar que as pessoas preferem que o peixe comprado já esteja pronto para ser preparado e, logo em seguida, consumido. Entretanto, cabe destacar que 29,4% dos respondentes da zona rural, optaram pelo pescado Inteiro (Sem Tratar) com Vísceras. Esse dado preliminar pode ser reflexo do conhecimento de preparo para consumo ser maior na zona rural que na zona urbana. Adeli et al., (2022) apontam que o tratamento é variável relevante para decisão de compra e está de acordo com os resultados apresentados nesta pesquisa.

6 CONSUMO DE PESCADOS

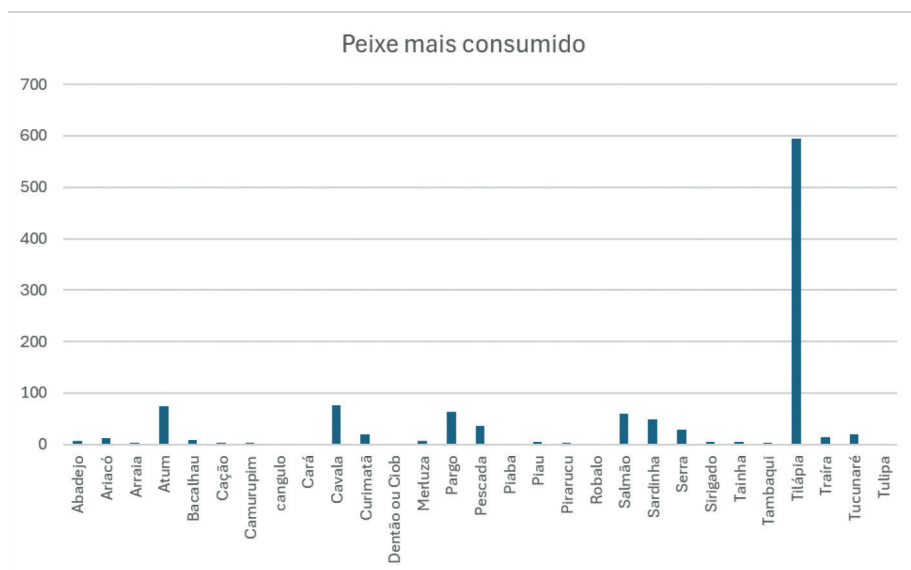
A pesquisa abordou alguns aspectos sobre o consumo de pescados. Nesta seção serão detalhados os pontos que foram questionados aos respondentes em relação a tipos de peixes mais consumidos e frequência de consumo. Além desses dados, foi identificado a quantidade de indivíduos que comem pescado em cada residência, possibilitando o cálculo do percentual de indivíduos que não comem pescado.

6.2 Peixes mais consumidos

A pesquisa apontou com os respondentes, qual o peixe mais consumido. Foram solicitados a 1ª opção do respondente, depois a 2ª opção e por última a 3ª opção.

A importância de perguntar essas opções separadamente, é que se consegue identificar como fica a decisão do consumidor, quando não encontra o tipo de peixe desejado, qual seria a 2ª opção.

Gráfico 1: Peixe mais consumido – 1ª opção



Diante dos dados apresentados como 1ª opção, fica clara a representatividade da Tilápia, que aparece como o peixe mais consumido pela maioria dos consumidores, seguido da Cavala e Salmão.

Autores apontam que a preferência por tipos de peixes pode estar relacionada com o local de produção, afetando a decisão de compra (Dai, et al., 2022; Kang et al., 2022). Assim, o fato do alto consumo de tilápia, sendo o tipo de peixe mais produzido no Estado do Ceará, reforça essa lógica.

6.5 Percentual de Indivíduos que não comem pescados no Estado do Ceará

A pesquisa coletou informações a respeito do número de moradores da residência dos pesquisados. Inicialmente questionou-se o número de habitantes da residência e na sequência, o número de habitantes que não consumiam pescados na residência.

A partir dessas médias obtidas com os totais de residentes e o total de pessoas que comiam carne de peixe, obteve-se a diferença por domicílio, entre o total de moradores e o total de não-consumidores de pescados. Com a diferença encontrada, calculou-se o percentual de indivíduos que não consomem peixe no estado do Ceará, totalizando 6,7% dos indivíduos cearenses.

6.6 Quantidade média de compra X Frequência de consumo

Resgatando os dados sobre a quantidade média de compra e cruzando com os dados de frequência de consumo, vê-se que o consumo de peixes ocorre predominantemente 2 vezes por mês, com 366 respondentes (38,8%). A 2ª faixa de consumo mais manifestada foi de 4 vezes por mês, para 267 respondentes (24,7%).apresentados na seção 6.1, obteve-se a quantidade de indivíduos que compram pescado de acordo com a frequência.

Tabela 6: Relação entre a quantidade média de compra e a frequência de consumo

Quantidade Média (Kg)	Frequência Média Mensal							
	Nenhuma Vez	Uma Vez	Duas Vezes	Quatro Vezes	Cinco Vezes	Seis Vezes	Doze Vezes	Vinte Vezes
Menos de 1Kg	0	7	7	6	0	0	3	0
De 1Kg até menos de 2Kg	5	75	61	52	1	0	13	13
De 2Kg até menos de 3Kg	3	43	140	65	1	1	54	17

Quantidade Média (Kg)	Frequência Média Mensal							
	Nenhuma Vez	Uma Vez	Duas Vezes	Quatro Vezes	Cinco Vezes	Seis Vezes	Doze Vezes	Vinte Vezes
De 3Kg até menos de 4Kg	2	14	70	44	0	1	24	9
De 4Kg até menos de 6Kg	0	10	47	54	0	0	26	20
A partir de 6Kg	1	0	29	33	0	0	61	23
Geral	11	149	354	254	2	2	181	82

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

Pela tabela 6 percebe-se que dos 354 respondentes que informaram consumir peixe 2 vezes por mês, 140 (79,7%) consomem de 2Kg a 4Kg. Além disso, qualquer que seja a opção de frequência de consumo, verifica-se que, em geral, os participantes consomem entre 1Kg e 4Kg por compra.

Além desses parâmetros, foi realizado o cálculo do consumo médio per capita de pescados. Para tanto, o cálculo foi realizado utilizando a compra média mensal, dividido pela quantidade de moradores que comem pescados, obtendo-se a compra mensal per capita. Este resultado, por sua vez, é dividido pela frequência de consumo mensal, obtendo-se o consumo per capita.

Desta forma, obteve-se o consumo médio per capita do Estado do Ceará em 423 gramas, sendo que nas zonas urbanas esse consumo é menor, fica em 410 gramas e na zona rural, 470 gramas.

Os dados encontrados em relação a consumo e frequência tem sido foco de interesse de diversas pesquisas (Trondsen et al., 2004; Dey et al., 2011; Can et al., 2015; Che et al., 2022). Embora os resultados não devam ser comparados, pois envolvem inúmeras variáveis culturais e estruturais de comercialização, mostram a relevância desses dados para tomada de decisão e maior conhecimento a respeito dos consumidores de pescados.

6.7 COMPETÊNCIAS PARA O CONSUMO DE PESCADOS

Para mensurar as competências do consumidor, fizemos uso de uma escala na qual o consumidor avaliou seu nível de competência para o consumo do peixe. Foram utilizadas as seguintes afirmativas, para que o respondente fizesse sua autoavaliação: COM1- Sei preparar pratos com carne de peixe; COM2 Conheço os lugares onde se compra carne de peixe e COM3 - Conheço os tipos de peixe quando vou comprar.

A partir dos resultados da tabela 7, pode-se notar algumas diferenças interessantes entre os moradores da zona urbana e da zona rural em relação ao consumo de peixe. No que se refere à preparação de pratos com carne de peixe (COM1), a média geral é de 3,63 e os moradores da zona rural apresentam uma média ligeiramente superior (3,73) em comparação aos da zona urbana (3,48). Isso sugere que os residentes da zona rural têm, em média, mais habilidade ou confiança na preparação de pratos com peixe.

Tabela 7: Competências para o consumo de pescados

Variáveis	Média geral	Desvio padrão geral	Média (zona urbana)	Desvio padrão (zona urbana)	Média (zona rural)	Desvio padrão (zona rural)
COM1- Sei preparar pratos com carne de peixe	3,63	1,45	3,48	1,57	3,73	1,48
COM2 Conheço os lugares onde se compra carne de peixe	4,11	1,19	3,99	1,37	3,98	1,37
COM3 - Conheço os tipos de peixe quando vou comprar	3,52	1,37	3,35	1,49	3,65	1,42

No que diz respeito ao conhecimento sobre os locais onde se pode comprar carne de peixe (COM2), a média geral é de 4,11, e os moradores da zona urbana apresentam uma média um pouco maior

(3,99) do que os da zona rural (3,98). Isso indica que os moradores da zona urbana estão ligeiramente mais familiarizados com os locais de venda de peixe.

Por fim, em relação ao conhecimento dos tipos de peixe ao comprar (COM3), a média geral é de 3,52. Novamente, os moradores da zona rural se destacam, com uma média de 3,65, enquanto os da zona urbana têm uma média menor de 3,35. Esses resultados indicam que os residentes da zona rural tendem a ter um melhor conhecimento dos diferentes tipos de peixe quando fazem compras.

7. PERFIS DE CONSUMIDORES DE PESCADO NO ESTADO DO CEARÁ

O uso da segmentação de perfis de consumo através da técnica *Two-Step Cluster* foi ideal para identificar grupos distintos de consumidores, baseando-se em variáveis contínuas (como escalas ou frequência de consumo) e categóricas (como gênero, classe social, preferências alimentares) (Tkaczynski, 2017). Assim, foram identificados 3 clusters, considerando a distribuição detalhada na tabela 8.

Tabela 8: Distribuição dos Clusters (Frequência)

Variáveis		Clusters			
		1	2	3	Combinado
Rural	Freq	0	214	0	214
	%	0,0%	100,0%	0,0%	100,0%
Urbana	Freq	491	0	309	800
	%	61,4%	0,0%	38,6%	100,0%
Classe A	Freq	0	23	162	185
	%	0,0%	12,4%	87,6%	100,0%
Classe B1	Freq	137	22	0	159
	%	86,2%	13,8%	0,0%	100,0%
Classe B2	Freq	243	39	0	282
	%	86,2%	13,8%	0,0%	100,0%

Variáveis	Clusters				
	1	2	3	Combinado	
Classe C1	Freq	112	40	0	152
	%	73,7%	26,3%	0,0%	100,0%
Classe C2	Freq	0	43	97	140
	%	0,0%	30,7%	69,3%	100,0%
Classe DE	Freq	0	47	51	98
	%	0,0%	48,0%	52,0%	100,0%
Sabe preparar pratos com carne de peixe	Méd	3,577	3,864	3,632	3,655
	DP	1,4568	1,3411	1,4770	1,4424
Conheçe os lugares onde se compra carne de peixe	Méd	4,146	4,084	4,165	4,139
	DP	1,1358	1,2569	1,1695	1,1717
Conheçe os tipos de peixe quando vou comprar	Méd	3,451	3,785	3,506	3,538
	DP	1,3732	1,2966	1,3998	1,3705
Consumo em KG	Méd	2,7352	4,1355	3,4497	3,2481
	DP	2,06776	3,57913	3,22715	2,86933

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Considerando o conjunto de variáveis agrupadas por cada cluster, podemos caracterizar os perfis obtidos, com base na predominância em cada uma das variáveis utilizadas.

Cluster 1

O primeiro cluster é composto exclusivamente por residentes em zonas urbanas, com 61,4% dos consumidores. Há predominância de consumidores na classe média alta do estrato social, classe B1 (86,2%), B2 (86,2%) e C1 (73,7%).

Considerando as competências analisadas para este grupo, são consumidores que conhecem os lugares onde se compra carne de peixe, embora sejam os consumidores que tem menos conhecimento sobre como preparar carne de peixe e detém menos conhecimento sobre os tipos de peixe.

Embora tenham bom poder aquisitivo e maior acesso aos pontos de venda de peixe e a tipos variados de peixe, incluindo os mais caros, são o grupo que menos consome peixe, com uma média mensal por domicílio de apenas 2,73 kgs.

Podemos nomear esse grupo como “**Consumidores Urbanos de média Renda com Baixo Consumo de peixes**”. Este nome destaca tanto o alto poder aquisitivo e a localização urbana dos consumidores quanto o paradoxo de seu baixo consumo de peixe.

Cluster 2

O segundo cluster agrupou predominantemente os consumidores residentes em zonas rurais (100 %) e pertencentes às classes socioeconômicas C1 (26,3%), C2 (30,7%) e DE (48,0%). Trata-se dos respondentes com maior concentração na classe DE. Configuram-se como os consumidores das classes mais baixas do estrato socioeconômico brasileiro.

São os consumidores que mais sabem preparar pratos com peixes, assim como são os que mais conhecem os tipos de peixes no momento da compra. Nos domicílios desse grupo são consumidos em média 4,14 kg de peixe por mês, sendo o 2º grupo com maior consumo mensal.

Podemos nomear esse grupo como “**Consumidores Rurais de Baixa Renda com Expertise e alto consumo de Peixes**”. Esse nome ressalta o contexto rural e o estrato socioeconômico mais baixo, ao mesmo tempo que destaca o alto nível de conhecimento e habilidade na preparação de peixes, e o alto consumo.

Cluster 3

O terceiro cluster agrupou 33,4% dos consumidores residentes em zonas urbanas. São pertencentes às classes socioeconômicas A (87,6%), que são consumidores com maior poder de compra e no outro limite do estrato social, estão os consumidores das classes C2 (69,3%) e DE (52,0%). A concentração maior nas classes C1 e C2, podem indicar que se trata predominantemente dos consumidores da classe média baixa, das zonas urbanas, com concentração maior nas classes C1 e C2.

É o grupo que apresenta um nível intermediário de competências em relação aos demais clusters: sabe preparar pratos com carne de peixe, conhece os locais onde comprar peixe e o conhece os tipos de peixe quando vai comprar. Entretanto, é o grupo que mais consome a carne de peixe nos domicílios pesquisados com uma média mensal para o domicílio de 4,09kg de peixe.

Podemos nomear esse grupo como **“Consumidores Urbanos de Classe Altas e Baixas com médio Consumo de peixes”**. Esse nome destaca a localização urbana, ressalta a característica mais notável que é o alto consumo de peixe, e reflete a diversidade dentro do perfil socioeconômico, com um.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As compras de pescado, de maneira geral, estão predominantemente equipadas em supermercados e peixarias. No entanto, alternativas como “Direto dos Pescadores”, “Feiras-Livres” e “vendedores ambulantes” São uma realidade histórica entre os consumidores residentes na zona rural, refletindo uma falta de acesso a outros locais de compra.

Nos supermercados, os produtos de pescado “congelado” e “resfriado” são as opções mais encontradas, enquanto a opção “vivo (recém abatido)” é mais associada às peixarias. Notavelmente, na zona rural, a preferência recai sobre o pescado recém-abatido, principalmente proveniente da pesca artesanal e da compra diretamente com os pescadores ou cooperativas.

Ainda que os consumidores urbanos prefiram comprar o peixe já tratado e pronto para o preparo, os habitantes da zona rural demonstram uma clara preferência pelo peixe inteiro, mesmo que não tenham sido submetidos a tratamento prévio. As pessoas da zona urbana preferem que o peixe comprado já esteja pronto para ser preparado e, logo em seguida, consumido. Esse fator abre a possibilidade de ampliação das formas que o pescado é vendido, principalmente em supermercados e peixarias.

Em relação à quantidade de compra, a média geral é de 3,23 kg, sendo que na zona rural essa média sobe para 4,09 kg, enquanto na

zona urbana fica um pouco abaixo, com 3,01 kg. Essa maior quantidade adquirida na zona rural pode ser um indicativo de hábitos de consumo que favorecem a compra em maior escala, possivelmente devido a proximidade com a cadeia produtiva, além de um fator cultural ainda presente nessas populações, e que se concretiza pelo maior conhecimento de tratamento e preparo do peixe no próprio domicílio.

O padrão de consumo revela que, em média, os indivíduos consomem peixe duas vezes por mês. Entre as espécies, a tilápia se destaca como o peixe mais consumido, seguido pela cavala e pelo salmão. É importante ressaltar que os aspectos relacionados à saúde são os principais motivadores para o consumo de peixe, enquanto os fatores financeiros geralmente são desmotivadores e barreiras ao consumo.

Surpreendentemente, apenas 6,7% da população cearense declara não consumir peixe, mostrando que uma grande maioria confirma o valor deste alimento em sua dieta. Essa informação é importante para definição de políticas públicas, uma vez que é comum o cálculo per capita, sem considerar os não-consumidores de peixe. Isso vale inclusive, para projeções de produção e de venda.

A identificação dos 3 perfis de consumidores abre a possibilidade para uma discussão necessária e importante para gestão de políticas públicas que visam incrementar o consumo de pescados no Ceará. Considerando as diferenças entre os grupos, algumas ações podem ser propostas para atingir diretamente cada grupo de consumidores identificado, potencializando o consumo.

REFERÊNCIAS

AŞKAN, Emine; TOPCU, Yavuz; ŞAHIN, Ayça Nur. Determining consumption preferences of consumers considering quality attributes of drinking water: case of Iğdır. **Italian Journal of Food Science**, v. 33, n. 2, p. 156-165, 2021.

ABEP – Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa. **Critério Brasil**. Disponível em: <https://www.abep.org/criterio-brasil>. Acesso em: 05 maio. 2024.

ANUÁRIO PEIXE BR. Anuário Peixe BR da Piscicultura 2019. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-peixe-br-da-piscicultura-2019/#:~:text=A%20PEIXE%20BR%20come%C3%A7a%20as,de%20peixes%20cultivados%20no%20Brasil>. Acesso em: 05 set. 2024.

ADELI, Afshin; PANGH, Eisa; TAGHANI, Tahereh. Investigating the trend of fish consumer's behavior in the villages of coastal regions of Golestan province. **Journal of Fisheries**, v. 75, n. 1, p. 153-167, 2022.

BOMBARDELLI, Robie Allan; SYPERRECK, Mirna Adriane; SANCHES, Eduardo Antônio. Situação atual e perspectivas para o consumo, processamento e agregação de valor ao pescado. **Arquivos de ciências veterinárias e zoologia da UNIPAR**, v. 8, n. 2, 2005.

CARRILLO, Elizabeth et al. Main factors underlying consumers' food choice: a first step for the understanding of attitudes toward "healthy eating". **Journal of sensory studies**, v. 26, n. 2, p. 85-95, 2011.

CAN, Mehmet Ferit; GÜNLÜ, Aytekin; CAN, Hayriye Yeşim. Fish consumption preferences and factors influencing it. **Food Science and Technology**, v. 35, p. 339-346, 2015.

CHE, Bin et al. Between tradition, strategies and taste: understanding fish consumption habits in Togo. **Sustainability**, v. 14, n. 18, p. 11475, 2022.

COSTA, Tiago Viana et al. Aspectos do consumo e comércio de pescado em Parintins. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 39, n. 1, p. 63-75, 2013.

DAI, Yun-Yun et al. Consumer perception of Tilapia in China and related factors. **North American Journal of Aquaculture**, v. 84, n. 3, p. 277-284, 2022.

DEY, Madan Mohan; ALAM, MD FERDOUS; PARAGUAS, Ferdinand J. A multistage budgeting approach to the analysis of demand for fish: An application to inland areas of Bangladesh. **Marine Resource Economics**, v. 26, n. 1, p. 35-58, 2011.

FAO. **Illuminating Hidden Harvests** – The contributions of small-scale fisheries to sustainable development. Rome, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cc4576en>. Acesso em: 05 set. 2024.

GIL, C. A. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**, 6ª edição. São Paulo, Atlas, 2017.

HIGUCHI, Angie; DAVALOS, Jorge; HERNANI-MERINO, Martin. Theory of planned behavior applied to fish consumption in modern Metropolitan Lima. **Food Science and Technology**, v. 37, p. 202-208, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **População**, 2019. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 02jun. 2023.

IPECE. **Sistema Ceará em Mapas**. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/>. Acesso em: 01 set. 2024.

IPECE. **PIB Regiões de Planejamento N.01 - Setembro 2023**. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2023/09/PIB_Regioes_de_Planejamento_N01_Setembro_2023.pdf. Acesso em: 05 set. 2024.

KANG, Hyeongsik et al. Estimation of fish assessment index based on ensemble artificial neural network for aquatic ecosystem in South Korea. **Ecological Indicators**, v. 136, p. 108708, 2022.

LOPES, I. G.; OLIVEIRA, R. G.; RAMOS, F. M. Perfil do consumo de peixes pela população brasileira. **Biota Amazônia**. v. 6, n. 2, p. 62-65, 2016

LOPES, Iva Guidini; DE FREITAS, Thiago Mendes. Fish consumption in Brazil: State of the art and effects of the COVID-19 pandemic. **Aquaculture**, v. 574, p. 739615, 2023.

MACIEL E.S., Vasconcelos J.S., Sonati J.G., Savay-da-Silva L.K., Galvão J.A., Oetterer M.. Perfil dos voluntários de universidade brasileira a respeito do consumo de pescado. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, 19(1):60-70, 2012.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. 4. ed. Georgia Institute of Tecnology; Bookman, 2006.

MINOZZO, M. G. Processamento e Conservação do Pescado. Instituto Federal do Paraná – Educação a Distância. Curitiba-PR, 2011

NAUMAN, F.; GEMPESAW, C. M.; BACON, J. R.; MANALO, A. Consumer choice for fresh fish: factors affecting purchase decisions. **Marine Resource Economics**, Rhode Island, v. 10, n. 2, p. 117-142, 1995.

NUNES, L. P.; DUTRA, F. M.; BORGES, J.A.R. Consumo de peixes: uma aplicação da teoria do comportamento planejado. **Revista Brasileira de Administração Científica**, v.11,n.1,p.189-204, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-684X.2020.001.0014>.

ONU BR – Nações Unidas no Brasil. **A Agenda 2030**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 05 set. 2024.

PEROBELLI, F. S.; OLIVEIRA, A. F.; NOVY, L. G. G.; FERREIRA, M. V. Planejamento regional e potenciais de desenvolvimento dos municípios de Minas Gerais na região em torno de Juiz de Fora: Uma aplicação de análise fatorial. **Revista Nova Economia**, v. 9, n. 1, Belo Horizonte, 1999.

SARTORI, Alan Giovanini; AMANCIO, Rodrigo Dantas. Pescado: importância nutricional e consumo no Brasil. **Segurança alimentar e nutricional**, v. 19, n. 2, p. 83-93, 2012. SEPLAG. Plano Plurianual (PPA) 2016-2019 - Diretrizes

estratégicas. 2015. Disponível em: <http://www.seplag.ce.gov.br/> Acesso em: 25/04/2024.

SILVEIRA, L. S.; ABDALLAH, P.R; HELLEBRANDT, L.; BARBOSA, M.N; FEIJÓ, F.T. Análise socioeconômica do perfil dos consumidores de pescado no município de Rio Grande. **SINERGIA**, Rio Grande, 16 (1): 9-19, 2012.

TKACZYNSKI, Aaron. Segmentation using two-step cluster analysis. **Segmentation in social marketing: Process, methods and application**, p. 109-125, 2017.

TRONDSSEN, Torbjørn et al. Consumption of seafood—the influence of overweight and health beliefs. **Food Quality and Preference**, v. 15, n. 4, p. 361-374, 2004.

VELOSO, K. R. et al. Evaluation of fish consumption in public markets in the city of Recife/PE. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, e28211528171, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i5.28171>. VERBEKE, Wim; VACKIER, Isabelle. Individual determinants of fish consumption: application of the theory of planned behaviour. **Appetite**, v. 44, n. 1, p. 67-82, 2005.

WARDE, A. **The practice of eating**. Cambridge: Polity, 2016.

CAPÍTULO QUATRO

A PESCA ARTESANAL E O PERFIL DE ALGUNS ASPECTOS LEGAIS DE COMUNIDADES PESQUEIRAS DO ESTADO DO CEARÁ

Karla Maria Catter, Adylla Maia Cruz, Halana Rodrigues Freire Eloy, Rochelle Cruz de Araujo¹³

João Felipe Nogueira Matias¹⁴

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), o relatório “O Estado Mundial da Pesca e Aqüicultura” indicou que a produção mundial de pesca e aqüicultura em 2022 alcançou 223 milhões de toneladas, representando um aumento de 44% em relação a 2020. Essa produção incluiu 185,4 milhões de toneladas de animais aquáticos e 37,8 milhões de toneladas de algas (FAO, 2022). A pesca artesanal é de valor inestimável, especialmente nos países em desenvolvimento, como o Brasil, onde mais de 90% das capturas provêm dessa modalidade (Bartley et al., 2015).

No entanto, no Brasil, não há um levantamento preciso da quantidade capturada anualmente, pois desde 2009 não há coleta sistemática de dados sobre a pesca artesanal marinha. As estatísticas da FAO baseiam-se em extrapolações e estimativas de médias históricas desatualizadas (Zamboni et al., 2020; FAO, 2020). Conforme Vasconcellos et al. (2007), a precariedade das estatísticas da pesca artesanal é reconhecida mundialmente, e, no Brasil, essa situação é agravada pela falta de informações biológicas e socioeconômicas, combinada com a dispersão das comunidades pesqueiras e o desinteresse das autoridades, que priorizam a pesca industrial.

Além disso, a pesca artesanal no Brasil historicamente foi dividida por ambientes (marinho e continental), adotando metodologias diferenciadas para coleta e análise de dados em cada estado, o que

¹³ Bolsista Programa Cientista Chefe - FUNCAP

¹⁴ Cientista Chefe Programa Economia Azul- FUNCAP

dificulta a padronização das informações (Silva, 2014). Essa carência de dados confiáveis torna o setor invisível para os gestores e o setor privado, impedindo a criação de políticas públicas eficazes e desestimulando possíveis investimentos (Sapopema, 2019).

Béné e Neiland (2003) destacam a falta de políticas públicas multissetoriais que incluam a dimensão social da pesca artesanal no Brasil, que, por muito tempo, foi vista apenas como uma atividade econômica. Diante desse contexto, este trabalho visa levantar informações sobre aspectos legais da pesca artesanal no litoral do estado do Ceará, incluindo documentações, licenças e registros, fundamentais para a regularização da atividade.

Diante do exposto, identificou-se a necessidade de coletar informações sobre a pesca e os pescadores artesanais. Para isso, este estudo realizou um levantamento com pescadores artesanais nos litorais leste e oeste do estado do Ceará, focando em aspectos legais, como documentações, licenças, registros e permissões, que são essenciais para a regularização e prática da atividade pesqueira.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Pesca Artesanal

A pesca artesanal, é considerada um atividade milenar e de cunho principalmente familiar/tradicional tornando-se menos atrativa pelos obstáculos encontradas, seja na redução dos estoques pesqueiros, bem como a falta de investimentos na atividade. Por ser caracterizada como um segmento da atividade pesqueira, essa categoria da pesca apresenta dificuldades relacionado á ferramentas de gestão e implementação de medidas de regulamentação (Santos; Farias, 2020).

Pasquoto; Miguel (2004), discutemv que devido a sua complexidade, a pesca artesanal traz implicações teóricas e metodológicas que demanda uma abordagem multidisciplinar a qual permite combinar os fatos naturais, as realidades sociais e as práticas técnicas no seio de um mesmo esforço de compreensão.

De acordo com a Lei 11.959/09, que dispõe sobre a Política Nacional de desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca (PND-SAP), a pesca é toda operação, ação ou ato tendente a extrair, colher, apanhar, apreender ou capturar recursos pesqueiros (BRASIL, 2009).

Conforme a legislação brasileira, artigo 8º, alínea “a” da Lei nº 11.959/09, a Pesca artesanal é quando praticada diretamente por pescador profissional, de forma autônoma ou em regime de economia familiar, com meios de produção próprios ou mediante contrato de parceria, desembarcado, podendo utilizar embarcações de pequeno porte (BRASIL, 2009).

A pesca é regulamentada por diversos órgãos governamentais, como a Secretaria de Aquicultura e Pesca, o órgão ambiental do Estado, o Ibama, e a Marinha do Brasil (MAPA, 2022).

O pescador artesanal deve conhecer as normas e documentações exigidas na sua região. Antes de navegar, é importante conferir se toda a documentação está atualizada junto aos órgãos emissores. Os documentos são: Registro Geral da Atividade Pesqueira (RGP) (Secretaria de Aquicultura e Pesca); Cadastro de pescador; Caderneta de inscrição e registro (Marinha); Permissão de pesca por espécie (Instituto Brasileiro do Meio ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA); Licença de pescador do órgão ambiental; Licenças ambientais do órgão ambiental; Permissão de pesca por modalidade (Marinha do Brasil); Registro da embarcação (Marinha do Brasil); Rol de equipagem (Capitania dos portos - Marinha do Brasil) (MAPA, 2022).

2.2 Documentos de Pesca

Segundo a lei que exige a licença da embarcação, para tal ato, é obrigatório que o pescador preencha o Relatório de Exercício de Atividade Pesqueira – REAP (BRASIL, 2022). Contudo, o índice de pescadores que o preenche é baixíssimo, refletindo imediatamente na regularização da licença da embarcação.

O Registro do Pescador Artesanal é considerado a sua identidade profissional. É através deste documento que será possível ter acesso aos benefícios: seguro defeso, aposentadoria, certificação do produto artesanal e muitos outros.

De acordo com o Art. 13 da Portaria do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) 1.099, de 29 de junho de 2022, é obrigatório para manutenção da Licença de Pescador e Pescadora Profissional Artesanal, que o interessado realize o preenchimento e envio eletrônico dos Relatórios de Exercício da Atividade Pesqueira – REAP, no Sistema Informatizado do Registro Geral da Atividade Pesqueira – SisRGP (BRASIL, 2022).

2.2.1 Registro Geral da Atividade Pesqueira

A Licença de Pescador e Pescadora Profissional é um documento emitido digitalmente por meio do Sistema Pesq Brasil - RGP Pescador, que confirma a inscrição de uma pessoa no Registro Geral da Atividade Pesqueira (RGP) e sua atuação como Pescador e Pescadora Profissional em todo o Brasil (MPA, 2023).

O RGP classifica o pescador profissional em artesanal ou industrial (Alencar, 2019). Quanto ao acesso aos recursos pesqueiros (Art. 24º da PNDSAP) a legislação deixa claro que toda pessoa - física ou jurídica – que exerça atividade pesqueira bem como a embarcação de pesca devem ser previamente inscritas no Registro Geral da Atividade Pesqueira – RGP66, bem como no Cadastro Técnico Federal – CTF, na forma da legislação específica (BRASIL, 2015).

Em vista do disposto na Lei nº 14.600, de 19 de junho de 2023, na Lei nº 11.959, de 29 de junho de 2009, no Decreto nº 8.425, de 31 de março de 2015, de acordo com o Art. 1º, ficam estabelecidos as normas, os critérios e os procedimentos administrativos para o RGP e para a concessão de Licença nas categorias de Pescador e Pescadora Profissional Artesanal e de Pescador e Pescadora Profissional Industrial. De acordo com o Cap 1 do Registro Geral da Atividade Pesqueira na Categoria de Pescador e Pescadora Profissional, Seção I, Art. 2º, entende-se: Pescador e Pescadora Profissional Artesanal: pessoa física que exerce a atividade de pesca profissional com fins comerciais de forma autônoma ou em regime de economia familiar, com meios de produção próprios ou mediante contrato de parceria, podendo atuar de forma desembarcada ou utilizar embarcação de pesca com Arqueação Bruta - AB menor ou igual a 20 (vinte) (MPA, 2023)

2.2.2 Formulário de Mapa de Bordo

O Formulário de Mapa de Bordo (FMB) tem como finalidade a declaração da atividade e a obtenção de dados sobre o esforço de pesca e capturas, efetuadas em um cruzeiro realizado por uma embarcação. As informações prestadas nesses formulários têm finalidade de monitoramento e pesquisa, como subsídio ao ordenamento pesqueiro. Os critérios e procedimentos para preenchimento e entrega de Mapas de Bordo estão regulamentados pela Instrução Normativa do Ministério da Pesca e Aquicultura - MPA nº 20, de 2014 (BRASIL, 2014).

A lei prevê que a utilização do Mapa de Bordo, seja obrigatória para as embarcações registradas e autorizadas no âmbito do RGP, conforme modalidades de permissionamento relacionadas conforme a instrução normativa referente. Serão facultativos o preenchimento e a entrega deste das embarcações de pesca artesanais autorizadas a atuar em frota sem controle de esforço, e com arqueação bruta igual ou inferior a 10 (dez) (BRASIL, 2014).

De acordo com a Portaria nº135, do Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), Art. 1º, fica estabelecido o PesqBrasil - Mapa de Bordo como o Sistema oficial de preenchimento e envio de Mapa de Bordo do MPA em atendimento ao art. 6º da Instrução Normativa nº 20, de 10 de setembro de 2014 do MPA, esta Portaria entrou em vigor em 2 de outubro de 2023 (MPA, 2023).

A proposta do Governo Federal é transformar os dados coletados, por meio desse instrumento oficial, em informações que poderão ser acessadas pelos diversos setores de interesse na cadeia produtiva do pescado, em consonância à Lei de Acesso à informação, e demonstrar a importância econômica da atividade pesqueira no país em suas diversas modalidades.

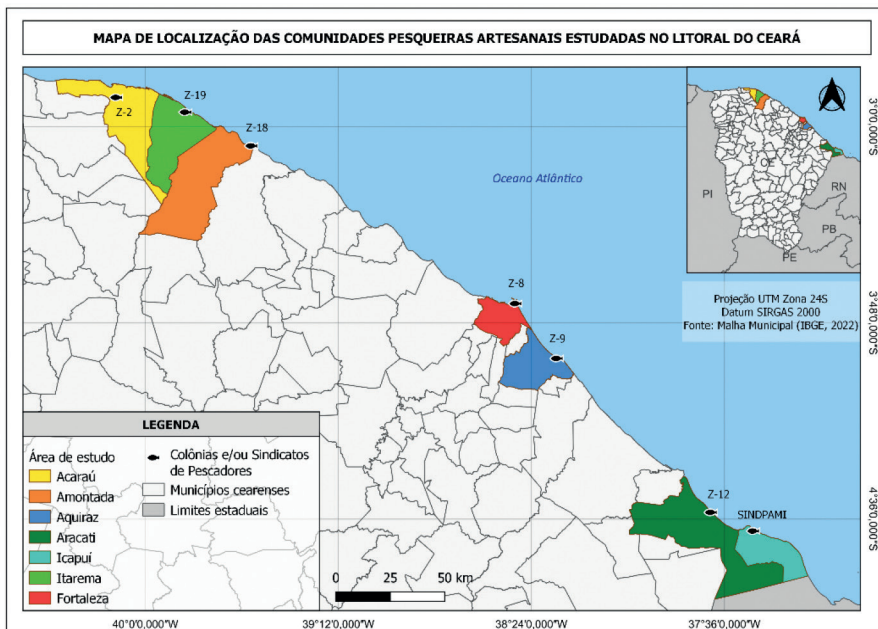
Os dados fornecidos para o Formulário de Mapa de Bordo serão mantidos confidencialmente e serão de uso restrito a pesquisa. A obrigatoriedade do fornecimento das informações sobre as pescarias está prevista no Decreto Lei Nº 221/67 e Decreto Nº 4.810/03. O não cumprimento desta obrigatoriedade ou fornecimento de informações falsas implicará em sanções que vão desde multas (art. 56 do Decreto no. 3179/99), até o cancelamento das permissões de pesca e registro (Instrução Normativa Interministerial no.26/05).

3 BASE METODOLÓGICA

A pesquisa quanto aos procedimentos de coleta de dados, foi do tipo survey. Quanto à abordagem do problema, a pesquisa foi do tipo quantitativo descritivo, pois os dados coletados por meio de questionários foram tabulados em planilhas eletrônicas do Software Microsoft Office Excel, para garantir uma maior precisão na construção de gráficos e para melhor análise e interpretação.,

A etapa de levantamento de dados, visando entender sobre a documentação e registros de pesca dos pescadores artesanais do litoral Cearense ocorreu ao longo dos anos de 2022 a 2023, na qual eram realizados na maioria das vezes, nas colônias de pescadores, das seguintes localidades: Redonda-Icapuí, Quixaba-Aracati, Aquiraz, e na capital Fortaleza; no litoral oeste foi em Amontada (Caetanos), Acaraú e Itarema (Figura 1).

Figura 1- Mapa de Localização das comunidades pesqueiras artesanais na qual foi aplicado os questionários.



Fonte: Malha municipal (IBGE, 2022), Raster do Google Satélite, feito por Mariana Rocha

Na ocasião, eram apresentados para as lideranças comunitárias, pescadores artesanais e marisqueiras a importância dos questionários e os dados obtidos para futuras ações. Os questionários eram aplicados pela equipe multidisciplinar, formada por quatro bolsistas do Programa Cientista Chefe da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).

Ao finalizar, o entrevistado assinava um termo de ciência da garantia do sigilo e confidencialidade das informações fornecidas e da privacidade da pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os questionários foram aplicados com 117 pescadores, nos quais, foram indagados alguns aspectos legais envolvendo a pesca artesanal.

O perfil legal dos pescadores artesanais e marisqueiras, é importante para se conhecer esse segmento e traçar planos efetivos no enfrentamento das problemáticas que os afetam, como as subnotificações. Foram analisados diversos fatores, como documentos de pesca, mapa de bordo e o relatório de exercício.

Em relação aos documentos de pesca 80% dos pescadores artesanais afirmaram possuírem a carteira de profissional da Marinha (Figura 2). O Registro da Embarcação (Marinha) foi confirmado ser regularizado por 39% deles. Quanto ao Registro do Pescador Artesanal (RGP), 75% dos pescadores afirmaram possuir a carteira.

A Carteira de Profissional da Marinha destina-se aos profissionais do Aquaviário do 3o grupo, especializados no nível de habilitação 3, com determinadas capacidades e limitações, conforme o CFAQ-PEP N 3.

Segundo a pesquisa realizada por Basilio; Garcez (2014), do total de 35 pescadores entrevistados do estuário do rio Curu, Ceará- Brasil, 63% não possuíam carteira de pescador profissional, estes dados contrastam com os obtidos no presente trabalho.

Na presente pesquisa, 75% afirmaram ter o RGP. Porém, no ano de 2023 o sistema passou por atualizações e eles precisaram atualizar seu cadastro pelo SisRGP4.0. Para os que não fizeram podem ser penalizados com o cancelamento do seu registro. É importante continuar com o incentivo de políticas públicas para que, os que ainda não possuem, tenham acesso ao sistema e aos seus direitos.

Alencar e colaboradores (2019), traçaram o perfil socioeconômico dos pescadores brasileiros, através de análise estatística descritiva de 11 variáveis selecionadas no RGP dos anos de 1970 até 2010. As variáveis utilizadas foram: Classificação do RGP; Data do RGP; Data de nascimento; Sexo (gênero); Estado Civil; Escolaridade; Relações de trabalho; Relação de bens; Área de pesca; Grupo de espécies; Distribuição espacial. A base de dados referente aos pescadores profissionais brasileiros foi cedida oficialmente pelo governo federal brasileiro e os campos relativos às referências pessoais dos pescadores descaracterizados, garantindo-se, assim, a confidencialidade. Visto isso, é de fundamental importância que os pescadores tenham seu RGP atualizados, pois através da análise deste registro pode-se elaborar políticas públicas que favoreçam este setor.

Conforme o levantamento de dados obtidos na atual pesquisa, somente 30% dos pescadores afirmaram preencher o formulário do mapa de bordo (Figura 2), 6% preenchem a cada 15 dias, 3% preenchem a cada dois meses. Outros pescadores relataram que preenchem uma vez ao ano, uma vez por semana, uma vez por mês, após cada pescaria e 3 vezes ao mês.

Contudo, o que mais chamou atenção e que corrobora a necessidade de um manual de instrução e capacitações, que deem a autonomia ao pescador artesanal para que esteja apto ao preenchimento do FMB, é que, além 70% não preencherem, os que confirmaram que entregam entraram na estatística do preenchimento realizado pela colônia ao qual é associado.

O Mapa de Bordo é um documento oficial do Governo Federal, na qual, são declaradas informações da pescaria, realizada por uma embarcação de pesca. É com este documento que se torna possível o monitoramento e pesquisa do ordenamento pesqueiro. A Instrução

Normativa MPA nº 20, de 2014, indica os critérios e procedimentos para o preenchimento. Constatou-se a necessidade de atualização do sistema, optando por celeridade ao monitoramento e na geração de dados.

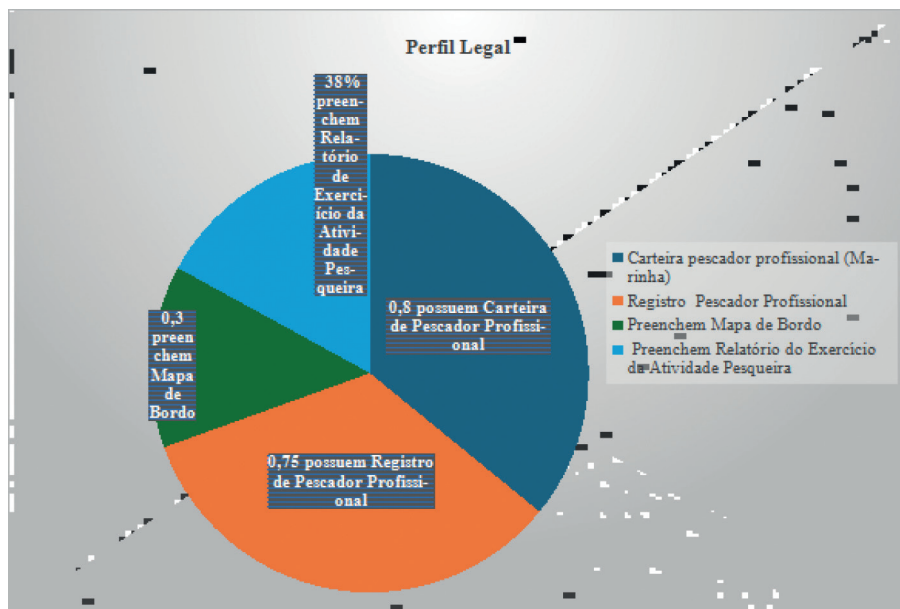
Em outubro de 2023, entrou em vigência o novo sistema, o PesqBrasil, que substituiu o SisRGP 4.0. A instabilidade do antigo sistema sempre foi considerada um grande desafio aos pescadores artesanais e presidentes de colônia, necessitando terceirizar o preenchimento dos dados na plataforma. Para formular o PesqBrasil, levou-se em consideração as melhorias sugeridas pelos próprios pescadores. O sistema permite o registro de embarcações, registro de pescador e aquicultor, preenchimento do indicativo da pesca, possibilitando o compartilhamento dos dados com transparência e podendo dessa forma, demonstrar a importância econômica da atividade.

Os Mapas de Bordos são os formulários oficiais para a obtenção de dados sobre esforço de pesca e capturas, efetuadas em cada cruzeiro de uma embarcação de pesca. As informações prestadas nesses formulários têm finalidade de monitoramento e pesquisa, como subsídio ao ordenamento pesqueiro (BRASIL, 2014).

Na corrente pesquisa, após a tabulação dos dados, foi verificado que somente 38% preenchem o REAP (Figura 2), 12% preenchem a cada seis meses, 4% preenchem a cada três meses e 12% uma vez por ano. Muitos pescadores quando questionados não sabiam informar do que se tratava, após a explicação sobre o referido documento, 7% deles diziam que eram preenchidos pela colônia que estavam associados.

De acordo com o Art. 13 da Portaria do MAPA 1.099, de 29 de junho de 2022, é obrigatório para manutenção da Licença de Pescador e Pescadora Profissional Artesanal, que o interessado realize o preenchimento e envio eletrônico dos Relatórios de Exercício da Atividade Pesqueira – REAP, no Sistema Informatizado do Registro Geral da Atividade Pesqueira – SisRGP (BRASIL, 2022).

Figura 2- Dados dos questionários referentes aos documentos obrigatórios dos pescadores e da pesca artesanal nos municípios de Redonda-Icapuí, Quixaba-Aracati, Aquiraz, Fortaleza, Amontada (Caetanos), Acaraú e Itarema.



Porém, de acordo com os achados nesta pesquisa, a realidade, infelizmente, não condiz com o que a lei exige, embora seja de suma importância, que o profissional preencha o relatório a maioria dos pescadores seguem sem executar.

Os documentos de pesca e seus registros, são ferramentas importantes para uma gestão que implica na modificação de paradigmas e ações governamentais, lideranças pesqueiras, população e investimentos de instituições de fomento e pesquisa, para que a atividade da pesca se modernize e os pescadores artesanais tenham a valorização necessária, assim como seus direitos garantidos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A regularização dos documentos e registros dos pescadores artesanais é fundamental para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para a valorização da pesca artesanal e para garantir visibilidade aos pescadores e seus direitos. A ausência desses dados torna o setor invisível e desvalorizado, dificultando a implementação de

medidas eficazes. O desconhecimento sobre os direitos e deveres dos pescadores artesanais é um desafio persistente. Esta pesquisa contribuiu ao promover capacitações e conscientizar os pescadores sobre a importância de sua regularização, mas ainda há muito a ser feito para atender às necessidades e demandas do setor. A legalização da pesca e o cumprimento das exigências regulatórias são essenciais para preservar as tradições familiares e fortalecer a economia do setor, promovendo a sustentabilidade da atividade pesqueira artesanal.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, C.A.G.; MARINO, M.T.R.D.; GUERRA, J.; MORAES, S.G.; LIMA, L.H.; FAÇANHA, M.C.; FERREIRA, D.O. Perfil socioeconômico dos pescadores brasileiros (1970-2010). Saindo da Zona de Conforto: A Interdisciplinaridade das Zonas Costeiras - Tomo VIII da Rede BRASPOR, p. 29, 2019.

ALVES DA SILVA, M. E. P.; CASTRO, P. M. G.; MARUYAMA, L. S.; PAIVA, P. Levantamento da pesca e perfil socioeconômico dos pescadores artesanais profissionais no reservatório Billings. Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo. v. 35, n. 4, p. 531-543, 2009.

BASILIO, T.H.; GARCEZA, D. S. A pesca artesanal no estuário do rio Curu, Ceará - Brasil: saber local e implicações para o manejo. Acta Fish. Aquat. Res. v. 2, n 1, p.42-58, 2014.

BARTLEY, D.M., DE GRAAF, G. AND VALBO-JØRGENSEN, J. Commercial inland capture fisheries. In Freshwater Fisheries Ecology, J.F. Craig (Ed.), 2015.

BÉNÉ, C.; NEILAND, A.E. Traditional management systems of Inland African fisheries. The case of Lake Chad Basin's riverine and floodplain fisheries. In: WELCOMME, R.L.; PETR, T. (Eds.). Proceedings of the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries, 2. Bangkok: FAO; Mekong River Commission, 2003.

BRASIL. Lei nº 11.959, de 29 de junho de 2009. Brasília: DOU de 30.06.2009 e retificado em 09.07.2009. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L11959.htm. Acesso em: 15 julho de 2024.

BRASIL. Instrução Normativa MPA Nº 18, de 25 de agosto de 2014, nº164 p. 84. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L11959.htm. Acesso em: 10 setembro de 2024.

BRASIL. Decreto nº 8.425, de 31 de março de 2015. Brasília: DOU de 01.04.2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2015-2018/2015/Decreto/D8425.htm. Acesso em: 15 de julho de 2024.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome, 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, FAO .Duke University and WorldFish. Small-scale fisheries and sustainable development: Rome, FAO; Durham, USA, Duke University; Penang, Malaysia, WorldFish, 2022b.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. Malha Municipal | IBGE, <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>, acesso em 29 agosto 2024.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO MAPA. Boas Práticas na Pesca Artesanal, Brasília, 2022.

MINISTÉRIO DA PESCA E AGRICULTURA, MPA. Portaria MPA Nº 127, de 29 de agosto de 2023. Do Registro Geral da Atividade Pesqueira na Categoria de Pescador e Pescadora Profissional Acesso em 07 outubro de 2024.

MINISTÉRIO DA PESCA E AGRICULTURA, MPA. Portaria MPA nº 135, de 27 de setembro de 2023. Sistema PesqBrasil - Mapa de Bordo Acesso em 07 outubro de 2024.

MINISTÉRIO DA PESCA E AGRICULTURA, MPA. PesqBrasil - RGP Pescador e Pescadora Profissional - Sistema de Registro Geral da Atividade Pesqueira-RGP na categoria de pescador e pescadora profissional. Acesso em 07 outubro de 2024.

PASQUOTTO, V.F. MIGUEL, L.A. Pesca artesanal e enfoque sistêmico: uma atualização necessária. Anais do VI Encontro da Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção. SBSP, Aracaju, 2004.

SANTOS, R.L.; FERNANDES, J.F.F. Aspectos legais do Seguro defeso sobre a atividade da Pesca, Mares Revista de Geografia e Etnociências v. 2, n.1, 2020.

Sociedade para a Pesquisa e Proteção do Meio Ambiente (SAPOPEMA). Plano de desenvolvimento sustentável da pesca e piscicultura do Baixo Amazonas, Santarém, PA, 53 p. 2019.

SILVA, A.P. Pesca artesanal brasileira: Aspectos conceituais, históricos, institucionais e prospectivos. Palmas, TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2014.

VASCONCELLOS, M., DIEGUES A.C.S.A., SALES, R. R. Limites e possibilidades na gestão da pesca artesanal costeira, in Costa, A.L. (Org.). Nas Redes da Pesca Artesanal, Brasília, IBAMA - MMA, pp. 15-83, 2007.

ZAMBONI, A. Auditoria da pesca: Brasil 2020 [livro eletrônico]: uma avaliação integrada da governança, da situação dos estoques e das pescarias. Oceana Brasil, 2020.

Trabalhos publicados e submetidos

- Inovações para a pesca artesanal: subsídios para o desenvolvimento da atividade no estado do Ceará. Revista Eletrônica Sistemas & Gestão, v. 16, p. 229-241, 2021. DOI: 10.20985/1980-5160.2021. v.16n3.1650.
- Direitos e deveres do pescador artesanal do estado do Ceará [livro eletrônico]: manual de orientação para regularização da atividade pesqueira. Fortaleza: INESP, 2022.

Artigos submetidos

- Identificação de inovações tecnológicas provenientes de subprodutos da Pesca Artesanal no Estado do Ceará, Brasil, submetido para a Revista Eletrônica Sistemas & Gestão.
- Perfil social, técnico e legal da pesca e do pescador artesanal do Estado do Ceará, em fase final para envio.

Agradecimentos

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e ao Programa Cientista Chefe (FUNCAP), pelo financiamento e bolsas concedidas.

A Secretaria do Desenvolvimento Agrário (SDA) e a Coordenadoria de Desenvolvimento da Pesca e Aquicultura Familiar (COPEA).

Aos pescadores, marisqueiras e presidentes das colônias de pescadores dos municípios de Redonda-Icapuí, Quixaba-Aracati, Aquiraz, Fortaleza, Amontada (Caetanos), Acaraú e Itarema.

CAPÍTULO CINCO

PREÇOS DE EQUILÍBRIO PARA CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE ECOSISTEMAS MANGUEZAIS: UMA AVALIAÇÃO NO LITORAL CEARENSE

Francisco Wellington Ribeiro¹⁵,
Raimundo Eduardo Silveira Fontenele¹⁶

1 INTRODUÇÃO

A economia azul consiste em um conceito e uma abordagem que busca promover o desenvolvimento sustentável dos oceanos e dos recursos marinhos, conciliando a conservação do ambiente marinho com as atividades econômicas (MULAZZANI; MALORGIO, 2017, OECD, 2016). A economia azul busca valorizar a utilização sustentável dos recursos marinhos, a preservação da biodiversidade costeira, a gestão eficiente dos ecossistemas marinhos e a promoção de práticas responsáveis nas atividades econômicas relacionadas ao mar. No entanto, riscos sociais e ambientais podem surgir, mesmo nas ações amparadas sobre o conceito de economia azul (BENNETT *et al.*, 2021).

Os manguezais, neste contexto, desempenham um papel fundamental. Situados na interface entre os ambientes marinho e terrestre, esses ecossistemas oferecem uma diversidade de serviços ecossistêmicos, incluindo provisão de alimentos, sequestro de carbono, proteção contra desastres naturais e suporte à biodiversidade. Eles são reconhecidos como um dos maiores reservatórios de carbono do planeta, desempenhando um papel crucial na mitigação das mudanças climáticas. Além disso, contribuem para a regulação do clima, a manutenção da qualidade da água e a proteção contra erosão costeira, todos esses fatores essenciais para a sustentabilidade das zonas cos-

15 Economista; Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pelo PRODEMA-UFC; Doutorando em Administração e Controladoria pelo PPAC-UFC. Núcleo de Estudos em Economia do Mar – NEMA, Fortaleza, Ceará, Brasil.

16 Professor da Universidade Federal do Ceará – UFC; Programa de Pós-graduação em Administração e Controladoria – PPAC-UFC. Núcleo de Estudos em Economia do Mar – NEMA, Fortaleza, Ceará, Brasil.

teiras e para a manutenção da vida no planeta (ALCAMO et al., 2003; CONSTANZA et al., 2014).

Como sugerem Mulazzani e Malorgio, (2017), um uso coerente do termo economia azul deve levar em conta questões ligadas à sustentabilidade e aos serviços ecossistêmicos. Nesta perspectiva, a complexidade do conceito de economia azul exige ações - política e gestão - que mostrem aderência com uma economia do mar sustentável.

Esses ecossistemas fornecem uma série de serviços que são refletidos em bem-estar (CONSTANZA et al., 2014; ESTRADA et al., 2015). Tais áreas propiciam serviços ecossistêmicos de provisão (como pesca e coleta e extração de produtos naturais), de regulação (como sequestro de carbono e regulação de nutrientes e do clima), de suporte (como ciclo de nutrientes e fotossíntese) e mesmo cultural (como turismo e recreação, além de ensino e pesquisa) (ALCAMO et al., 2003; CONSTANZA et al., 2014; UNEP-WCMC, 2011). Tais serviços são fundamentais e têm muito valor para a vida no planeta, mesmo que os esforços de mensuração de sua valoração ainda sejam incipientes e escassos.

Nesse cenário, a valorização econômica dos serviços ecossistêmicos, em particular o sequestro e o estoque de carbono, surge como uma ferramenta estratégica. A quantificação do valor econômico dos manguezais pode subsidiar políticas públicas e esquemas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), como os mercados de carbono, que remuneram financeiramente os esforços de conservação e restauração. O conceito de PSA, que se baseia nos princípios de “usuário-pagador” e “provedor-recebedor”, se mostra especialmente promissor para integrar os agentes econômicos e comunidades na promoção de práticas ambientais responsáveis, ao mesmo tempo em que gera oportunidades econômicas para aqueles que protegem e mantêm os ecossistemas de manguezais.

Quanto aos serviços de regulação, Alongi (2014) e Soares et al. (2022) ressaltam que as florestas de manguezais têm uma grande capacidade de capturar e estocar gases do efeito estufa, como o gás carbônico, por unidade de área, superior àquela verificada em florestas tropicais úmidas. Globalmente, os manguezais respondem por 10 a 15% de todo o estoque de carbono nas áreas costeiras, (Alongi, 2014). Em estudo mais recente, Alongi (2020), apresenta que os manguezais

respondem por um estoque médio global igual a 17% do estoque de carbono em áreas marinhas tropicais.

Apesar da importância dos manguezais, os estudos voltados para sua valorização econômica ainda são escassos, especialmente no Brasil, onde esses ecossistemas têm um papel ambiental e econômico crítico (SOARES et al., 2022). As pesquisas existentes focam predominantemente nos aspectos ecológicos e na biodiversidade, enquanto a dimensão econômica dos serviços oferecidos pelos manguezais permanece em grande parte inexplorada (RAHMAN; MAHMUD, 2018). Essa lacuna no conhecimento representa um obstáculo para a implementação de políticas eficazes que possam garantir a conservação desses ambientes, ao mesmo tempo que proporcionam benefícios econômicos aos envolvidos.

A conservação e a recuperação de manguezais podem gerar mais benefícios que sua degradação, especialmente ao se considerar questões ligadas à sustentabilidade. Apoiado nesta perspectiva, esta pesquisa busca responder a seguinte questão: *Quais são os preços de equilíbrio que apoiam às práticas de conservação e de restauração de manguezais no litoral do Ceará?*

A pesquisa visa estimar os preços de carbono (CO_2) que compensam economicamente a conservação e a restauração de áreas de manguezais. Esses preços servem como linha de base para subsidiar mecanismos de pagamentos por serviços ambientais (PSA), como no mercado de carbono. Como contexto empírico foi usado o estado do Ceará, Nordeste do Brasil, que possui cerca de 20 mil hectares (ha) desse ecossistema, focando, especificamente, em áreas de manguezais remanescentes e áreas de manguezais degradados nos municípios litorâneos de Acaraú e de Itarema.

Assim, a pesquisa busca preencher uma importante lacuna, proporcionando uma análise econômica do potencial dos manguezais para o armazenamento de carbono, ao mesmo tempo que contribui para a elaboração de políticas públicas orientadas à conservação e restauração desses ecossistemas, fortalecendo a economia azul. Ao quantificar os preços de equilíbrio para conservação e recuperação dos manguezais, o estudo pretende contribuir para a criação de mecanismos econômicos que incentivem a proteção ambiental, ao mesmo

tempo em que ofereçam benefícios econômicos claros para as comunidades locais.

Este capítulo está estruturado da seguinte forma: após esta introdução, que apresenta o contexto, o problema de pesquisa e os objetivos do estudo, a Seção 2 revisa o referencial teórico, abordando conceitos como serviços ecossistêmicos, PSA e sequestro e estoque de carbono. A Seção 3 descreve a área de estudo e metodologia empregada. Na Seção 4, são apresentados e discutidos os resultados obtidos por meio da avaliação dos preços de equilíbrio. Por fim, a Seção 5 traz as conclusões do estudo, destacando as implicações dos resultados para políticas públicas e sugerindo direções para futuras pesquisas sobre a valoração de práticas de conservação e restauração de manguezais.

A pesquisa pretende contribuir com os estudos sobre manguezais, especialmente com uma abordagem econômica de preços potenciais para subsidiar ações que visam a sustentabilidade desses ecossistemas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

Um ecossistema pode ser compreendido como uma unidade funcional complexa, refletindo um sistema dinâmico composto por comunidades de plantas, animais e microrganismos, interagindo com o ambiente não vivo. Os seres humanos, obviamente, também são parte integrante dos ecossistemas, que oferecem diversos benefícios e têm funções essenciais à manutenção dos recursos vivos e não vivos do planeta Terra. Esses benefícios e funções podem ser nomeados de serviços ecossistêmicos, incluindo serviços de provisão, regulação, culturais e de suporte (ALCAMO *et al.*, 2003; CONSTANZA *et al.*, 2014; UNEP-WCMC, 2011).

Os serviços de provisão referem-se aos bens tangíveis que obtemos dos ecossistemas, tais como alimentos, combustíveis, fibras, água potável e recursos genéticos. Os serviços de regulação são aqueles que resultam da modulação de processos do ecossistema, incluindo a manutenção da qualidade do ar, regulação climática, controle

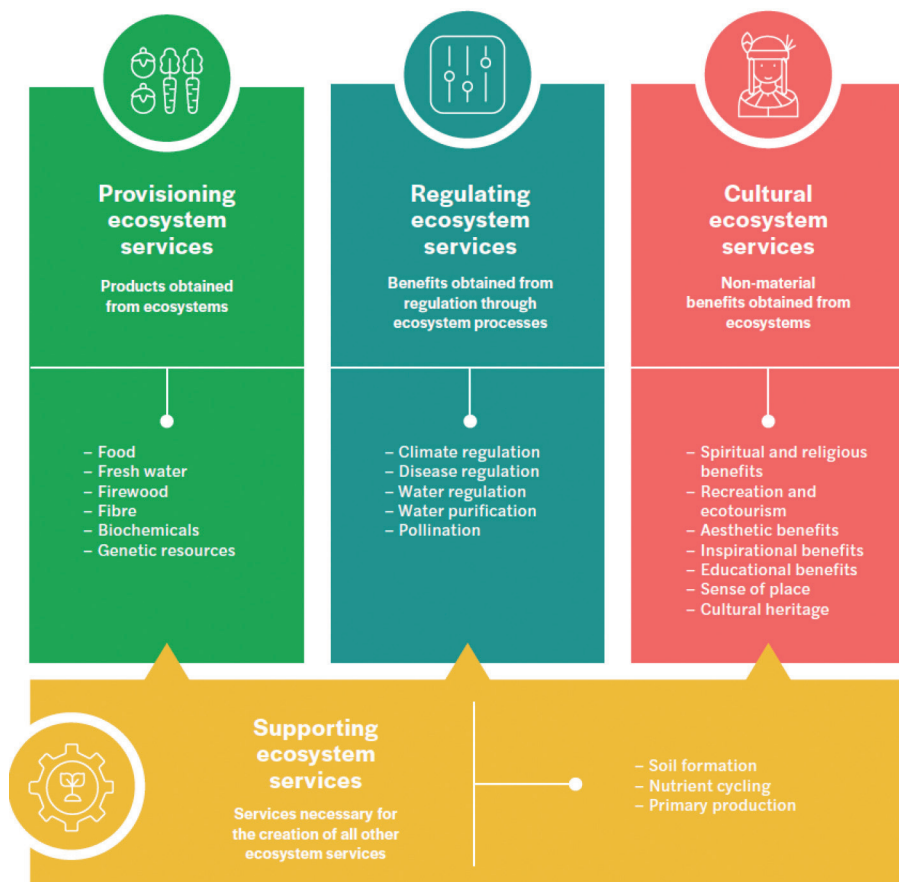
da erosão, mitigação de doenças e purificação da água. Por sua vez, os serviços culturais são os benefícios intangíveis que os ecossistemas proporcionam, contribuindo para a espiritualidade, promovendo o desenvolvimento cognitivo, a reflexão, o lazer e as experiências estéticas. Finalmente, os serviços de suporte são fundamentais para a existência de todos os outros serviços ecossistêmicos, abrangendo a produção primária, a geração de oxigênio e a formação do solo.

Os serviços ecossistêmicos desempenham um papel fundamental no bem-estar humano, influenciando-o de diversas formas. Esses serviços podem atuar de maneira direta, como no fornecimento de alimentos, água potável e materiais utilizados em nossa vida cotidiana, e também de forma indireta, por meio da manutenção dos processos naturais que sustentam os ecossistemas. Os impactos indiretos incluem a preservação dos serviços de suporte e regulação, que contribuem para o equilíbrio ambiental em diversas escalas, garantindo condições essenciais para a saúde e a segurança das populações. Esses serviços regulam desde a qualidade do ar e da água até a proteção contra desastres naturais, como enchentes e deslizamentos, que afetam profundamente a qualidade de vida das comunidades (UNEP-WCMC, 2011).

Além disso, os ecossistemas são responsáveis pela geração de benefícios culturais e sociais que afetam o bem-estar de forma subjetiva. Eles oferecem espaços para recreação, atividades de lazer, inspiração artística, e fornecem um senso de pertencimento e identidade para comunidades que vivem em contato próximo com o ambiente natural. Esses elementos culturais, embora frequentemente não monetizados, têm grande importância para a saúde mental e emocional das populações, contribuindo para uma sensação de conexão com a natureza e para a preservação de tradições e conhecimentos locais.

A Figura 1, a seguir, apresenta uma classificação desses quatro tipos de serviços ecossistêmicos, descrevendo e exemplificando tais serviços.

Figura 1 – Tipos de serviços ecossistêmicos



Fonte: del Valle e Starnfeld (2022), com base em Acalmó et al. (2003).

Esses serviços ecossistêmicos influenciam o bem-estar humano tanto diretamente, por meio do uso humano, quanto indiretamente, por meio de impactos nos serviços de suporte e regulação em outros ambientes (UNEP-WCMC, 2011).

Conforme apontado por Alcamo et al. (2003), ecossistemas e biodiversidade estão profundamente interligados. A biodiversidade refere-se à variabilidade dos organismos vivos que compõem os ecossistemas, incluindo tanto os ambientes terrestres quanto os aquáticos. Ela engloba não apenas a diversidade de espécies, mas também a di-

versidade genética dentro das espécies e a variedade dos complexos ecológicos aos quais pertencem. Essa diversidade é crucial para o funcionamento dos ecossistemas, pois cada elemento desempenha um papel específico que contribui para a estabilidade e a resiliência do sistema como um todo. Quanto maior a variabilidade, maior é a capacidade do ecossistema de se adaptar a mudanças e resistir a distúrbios, sejam eles naturais ou resultantes de atividades humanas. (ALCAMO *et al.*, 2003).

A biodiversidade é, portanto, uma característica fundamental dos ecossistemas, e a sua variabilidade determina a qualidade e a capacidade de provisão dos serviços ecossistêmicos. A perda de biodiversidade, por exemplo, compromete diretamente a capacidade dos ecossistemas de prestar serviços essenciais, como a polinização, que é fundamental para a produção de alimentos, ou a regulação climática, que ajuda a mitigar os impactos das mudanças climáticas. Essa interdependência significa que qualquer alteração na biodiversidade pode desencadear efeitos em cascata, afetando todos os outros serviços oferecidos pelos ecossistemas e, conseqüentemente, influenciando negativamente o bem-estar humano.

Os produtos da biodiversidade são muitos dos serviços que utilizamos diretamente, como alimentos, fibras, madeira e recursos genéticos utilizados para o desenvolvimento de medicamentos. Alterações na biodiversidade podem resultar em mudanças drásticas na capacidade dos ecossistemas de fornecer esses produtos, além de comprometer serviços indiretos como a purificação da água ou a manutenção da fertilidade do solo. Dessa forma, a conservação da biodiversidade não é apenas uma questão ambiental, mas também uma necessidade econômica e de saúde pública.

Um relevante exemplar de ambiente natural com significativa biodiversidade e com elevados serviços ecossistêmicos são os manguezais. Os manguezais se destacam nas áreas costeiras, particularmente na zona tropical, pelos vários serviços ecossistêmicos fornecidos (UNEP-WCMC, 2011). Mas os manguezais estão cada vez mais ameaçados por pressões generalizadas e crescentes sobre os recursos marinhos e costeiros, como pesca predatória, contaminação da água, destruição do habitat costeiro e perda geral da biodiversidade (FERREIRA; LACERDA, 2016).

Desmatamento, carcinicultura, expansão imobiliária e resíduos sólidos têm exercido um impacto significativo sobre os manguezais. Nessas áreas, povos e comunidades tradicionais frequentemente desenvolvem um modo de vida que depende dos serviços ecossistêmicos associados aos manguezais. Esses ecossistemas desempenham um papel importante no sequestro e armazenamento de gases do efeito estufa. Portanto, o manejo sustentável pode contribuir para a resiliência dos ecossistemas costeiros e para a promoção do desenvolvimento sustentável. A conservação e a restauração dos manguezais são, assim, elementos fundamentais para apoiar a sustentabilidade dentro do conceito da economia azul.

2.2 PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS

O valor econômico dos serviços ambientais certamente pode atingir cifras equivalentes a muitas dezenas de trilhões de dólares no mundo todo, e mesmo que esse valor não seja efetivamente reconhecido pela sociedade, desempenha uma importância grandiosa para a manutenção da vida no planeta Terra (BALASUBRAMANIAN, 2019). Esquemas de PSA podem indicar valores que buscam refletir ao menos parte desse valor inestimado.

O conceito de PSA emergiu como uma nova ferramenta econômica voltada à gestão ambiental, recebendo crescente atenção da sociedade e formuladores de políticas públicas. No contexto dos manguezais, o PSA vai além das tradicionais políticas de comando e controle, introduzindo os princípios do usuário-pagador e provedor-recebedor. Estes princípios estipulam que aqueles que usufruem dos benefícios providenciados pelos manguezais – ecossistemas essenciais para a proteção costeira, biodiversidade e economia local – devem contribuir financeiramente, enquanto os que conservam e mantêm esses ecossistemas devem ser devidamente recompensados.

Reinventar ou criar novas estratégias e mecanismos financeiros associados ao desenvolvimento ambiental é, na atualidade, uma urgência necessária devido às questões climáticas impostas. Estes mecanismos devem ser direcionados, especialmente, para as práticas de conservação e de restauração de ambientes naturais vulneráveis. Áreas de manguezais estão entre esses ambientes vulnerável e desempenham relevante papel na questão da sustentabilidade.

Metodologias de execução, monitoramento, verificação e certificação adequadas para projetos de PSA, podem transformar a percepção de exploração e degradação pela visão de alavancar o valor e a produtividade dessas áreas. Dado a grande relevância dos manguezais, em termos de sumidouro de carbono, a quantificação e valoração desse carbono tornam-se estratégicas para as novas formas de financiamento da sustentabilidade no mundo. Dentro dos mecanismos de PSA, que são essenciais nesse contexto, a precificação do carbono é bastante relevante.

Desde o ano de 2015 o mercado de crédito de carbono passou a crescer de forma mais significativa, sendo que de 2020 para 2021 houve um aumento de mais de US\$ 100 milhões na evolução mundial dos créditos de carbono gerados no mercado voluntário (VARGAS; DELAZERI; FERREIRA, 2022). Basicamente, um crédito de carbono é um título negociável, onde um crédito equivale a uma tonelada de emissões de CO₂ ou CO₂ equivalente (CO₂e) evitada ou capturada.

Esquemas de PSA são recentes no mundo, tendo sido bastante desenvolvido por governos, empresas e sociedade civil nas últimas décadas. No contexto brasileiro, já existem várias experiências com PSA, ainda que incipientes. Aproximadamente 15% (ou 838) dos municípios brasileiros executam este instrumento. Em 12% (ou 697) dos municípios a origem dos recursos para efetuarem os pagamentos é o próprio orçamento municipal, enquanto que governos estaduais ou federal são responsáveis pela origem dos recursos para os PSA em somente 3% (ou 174) dos municípios, seguido por doações e organizações não governamentais e pela iniciativa privada, que juntas respondem pela origem dos recursos para PSA em somente 2% (ou 101) dos municípios (IBGE, 2023).

Os tipos de ações envolvem a conservação e a recuperação ou melhoramento da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos (325 ações); recuperação e conservação dos solos e recomposição da cobertura vegetal e de áreas degradadas (218 ações); conservação de remanescentes da vegetação em áreas urbanas (217 ações); conservação e preservação da vegetação nativa e da vida silvestre (191 ações); conservação, recuperação ou preservação do ambiente natural nas áreas de Unidades de Conservação e Terras Indígenas (102 ações), captura e retenção de carbono (44 ações) e dentre outras ações (430), totalizando 1.527 ações no ano de 2020 (IBGE, 2023).

Mesmo com diversas experiências locais, o PSA ainda enfrenta desafios para ser implementado eficazmente, principalmente nas áreas de manguezais, onde as particularidades do ecossistema requerem atenção especial. Enquanto as zonas de florestas tropicais são priorizadas para a conservação da biodiversidade e estoque de carbono, as zonas costeiras e marinhas, como áreas de manguezais, se tornam vitais não apenas pela biodiversidade, mas também pelo papel crucial que desempenham no ciclo hídrico e na proteção costeira.

Para preencher as lacunas existentes, é vital intensificar os estudos relacionados ao PSA nos manguezais. Alguns caminhos a serem explorados incluem: desenvolver modelos de PSA que reconheçam a multifuncionalidade desses ecossistemas; estabelecer parâmetros claros para a avaliação e monitoramento dos serviços prestados pelos manguezais; identificar e priorizar áreas-chave para conservação; fornecer orientação sobre práticas e tecnologias de conservação; e engajar os setores privado e financeiro na adoção e financiamento dessas iniciativas.

O instrumento econômico de valoração ganha destaque globalmente por ser capaz de subsidiar a tomada de decisão de formuladores de políticas e de agentes privados em relação às estratégias de sustentabilidade de ecossistemas, porém, não podendo ser considerado uma espécie de “bala de prata” ou “resposta correta” que irá resolver todas as questões relacionadas à gestão de ecossistemas (DEL VALLE; STARNFELD, 2022; ENGEL; PAGIOLA; WUNDER, 2008).

2.3 SEQUESTRO E ESTOQUE DE CARBONO

Um dos serviços ecossistêmicos mais relevantes atualmente é a regulação climática, através do sequestro e do estoque de carbono, os quais têm grande aderência aos esquemas de PSA. Esses tipos de serviços têm um grande potencial de serem implementados, mas ainda são pouco explorados. O sequestro indica a quantidade de dióxido de carbono (CO₂) removido da atmosfera, enquanto que o estoque (ou armazenamento) indica a quantidade de carbono acumulada nas florestas. Esse estoque e fluxo de carbono ocorre tanto via florestas, como via oceanos. Tendo em vista as metas relacionadas ao clima, os mercados de carbono têm grande potencial para reduzir emissões e

incrementar o financiamento climático no Sul Global (TROUWLOON *et al.*, 2023).

Particularmente nas florestas, os manguezais têm grande capacidade de captura e estoque de carbono, superior àquela verificada, por exemplo, em florestas tropicais úmidas (ALONGI, 2014), como a Amazônia. Globalmente, os manguezais respondem por 10 a 15% de todo o estoque de carbono nas áreas costeiras, mesmo cobrindo menos de 0,5% dessas áreas (ALONGI, 2014). O sequestro e estoque de carbono ocorre via biomassa viva (acima e abaixo do solo), biomassa morta e solo, sendo que este último tem a maior capacidade de sequestro e estoque de carbono (ALONGI, 2014). Ainda como aponta Alongi (2014), o sequestro global de carbono em manguezais equivale a 24 Tg ao ano.

Ambientalmente, o Brasil é dotado de grande competitividade quanto ao potencial de captação de recursos para o financiamento de ambientes naturais, tendo os manguezais um papel de destaque. O Brasil tem grande capacidade de contribuir mundialmente como sumidouro de carbono, muito em função de sua extensa área costeira, tendo os manguezais papel relevante. O país tem uma das maiores áreas de manguezais do mundo, superior a 9% da área global, contanto com 8,5% de todo o estoque de carbono global, respondendo por 13,5% do sequestro de carbono nos solos de manguezais do mundo, tendo taxas de sequestro que são superiores em 15 a 30% das estimativas globais (ROVAI *et al.*, 2022).

Os manguezais brasileiros chegam a armazenar cerca de quatro vezes mais carbono que outros biomas do país (ROVAI *et al.*, 2022). Nas regiões semiáridas do Brasil, os manguezais são os principais responsáveis pelo sumidouro de carbono, armazenando cerca de duas vezes mais que outros ecossistemas do semiárido (NÓBREGA *et al.*, 2019). Portanto, na região Nordeste do país os manguezais são muito competitivos quanto à estratégia de armazenamento de carbono.

Parâmetros de estoque de carbono em manguezais são bem variados. Estimativas globais apontam para valores médio situados em 956 Mg/ha (ALONGI, 2014) e 856,1 Mg/ha (KAUFFMAN *et al.*, 2020). Rovai *et al.* (2022) estimaram, para os solos das áreas de mangue brasileiro, um valor médio do estoque de carbono em 281,0 Mg/ha, com valores médios em 67 Mg/ha, acima do solo, e 29 Mg/ha, abaixo do solo. Já Portela *et al.* (2020), estimaram um valor médio do estoque de carbono

vegetal em área de mangue, no Piauí, em 258,34 Mg/ha. Hatje *et al.* (2021) estimaram estoque de carbono no solo, na Bahia, em 263 Mg/ha.

Particularmente no Ceará, Jimenez *et al.* (2022) estimaram estoques médios de carbono no solo equivalentes a 202 Mg/ha, para mangues maduros, e com valores entre 105 a 115 Mg/ha, para mangues recuperados (3 e 7 anos, respectivamente). Rovai *et al.* (2022), estimara uma capacidade de estoque de carbono no solo em 253 Mg/ha, no Ceará. Kauffman *et al.* (2018) estimaram, em manguezais do estuário do Acaraú, no Ceará, estoques no solo entre 215 e 438 Mg/ha. Kauffman *et al.* (2020) estimaram, para amostras dos estados do Pará e do Ceará, estoque médio de carbono em 472,9 Mg/ha, com estoque médio no solo igual 154,9 Mg/ha, acima do solo igual a 125,2 Mg/ha e abaixo do solo em 346,7 Mg/ha.

Os parâmetros para sequestro de carbono em manguezais também variam. Alongi (2014) apresenta uma estimativa de taxa global em 1,74 Mg/ha ao ano. Rovai *et al.* (2022) estimaram, globalmente, taxas de sequestro de carbono em biomassa acima do solo em 3,89 Mg/ha ao ano, enquanto que em mangues brasileiros as estimaram ficaram em 3,18 Mg/ha ao ano, acima do solo, e em 2,81 Mg/ha ao ano, no solo. As taxas de sequestro de carbono no solo em manguezais foram estimadas por Hatje *et al.* (2021), na Bahia, em valores de 2,61 e 3,68 Mg/ha ao ano.

Toda essa capacidade de contribuir com a sustentabilidade, via efeitos associados às mudanças climática por meio do armazenamento e sequestro de carbono, exige estimativas de preços de equilíbrio para conservar as áreas de manguezais remanescentes e recuperar as áreas de manguezais degradadas. Desse modo, é possível subsidiar programas de PSA, através de crédito de carbono.

Particularmente os esquemas de PSA em ecossistemas manguezais ainda são pouco explorados nas políticas de carbono, havendo somente algumas poucas experiências no mundo (THOMPSON; PRIMAVERA; FRIESS, 2017). O não reconhecimento do valor dos manguezais contribui para que esses ecossistemas sejam degradados e ocorra uma substituição da paisagem com sua remoção, resultando em queda no bem-estar (RAHMAN; MAHMUD, 2018).

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi conduzido em áreas de manguezais localizadas no estado do Ceará, na região Nordeste do Brasil, com foco específico nos municípios de Acaraú e Itarema, situados no litoral oeste do estado. Nessas localidades, foram identificadas áreas de manguezais degradadas que se tornaram o foco de um projeto de recuperação, o qual visa obter financiamento para sua execução e revitalização. O projeto envolveu diretamente áreas indígenas protegidas, incluindo: Tremembé de Almofala, em Itarema, com uma extensão de 4.900 hectares; Tremembé do Córrego de Telhas, em Acaraú, abrangendo 3.177 hectares; e Tremembé de Queimadas, também em Acaraú, com 767 hectares.

O alcance do projeto, em termos de impactos socioeconômicos e ambientais, cobre toda a área dos dois municípios mencionados, que juntos somam 1.563 km² e são habitados por cerca de 101.445 pessoas. A área total de manguezais planejada para restauração é de 805 hectares, distribuídos nos estuários dos rios Acaraú e Aracatimirim. Além disso, há uma área de aproximadamente 5.000 hectares de manguezais que permanece conservada, localizada nos municípios de Acaraú e Itarema.

No contexto estadual, o Ceará possui um total estimado de 19.518 hectares de manguezais, distribuídos por 22 municípios ao longo do litoral, representando cerca de 1,4% da área total de manguezais do Brasil (LEÃO; PRATES; FUMI, 2018). Entre essas áreas, destacam-se os manguezais localizados nos municípios de Acaraú e Itarema, assim como aqueles situados na Região Metropolitana de Fortaleza, capital do estado. Esses manguezais são fundamentais não apenas pela biodiversidade que sustentam, mas também por suas funções ecológicas e pela importância socioeconômica para as comunidades locais.

Figura 2 – Área de estudo e frações de área de manguezais conservado e degradado



Fonte: PEDEA CE/SEMA - Limites Municipais (IPECE_2021)

No contexto nacional, apenas três estados - Maranhão, Pará e Amapá - concentram aproximadamente 80% da área total de manguezais do país. Em relação ao armazenamento de carbono, os manguezais do estuário do Rio Acaraú se destacam significativamente. De acordo com Kauffman *et al.* (2018), o estoque de carbono dessas áreas chega a 605 MgC/ha, um valor consideravelmente maior do que o encontrado em outros estuários do estado, como o Rio Jaguaribe, que possui um estoque de 224 MgC/ha. Esses dados reforçam a importância estratégica dos manguezais de Acaraú para a mitigação das mudanças climáticas, bem como a necessidade urgente de ações de conservação e restauração para preservar sua capacidade de sequestro de carbono e manutenção dos serviços ecossistêmicos.

3.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A metodologia adotada neste estudo baseou-se no trabalho de Jakovac *et al.* (2020) para estimar os preços de equilíbrio necessários tanto para a conservação dos manguezais remanescentes quanto para a recuperação de áreas de manguezais degradadas. Essa abordagem permite compreender os custos associados à manutenção e restauração desses ecossistemas cruciais, oferecendo uma base econômica para justificar a alocação de recursos em projetos de sustentabilidade.

Inicialmente, foi considerado o custo de oportunidade relacionado ao uso alternativo das áreas de manguezais. Este custo, também baseado em Jakovac *et al.* (2020), reflete o valor econômico potencial das atividades que poderiam ser realizadas nessas áreas, expresso em dólares por hectare (US\$/ha). Em paralelo, o valor potencial do estoque de carbono presente nas áreas foi calculado, tomando como base o tamanho da área (em hectares) e um parâmetro médio do estoque de carbono (CO₂/ha), conforme os cálculos de Kauffman *et al.* (2018), específicos para a região de estudo. Dessa forma, foi possível estimar o total de CO₂ estocado, considerando tanto as áreas a serem restauradas quanto as áreas já conservadas.

Para calcular os preços de equilíbrio do CO₂ relativos às práticas de conservação e recuperação dos manguezais, foram diferenciados dois cenários: conservação, que visa evitar emissões de CO₂; e recuperação, que busca remover as emissões. Para a conservação, o preço de equilíbrio do CO₂ foi estimado considerando o valor econômico que uma tonelada de CO₂ deveria atingir (US\$/tCO₂) para compensar o valor potencial do uso econômico alternativo das áreas de manguezais. Essencialmente, o custo de oportunidade por hectare (US\$/ha) foi dividido pela quantidade de emissões evitadas (tCO₂/ha), a qual é derivada do carbono armazenado na biomassa e no solo (CO₂/ha). Esse cálculo fornece o preço necessário para que a conservação da área seja uma escolha econômica viável, competindo com possíveis usos alternativos.

Para a recuperação dos manguezais degradados, foi necessário incorporar tanto o custo de oportunidade quanto o custo de recuperação das áreas em questão. Assim, o preço de equilíbrio do CO₂ foi obtido somando esses dois custos e dividindo o valor pelas emissões

de carbono removidas durante o processo de restauração do ambiente (tCO₂/ha). Este método permitiu definir o valor que compensaria a recuperação das áreas degradadas, refletindo o esforço financeiro necessário para restaurar a função ecológica dos manguezais.

Além disso, para cada uma das práticas ambientais – tanto a conservação quanto a recuperação – foram estabelecidos diferentes cenários, abrangendo níveis de 25%, 50% e 100%. Esses cenários permitiram avaliar o estoque de carbono perdido devido ao desmatamento e o potencial de recuperação desse carbono através das práticas de restauração. Também foram avaliadas as emissões evitadas em cada cenário, permitindo uma análise detalhada sobre a viabilidade de diferentes graus de intervenção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo destacam os preços de equilíbrio do carbono tanto para a conservação dos manguezais remanescentes quanto para a recuperação de manguezais degradados nos municípios de Acaraú e Itarema, no estado do Ceará. Esses valores são fundamentais para entender as condições econômicas necessárias para a viabilidade de práticas de conservação e restauração, oferecendo subsídios para o desenvolvimento de políticas públicas e estratégias de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA).

Para o cálculo do estoque de carbono, assumiu-se um valor de 605 MgC/ha, equivalente a 2.218 tCO₂/ha, conforme dados de Kaufman *et al.* (2018), especificamente para a área do município de Acaraú. O custo de oportunidade foi estimado em US\$ 5.100 por hectare, baseado no estudo de Jakovac *et al.* (2020), que forneceu um parâmetro para o valor potencial do uso econômico alternativo das áreas de manguezal. Além disso, o custo de recuperação foi estimado em US\$ 1.230 por hectare, valor que é consistente com estimativas para regiões em desenvolvimento apresentadas por Bayraktarov *et al.* (2016).

A Tabela 1 apresenta os preços de equilíbrio para a conservação das áreas de manguezais, levando em consideração diferentes cenários de perda ou conservação.

O preço de US\$ 2,30 por tonelada de CO₂ (tCO₂) representa o valor necessário para manter toda a área de manguezal remanescente, cobrindo os custos de oportunidade associados a potenciais usos alternativos. Em um cenário onde 50% da área de manguezal esteja em risco de perda, o preço necessário para a conservação da metade restante sobe para US\$ 4,60/tCO₂, enquanto que em um cenário de desmatamento que afeta 75% da área, o preço atinge US\$ 9,20/tCO₂.

Tabela 1 - Preços de equilíbrio para conservação de manguezais em Acaraú e Itarema, Ceará

Parâmetros	Unidades de medida	Cenários para conservação	Valores
Área remanescente	(ha)		5.000
Estoque de CO₂	(tCO ₂ /ha)		2.218
Estoque total	(tCO ₂)		11.091.667
Emissões evitadas	(tCO ₂)	25%	2.772.917
		50%	5.545.833
		100%	11.091.667
Custo de oportunidade	(US\$/ha)		5.100,00
Preço de equilíbrio	(US\$/tCO ₂)	25%	9,20
		50%	4,60
		100%	2,30
	(US\$/ha)	25%	20.400,00
		50%	10.200,00
		100%	5.100,00

Fonte: autores

Esses valores demonstram que, à medida que a área de manguezal disponível para conservação se reduz, o preço de equilíbrio do CO₂ necessário para garantir a viabilidade da conservação aumenta. Isso se deve à crescente necessidade de compensar os custos econômicos associados ao uso alternativo da terra, o que evidencia a importância de intervenções precoces e proativas na preservação desses ecossistemas. A conservação integral dos manguezais evitaria a liberação de 2,77 a 11,09 milhões de toneladas de CO₂ (TgCO₂) para a atmosfera, reforçando o papel crucial dos manguezais como sumidouros de carbono e contribuindo significativamente para a mitigação das mudanças climáticas.

No caso da recuperação de áreas de manguezal degradadas, a Tabela 2 apresenta os preços de equilíbrio necessários para restabelecer essas áreas, considerando também diferentes cenários de restauração. O preço de equilíbrio para recuperar 100% da área degradada foi estimado em US\$ 2,85/tCO₂. Se apenas 50% do carbono perdido for recuperado, o preço necessário aumenta para US\$ 5,71/tCO₂, e no cenário de recuperação de apenas 25%, o preço chega a US\$ 11,41/tCO₂.

Esses resultados indicam que o custo de recuperação por tonelada de carbono removido é mais elevado do que o custo associado à conservação de áreas não degradadas. Isso reflete a complexidade e o esforço financeiro maior necessários para reverter danos já causados ao ecossistema, incluindo a restauração da estrutura física dos manguezais, o plantio de novas mudas e o manejo contínuo necessário para garantir que a vegetação restaurada se estabeleça e cresça de forma saudável. A recuperação dos manguezais degradados poderia sequestrar entre 0,45 a 1,79 milhões de toneladas de CO₂, destacando a importância do investimento em estratégias de restauração como parte dos esforços globais de mitigação climática.

Tabela 2 - Preços de equilíbrio para recuperação de manguezais em Acaraú e Itarema, Ceará

Parâmetros	Unidades de medida	Cenários para recuperação	Valores
Área a ser recuperada	(ha)		805
Estoque de CO ₂	(tCO ₂ /ha)		2.218
Estoque total	(tCO ₂)		1.785.758
Emissões removidas	(tCO ₂)	25%	446.440
		50%	892.879
		100%	1.785.758
Custo de oportunidade	(US\$/ha)		5.100,00
Custo de recuperação	(US\$/ha)		1.230,31
Preço de equilíbrio	(US\$/tCO ₂)	25%	11,41
		50%	5,71
		100%	2,85
	(US\$/ha)	25%	25.321,23
		50%	12.660,61
		100%	6.330,31

Fonte: autores

O preço igual a US\$ 2,85 por tCO₂ representa o valor que seria suficiente para recuperar a área de manguezal degradada, considerando o custo de oportunidade para os usos alternativos do manguezal e o custo de recuperação da área degradada. Caso fossem recuperados 50% dos estoques de CO₂, o preço para restaurar metade da área deveria ser igual a US\$ 5,71. No caso da recuperação de 25% da área pelo projeto de restauração, o preço deveria ser de US\$ 11,41 por tCO₂. Uma menor área recuperada, ou maior área permanecendo degradada, exigiria maior retorno em termos de preço do CO₂. Esses valores sugerem que a restauração dos manguezais degradados pode sequestrar de 0,45 a 1,79 TgCO₂ na área estudada.

Os preços de conservação e recuperação foram similares aos encontrados por outros estudos, como Jakovac *et al.* (2020). Além disso, a amplitude dos preços nos vários cenários foi bem menor que a verificada por outros autores, como Li e Martino (2024). As estimativas de preços de equilíbrio mostram que seriam suficientes preços de carbono relativamente baixos para compensar o custo de oportunidade do uso das áreas de manguezais, inclusive com o acréscimo do custo de restauração das áreas já degradadas.

Os resultados mostram que preços de carbono relativamente baixos podem ser suficientes para compensar os custos de oportunidade das áreas de manguezais, mesmo quando incluído o custo adicional de recuperação das áreas degradadas. Entretanto, como esperado, o custo para restaurar ecossistemas degradados é significativamente maior do que o custo de simplesmente conservar áreas que ainda não foram impactadas. Isso reforça a máxima de que “prevenir é melhor do que remediar” também no contexto ambiental. Os resultados sugerem que uma abordagem preventiva, focada em manter intactas as áreas de manguezais, requer menos investimento do que as ações de recuperação, as quais implicam custos mais altos devido à necessidade de restabelecer as condições naturais e as funções ecossistêmicas.

Nas últimas décadas, os municípios de Acaraú e Itarema enfrentaram uma intensa degradação de seus manguezais, causada principalmente por atividades antrópicas, como a carcinicultura não regulamentada, que gera resíduos prejudiciais, e o desmatamento, frequentemente impulsionado pela expansão imobiliária e turística. Esses fatores resultaram em uma perda significativa de áreas de man-

guezal, o que aumenta a necessidade de políticas de conservação e recuperação mais eficazes.

Os preços de equilíbrio calculados para conservação e recuperação são compatíveis com os padrões atuais do mercado de carbono, como apontado pelo World Bank (2023). Isso indica uma oportunidade real para que os manguezais do Ceará sejam incluídos em esquemas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), nos quais o valor do carbono sequestrado ou evitado pode ser utilizado como incentivo financeiro para garantir a preservação e a recuperação desses ecossistemas. Os formuladores de políticas devem considerar não apenas a conservação imediata das áreas remanescentes, mas também estratégias para incentivar a recuperação de áreas degradadas, garantindo assim que os serviços ecossistêmicos dos manguezais – como a proteção contra inundações e o sequestro de carbono – continuem contribuindo para o bem-estar das comunidades locais e para a mitigação das mudanças climáticas.

5 CONCLUSÃO

Este estudo objetivou realizar uma valoração do preço de equilíbrio do CO₂ que compensasse economicamente a conservação e a restauração dos manguezais no litoral cearense. Os resultados sugerem que a conservação e a recuperação dessas áreas são viáveis economicamente, considerando os preços de carbono estimados. Os valores encontrados são indicativos de que práticas de conservação e recuperação podem ser financiadas de forma sustentável, inclusive por meio de mecanismos de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), como o mercado de crédito de carbono.

Os preços de equilíbrio calculados, que variaram entre US\$ 230 e US\$ 1141 por tonelada de CO₂, demonstram a viabilidade dessas ações, principalmente em comparação com custos de oportunidade e custos de recuperação das áreas. O preço necessário para conservar as áreas de manguezal, que começa em US\$ 230/tCO₂, mostra um potencial significativo para a atração de investimentos por meio do mercado de carbono, oferecendo um caminho economicamente vantajoso para prevenir a degradação ambiental. Já os preços para a recuperação das áreas degradadas, mais elevados, destacam a importância de priori-

zar a prevenção da degradação ao invés da remediação posterior, que acarreta maiores custos.

Em termos de análise custo-benefício, além dos aspectos financeiros ligados aos créditos de carbono, é importante destacar os benefícios adicionais da conservação e recuperação dos manguezais, tais como a proteção contra a erosão costeira, a melhoria da qualidade da água e o suporte à biodiversidade local, todos essenciais para a resiliência dos ecossistemas e das comunidades costeiras. Esses benefícios não apenas evitam custos associados a danos ambientais futuros, como também melhoram a qualidade de vida das populações locais e contribuem para o fortalecimento da economia azul.

Assim, a abordagem custo-benefício deve considerar, além do valor de mercado dos créditos de carbono, os serviços ecossistêmicos que incluem provisão (pesca e coleta de produtos naturais), regulação (como sequestro de carbono e proteção contra enchentes), suporte (ciclo de nutrientes) e serviços culturais (turismo, educação e preservação cultural). Todos esses elementos reforçam o valor econômico e socioambiental da conservação dos manguezais, justificando o investimento em estratégias de preservação e recuperação, além de sinalizar a relevância para formuladores de políticas públicas e investidores em mercados de carbono.

Recomenda-se para estudos futuros uma análise detalhada que inclua a valorização desses benefícios adicionais e que explore diferentes fontes de financiamento, considerando a participação do setor privado, além de parcerias com comunidades locais para garantir o engajamento e a sustentabilidade das ações de conservação.

REFERÊNCIAS

Alcamo, J., Ash, N. J., Butler, C. D., Callicott, J. B., Capistrano, D. *et al.* (2003). Ecosystems and human well-being: A Framework for assessment. Millennium Ecosystem Assessment, Island Press, Washington DC.

Alongi, D. M. (2014). Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science*, 6, 195-219. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>

Alongi, D. M. (2020). Global significance of mangrove blue carbon in climate change mitigation. *Sci*, 2(3), 67. <https://doi.org/10.3390/sci2030067>

Balasubramanian, M. (2019). Economic value of regulating ecosystem services: a comprehensive at the global level review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(10), a. 616. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7758-8>

Bayraktarov, E., Saunders, M. I., Abdullah, S., Mills, M., Beher, J., Possingham, H. P., Mumby, P. J., & Lovelock, C. E. (2016). The cost and feasibility of marine coastal restoration. *Ecological Applications*, 26(4), 1055-1074. <https://doi.org/10.1890/15-1077>

Bennett, N. J., Blythe, J., White, C. S. & Campero, C. (2021). Blue growth and blue justice: Ten risks and solutions for the ocean economy. *Marine Policy*, 125, 104387. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104387>

Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I., Farber, S. & Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change* 26, 152-158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>

del Valle, M. F. C. & Starnfeld, F. (2022). *Guide to the economic valuation of marine and coastal ecosystem services*. Bio-Bridge Initiative.

Engel, S., Pagiola, S. & Wunder, S. (2008). Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. *Ecological Economics*, 65(4), 663-674. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.03.011>

Estrada, G. C. D., Soares, M. L. G., Fernandez, V. & de Almeida, P. M. M. (2015). The economic evaluation of carbon storage and sequestration as ecosystem services of mangroves: A case study from southeastern Brazil. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 11(1), 29-35. <https://doi.org/10.1080/21513732.2014.963676>

Ferreira, A. C. & Lacerda, L. D. (2016). Degradation and conservation of Brazilian mangroves, status and perspectives. *Ocean & Coastal Management*, 125, 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.03.011>

Hatje, V., Masqué, P., Patire, V. F., Dórea, A. & Barros, F. (2021). Blue carbon stocks, accumulation rates, and associated spatial variability in Brazilian mangroves. *Limnology and Oceanography*, 66(2), 321-334. <https://doi.org/10.1002/lno.11607>

IBGE – FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2023). *MUNIC - Pesquisa de Informações Básicas Municipais*. <https://www.>

ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/10586-pesquisa-de-informacoes-basicas-municipais.html. Acesso em: 02 abr. 2023.

ICC Brasil & WayCarbon (2023). *Oportunidades para o Brasil em mercados de carbono*. Relatório 2023.

Jakovac, C. C., Latawiec, A. E., Lacerda, E., Lucas, I. L., Korys, K. A., Iribarrem, A., Malaguti, G. A., Turner, R. K., Luisetti, T. & Strassburg, B. B. N. (2020). Costs and carbon benefits of mangrove conservation and restoration: A global analysis. *Ecological Economics*, *176*, 106758. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106758>

Jimenez, L. C. Z., Queiroz, H. M., Nóbrega, G. N., Romero, D. J., Deng, Y., Otero, X. L. & Ferreira, T.O. (2022). Recovery of soil processes in replanted mangroves: Implications for soil functions. *Forests*, *13*, 422. <https://doi.org/10.3390/f13030422>

Kauffman, J. B., Adame, M. F., Arifanti, V. B., Schile-Beers, L. M., Bernardino, A. F., Bhomia, R. K., Donato, D. C., Feller, I. C., Ferreira, T. O., Garcia, M. del C. J., MacKenzie, R. A., Megonigal, J. P., Murdiyarso, D., Simpson, L. & Trejo, H. H. (2020). Total ecosystem carbon stocks of mangroves across broad global environmental and physical gradients. *Ecological Monographs*, *90*(2), e01405. <https://doi.org/10.1002/ecm.1405>

Kauffman, J. B., Bernardino, A. F., Ferreira, T. O., Bolton, N. W., Gomes, L. E. de O. & Nobrega, G. M. (2018). Shrimp ponds lead to massive loss of soil carbon and greenhouse gas emissions in northeastern Brazilian mangroves. *Ecology and Evolution*, *8*(11), 5221-5963. <https://doi.org/10.1002/ece3.4079>

Leão, A. R., Prates, A. P. L. & Fumi, M. (2018). Manguezal e as unidades de conservação. In *Atlas dos Manguezais do Brasil*. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.

Li, X. & Martino, S. (2024). Assessing the economic feasibility of voluntary carbon markets in land use management scenarios for Scottish saltmarshes. *Ocean & Coastal Management*, *251*, 107099. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107099>

Mulazzani, L. & Malorgio, G. (2017). Blue growth and ecosystem services. *Marine Policy* *85*, 17-24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2017.08.006>

Nóbrega, G. N., Ferreira, T. O., Siqueira Neto, M., Mendonça, E. de S., Romero, R. E. & Otero, X. L. (2019). The importance of blue carbon soil stocks in tropical semiarid mangroves: A case study in Northeastern Brazil. *Environmental Earth Sciences*, *78*, 369. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8368-z>

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. (2016). *The ocean economy in 2030*. OECD Publishing.

Portela, M. G. T., de Espindola, G. M., Valladares, G. S., Amorim, J. V. A. & Frota, J. C. O. (2020). Vegetation biomass and carbon stocks in the Parnaíba River Delta, NE Brazil. *Wetlands Ecology and Management*, **28**, 607-622. <https://doi.org/10.1007/s11273-020-09735-y>

Rahman, M. M. & Mahmud, M. A. (2018). Economic feasibility of mangrove restoration in the Southeastern Coast of Bangladesh. *Ocean & Coastal Management*, **161**, 211-221. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.05.009>

Rovai, A. S., Twilley, R. R., Worthington, T.A. & Riul, P. (2022). Brazilian mangroves: blue carbon hotspots of national and global relevance to natural climate solutions. *Frontiers in Forests and Global Change*, **4**, 787533. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.787533>

Soares, M. O., Bezerra, L. E. A., Copertino, M., Lopes, B. D., Barros, K. V. de S., Rocha-Barreira, C. A., Maia, R. C., Beloto, N. & Cotovicz Jr, L. C. (2022). Blue carbon ecosystems in Brazil: overview and an urgent call for conservation and restoration. *Frontiers in Marine Science*, **9**, 797411. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.797411>

Thompson, B. S., Primavera, J. H. & Friess, D. A. (2017). Governance and implementation challenges for mangrove forest Payments for Ecosystem Services (PES): Empirical evidence from the Philippines. *Ecosystem Services*, **23**, 146-155. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.12.007>

Trouwloon, D., Streck, C., Chagas, T. & Martinus, G. (2023). Understanding the use of carbon credits by companies: A review of the defining elements of corporate climate claims. *Global Challenges*, **7**(4), 2200158. <https://doi.org/10.1002/gch2.202200158>

UNEP-WCMC. (2011). Marine and coastal ecosystem services: Valuation methods and their practical application. UNEP-WCMC Biodiversity Series, 33.

Vargas, D. B., Delazeri, L. M. M. & Ferreira, V. H. P. (2022). Mercado de Carbono Voluntário no Brasil: Na Realidade e na Prática. Fundação Getúlio Vargas.

World Bank. (2023). State and trends of carbon pricing 2023. World Bank Group.

CAPÍTULO SEIS

FATORES QUE AFETAM A ACEITAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA OFFSHORE NO LITORAL DO CEARÁ

Francisco Wellington Ribeiro¹⁷

Raimundo Eduardo Silveira Fontenele¹⁸

Sissi Maria de Freitas¹⁹

1 INTRODUÇÃO

A energia eólica tem experimentado um significativo avanço nos últimos anos, consolidando-se como um tema central na agenda política global, em resposta à crescente demanda por fontes de energia renováveis e à necessidade urgente de descarbonizar a matriz energética mundial. Este crescimento despertou o interesse não apenas de formuladores de políticas públicas, mas também do meio acadêmico, atraindo pesquisas que buscam entender os impactos sociais, ambientais e econômicos da implementação de parques eólicos, tanto *onshore* quanto *offshore*.

Segundo Tabassum-Abbasi *et al.* (2014), a energia eólica apresenta os menores impactos ambientais adversos entre as fontes de energia renováveis, com exceção do calor solar direto e da luz solar. No entanto, há também preocupações crescentes em relação aos potenciais impactos negativos, especialmente sobre o clima e sobre ecossistemas locais, que tendem a se intensificar à medida que o uso da energia eólica se expande (ABBASI *et al.*, 2016).

A energia eólica *offshore*, em particular, oferece uma alternativa promissora para a geração de eletricidade devido aos ventos mais constantes e de maior intensidade no ambiente marinho. A tecnologia *offshore* tem sido utilizada na Europa desde o início dos anos 1990 e nos Estados Unidos desde o início dos anos 2000. A China é, atual-

17 Economista; Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pelo PRODEMA-UFC; Doutorando em Administração e Controladoria pelo PPAC-UFC. Núcleo de Estudos em Economia do Mar – NEMA, Fortaleza, Ceará, Brasil.

18 Professor da Universidade Federal do Ceará – UFC; Programa de Pós-graduação em Administração e Controladoria – PPAC-UFC. Núcleo de Estudos em Economia do Mar – NEMA, Fortaleza, Ceará, Brasil.

19 Economista, Graduada em Ciências Econômicas pela FEAAC-UFC.

mente, o maior produtor mundial de energia eólica, enquanto o Reino Unido lidera a produção total de energia eólica offshore. O Brasil, por sua vez, ocupa o sexto lugar no ranking global de produção de energia eólica, porém com uma infraestrutura ainda limitada à geração onshore (GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL, 2023).

A energia eólica *offshore* refere-se à geração de eletricidade a partir de turbinas eólicas construídas na plataforma continental, geralmente a cerca de 10 km da costa e a uma profundidade de 10 metros. Esses aerogeradores precisam ser fixados ao fundo do mar, exigindo uma estrutura de sustentação sólida, além de cabos submarinos para a transmissão da eletricidade gerada. As operações de construção e manutenção requerem embarcações e equipamentos especializados, o que agrega complexidade e custo à tecnologia, mas também permite explorar locais com ventos mais fortes e constantes, contribuindo para uma maior eficiência energética (GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL, 2023).

Embora a energia eólica *onshore* já esteja consolidada na matriz energética brasileira, a implementação de energia eólica *offshore* no país é um tema novo e desafiador, que requer um entendimento profundo das especificidades do ambiente marinho, das condições locais e, principalmente, da aceitação dos stakeholders. A aceitação pública e o engajamento dos diversos grupos interessados são fundamentais para garantir a sustentabilidade e o sucesso a longo prazo dos projetos de energia renovável, como demonstrado por estudos prévios em diferentes contextos (CHEN *et al.*, 2015; CHRISTIE *et al.*, 2014).

Neste contexto, a pesquisa busca responder à seguinte questão: *Quais são os principais fatores que determinam a aceitação dos stakeholders locais em relação à implantação de parques de energia eólica offshore no litoral do Ceará?*

A aceitação dos diversos grupos envolvidos - como pescadores, comerciantes, agentes públicos, turistas e residentes locais - é essencial, uma vez que a instalação de turbinas eólicas no mar pode afetar diretamente atividades de pesca, usos recreativos do espaço costeiro e práticas culturais tradicionais, tornando necessário compreender as percepções e preocupações de cada um desses grupos para garantir um desenvolvimento sustentável e inclusivo.

O **objetivo principal** deste estudo é identificar os fatores que influenciam a aceitação da implantação de parques de energia eólica

offshore pelos *stakeholders* no litoral oeste do estado do Ceará. Para atingir esse objetivo, foi aplicado um questionário (*survey*) aos *stakeholders* locais, seguido de uma análise de regressão logística para examinar a relação entre características pessoais, nível de conhecimento e percepções de impacto em relação à energia eólica *offshore*. A pesquisa também busca contribuir para o debate sobre a governança dos recursos marinhos, enfatizando a importância da aceitação social e do planejamento espacial marítimo para garantir a coexistência entre as novas tecnologias de geração de energia e as atividades tradicionais, como a pesca artesanal.

Este capítulo está estruturado da seguinte forma: após esta introdução, que apresenta o contexto, o problema de pesquisa e os objetivos do estudo, a **Seção 2** revisa o referencial teórico, abordando conceitos como a teoria dos bens comuns e as implicações da governança no uso de recursos marinhos. A Seção 3 descreve a metodologia empregada, incluindo a coleta de dados e os modelos de regressão utilizados para a análise. Na **Seção 4**, são apresentados e discutidos os resultados obtidos por meio da análise de regressão logística, evidenciando os fatores que influenciam a aceitação dos *stakeholders*. Por fim, a **Seção 5** traz as conclusões do estudo, destacando as implicações dos resultados para políticas públicas e sugerindo direções para futuras pesquisas sobre a aceitação da energia eólica *offshore*.

Os resultados deste estudo são particularmente relevantes para informar a formulação de políticas públicas que possam mitigar os conflitos entre diferentes usos do espaço marítimo e maximizar os benefícios sociais e econômicos da energia eólica *offshore*, promovendo um desenvolvimento sustentável que integre as demandas dos *stakeholders* locais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TEORIA DOS COMUNS

A tragédia dos comuns é um conceito amplamente discutido na teoria econômica e ambiental, popularizado pelo ecologista Garrett Hardin em seu artigo seminal de 1968. O termo refere-se a uma situa-

ção na qual indivíduos, agindo de forma racional e em busca de seus próprios interesses, acabam explorando um recurso compartilhado de forma excessiva, levando à sua degradação ou esgotamento (HARDIN, 1968). No contexto das mudanças climáticas, a tragédia dos comuns é frequentemente citada como uma das principais razões pelas quais a governança efetiva tem sido difícil de alcançar (PATT, 2017).

Na tragédia dos comuns, um recurso comum, como um pasto, floresta ou atmosfera, é acessível a todos os indivíduos sem restrições. Cada indivíduo tem incentivos para explorar o recurso o máximo possível, uma vez que os benefícios diretos recaem sobre ele, enquanto os custos são compartilhados por todos (OSTROM, 1960). A lógica individual de maximização de benefícios leva a um uso excessivo do recurso, levando à sua degradação ou esgotamento. Um exemplo clássico é o de um pasto compartilhado por diversos criadores de gado. Cada criador tem incentivos para adicionar mais animais ao pasto, a fim de maximizar seus lucros individuais. No entanto, quando todos os criadores agem dessa forma, o pasto fica sobrecarregado, levando à degradação do solo e à escassez de alimento para os animais (HARDIN, 1968).

A tragédia dos comuns tem implicações diretas para as mudanças climáticas, uma vez que a atmosfera é um recurso compartilhado por todos os países e indivíduos (PATT, 2017). As atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis, resultam na liberação de gases de efeito estufa na atmosfera, que contribuem para o aquecimento global (IPCC, 2021). Embora os impactos negativos do aquecimento global sejam compartilhados globalmente, os benefícios imediatos da queima de combustíveis fósseis, como energia e desenvolvimento econômico, são colhidos individualmente pelos países e setores.

Essa assimetria entre os custos e benefícios incentiva os países e os atores individuais a não agirem de forma cooperativa na redução das emissões de gases de efeito estufa. Cada país pode ter o incentivo de explorar seus recursos naturais e emitir mais gases de efeito estufa para impulsionar seu crescimento econômico, mesmo que isso contribua para a mudança climática global. No entanto, quando todos os países agem dessa forma, os custos coletivos do aquecimento global se tornam insustentáveis (PATT, 2017).

A pesca artesanal é uma atividade tradicional que, em muitas comunidades costeiras, representa não apenas uma fonte de subsis-

tência e segurança alimentar, mas também uma expressão cultural profundamente enraizada. Com a introdução de projetos de energia eólica *offshore*, surgem desafios e potenciais conflitos em relação ao acesso e ao uso do mar. As áreas escolhidas para a instalação das turbinas eólicas podem coincidir com as zonas de pesca artesanal, reduzindo o espaço disponível para pescadores locais e afetando suas rotas de navegação e pontos de pesca (CHEN *et al.*, 2015).

Esses conflitos evidenciam a complexidade da gestão dos bens comuns no contexto marinho. A lógica da tragédia dos comuns se manifesta aqui na competição entre a maximização do benefício privado das empresas de energia, que desejam ocupar áreas marítimas para a geração de energia limpa e rentável, e os interesses dos pescadores artesanais, que dependem dos mesmos espaços para sua subsistência de suas famílias e geração de renda. Essa sobreposição de interesses pode levar à degradação dos recursos marinhos, tanto pelo impacto direto da instalação das turbinas e infraestrutura associada quanto pela restrição de acesso a áreas de pesca tradicionais.

Muitas das dificuldades em garantir o sucesso dos projetos na fase de implementação podem ser compreendidas como uma manifestação da insuficiência de aceitação social. Esse fenômeno também envolve a resistência de atores-chave e formuladores de políticas em aceitar e adotar políticas eficazes. Para superar tais desafios, é necessária a institucionalização de estruturas que promovam e ampliem, de maneira efetiva, a aceitação tanto pela comunidade quanto pelo mercado. Exemplos dessas estruturas incluem o estabelecimento de sistemas financeiros confiáveis que incentivem novos investidores e a criação de sistemas de planejamento espacial que estimulem processos colaborativos de tomada de decisão (WÜSTENHAGEN *et al.*, 2007).

Além disso, a pesca artesanal, por sua própria natureza, é uma atividade de uso comum que depende da manutenção sustentável dos estoques pesqueiros e do equilíbrio ecológico. O impacto potencial das estruturas de energia eólica sobre os ecossistemas marinhos — seja pela alteração de habitats ou pela instalação de cabos submarinos — também suscita preocupações que afetam diretamente as condições para a prática da pesca artesanal. Esses efeitos podem incluir a perturbação das rotas migratórias de peixes, a degradação dos habitats do fundo do mar, e até impactos sobre a cadeia alimentar marinha,

elementos essenciais para a viabilidade dos pescadores locais (BERGSTROM *et al.*, 2013).

A resolução de conflitos e a prevenção da tragédia dos comuns no mar requerem um esforço significativo de governança que seja inclusivo e adaptativo (OSTROM, 2009). É necessário engajar todos os stakeholders, incluindo pescadores artesanais, empresas de energia, comunidades costeiras e o governo, em um processo de planejamento e gestão colaborativo. Políticas públicas eficazes precisam balancear a expansão das energias renováveis com a preservação dos meios de vida tradicionais, assegurando que as comunidades locais possam se beneficiar dos recursos marinhos sem serem excluídas ou marginalizadas.

Este cenário destaca a importância de uma abordagem de gestão integrada dos oceanos, que considere a equidade no uso dos recursos e a participação das comunidades locais nas tomadas de decisão. A consideração de elementos da teoria dos comuns na formulação dessas políticas pode ajudar a prevenir conflitos e a promover uma exploração mais sustentável dos recursos marinhos, conciliando o desenvolvimento de novas tecnologias energéticas com a manutenção de práticas tradicionais e a proteção do meio ambiente.

2.2 REGULAÇÃO, LEI E PLANEJAMENTO COSTEIRO MARINHO

A exploração e o desenvolvimento da energia azul nos ambientes costeiros e marinhos têm despertado um interesse crescente em escala global, e no Brasil não é diferente. A energia eólica *offshore* se apresenta como uma alternativa promissora, especialmente no estado do Ceará, onde as condições dos ventos e a localização geográfica oferecem um grande potencial para o desenvolvimento desse tipo de empreendimento. No entanto, a utilização dessas fontes de energia renovável enfrenta desafios específicos, principalmente no que se refere à regulação, legislação e planejamento territorial (GARCÍA *et al.*, 2019).

No estado do Ceará, os projetos de energia eólica *offshore* necessitam de uma regulamentação específica que considere as particularidades da região, incluindo aspectos ambientais, econômicos e sociais. A regulação e a lei marinha desempenham um papel funda-

mental no desenvolvimento sustentável da energia azul, exigindo um quadro jurídico claro e abrangente que defina os direitos e responsabilidades dos atores envolvidos, além dos procedimentos para a obtenção de licenças e autorizações. A regulamentação adequada é crucial, especialmente em contextos onde há sobreposição de interesses, como ocorre no litoral cearense, que abriga tanto comunidades pesqueiras quanto um grande potencial de exploração de recursos energéticos.

A experiência internacional, como a Diretiva-Quadro da Estratégia Marinha da União Europeia, pode servir de exemplo para o desenvolvimento de políticas nacionais e estaduais no Brasil. Essa diretiva estabelece um marco legal para a gestão sustentável das atividades marinhas, incluindo a energia azul, e exige a adoção de planos de gestão marinha pelos Estados membros para garantir a proteção do ambiente marinho e promover a coordenação entre diferentes setores marítimos (GARCÍA *et al.*, 2019). No Ceará, é necessário criar um planejamento similar, adaptado às características locais, que possa conciliar o desenvolvimento de projetos de energia eólica *offshore* com a preservação dos recursos naturais e os interesses das comunidades locais.

Além disso, a União Europeia implementa legislações específicas, como a Diretiva de Energias Renováveis e a Diretiva do Ambiente Marinho, que estabelecem metas e diretrizes para a promoção da energia azul, levando em consideração os impactos ambientais e sociais (GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL, 2023). A aplicação de um arcabouço legal similar no contexto cearense poderia facilitar a integração da energia eólica *offshore* com outras atividades tradicionais da região, como a pesca e o turismo.

O planejamento costeiro marinho desempenha um papel essencial na identificação de áreas adequadas para a instalação de infraestrutura de energia azul, considerando os múltiplos usos do espaço marítimo, como pesca, navegação, turismo e conservação da natureza. No Ceará, onde comunidades tradicionais dependem do mar para sua subsistência, o ordenamento do espaço costeiro é fundamental para evitar conflitos e garantir que a introdução de parques eólicos *offshore* ocorra de forma harmoniosa e sustentável. A elaboração de planos de ordenamento do espaço costeiro e marítimo deve, portanto, equilibrar os interesses dos diferentes setores, possibilitando uma abordagem integrada e que atenda às necessidades de todos os envolvidos (SALVADOR, 2018).

A integração da energia eólica *offshore* no litoral cearense requer uma governança robusta, com a participação ativa de todos os *stakeholders* - incluindo comunidades pesqueiras, empresas de energia, órgãos governamentais e organizações não governamentais - em processos de decisão que sejam transparentes e inclusivos. Isso é particularmente importante em contextos como o do Ceará, onde a pesca artesanal é uma atividade de grande importância econômica e cultural. As áreas designadas para a instalação de parques eólicos *offshore* muitas vezes coincidem com zonas de pesca artesanal, o que pode reduzir o acesso dos pescadores locais a essas áreas, impactando suas rotas de navegação e os pontos de pesca. Esses conflitos evidenciam a necessidade de um planejamento que permita a coexistência das atividades de exploração de energia com os meios de vida tradicionais das comunidades locais.

O desenvolvimento de uma política de gestão integrada dos recursos marítimos no Ceará, baseada em práticas internacionais e adaptada às necessidades locais, é essencial para assegurar o uso sustentável do espaço marítimo. Conforme observado por García et al. (2019), um planejamento bem estruturado pode desempenhar um papel crucial na identificação e mitigação de potenciais impactos socioambientais associados à energia azul. Tal enfoque é fundamental para minimizar os efeitos negativos e promover a coexistência harmoniosa entre a energia eólica *offshore* e outras atividades econômicas e sociais, como a pesca e o turismo náutico.

Nesse sentido, o governo do Ceará precisa implementar um plano de ordenamento do espaço costeiro que incorpore o uso integrado dos recursos marinhos, facilitando não apenas a instalação dos parques eólicos, mas também a participação efetiva das comunidades locais em todo o processo. A aplicação de metodologias de planejamento participativo e o estabelecimento de políticas que promovam compensações justas para os grupos impactados são passos importantes para garantir que os projetos de energia eólica *offshore* contribuam de maneira significativa para o desenvolvimento sustentável da região.

Portanto, é crucial que o planejamento costeiro e marinho no Ceará seja feito de forma a considerar os interesses de todos os atores envolvidos e garantir um desenvolvimento sustentável, minimizando conflitos e maximizando os benefícios para a comunidade local e para o meio ambiente.

2.3 CONFLITOS DE INTERESSES E DIREITOS DE PROPRIEDADE

No âmbito econômico, o conflito de interesses é uma constante, pois os diferentes *stakeholders* possuem alocações ótimas ou desejáveis distintas para os recursos escassos disponíveis. Essa dinâmica também se aplica à produção de energia eólica *offshore*. Tanto o governo quanto as empresas de produção energética, habitantes locais, pescadores, ambientalistas e outros grupos têm interesses divergentes em relação ao uso do mar (CHRISTIE *et al.*, 2014).

Conflitos podem surgir quanto à utilização das áreas marítimas para múltiplas atividades, como transporte marítimo, pesca, turismo, pesquisa científica, instalação de infraestruturas (como as relacionadas à produção de energia eólica *offshore*) e proteção do meio ambiente marinho (CHRISTIE *et al.*, 2014). Cada atividade é gerida por *stakeholders* com interesses que podem ser contraditórios, exigindo um equilíbrio cuidadoso e uma gestão eficaz para mitigar conflitos, considerando tanto os impactos já causados quanto os potenciais (CHEN *et al.*, 2015).

Além da consideração dos interesses dos *stakeholders*, um aspecto essencial para a solução dos conflitos em torno dos recursos marinhos é a definição clara dos **direitos de propriedade**. O economista Ronald Coase, em seu trabalho seminal sobre o “Teorema de Coase” (COASE, 1960), argumentou que a definição de direitos de propriedade é fundamental para a solução eficiente dos problemas ambientais e de alocação de recursos. Segundo Coase, quando os direitos de propriedade são bem definidos e as partes podem negociar entre si sem custos de transação elevados, é possível alcançar uma alocação eficiente dos recursos, mesmo na presença de externalidades. No contexto da energia eólica *offshore*, a definição de quem possui o direito de uso do espaço marítimo e como esses direitos podem ser transferidos ou compartilhados é crucial para reduzir conflitos e promover o uso sustentável dos recursos marinhos.

No Ceará, a ausência de uma definição clara dos direitos de propriedade sobre as áreas marítimas pode ser uma fonte de conflito entre os diversos grupos interessados. A criação de um quadro jurídico que estabeleça claramente esses direitos é essencial para garantir que

os interesses de todos os *stakeholders* sejam considerados e que os recursos marinhos sejam utilizados de maneira equitativa e eficiente. A falta de definição dos direitos de propriedade pode resultar em uso excessivo ou degradação dos recursos, um problema amplamente discutido na literatura como a “tragédia dos comuns”. Definir os direitos de uso do espaço marítimo e implementar políticas de alocação desses direitos pode ajudar a prevenir a sobreposição de interesses e a degradação dos bens comuns.

Nesse sentido, o planejamento, desenvolvimento e operação eficazes de parques de energia eólica *offshore* dependem de uma governança robusta. Além de consultar as comunidades locais para abordar questões como o impacto ambiental e a ocupação do espaço marítimo, essa gestão pode ajudar empresas e governos a identificar os principais afetados, compreender suas expectativas e necessidades e trabalhar para estabelecer acordos transparentes e benefícios mútuos. Sob essa perspectiva, a cooperação entre os *stakeholders* é essencial para o desenvolvimento da energia eólica *offshore*, pois envolve tomadas de decisão fundamentadas em princípios de boa governança (ELSNER; SUAREZ, 2019).

A energia eólica *offshore* é uma fonte significativa de energia renovável que oferece vantagens notáveis em comparação com a energia eólica *onshore*. Embora a energia *offshore* seja mais cara e apresente desafios adicionais em termos de instalação e manutenção, ela agrega diversas vantagens importantes (GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL, 2023). Magar et al. (2023) destacam vários aspectos positivos: os ventos no mar são tipicamente mais fortes e estáveis, resultando em uma produção significativamente maior por unidade instalada; as turbinas eólicas podem ser maiores no mar, pois o transporte dos grandes componentes das turbinas é facilitado; e a instalação das turbinas longe da costa praticamente elimina os problemas de impacto visual e ruído, permitindo o uso de designs variados que melhoram sua eficiência.

Dessa forma, é essencial identificar as áreas de ocorrência de espécies marinhas para evitar impactos adversos e continuar monitorando a resposta dessas espécies à construção e operação dos parques de energia eólica *offshore*. Além disso, as comunidades costeiras também ocupam, utilizam e dependem dos oceanos e do ambiente costeiro para sua subsistência e bem-estar. Como ressaltado por Ben-

nett (2019), todas essas questões tornam necessária a compreensão da complexa relação entre os seres humanos e os oceanos. Bennett (2019) enfatiza a interação entre os oceanos e os seres vivos e destaca a importância de compreender essa relação para a tomada de decisões em todos os domínios da política marinha.

Um elemento crítico no planejamento da energia eólica *offshore* é o desenvolvimento de projetos que evitem ou mitiguem os impactos ambientais e sociais negativos potenciais. A pesquisa científica deve embasar a avaliação desses impactos associados aos projetos de energia eólica *offshore*. Nesse contexto, é fundamental considerar as características, o conhecimento e as percepções de impacto de todos os *stakeholders*, incluindo a população local, para garantir a sustentabilidade dos empreendimentos.

2.4 IMPACTOS DA ENERGIA EÓLICA OFFSHORE

A energia eólica *offshore* é uma importante fonte de energia renovável que apresenta vantagens quando comparada à energia eólica *onshore* (VAICBERG; VALIATT; QUEIROZ, 2021). A primeira é mais cara e apresenta instalação e manutenção mais complexa, no entanto agrega diversas vantagens importantes, conforme estudo do Global Wind Energy Council (2023).

Dentre essas vantagens, podem ser citados os ventos tipicamente mais fortes e estáveis no mar, resultando em uma produção significativamente maior por unidade instalada, as turbinas eólicas também podem ser maiores do que em terra, porque é mais fácil o transporte por mar dos grandes componentes das turbinas, a instalação das turbinas longe da costa pode quase eliminar os problemas de impacto visual e ruído, o que possibilita a utilização de diferentes designs para as turbinas, melhorando sua eficiência (BILGILI; YASAR; SIMSEK, 2011; MAGAR *et al.*, 2023). Do mesmo modo, ela é importante no Brasil, pois tem o potencial de contribuir significativamente para a produção de eletricidade, reduzindo a poluição do ar (VAICBERG; VALIATT; QUEIROZ, 2021; ABEEÓLICA, 2021).

De acordo com Tabassum-Abbasi *et al.* (2014) a energia eólica tem os menores impactos ambientais adversos de todas as fontes de energia renováveis, exceto pelo calor solar direto e a luz. No entanto,

ressaltam que os impactos adversos da energia eólica, sobretudo no clima, provavelmente serão substanciais e podem aumentar em complexidade e magnitude com a extensão do uso (ABBASI; TABASSUM-ABBASI; ABBASI, 2016). É considerada a primeira fonte de energia renovável a se tornar economicamente acessível capaz de gerar energia a taxas comparáveis às fontes de energia convencionais, o que contribuiu para ampliar a adoção da energia eólica em todo o mundo (TABASSUM-ABBASI *et al.*, 2014; GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL, 2023).

O crescente uso de turbinas *onshore* para aproveitar a energia eólica resultou, de forma concomitante, no movimento expressivo para o distanciamento na instalação de parques eólicos marinhos (PEM) ou *offshore* (TABASSUM-ABBASI *et al.*, 2014; GORAYEB; BRANNSTROM; MEIRELES, 2019). Esse movimento expõe os impactos sociais e ambientais adversos deste tipo de atividade e os desafios que eles representam para as comunidades locais, como a redução e ou perda da área de pesca, e para o meio ambiente, com sérias implicações para a vida marinha, como migração de espécies, perda de habitat natural, redução da biodiversidade, entre outros.

Para Tabassum-Abbasi *et al.* (2014) seria mais um dano significativo ao ambiente marinho, já que o mesmo se encontra sob grande estresse devido aos impactos da pesca predatória, poluição marinha, aquecimento global, buraco na camada de ozônio e acidificação dos oceanos. Os autores ainda ressaltam os impactos adversos das usinas eólicas na vida selvagem, especialmente em aves migratórias e morcegos, importantes agentes polinizadores e estimam um impacto maior do que aquele relatado nos documentos oficiais.

É essencial identificar onde ocorrem baleias, golfinhos e outras espécies para ajudar a evitar impactos adversos e continuar monitorando sua resposta à construção e operação de turbinas eólicas *offshore*. Ademais, comunidades costeiras, povos indígenas e pescadores artesanais também ocupam, usam e dependem dos oceanos e do ambiente costeiro para subsistência, sustento e bem-estar, portanto faz-se necessário compreender a dimensão das relações humanas com os oceanos (XAVIER; GORAYEB; BRANNSTROM, 2019; BENETT, 2019; MCKINLEY; ACOTT; YATES, 2020).

Bennet (2019) reforça a interação entre os oceanos e os seres vivos e ressalta a importância de compreender essa relação para a to-

mada de decisões em todos os domínios da política marinha, incluindo conservação marinha, planejamento espacial marinho, gestão pesqueira, economia azul e adaptação climática.

Um elemento crítico no planejamento de energia eólica *offshore* é o desenvolvimento de projetos que possam evitar ou mitigar os impactos ambientais negativos que essa atividade pode resultar. A pesquisa científica deve embasar a avaliação do impacto ambiental dos projetos de geração de energia eólica no mar, sobretudo o impacto nas espécies de peixes, aves, mamíferos marinhos, áreas e biótopos protegidos.

Esses estudos devem estar atentos também às consequências socioeconômicas causadas pela implantação destes parques. A partir dessa avaliação é possível identificar, descrever e avaliar adequadamente os efeitos diretos e indiretos de um projeto (VAICBERG; VALIATT; FERREIRA, 2021). Para os autores, esses possíveis efeitos negativos sobre a fauna e as populações locais devem ser analisados tanto para usinas *onshore* quanto *offshore*. Embora a energia eólica tenha um resultado satisfatório ao longo do tempo, ela também agrega um forte impacto ambiental, como ruído, impacto visual e climático.

A disposição das turbinas eólicas em uma usina afeta tanto a produção de energia, como a aparência visual e a influência do ruído no ambiente local. Os impactos sonoros são resultantes do ruído do rotor (baixa e alta frequência) e variam de acordo com as especificações do equipamento (LUCENA, 2019). Nesta perspectiva, é fundamental considerar as expectativas e necessidades de todas as partes interessadas, inclusive as comunidades locais e as organizações ambientais, assim, as empresas podem construir relacionamentos duradouros com as partes interessadas e alcançar um desenvolvimento bem-sucedido da energia eólica *offshore* (GORAYEB; BRANNSTROM; MEIRELES, 2019).

3 METODOLOGIA

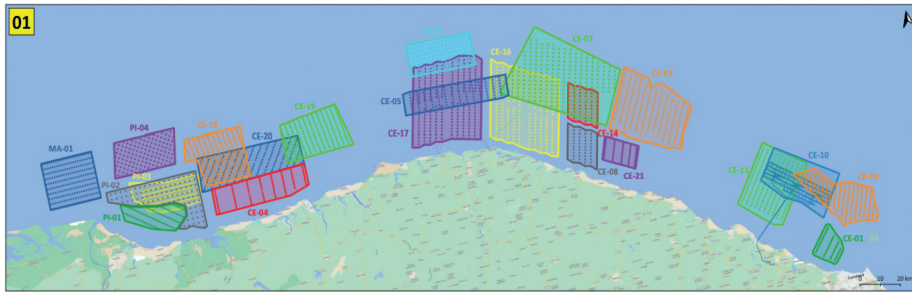
Quanto a natureza da pesquisa, a pesquisa é caracterizada como descritiva no que concerne à natureza do objetivo (COLLIS; HUSSEY, 2005) e de natureza essencialmente quantitativa, pois são utilizados procedimentos estatísticos para alcançar os objetivos propostos

(GRAY, 2012). Quanto aos meios, a pesquisa é categorizada como bibliográfica e de campo.

A pesquisa é de campo, considerando-se como amostra de pesquisa os habitantes (moradores, comerciantes, usuários tradicionais do oceano, incluindo pescadores entre outros) das praias de Acaraú, Amontada, Camocim, Caucaia, Itapipoca, Itarema, Paracuru, Paraipaba, São Gonçalo do Amarante e Trairi no estado do Ceará. O estudo pretende identificar os fatores que afetam a intenção de aceitação da energia eólica *offshore* pelas partes interessadas (*stakeholders*) e realiza uma análise empírica para determinar a relação entre esses fatores e a aceitação das partes interessadas.

A Figura 1 ilustra as áreas de energia eólica *offshore* propostas por empresas ao longo do litoral cearense.

Figura 1 - Complexos eólicos *offshore* do Ceará em processo de licenciamento ambiental



Fonte: Ibama (2024)

O percurso metodológico para a construção desta pesquisa, contempla a tipologia da pesquisa, a caracterização, a construção da amostra, a coleta de dados, o instrumento de pesquisa e os procedimentos estatísticos.

O objetivo da pesquisa foi identificar os fatores que influenciam a aceitação da implementação de energia eólica *offshore*. A coleta de dados foi realizada por meio de um questionário desenvolvido com base em Chen et al. (2015), projetado especificamente para avaliar a aceitação da energia eólica *offshore*. O questionário foi elaborado utilizando o Google Forms e distribuído via e-mail aos *stakeholders* participantes da pesquisa. A estrutura do questionário adaptado incluiu,

além da questão sobre a aceitação da energia eólica *offshore*, itens baseados em três dimensões consideradas preditoras da aceitação: características pessoais, conhecimento sobre energia eólica *offshore* e percepção dos impactos.

O instrumento de coleta de dados consiste de um questionário adaptado e estruturado com perguntas baseadas nas três dimensões propostas (conhecimentos e aceitação, percepção dos impactos da energia eólica *offshore* e características sociodemográficas dos *stakeholders*) no estudo de Chen et al. (2015) sobre energia eólica *offshore*.

A Seção 1 consiste em quatro questões elaboradas com respostas sim ou não, sobre a aceitação e os conhecimentos sobre o tema energia eólica *offshore*. A Seção 2 aborda a percepção dos potenciais impactos da localização da energia eólica *offshore* através de três itens. A Seção 3 trata das informações referentes ao perfil sociodemográfico dos participantes da pesquisa, incluindo sexo, idade, renda familiar e nível educacional. O Quadro 1 apresenta os itens referentes às escalas de conhecimentos e aceitação sobre energia eólica *offshore*, a percepção dos potenciais impactos positivos/negativos da energia eólica *offshore* e as características sociodemográficas dos *stakeholders*.

Quadro 1 – Dimensões e itens das escalas utilizadas na pesquisa.

Conhecimentos e Aceitação sobre energia eólica <i>offshore</i>	
CA1	Você já viu um aerogerador/turbina eólica?
CA2	Você sabe o que é energia eólica <i>offshore</i> ?
CA3	Você já participou de alguma reunião sobre a energia eólica <i>offshore</i> (na associação, na igreja, centro comunitário, prefeitura ou outro local)?
CA4	Você concorda/concordaria com a instalação da energia eólica <i>offshore</i> aqui na sua cidade?
Percepção dos Impactos positivos/negativos da energia eólica <i>offshore</i>	
PER1	Vai limitar o acesso as áreas de pesca
PER2	Pode permitir o desenvolver da maricultura nas águas circundantes das turbinas
PER3	Oferece oportunidades de emprego e profissionalização para a população local

Características sociodemográficas dos stakeholders	
SD1	Qual seu gênero?
SD2	Sua idade está entre qual faixa etária?
SD3	Grau de escolaridade?
SD4	Qual a renda da família?

Fonte: Os autores, baseado em Chen et al (2015)

Com as respostas obtidas, foi realizada uma análise de regressão logística (logit) utilizando o software SPSS. Essa modelagem permitiu a estimativa dos coeficientes que indicam o efeito médio sobre a probabilidade de ocorrência do evento de interesse, neste caso, a aceitação da energia eólica *offshore*. Pretendeu-se calcular o odds ratio ($\exp(B)$), que representa a mudança na probabilidade de ocorrência do evento de interesse para cada unidade de mudança no preditor (AGRESTI, 2013).

Dado o tamanho da amostra, foi sugerida uma especificação mais simples do modelo, visando uma maior parcimônia na modelagem em termos de qualidade do ajuste (AGRESTI, 2013). Assim, considerando o tamanho da amostra e o conjunto de variáveis abordadas, três modelos mais simples foram avaliados separadamente: o primeiro abordou características pessoais (modelo 1), o segundo focou no conhecimento sobre energia eólica *offshore* (modelo 2), e o terceiro tratou das percepções sobre os impactos da energia eólica *offshore* (modelo 3). A Tabela 1 descreve as variáveis estudadas em cada um desses modelos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os três modelos logit ajustaram-se de forma satisfatória aos dados coletados, conforme indicado pela análise dos valores de VIF (Fator de Inflação da Variância), que foram inferiores a 5,0 para todas as variáveis independentes, indicando a ausência de multicolinearidade significativa. Contudo, os modelos (1) e (3) apresentaram um desempenho superior ao modelo (2), que não mostrou significância estatística no teste X^2 de ajustamento. Isso implica que, para o modelo (2), não foi

possível afirmar que qualquer variável preditora seja estatisticamente diferente de zero. Além disso, os modelos (1) e (3) demonstraram uma maior eficiência geral, com taxas de predição corretas superiores a 75%, bem como maiores valores de pseudo-R² de Nagelkerke, o que sugere melhor capacidade preditiva desses modelos.

No **modelo (1)**, que aborda as características pessoais dos *stakeholders*, a renda familiar se destacou como a única variável significativa, com um impacto positivo médio sobre a aceitação da energia eólica *offshore*. A estimativa Beta (B) de 2,285, com um erro padrão de 0,963, indicou que quanto maior a renda familiar, maior a probabilidade de aceitar a instalação de energia eólica *offshore*. De acordo com a razão de chances (OR), cada aumento nos estratos de renda aumenta a probabilidade de aceitação em 882%, sugerindo que indivíduos economicamente mais favorecidos têm menor percepção de risco ou estão menos vulneráveis a possíveis impactos negativos.

No **modelo (3)**, que lida com as percepções dos impactos referentes à energia eólica *offshore*, dois fatores específicos se mostraram significativos. Primeiramente, a crença de que a instalação de turbinas eólicas limitaria o acesso às áreas de pesca apresentou um efeito negativo significativo sobre a aceitação, reduzindo as chances de aceitação em cerca de 95%. Esse resultado reflete preocupações legítimas da comunidade pesqueira local, que teme pela continuidade de suas atividades tradicionais. Em contrapartida, a percepção de que a instalação das turbinas poderia gerar novas oportunidades de emprego aumentou as chances de aceitação em mais de 541%, sugerindo que os benefícios socioeconômicos são um importante motivador para o apoio local.

Estes resultados são consistentes com achados de Chen et al. (2015) em Taiwan, que destacam a importância das percepções dos *stakeholders* no processo de aceitação de projetos de energia renovável. A inclusão de variáveis de percepção em modelos de regressão logística resultou em melhor poder explicativo e ajuste do modelo, conforme mostrado pelo aumento nos valores de pseudo-R² e pela melhoria nos testes de ajuste de Hosmer e Lemeshow. Isso indica que as percepções dos *stakeholders* não só influenciam a aceitação, mas também tornam a previsão mais precisa e robusta, um achado essencial para a formulação de políticas públicas.

Tabela 1 – Resultados da Regressão Logística Binária

Variáveis	(1)		(2)		(3)	
	B (SE)	OR	B (SE)	OR	B (SE)	OR
Gênero (Masculino)	1.495 (1.044)	4.459				
Idade	0.112 (0.437)	1.119				
Escolaridade	-1.624 (1.127)	0.197				
Renda Familiar	2.285** (0.963)	9.823**				
Viu a turbina (Sim)			-0.724 (1.439)	0.485		
Conhece energia eólica <i>offshore</i> (Sim)			0.691 (1.314)	1.997		
Participou de uma reunião pública (Sim)			-0.947 (0.942)	0.388		
Acesso limitado às áreas de pesca (Sim)					-2.970** (1.294)	0.051**
Oportunidade de emprego (Sim)					1.859* (1.107)	6.418*
Permite o desenvolvimento da maricultura (Sim)					0.593 (1.104)	1.810
Predições corretas % (Global; Aceita; Não aceita)	75.9; 69.2; 81.3	55.2; 76.9; 37.5	79.3; 76.9; 81.3			
Verossimilhança logarítmica	27.113	38.529	26.719			
Teste de ajuste do modelo $\chi^2(df)$	12.779** (4)	1.363(3)	13.173*** (3)			
Hosmer Lemeshow $\chi^2_{HL}(df)$	5.141(7)	0.247(2)	0.187(4)			
Pseudo-R ² _N	0.477	0.061	0.489			
Número de observações	29	29	29			

Notes: B = Beta estimate, SE = Standart erro, OR = Odds ratio. Significance level (Wald test): *** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.10. Logit function link.

Fonte: os autores

Além disso, a análise dos fatores que influenciam a aceitação revelou um **padrão complexo de percepções e características pessoais**. Por exemplo, a ausência de significância de variáveis relacionadas ao conhecimento sobre energia eólica *offshore* (como “Viu uma turbina” e “Conhece energia eólica *offshore*”) sugere uma falta de envolvimento efetivo dos *stakeholders* locais no processo de planejamento e decisão sobre o uso de áreas marítimas. Isso pode estar relacionado ao fato de

que a participação dos *stakeholders*, apesar de essencial para o manejo ambiental marinho, muitas vezes é limitada a consultas formais sem uma real integração no processo de tomada de decisão.

É interessante notar que os fatores socioeconômicos (como a renda familiar) e as percepções dos benefícios econômicos e sociais (como oportunidades de emprego) tiveram impacto significativo na aceitação da energia eólica *offshore*. Isso destaca a necessidade de políticas que não apenas minimizem os impactos negativos, mas também promovam os benefícios socioeconômicos dos projetos. Tais políticas devem incluir mecanismos para garantir que as comunidades locais possam se beneficiar economicamente e socialmente da instalação de energia eólica *offshore*, seja por meio da criação de empregos, seja pela promoção do desenvolvimento de atividades de maricultura em torno das turbinas, como observado em estudos em outros contextos (MICHLER-CIELUCH *et al.*, 2009).

Portanto, para promover uma aceitação mais ampla da energia eólica *offshore*, é crucial que as iniciativas envolvam estratégias de **educação e comunicação** eficazes, que expliquem claramente os benefícios potenciais, abordem as preocupações dos *stakeholders* e assegurem uma distribuição justa dos benefícios. Programas de maricultura e atividades recreativas em torno das instalações eólicas podem servir como mecanismos adicionais para fortalecer o apoio local e mitigar percepções negativas, conforme indicado por Christie *et al.* (2014).

Por fim, os resultados deste estudo reforçam a importância de uma abordagem de **governança participativa** que inclua todos os *stakeholders*, garantindo um equilíbrio entre o desenvolvimento de tecnologias renováveis e a preservação dos modos de vida tradicionais. Promover um envolvimento real das comunidades locais desde as etapas iniciais de planejamento e garantir que suas preocupações e necessidades sejam incorporadas na formulação de políticas é fundamental para o sucesso dos projetos de energia eólica *offshore* no litoral do Ceará.

5 CONCLUSÃO

Este estudo contribuiu para o entendimento dos fatores que influenciam a aceitação de parques de energia eólica *offshore* no litoral do Ceará, um tema de crescente relevância em função da transição

energética global e dos desafios locais relacionados ao desenvolvimento sustentável. A pesquisa identificou que, entre as características pessoais dos *stakeholders*, o nível de renda familiar apresentou um impacto positivo substancial na aceitação de projetos de energia eólica *offshore*. Este resultado sugere que aqueles com maior poder aquisitivo tendem a apoiar mais essas iniciativas, possivelmente devido ao menor risco percebido em relação aos impactos sobre os meios de subsistência, diferentemente das populações de menor renda, como pescadores artesanais, que dependem diretamente dos recursos marinhos.

Por outro lado, a percepção dos impactos, tanto positivos quanto negativos, desempenhou um papel crucial na aceitação dos *stakeholders*. Notou-se que a crença de que a implantação de turbinas eólicas poderia restringir o acesso a áreas de pesca foi um fator importante de rejeição, refletindo uma preocupação legítima das comunidades pesqueiras locais quanto à continuidade de suas práticas tradicionais. Em contrapartida, a percepção de que a instalação de parques eólicos *offshore* poderia gerar novas oportunidades de emprego teve um efeito positivo significativo, sugerindo que os benefícios socioeconômicos da energia eólica são cruciais para obter apoio comunitário.

Esses achados revelam uma tensão inerente entre o desenvolvimento tecnológico e a preservação dos modos de vida tradicionais, o que requer uma abordagem de governança que equilibre os interesses dos diferentes atores envolvidos. A aceitação social de empreendimentos de energia renovável, especialmente em regiões costeiras, está ligada não apenas aos benefícios percebidos, mas também ao diálogo, ao engajamento efetivo dos *stakeholders* e à mitigação dos impactos negativos nas comunidades locais.

O estudo também revelou uma carência significativa de conhecimento por parte dos *stakeholders* locais sobre a energia eólica *offshore*, uma vez que as variáveis relacionadas ao conhecimento específico sobre a energia eólica *offshore* não se mostraram estatisticamente significativas. Esse resultado pode indicar uma falta de envolvimento adequado dos atores locais nos processos de planejamento e decisão sobre o uso dos espaços marítimos para a instalação de energia eólica. Para superar essa limitação, é essencial que os projetos de energia eólica *offshore* promovam iniciativas educacionais e de conscientização que expliquem claramente os benefícios, riscos e oportunidades associados a essas tecnologias. A capacitação e a transparência po-

dem facilitar a aceitação, oferecendo uma base informada para que os *stakeholders* tomem decisões e participem ativamente do processo.

Uma abordagem colaborativa, que envolva todas as partes interessadas - desde pescadores até agentes públicos e empresas do setor de energia - é fundamental para o desenvolvimento sustentável dos projetos de energia eólica *offshore*. Assim, a criação de políticas públicas e estruturas de governança que promovam o uso integrado e sustentável dos recursos marinhos é crucial. Tais políticas devem incorporar a participação ativa das comunidades locais, garantindo que seus interesses sejam levados em consideração e que os benefícios do desenvolvimento energético sejam compartilhados equitativamente.

Além disso, a pesquisa destacou a importância da equidade no acesso e no uso dos recursos marinhos, bem como a necessidade de um planejamento espacial marítimo cuidadoso. Esse tipo de planejamento deve ser feito de forma a reduzir conflitos e promover uma coexistência harmônica entre a energia eólica e outras atividades econômicas, como a pesca artesanal. A aplicação de teorias como a “tragédia dos comuns” ajuda a compreender a dinâmica de competição pelos recursos marinhos e a importância de uma gestão eficaz para prevenir a degradação dos bens comuns e promover a sustentabilidade.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a ampliação do tamanho da amostra, de forma a garantir resultados mais robustos e representativos, além da realização de entrevistas qualitativas que possam capturar mais profundamente as nuances das percepções, das expectativas e das experiências dos *stakeholders*. Entrevistas e grupos focais poderiam oferecer insights qualitativos que complementaríamos a análise quantitativa, possibilitando uma compreensão mais abrangente dos desafios e oportunidades para a aceitação da energia eólica *offshore*.

Por fim, este estudo reforça que a aceitação social é um fator crítico para o sucesso da energia eólica *offshore*, especialmente em contextos locais onde há uma forte dependência dos recursos marinhos. Promover políticas inclusivas, transparentes e adaptativas é essencial para mitigar conflitos e assegurar que as comunidades locais possam se beneficiar dos avanços em energias renováveis, conciliando o desenvolvimento tecnológico com a manutenção dos meios de vida tradicionais e a proteção ambiental.

REFERÊNCIAS

Abbasi, S. A., Tabassum-Abbasi & Abbasi, T. (2016). Impacto wind-energy generation on climate: A rising spectre. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 591-598. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.262>

Agresti, A. (2013). *Categorical Data Analysis*. 3th ed. John Wiley & Sons.

Bennett, N. J. (2019). Marine social science for the peopled seas. *Coastal Management*, 47(2), 244-252. <https://doi.org/10.1080/08920753.2019.1564958>

Bergström, L., Sundqvist, F., & Bergström, U. (2013). Effects of an offshore wind farm on temporal and spatial patterns in the demersal fish community. *Marine Ecology Progress Series*, 485, 199-210. <https://doi.org/10.3354/meps10344>

Chen, J.-L., Liu, H.-H., Chuang, C.-T. & Lu, H.-J. (2015). The factors affecting stakeholders' acceptance of offshore wind farms along the western coast of Taiwan: Evidence from stakeholders' perceptions. *Ocean & Coastal Management*, 109, 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.02.012>

Christie, N., Smyth, K., Barnes, R. & Elliott, M. (2014). Co-location of activities and designations: A means of solving or creating problems in marine spatial planning? *Marine Policy*, 43, 254-261. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2013.06.002>

De Castro, M., Salvador, S., Gomez-Gesteira, M., Costoya, X., Carvalho, D., Sanz-Larruga, F. J. & Gimeno, L. (2019). Europe, China and the United States: Three different approaches to the development of offshore wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109, 55-70. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.025>

Díaz, H. & Guedes Soares, C. (2020). Review of the current status, technology and future trends of offshore wind farms. *Ocean Engineering*, 209, 107381. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107381>

Elsner, P. & Suarez, S. (2019). Renewable energy from the high seas: Geo-spatial modelling of resource potential and legal implications for developing offshore wind projects beyond the national jurisdiction of coastal states. *Energy Policy*, 128, 919-929. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.01.064>

García, P. Q., Sanabria, J. G. & Ruiz, J. A. C. (2019). The role of maritime spatial planning on the advance of blue energy in the European Union. *Marine Policy*, 99, 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.10.015>

Global Wind Energy Council. (2023). Global Wind Report 2023 – Annual market update. Global Wind Energy Council.

Ibama (2024). Complexos eólicos offshore. Projetos com processos de licenciamento ambiental abertos no Ibama. https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/laf/consultas/arquivos/20240507_Usinas_Eolicas_Offshore.pdf

Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science*, 162(3859), 1243-1248. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.162.3859.1243>

Magar, V., Peña, A., Hahmann, A. N., Pacheco-Rojas, D. A., García-Hernández, L. S. & Gross, M. S. (2023). Wind energy and the energy transition: Challenges and opportunities for Mexico. *Sustainability*, 15(6), 5496, 2023. <https://doi.org/10.3390/su15065496>

Neoenergia (2023). Energia eólica: ventos do Nordeste. <https://www.neoenergia.com/w/energia-eolica-ventos-do-nordeste>

Michler-Cieluch, T., Krause, G., & Buck, B.H. (2009). Reflections on integrating operation and maintenance activities of offshore wind farms and mariculture. *Ocean & Coastal Management*, 52(1), 57-68. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2008.09.012>

Ostrom, E. (1960). The Commons Dilemma: A General Framework for Institutional Analysis. *Public Administration Review*.

Ostrom, E. (2009). *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge University Press.

Salvador, S., Gimeno, L. & Larruga, F. J. S. (2018). The influence of regulatory framework on environmental impact assessment in the development of offshore wind farms in Spain: Issues, challenges and solutions. *Ocean & Coastal Management*, 161, 165-176. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.05.010>

Tabassum-Abbasi, Premalatha, M., Abbasi, T. & Abbasi, S.A. (2014). Wind energy: Increasing deployment, rising environmental concerns. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 270-288. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.019>

Wüstenhagen, R., Wolsink, M., & Burer, M. J. (2007). Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. *Energy Policy*, 35(5), 2683-2691. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.12.001>

CAPÍTULO SETE

MERCÚRIO E SEGURANÇA ALIMENTAR: CONCENTRAÇÃO DE HG EM PEIXES, ESTIMATIVA DE EXPOSIÇÃO HUMANA, E RECOMENDAÇÕES AO CONSUMO DE PESCADO PARA O ESTADO DO CEARÁ

Moises Fernandes Bezerra
Luiz Drude de Lacerda²⁰

1 INTRODUÇÃO

O último Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura colocava a região Nordeste do Brasil com a maior produção de pescado do país, com 30% da produção nacional. O estado do Ceará figurava entre os cinco estados principais produtores (MPA, 2012). Atualmente, o Ceará é o segundo em volume de exportação de pescados no Brasil (COMEXSTAT, 2022) e o setor produtivo pesqueiro no Ceará tem grande relevância no cenário econômico nacional e enorme potencial de crescimento e geração de renda. Em 2021, por exemplo, o Ceará exportou cerca de 8,6 mil toneladas de pescado, o equivalente 105 milhões de dólares, 53% maior que o ano anterior (COMEXSTAT, 2022). Em contrapartida, é necessário que o setor busque melhorar a qualidade dos produtos através de novas tecnologias de captura e armazenamento para se adequar aos padrões exigidos pelo mercado externo, como por exemplo da União Europeia (EU).

Além da importância da pesca extrativista, a aquicultura tem crescido rapidamente como uma fonte de proteína animal de alta qualidade no Brasil. O cultivo intensivo de camarão no Brasil variou entre 20.000 e 60.000 t.ano⁻¹ entre anos de 2013 e 2020 (Ximenes, 2021). Somente em 2021, o estado do Ceará produziu 23.917,68 t de camarão (IBGE, 2021), um crescimento de 14% comparado com 2020 (Vidal, 2022). A produção de tilápia no Ceará variou apenas de 1.280 a 5.800 t entre 2019 e 2021 (Ximenes, 2021; IBGE, 2021), devido ao longo período

²⁰ Laboratório de Biogeoquímica Costeira (LBC), Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará (LABOMAR-UFC), Programa Cientista Chefe, FUNCAP. *ldrude1956@ufc.br

do de estiagem que reduziu a capacidade produtiva nos reservatórios. O camarão e a yilápia somaram o equivalente a R\$ 410,5 milhões em vendas no ano de 2021 (IBGE, 2021), o que é uma excelente contribuição do setor para o desenvolvimento do estado.

Entretanto, em 2017, um relatório produzido pela European Commission Directorate-General For Health and Food Safety - Health and food Audits and Analysis (EU, 2017) listou alguns problemas associados à qualidade e a cadeia produtiva do pescado originado da pesca extrativista no Brasil. Seis notificações foram relacionadas a presença de mercúrio (Hg) em peixes, em concentrações superiores aos limites permitidos pela União Europeia (EU), resultando na proibição da comercialização de pescado in natura proveniente do Brasil e diminuindo a exportação para mercados da UE em comparação com os outros blocos econômicos, reduzindo a zero uma proporção de exportação que no passado chegou a representar 25% de todo o pescado exportado pelo Ceará. Dessa forma, o projeto “Quantificação da contaminação do pescado, ameaça à segurança alimentar pela exposição humana e a sustentabilidade das cadeias produtivas da pesca e aquicultura no Estado do Ceará” foi proposto no âmbito do Programa Cientista Chefe do governo do estado do Ceará, a fim de: i) fornecer dados acreditados da concentração de Hg no pescado comercializado no Ceará; ii) servir de subsídio ao setor produtivo e ao governo do estado como contraponto às recomendações constantes no citado relatório da Comunidade Europeia; iii) apresentar diversos cenários de exposição humana ao Hg; iv) recomendar frequência de consumo do pescado visando assegurar a segurança alimentar dos consumidores. Dessa forma objetiva melhorar as políticas públicas de curto e médio prazo para as áreas de pesca e aquicultura no Estado do Ceará.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Segurança alimentar e contaminação por mercúrio em pescados

Pescados são produtos da pesca e aquicultura proveniente de ambientes aquáticos oceânicos, costeiros e continentais, e incluem

peixes, crustáceos, moluscos, entre outros. Os ambientes aquáticos onde vivem, entretanto, vêm sendo alterados por atividades antrópicas poluidoras por meio de esgotamento doméstico, efluentes industriais e urbanos, resíduos agrícolas, entre outros. Essas fontes de contaminação emitem uma variedade de elementos e compostos, entre eles o Hg, que pode ser incorporado e acumulado pelos organismos aquáticos e eventualmente comprometer a qualidade do pescado como fonte de alimento para populações humanas (Chiocchetti et al., 2017).

O Hg é um metal pesado que pode ser tóxico aos humanos e outros organismos dependendo da concentração. Ocorre naturalmente no ambiente na forma de Hg metálico ou elementar (Hg^0), inorgânico (Hg^{2+}) e em complexos orgânomercuriais (e.g. CH_3Hg^+) (Clarkson and Magos, 2006). O estado do Ceará não apresenta fontes naturais significativas de Hg, como por exemplo depósitos minerais de cinábrio e/ou atividades vulcânicas. No entanto, atividades antrópicas, como queima de combustíveis fósseis, efluentes industriais e urbanos entre outros, podem contribuir com emissões desse poluente para o ambiente (UN Environment, 2019).

A exposição humana excessiva ao Hg pode causar problemas no sistema nervoso, especialmente em recém-nascidos e crianças. Dessa forma, o *Codex Alimentarium* (FAO/WHO, 1995) estabelece níveis máximos de Hg em pescado, e essa diretriz é amplamente utilizada como base na regulamentação e legislação da indústria pesqueira no Brasil e no mundo, com pequenas adaptações dependendo do país. A tabela 1 apresenta os limites estabelecidos para Hg em pescados de acordo com diversas legislações no mundo. Embora a Organização Mundial de Saúde (OMS) e a *Food and Aquaculture Organization* (FAO) apontem o consumo de pescado como importante fonte de proteína animal, sendo composta de nutrientes e minerais essenciais para o bom desenvolvimento humano (FAO/WHO, 2010) e vários estudos mostram uma correlação entre o consumo de peixes e a redução no risco de desenvolvimento de doenças coronárias e infarto, o que é atribuído ao alto nível de ácidos graxos poli-insaturados (Ômega 3 e 6) presente em algumas espécies de peixes (Nesheim and Yaktine, 2007; Raatz et al., 2013). Dessa forma, a recomendação é que populações em geral consumam, no mínimo, duas refeições de pescado por semana (cada refeição contendo cerca de 100 g de pescado), equivalente a uma taxa de consumo diária de $28,5 \text{ g.dia}^{-1}$ (FAO/WHO, 2010; Raatz et al.,

2013). Por outro lado, em situações em que o pescado apresenta altos níveis de Hg, seu consumo pode trazer riscos (FAO/WHO, 2010). Uma vez que o consumo de pescado é a principal rota de exposição ao Hg em humanos (Benford et al., 2012), a exposição excessiva ao Hg pode causar problemas no sistema nervoso, especialmente em populações sensíveis como por exemplo mulheres em idade fértil, recém-nascidos e crianças. (UN Environment, 2019).

2.2 Toxicologia do mercúrio (Hg) e grupos de risco

A toxicidade do Hg depende fortemente de sua forma química sendo o metilmercúrio a forma mais tóxica e que mais representa risco para populações humanas (UN Environment, 2019). Em geral, mais de 90% do Hg presente na musculatura de peixes está na forma de metilmercúrio (NRC, 2000), incluindo em espécies comercializadas no Ceará (Lacerda et al., 2007; Moura et al., 2020). Assim, os estudos do risco de exposição ao Hg pela ingestão de pescado avaliam os níveis de Hg total, assumindo que a maior parte deste está na forma orgânica mais tóxica (Mergler et al., 2007; UN Environment, 2019). Uma vez ingerido o metilmercúrio é absorvido no trato gastrointestinal e distribuído pelo corpo, e acumulando em órgãos e tecidos. A capacidade desse contaminante de ser transferida através da placenta e de se acumular no tecido cerebral e no feto tornam o sistema nervoso especialmente sensível aos efeitos do Hg. O metabolismo humano eliminar muito lentamente o metilmercúrio ingerido, de 44 a 74 dias pa 59% da carga ingerida. Essa eliminação se dá através da conversão do metilmercúrio em Hg inorgânico e posterior eliminação pelas fezes e urina. O metilmercúrio também pode ser excretado através do leite materno, sendo essa uma das formas de contaminação de recém-nascidos (ATSDR, 2022). A toxicidade do Hg em humanos tem sido amplamente estudada desde a década de 50, quando o primeiro caso de intoxicação em grande escala por Hg foi identificado na Baía de Minamata, no Japão (Harada, 1995).

Atualmente, existem fortes evidências de problemas neurológicos e de desenvolvimento em recém-nascidos e crianças associado com a exposição ao metilmercúrio durante o desenvolvimento do feto devido ao consumo de pescado contaminado pela mãe durante a gra-

videz (FAO/WHO, 2010). Dessa forma, os grupos de risco considerados mais sensíveis a contaminação por Hg, são mulheres em idade fértil (entre 18 e 45 anos) e crianças entre 1 e 12 anos (Benford et al., 2012). Apesar do elevado consumo de pescado, casos de toxicidade por Hg não foram detectados em áreas onde não há fontes pontuais de contaminação por Hg, como é o caso do estado do Ceará.

2.3 Estudos prévios da contaminação por Hg em pescado no Ceará

Um número limitado de estudos reporta concentrações de Hg no pescado cearense, geralmente variando de acordo com a espécie e tamanho dos indivíduos. Estudos prévios apontam que espécies de peixes fluviais e estuarinos do Rio Jaguaribe apresentaram concentrações de Hg abaixo dos limites máximos estabelecidos na legislação brasileira (Moura & Lacerda, 2018). No entanto, em se tratando de peixes de médio e grande porte, algumas exceções podem ocorrer. Por exemplo, na Cavala (*Scomberomorus cavala*), a concentração de Hg em indivíduos adultos pode ultrapassar o limite máximo permitido de $1,0 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de em peso úmido (Lacerda et al., 2016). Espécies oceânicas, como atuns e afins, também podem acumular Hg em níveis acima dos limites de segurança devido à fatores ecológicos e biológicos, como hábito alimentar piscívoro, longo ciclo de vida, indivíduos adultos de grande porte, entre outros (Lacerda et al., 2017). No entanto, levantamentos recentes mostram que para a Albacora-Bandolim (*Thunnus obesus*) menos de 10% dos indivíduos amostrados apresentaram concentrações de Hg acima dos limites da legislação e, para a Albacora-Laje (*Thunnus albacares*), nenhum indivíduo amostrado excedeu esse limite (Lacerda et al., 2017). Vale ressaltar que além da concentração de Hg medida no organismo, outros fatores determinam o risco de exposição, por exemplo a faixa etária do consumidor, o peso corpóreo, a frequência de ingestão e quantidade ingerida durante um dado período, sendo essas variáveis utilizadas para determinar quais tipos de pescado podem trazer algum risco aos consumidores (Bezerra et al., 2023). Além disso, para várias espécies comumente encontradas nas bancas de pescado no Ceará, não há dados de concentração de Hg reportados na literatura e, como consequência, inexistente uma avaliação do risco associado ao consumo desse pescado.

Tabela 1 - Limites estabelecidos em legislação no Brasil e no mundo para contaminação por Hg em pescados ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ peso úmido).

Contaminante	Concentração máxima ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Legislação de referência	País/Bloco econômico
Mercúrio (Total)			
Peixes (músculo)	0,5 – 1,0	EU 420/2011; Canada, 2021	União Europeia; Canada
Peixes predadores	1,0	Instrução Normativa ANVISA/DC nº 88 26/03/2021	Brasil
Outros peixes (não predadores)	0,5	Instrução Normativa ANVISA/DC Nº 88 26/03/2021	Brasil
Moluscos	0,5	FSANZ F2015C00052; Instrução Normativa ANVISA/DC Nº 88 26/03/2021	Brasil
Crustáceos	0,5	FSANZ F2015C00052; Instrução Normativa ANVISA/DC Nº 88 26/03/2021	Australia; Brasil
Metil-mercúrio			
Peixes não-predadores	0,5	CODEX STAN 193-1995	FAO
Peixes predadores	1,0	CODEX STAN 193-1995; GB 2762-2012	FAO; China
Outros pescados (excluindo peixes)	0,5	GB 2762-2012	China

A fim de preencher esta lacuna de conhecimento, é apresentado um inventário de espécies mais comercializadas e consumidas no estado do Ceará, provenientes da pesca extrativista e aquicultura, baseado no volume de captura e comercialização e nas concentrações de Hg observadas. Informações sobre características ecológicas e biológicas, assim como os riscos associados ao consumo são descritas para cada uma das espécies selecionadas e estimados os diferentes cenários de exposição ao Hg através do consumo das diferentes espécies de pescado. Estes dados permitiram elaborar uma recomendação detalhada das melhores opções de consumo e as quantidades seguras para os consumidores de pescado do estado do Ceará.

3 METODOLOGIA

3.1 Fonte de dados

Informações da produção pesqueira do Estado do Ceará foram obtidas por meio de dados de desembarque entre os anos de 1978 e 2007 disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Centro de Pesquisa e Conservação da Biodiversidade Marinha do Nordeste (CE-PENE) e Superintendência do Desenvolvimento da Pesca (SUDEPE), sumarizados por Freire et al. (2021). Os dados de exportação de pescado provenientes do Ceará foram obtidos na base de dados do Sistema Integrado de Comércio Exterior (COMEXSTAT, 2022) para os anos de 1997 a 2021. Além de bases de dados oficiais, estimativas apresentadas em trabalhos científicos específicos também foram consideradas, particularmente para os produtos da aquacultura.

3.2 Critérios para a definição das espécies de interesse

A lista de espécies de interesse nesse trabalho foi baseada em 3 critérios fundamentais: (1) Importância da espécie como produto da pesca ou da aquacultura, dependente da quantidade nos desembarques, produção aquícola anual e relevância no mercado exterior (dados de exportação); (2) Potencial de exposição ao Hg, aspectos biológicos (tamanho, peso, idade) e fatores ecológicos (hábito alimentar, habitat, nível trófico) de cada espécie; (3) Importância para o consumo humano das espécies da pesca comercial e de subsistência e dos produtos da aquacultura.

Os aspectos biológicos (tamanho, peso, idade) e ecológicos (hábito alimentar, habitat, nível trófico) com potencial de influenciar as concentrações de Hg, foram obtidos para cada espécie selecionada com base na literatura científica e no banco de dados *fishbase* (www.fishbase.org). Informações sobre a importância desse pescado para o consumo humano foram obtidos diretamente com pescadores e centros de comercialização. O escore da importância para o comércio e consumo das espécies foi obtido por meio da média anual dos volumes

desembarcadas no Ceará para cada espécie, entre os anos de 1987 e 2007. Um escore máximo de 5 foi atribuído a espécie de maior volume de desembarque, a lagosta *Panulirus* sp., a partir do qual os escores foram proporcionalmente atribuídos as outras espécies.

3.3 Quantificação do e estimativa de exposição humana

A quantificação das concentrações de Hg nas amostras de pescado foi realizada por Espectrometria de Absorção Atômica por Vapor Frio (CVAAS). Os procedimentos de coleta, processamento de amostras e tratamento de dados seguem recomendações da USEPA (2022, 2001, 2000) revisados detalhadamente e adaptados à situação regional por Caracas et al. (2022). A estimativa de exposição para os diferentes cenários de consumo de pescado foi calculada segundo procedimentos aceitos internacionalmente (USEPA, 2001, 2022) e detalhada nas seguintes equações.

$$\text{FSL} = \text{PCM} \times \text{RTVC} \quad (1)^*$$

*Eq (1): Fish Safe Level (FSL): concentração máxima de segurança estimada a priori utilizando como base o peso corpóreo médio (PCM) de cada grupo de consumidores, em kg, e a taxa de consumo de pescado (TC) para cada um dos três cenários: a) TCNE = 0,0245 kg.dia⁻¹, consumo per capita de pescado estimado para a região nordeste do Brasil (IBGE, 2021); b) TCOMS = 0,0285 kg.dia⁻¹, consumo mínimo de pescado recomendado por FAO/WHO (2010) e USDA (2010); c) TCsubs = 0,142 kg.dia⁻¹, estimativa para populações que consomem pescado como subsistência (USEPA, 2001). Rfd: dose de referência (exposição diária) para Hg, em que efeitos adversos não são esperados: 0,0001 mg.kg PCM⁻¹.dia⁻¹ (USEPA, 2001). O peso corpóreo médio (PCM) varia de acordo com os diferentes grupos de consumidores, mulheres em idade fértil (18 a 45 anos, 56,5 kg); crianças (1 a 12 anos, 24,3 kg); homens adultos (mais de 18 anos, 66,8 kg); e mulheres adultas (mais de 46 anos, 59,3 kg).

$$\text{TCmax} = \text{PCM} \times \text{RfD}[\text{Hg}]_{\text{pescado}} \quad (2)^*$$

*Eq (2): Taxa de consumo seguro máxima (TCmax), em kg.dia⁻¹, utilizando os parâmetros PCM, Rfd e a concentração média de Hg medida no pescado ([Hg]pescado), em mg.kg⁻¹ de peso úmido.

$$\text{TIHg} = [\text{Hg}]_{\text{pescado}} \times \text{TCPCM} \quad (3)^*$$

*Eq (3): Taxa de incorporação de Hg (TIHg), em mg.kg peso corpóreo⁻¹.dia⁻¹, para cada grupo de consumidores nos diferentes cenários de consumo. Essa taxa foi comparada com a dose de referência para o Hg (Rfd).

$$\text{THQ} = \text{FE} \times \text{TC} \times \text{DE} \times [\text{Hg}]_{\text{pescado}} \text{Rfd} \times \text{PCM} \times \text{FE} \times \text{DE} \quad (4)^*$$

*Eq (4): Target Hazard Quotient (THQ), ou índice de risco associado (USEPA, 2022), que representa o risco de exposição crônica para contaminantes não-carcinogênicos sendo definido que para $THQ < 1$, não há risco potencial de efeitos adversos e para $THQ > 1$, quando existe um risco potencial de efeitos adversos em consumidores. FE é a frequência de exposição, em dia.ano⁻¹, DE é a duração da exposição, em anos, de acordo com os diferentes grupos de consumidores avaliados em diferentes cenários de consumo de pescado. Para se obter as quantidades recomendadas de consumo de pescado (QRmês) para cada grupo de consumidores, foi utilizado a taxa de consumo seguro máxima (TCmax).

$$QRmês = TCmax \times TE \times \text{tamanho da porção} \quad (5)^*$$

*Eq(5): taxa de consumo seguro máxima (TCmax) calculada previamente. (TE): estimativa do tempo de exposição (TE), definido como 365,25 dias em 12 meses ou 30,44 dias por mês. Na presente estimativa o tamanho da porção foi definido como 100 g para adultos e 50 g para crianças (FAO/WHO, 2010).

Visando simplificar as recomendações fornecidas nesse trabalho, foram utilizadas quatro categorias de frequência de consumo para cada espécie de pescado avaliada: 1) até 3 refeições por mês; 2) 4 a 6 refeições por mês (ou até uma refeição por semana); 3) 8 a 10 refeições por mês (ou até duas refeições por semana); e 4) 11 a 13 refeições por mês (ou até três refeições por semana). Espécies em que a recomendação foi acima de 13 refeições ao mês, definiu-se como sem restrição ao consumo. O tamanho da porção foi definido pelo peso úmido de uma porção de pescado fresco (músculo/filé) de aproximadamente 100g. Essa refeição foi estimada para um adulto médio de 67 kg de peso corpóreo e deve ser ajustada de acordo com o peso do consumidor. Porção de 1,5 g de pescado fresco por kg de peso corpóreo.

4 RESULTADOS

Com base nos monitoramentos de desembarque pesqueiros realizados no estado e publicados pelos órgãos governamentais, entre os anos de 1978 e 2007, as espécies mais produzidas no Ceará foram a Lagosta, Pargo, Cavala, Camarão, Tainha/Caíco, Serra, Guaiúba e Sardinha (Freire et al., 2021). Espécies de atuns e fauna associada capturadas pela frota atuneira no Ceará tem se mostrado recentemente como importante ativo da pesca comercial do estado (Cavalcante, 2018; Goyanna, 2016).

Os dados de produção aquícola marinha para o ano de 2011, mostram o Ceará como o maior produtor nacional, com cerca de 29

mil toneladas, sendo o Camarão-branco (*Penaeus vannamei*) a principal espécie produzida. Já na produção aquícola continental, o Ceará figurava em 2011 como a quinta unidade da federação em produção aquícola, com cerca de 36 mil toneladas, sendo a tilápia (*Oreochromis niloticus*) a principal espécie cultivada naquele ano (MPA, 2012). O Ceará permaneceu como maior produtor de pescado cultivado do Nordeste até o ano de 2016, com 42,8 mil toneladas produzidas, sendo o camarão e a tilápia as principais espécies cultivadas (Ximenes, 2021). Atualmente, o Ceará produz pouco mais de 27 mil toneladas dessas espécies por ano (ano de referência 2020) o que representa uma redução de 36,9% com relação a 2016 (IBGE, 2024).

A ausência de dados de desembarque relativos ao período 2012-2022 é parcialmente suprida com estatísticas obtidas regionalmente e indiretamente através de dados de comércio exterior.

4.1. Inventário das espécies de pescado comercializadas no Estado do Ceará

4.1.1. Produtos da pesca extrativista

São apresentados de forma sumária as principais características biológicas, ecológicas e das concentrações relatadas de Hg, quando disponíveis, para as principais espécies selecionadas da pesca extrativista no Estado do Ceará. Dentre os peixes oceânicos o subgrupo atuns e afins inclui várias espécies de peixes carnívoros de grande porte sendo dominantes no pescado cearense os atuns (*Thunnus* spp.) que ocorrem em águas oceânicas com temperaturas entre 13 °C e 29 °C, onde indivíduos juvenis e sub-adultos estão comumente associados a cardumes constituídos de outras espécies pelágicas como o bonito-listrado (*K. pelamis*), o dourado (*C. hippurus*) e o espadarte (*X. gladius*) (Miyake et al., 2010). Atuns e afins de grande porte, podem atingir mais de 500 kg quando adultos, possuem corpo robusto e fusiforme com grande capacidade natatória. Alimentação composta de peixes, cefalópodes e crustáceos pelágicos (Collette & Nauen, 1983).

Entre 2016 e 2021, o estado do Ceará exportou, em média, 2,2 mil toneladas por ano, equivalente a US\$ 5,02 milhões, em Albacora-laje, a principal espécie de atum e afins comercializado no estado. Com relação aos níveis de contaminação por Hg, essas espécies apresentam elevada

acumulação por serem peixes predadores e de grande porte. Concentrações de Hg medidas em duas espécies de atuns (*T. albacares* e *T. obesus*) comercializados no estado do Ceará apresentaram níveis moderados à altos, com média de $598 \pm 687 \text{ ng.g}^{-1}$ (Lacerda et al., 2017, 2016).

Outro subgrupo de grande importância inclui os peixes vermelhos da família Lutjanidae, principalmente pargo, cioba, dentão, ariacó e guaiúba (*Lutjanus purpureus*, *L. analis*, *L. jocu*, *L. synagris* e *Ocyurus chrysurus*). São peixes de regiões costeiras tropicais e subtropicais do Atlântico Ocidental e constituem um importante grupo de pescados, especialmente no nordeste do Brasil, ocorrendo em fundos rochosos e recifes de corais. São peixes de pequeno a médio porte, com tamanho de captura variando entre 20 a 103 cm (Nóbrega & Lessa, 2009). No Ceará, o pargo foi a espécie de peixe mais desembarcada no litoral entre 1978 e 2007 (Freire et al., 2021). A principal arte de pesca utilizada na captura dessa espécie é o espinhel vertical (tipo pargueira), em águas com profundidades acima de 50 m. Entre 2010 e 2021, o Ceará exportou, em média, 761 toneladas por ano, equivalente a US\$ 5,32 milhões. Somente em 2021, o pargo foi a segunda espécie de pescado mais exportada no estado com 1,9 mil toneladas, equivalente a US\$ 16,47 milhões (COMEXSTAT, 2022). O pargo e outros peixes vermelhos apresentam baixas concentrações de Hg com média de $69,9 \text{ ng.g}^{-1}$ em indivíduos comercializados no mercado de peixe do Mucuripe, Fortaleza (Lacerda et al., 2016).

Os escombrídeos, *Scomberomorus cavalla* e *S. braziliensis* (cavala, e serra) são outro subgrupo importante de espécies subtropicais que se distribuem ao longo da costa oeste do Atlântico entre o Golfo do Maine, nos Estados Unidos, e o sul do Rio de Janeiro. São peixes de médio porte, com tamanho de captura variando entre 12 e 146 cm, encontrados ao longo da costa em profundidade de até 40 m (juvenis) e em áreas mais profundas entre 40 e 200 m (adultos). As principais artes de pesca utilizadas na captura dessas espécies são as linhas de mão (fundo e superfície) e redes de emalhar (Nóbrega & Lessa, 2009). A cavala é um importante recurso pesqueiro para o estado do Ceará sendo a terceira espécie mais desembarcada, em toneladas, nos portos do estado entre 1978 e 2007. Essa espécie também é um produto de menor importância na exportação do estado com volume exportado em 2021 de 1,07 toneladas, equivalente a US\$ 5.198,00. Cavala e Serra apresentam concentrações moderadas de Hg, com médias

de $633 \pm 782 \text{ ng.g}^{-1}$ e $206 \pm 21 \text{ ng.g}^{-1}$, respectivamente (Costa & Lacerda, 2009; Lacerda et al., 2016).

Outro subgrupo importante, particularmente para subsistência são pequenos peixes onívoros e herbívoros de águas rasas e estuarinas, e explorados principalmente pela frota artesanal na região nordeste do Brasil, destacando-se a sardinha (*Opisthonema oglinum*), a carapeba (*Diapterus rhombeus*), a biquara (*Haemulon plumieri*), a guarajuba (*Canranx bartholomaei*), a tainha (*Mugil curema*) e o robalo (*Centroponus parallelus*) (Teixeira et al., 2014). Apesar de peixes de pequeno porte não-piscívoros apresentarem concentrações baixas de Hg ($< 100 \text{ ng.g}^{-1}$). A escassez de informações sobre o nível de Hg e o elevado volume de desembarque e consumo dessas espécies pela população local justifica sua inclusão no estudo.

Outro subgrupo que vem aumentando em importância é o dos elasmobrânquios (tubarões e raias). Na costa do Ceará sua pesca se dá predominantemente por meio de captura de fauna associada, também conhecida como *by-catch*, por embarcações de pequeno porte que utilizam linha de mão, espinhéis, redes de emalhar ou de arrasto de fundo, com a finalidade de capturar outros recursos pesqueiros (Gadig et al., 2000). Em 2017, o Brasil ocupava a 11^o posição na produção pesqueira mundial de tubarões (Barreto et al., 2017) e, apesar de não haver uma frota pesqueira oficialmente voltada para captura de elasmobrânquios no país, o Brasil foi recentemente identificado como um canal global de comercialização de tubarões (Bernardo et al., 2020). No Ceará ocorrem cerca de 42 espécies de elasmobrânquios, sendo 30 espécies de tubarões e 12 de raias (Gadig et al., 2000). Em sua maioria são predadores de médio e grande porte e podem acumular elevadas concentrações de Hg. Algumas espécies de raias (*Hypanus guttatus* e *H. americanus*) acumulam concentrações de Hg que excedem os limites máximos de segurança estabelecidos na legislação brasileira (1.000 ng.g^{-1} para peixes predadores) (Moura et al., 2020). Concentrações de Hg medidas em espécies de tubarões e raias do Ceará estão entre as mais elevadas nos pescados comercializados no estado (Lacerda et al., 2016). Além disso, tubarões e raias no Brasil são comumente comercializados sob o nome de “cação” o que dificulta a identificação das espécies ofertadas para o consumo no país (Bernardo et al., 2020). Portanto, o presente estudo inclui as espécies de raias e tubarões ocorrentes no litoral do Ceará como prioritárias.

Crustáceos também são componentes importantes da pesca comercial, como lagostas *Panulirus argus* e *P. laevicauda* e de subsistência como siris e caranguejos. Apesar da grande importância dos crustáceos como recurso pesqueiro e no consumo humano, até a presente data, não há nenhum monitoramento dos níveis de contaminação por Hg nesses organismos para a região Nordeste do Brasil, o que justifica sua inclusão no presente estudo.

4.1.2. Produtos da Aquicultura

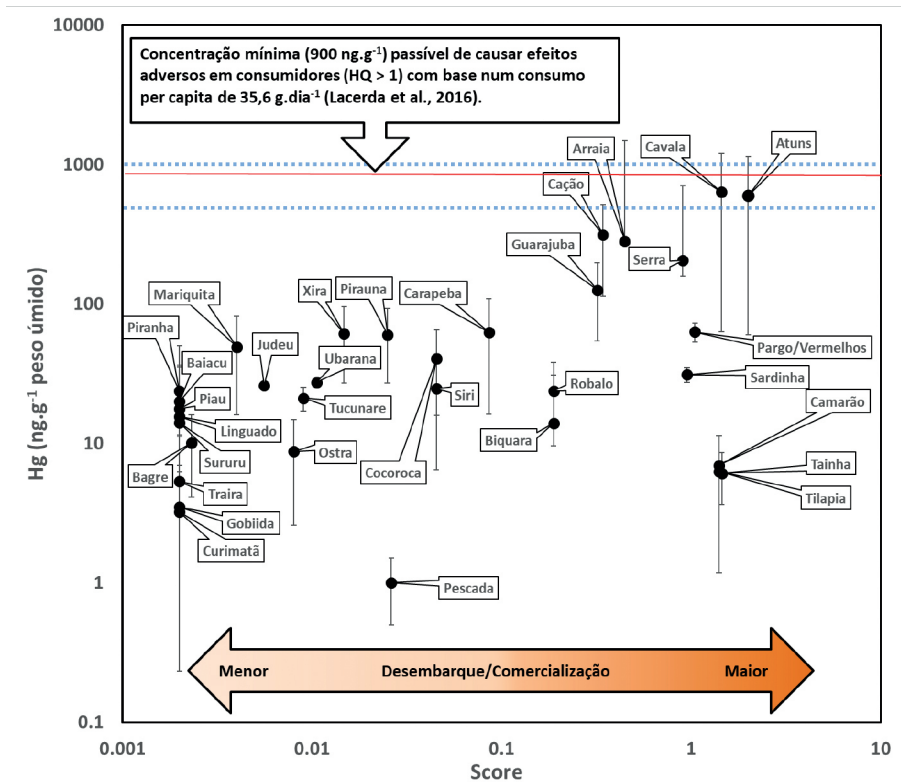
Os dois principais produtos da aquicultura cearense o camarão *Penaeus vannamei* e a tilápia *Oreochromis niloticus* apesar das concentrações de Hg reportadas na literatura serem muito baixas ($16 \pm 5 \text{ ng.g}^{-1}$ no camarão (Moura & Lacerda, 2018) e $29.8 \pm 10.1 \text{ ng.g}^{-1}$ em tilápias (Lacerda et al., 2014) a crescente importância como recursos pesqueiros justificam sua inclusão neste estudo.

As estimativas de desembarque das principais espécies de pescado nos terminais pesqueiros do Ceará, calculadas por Freire et al. (2021) refletem apenas parcialmente os dados de exportação. A ausência de dados recentes impede, por exemplo, a inclusão das pescarias de atuns e afins, relativamente recentes no estado. Entretanto, são fundamentais para o dimensionamento do consumo de pescado, variável fundamental nas estimativas de risco de exposição em populações humanas consumidoras. Diversas espécies inexistentes ou insignificantes no quadro das exportações, mostram-se significativas no consumo interno, como no caso dos escombrídeos, peixes de pequeno porte, como a sardinha e a biquara, tainhas e principalmente raiss e tubarões. Esta significância suporta a extensão dos estudos sobre a contaminação por Hg à essas espécies comercializadas localmente.

Os escores adimensionais atribuídos a cada espécie, baseados nos dados constantes nas exportações e desembarque, que considera a disponibilidade das diferentes espécies de pescado para consumo humano, são comparados com as diferentes concentrações de Hg disponíveis na literatura especializada (Figura 1). Mesmo considerando apenas os dados disponíveis na literatura, é possível estimar a exposição humana potencial pelo consumo de pescado no Estado do Ceará, as espécies localizadas na parte superior direita do plano são aquelas que apresentam grande comercialização e elevadas concentrações de Hg e, portanto, que sugerem maior risco de exposição humana pelo

consumo de pescado. Neste grupo encontram-se grandes espécies carnívoras oceânicas, como atuns, tubarões, escombrídeos e algumas espécies de peixes vermelho. Na parte inferior esquerda do plano estão aquelas espécies que seja pela comercialização restrita ou por baixas concentrações de Hg não representam, pelo menos nas condições atuais, risco significativo de exposição humana pelo consumo de pescado. São representadas principalmente por espécies de água doce e marinhas de pequeno porte. Na parte central do plano, encontram-se espécies que representam risco intermediário e que poderá variar dependendo principalmente de mudanças no padrão de consumo. Aqui encontram-se diversas espécies tipicamente estuarinas com consumo elevado por populações tradicionais.

Figura 1 - Concentração de Hg, reportadas na literatura, em itens do pescado do Ceará. Linhas tracejadas em azul correspondem aos limites máximos de Hg estabelecidos na legislação para peixes predadores (1.000 ng.g^{-1}) e não predadores (500 ng.g^{-1}).



Dado a estimativa de exposição potencial avaliada por concentrações de Hg disponíveis até o momento e os dados de comercialização e consumo, resulta na necessidade de medidas diretas das concentrações de Hg presentes nos principais itens de pescado de importância econômica e alimentar do estado do Ceará.

4.2 Concentrações de Hg quantificadas em pescado do Ceará

Foram amostradas 49 espécies totalizando 976 amostras, sendo 34 de peixes ósseos amostrados, 9 de peixes cartilaginosos, três espécies de crustáceos, e três de moluscos e crustáceos. Para algumas espécies, o número amostral foi insuficiente (< 5 indivíduos) para representar a espécie e, portanto, os resultados devem ser interpretados com cautela. A tabela 2 apresenta detalhes das amostras incluídas no estudo.

As concentrações de Hg no pescado são reportadas em mg.kg⁻¹ de peso úmido, para comparação direta com os limites da legislação. Os diferentes tipos de pescado foram agrupados por espécie e os valores médios de concentração de Hg por espécie foram utilizados para os cálculos de estimativas de exposição.

Tabela 2. Tipos de pescado avaliados no presente trabalho (nome científico e comum, número de indivíduos (n), ano de coleta e origem da amostra. Origem; Ind. (Indústria); MM (Mercado de Peixes do Mucuripe); ERJ. (Estuário do Rio Jaguaribe);

Espécies	Nome comum	n	Anos de coleta	Origem
Peixes ósseos				
<i>Thunnus alalunga</i>	Albacora-branca	4	2022	Ind.
<i>Thunnus obesus</i>	Albacora-bandolim	31	2011-16	Ind.
<i>Thunnus albacares</i>	Albacora-laje	52	2011-16	Ind.
<i>Seriola lalandi</i>	Arabaiana	3	2023	MM
<i>Lutjanus synagris</i>	Ariacó	19	2005-23	MM, Ind.
<i>Cathorops spixii</i>	Bagre	70	2007-15	ERJ
<i>Haemulon plumieri</i>	Biquara	15	2005-22	MM, Fortim
<i>Megalops atlanticus</i>	Camurupim	1	2022	Acarau
<i>Eugerres brasiliensis</i>	Carapeba	69	2005	MM, ERJ

Espécies	Nome comum	n	Anos de coleta	Origem
<i>Lutjanus cyanopterus</i>	Carapitanga	6	2013	ERJ
<i>Scomberomorus cavalla</i>	Cavala	20	2005-22	MM, Acaraú
<i>Lutjanus analis</i>	Cioba	1	2022	MM
<i>Pomadasys corvinaefor- mis</i>	Coró	3	2005-	MM, ERJ
<i>Lutjanus jocu</i>	Dentão	6	2015	ERJ
<i>Coryphaena hippurus</i>	Dourado	7	2022	Ind.
<i>Epinephelus morio</i>	Garoupa	1	2022	MM
<i>Ocyurus chrysurus</i>	Guaiúba	6	2005-16	MM
<i>Caranx bartholomaei</i>	Guarajuba	9	2005-22	MM
<i>Elogatis bipinnulata</i>	Guaxuma	1	2022	Maranhão
<i>Menticirrhus americanus</i>	Judeu	9	2013-15	ERJ
<i>Lutjanus purpureus</i>	Pargo	14	2022-23	MM, Ind., Camocim
<i>Chaetodipterus faber</i>	Parum	2	2010	Fortim
<i>Cynoscion sp.</i>	Pescada	5	2013	ERJ
<i>Cefalopholis fulva</i>	Piraúna	25	2005-06	MM, Mun- daú
<i>Centropomus sp.</i>	Robalo	16	2013-23	ERJ
<i>Archosargus rhomboida- lis</i>	Salema	5	2010	ERJ
<i>Ophistonema oglinum</i>	Sardinha	7	2005-22	MM, ERJ
<i>Scomberomorus brasi- liensis</i>	Serra	14	2006-22	MM, Acaraú
<i>Mycteroperca bonaci</i>	Sirigado	1	2022	MM
<i>Mugil curema</i>	Tainha	13	2005-15	ERJ
<i>Oreochromis niloticus</i>	Tilápia	5	2023	Ind.
<i>Elops saurus</i>	Ubarana	4	2013-15	ERJ
<i>Haemulon carbonarium</i>	Xira	5	2005	ERJ
<i>Tylosurus crocodilus</i>	Zambaia	2	2010	Fortim
Peixes cartilagosos				
<i>Carcharhinus sp.</i>	Cação-carcharhinus	5	2022	MM
<i>Mustelus canis</i>	Cação-boca-de-ve- lha	4	2022	MM
<i>Rhizoprionodon porosus</i>	Cação-frango	7	2016-22	MM
<i>Carcharhinus limbatus</i>	Cação-galha-preta	10	2022	MM
<i>Ginglymostoma cirratus</i>	Cação-lixia	10	2016-22	MM
<i>Galeocerdo curvier</i>	Cação-tigre	2	2022	MM
<i>Rhinoptera sp.</i>	Raia-morcego	1	2022	MM

Espécies	Nome comum	n	Anos de coleta	Origem
<i>Hypanus gutattus</i>	Raia-bico-de-remo	21	2015-23	MM, Icaraí
<i>Hypanus americanus</i>	Raia-manteiga	16	2015-23	MM, Icaraí
Crustáceos				
<i>Penaeus vannamei</i>	Camarão	49	2010-22	Cultivo
<i>Panulirus argus</i>	Lagosta	11	2022-23	A c a r a u , Ind.
<i>Callinectes sp.</i>	Siri	23	2015-23	ERJ, Para- curu
Moluscos				
<i>Crassostrea rhizophorae</i>	Ostra	42	2003-16	Estuários Litoral Les- te
<i>Mytella charruana</i>	Sururu	10	2015	ERJ
<i>Anomalocardia brasili- ana</i>	Vôngole	21	2015	ERJ

A tabela 3 apresenta os valores médios, desvios padrão e mínimos e máximos obtidos para cada espécie de pescado avaliado.

Tabela 3. Biometria e concentrações de Hg total medidas no pescado do estado do Ceará.

Nome comum	Comprimento total (cm)		Hg Total (mg.kg ⁻¹)	
	Média ± Desvio Padrão	Min - Max	Média ± Des- vio Padrão	Min - Max
Peixes ósseos				
Albacora-branca	-	-	0,6 ± 0,07	0,44 – 0,62
Albacora-bandolim	88,1 ± 19,1	54 – 139	0,5 ± 0,31	0,09 – 1,64
Albacora-laje	93,4 ± 28,12	42 – 150	0,15 ± 0,07	0,05 – 0,47
Arabaiana			0,01 ± 0,019	0,07 – 0,12
Ariacô	25,6 ± 6,4	14 – 35,0	0,06 ± 0,05	0,01 – 0,18
Bagre	23,14 ± 7,88	10,8 – 50	0,13 ± 0,02	<0,01 – 0,08
Biquara	21,34 ± 3,7	15 – 27,1	0,08 ± 0,08	0,01 – 0,27
Camurupim	--	-	1,65	1,65
Carapeba	17,12 ± 5,68	10,5 – 27,5	0,02 ± 0,02	<0,01 – 0,12
Carapitanga	16,5 ± 2,3	14 – 19,6	0,03 ± 0,01	0,02 – 0,04
Cavala	73,6 ± 27,71	26 – 126	0,37 ± 0,4	0,05 – 1,74
Cioba	26,0		0,045	0,045
Corô	18,5 ± 4,6	15,7 – 23,9	0,03 ± 0,01	0,01 – 0,04
Dentão	12,8 ± 1,7	10 – 15,0	0,02 ± 0,01	0,01 – 0,03

Nome comum	Comprimento total (cm)		Hg Total (mg.kg ⁻¹)	
	Média ± Desvio Padrão	Min - Max	Média ± Desvio Padrão	Min - Max
Dourado	118,4 ± 22,36	96,8 – 155,8	0,21 ± 0,14	0,15 – 0,54
Garoupa	-	-	0,08	0,08
Guaiúba	39,3 ± 10,4	32,73 – 60	0,1 ± 0,09	0,04 – 0,28
Guarajuba	33,38 ± 4,84	26,7 – 41	0,14 ± 0,07	0,05 – 0,3
Guaxuma	-	-	0,023	0,023
Judeu	16,9 ± 5,17	12,5 – 24,5	0,02 ± 0,01	0,01 – 0,04
Pargo	45,2 ± 20,9	20,2 – 81,0	0,2 ± 0,19	0,04 – 0,7
Parum	12,75 ± 0,35	12,5 – 13	0,03 ± 0,009	0,02 – 0,04
Pescada	15,7 ± 6,5	10 – 29	0,009 ± 0,011	0,003 – 0,1
Piraúna	31,14 ± 9,24	19,5 – 59	0,12 ± 0,11	0,02 – 0,4
Robalo	29,2 ± 10,7	15 – 59	0,04 ± 0,06	0,001– 0,28
Salema	25,80 ± 4,4	20 – 32	0,04 ± 0,03	0,01 – 0,09
Sardinha	17,9 ± 2,96	15,4 – 24,3	0,03 ± 0,01	0,02 – 0,05
Serra	63,0 ± 11,0	52 – 87,9	0,13 ± 0,13	0,04 – 0,5
Sirigado	-	-	0,07	0,07
Tainha	23,8 ± 4,3	19 – 33,0	0,01 ± 0,003	<0,01
Tilápia	32,6 ± 1,0	31 – 33,7	0,0003 (< L.D.)	0,0003
Ubarana	25,38 ± 2,10	22,5 – 27,5	0,02 ± 0,01	0,01 – 0,03
Xira	18,36 ± 0,57	17,8 – 19,10	0,05 ± 0,02	0,02 – 0,09
Zambaia	63,00 ± 0,0	63,0	0,02 ± 0,003	0,02 – 0,03
Peixes cartilaginosos				
Cação-carcharhinus	117,7 ± 36,24	87,3 – 170	0,75 ± 0,36	0,13 – 1,03
Cação-boca-de-velha	102,7 ± 8,02	95 – 111	0,53 ± 0,11	0,4 – 0,68
Cação-frango	51,2 ± 25,6	36 – 92,2	0,2 ± 0,36	0,04 – 0,95
Cação-galha-preta	122,6 ± 30,34	60 – 172	0,58 ± 0,19	0,15 – 0,85
Cação-lixia	140,2 ± 46,2	82,2 – 199,0	0,42 ± 0,27	0,07 – 0,92
Cação-tigre	232,4 ± 123,9	144,8 – 320,0	0,44 ± 0,26	0,26 – 0,62
Raia-bico-de-remo	38,2 ± 20,9	10,7 – 84	0,26 ± 0,34	0,01 – 1,09
Raia-manteiga	70,7 ± 14,0	30 – 91	0,38 ± 0,31	0,12 – 1,2
Raia-morcego	82	-	0,03	0,03
Crustáceos				
Camarão	9,1 ± 3,4	3 – 16	0,003 ± 0,001	<0,01 – 0,1
Lagosta	18,14 ± 3,9	14,1 – 23,5	0,004 ± 0,01	0,02 – 0,07
Siri	-	-	0,02 ± 0,01	0,01 – 0,05
Moluscos				
Ostra	< 2	-	0,01 ± 0,006	0,01 – 0,03

Nome comum	Comprimento total (cm)		Hg Total (mg.kg ⁻¹)	
	Média ± Desvio Padrão	Min - Max	Média ± Desvio Padrão	Min - Max
Sururu	-	-	0,01 ± 0,002	0,01 – 0,02
Võngole	2,01 ± 0,23	1,7 – 2,3	0,01 ± 0,003	0,01 – 0,02

Aproximadamente 93% das espécies de pescado comercializado no estado do Ceará apresentaram concentrações médias de Hg menores ou iguais ao limite máximo para consumo humano de peixes não-predadores de 0,5 mg.kg⁻¹ (ANVISA, 2021). Para peixes predadores, o limite máximo estabelecido na referida normativa é de 1,0 mg.kg⁻¹ em peso úmido e não foi ultrapassado em nenhuma das espécies analisadas considerando os valores médios de Hg. Entretanto, considerando concentrações por indivíduo, foram observados valores iguais ou maiores que 1,0 mg.kg⁻¹ em peso úmido em sete indivíduos (menos de 1% dos indivíduos analisados). Para não-carnívoros apenas 55 indivíduos (6% dos indivíduos analisados) apresentaram concentrações de Hg igual ou maior que 0,5 mg.kg⁻¹ em peso úmido (Tabela 3).

Tubarões e raias de grande porte são predadores de vida longa e se alimentam de outros peixes, ocupando um alto nível na cadeia alimentar de regiões oceânicas e costeiras (Carrier et al., 2010) e foram esses peixes os que incorporam maiores quantidades de Hg nos órgãos e tecidos (Bezerra et al., 2019; Tiktak et al., 2020). O Hg acumula no corpo ao longo da vida dos organismos, dessa forma, animais maiores tendem a apresentar maiores concentrações comparados com animais menores de uma mesma espécie. As concentrações médias de Hg nas seis espécies de tubarões avaliados variaram de 0,2 mg.kg⁻¹ a 0,75 mg.kg⁻¹ em peso úmido. Nas duas espécies de raias avaliadas, as concentrações médias de Hg variaram entre 0,26 mg.kg⁻¹ e 0,38 mg.kg⁻¹ em peso úmido (Tabela 3). Geralmente, esse tipo de pescado é vendido sem identificação de espécie, portanto, na presente recomendação os resultados de todas as espécies foram agrupados em dois grupos (tubarões e raias) e foi calculado a concentração de Hg referente ao percentil 95. Os tubarões apresentaram concentração de 0,82 mg.kg⁻¹ em peso úmido e as raias apresentaram concentração de 0,72 mg.kg⁻¹ em peso úmido.

Variações nas concentrações de Hg com o tamanho dos indivíduos foram observadas nos peixes ósseos albacora-bandolim e cavala. As concentrações de Hg nos indivíduos de grande porte dessas espé-

cies são maiores que nos indivíduos menores. Por exemplo, a maior concentração de Hg foi observada em um único indivíduo da espécie *Megalops atlanticus*, comumente conhecido como Camurupim, que apresentou $1,6 \text{ mg.kg}^{-1}$. No entanto, esse foi o único indivíduo amostrado (obtido apenas em posta, diretamente no Mercado de São Sebastião) para esse tipo de pescado e, portanto, pode não representar as concentrações médias de Hg nessa espécie.

É importante ressaltar que os valores estabelecidos na instrução normativa da ANVISA (2021) são limites máximos tolerados para fins de fiscalização sanitária para consumo humano e, portanto, para o Hg, não representam necessariamente os níveis de contaminação para o consumo seguro de pescado, sendo necessário também avaliar as características dos consumidores (idade, peso e sexo), a frequência e quantidades consumidas de cada tipo de pescado, e o tempo de exposição através do consumo.

4.3 Estimativas de exposição ao Hg através do consumo de pescado

Foi calculada a exposição ao Hg para quatro grupos de consumidores: A) Mulheres entre 18 e 45 anos; B) Crianças entre 1 e 12 anos; C) Homens acima de 18 anos; e D) Mulheres acima de 46 anos. Para cada grupo, foi estimada a exposição considerando três cenários: a) Consumo per capita de pescado estimado para a região nordeste do Brasil ($\text{TCNE} = 0.0245 \text{ kg.dia}^{-1}$) (IBGE, 2021); b) Consumo de pescado seguindo recomendação da FAO/WHO (2010) para obtenção dos benefícios nutricionais; e c) Consumo para populações com alto nível de ingestão de pescado ou que consumam pescado como subsistência segundo USEPA (2000).

Cenário “a” ($\text{TC}_{\text{NE}} = 0.0245 \text{ kg.dia}^{-1}$)

Nesse cenário, mulheres em idade fértil e mulheres acima de 46 anos apresentam taxas de ingestão de Hg (TIHg) acima da dose de referência ($\text{RfD} = 0,0001 \text{ mg.kg peso corpóreo}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) para 11 espécies de pescado, incluindo os peixes ósseos camurupim, cavala e albacora-bandolim, albacora-branca, além dos peixes

cartilaginosos cação-carcharhinus, cação-boca-de-velha, cação-galha-preta, cação-tigre, cação-lixo, raia-manteiga e raia-bico-de-remo. Homens acima de 18 anos também apresentam TIHg maior que RfD para as mesmas espécies, exceto para a raia-bico-de-remo. Essas espécies apresentam média de Hg entre 0,3 e 0,75 mg.kg⁻¹ (Tabela 3), o que está abaixo do limite máximo tolerável (1 mg.kg⁻¹) (ANVISA, 2021). Para crianças entre 1 e 12 anos, TIHg excede RfD para 17 espécies avaliadas, incluindo os peixes ósseos piraúna, guarajuba, dourado, pargo, serra e albacora-laje, além das espécies citadas anteriormente. O índice de risco associado (THQ) foi maior que 1 para as mesmas espécies em que TIHg excede o RfD em todos os grupos de consumidores. Nesse cenário, a concentração máxima de segurança (FSL) calculada foi de apenas 0,23 mg.kg⁻¹, 0,24 mg.kg⁻¹, 0,27 mg.kg⁻¹ e 0,10 mg.kg⁻¹ em peso úmido, para mulheres em idade fértil, mulheres acima de 46 anos, homens acima de 18 anos e crianças entre 1 e 12 anos, respectivamente. Ainda assim, entre 63% e 80% das espécies de pescado analisadas apresentam concentrações de Hg menores que FSL e, portanto, não apresentariam risco aos consumidores.

Cenário “b” (TCOMS = 0,0285 kg.dia-1)

Nesse cenário, mulheres em idade fértil apresentam taxas de ingestão de Hg (TIHg) acima da dose de referência (RfD = 0,0001 mg.kg peso corpóreo⁻¹.dia⁻¹) para 13 espécies de pescado, incluindo os peixes ósseos dourado, camurupim, cavala e albacora-bandolim, albacora-branca, além dos peixes cartilaginosos cação-carcharhinus, cação-boca-de-velha, cação-frango, cação-galha-preta, cação-tigre, cação-lixo, raia-manteiga e raia-bico-de-remo. Para mulheres acima de 46 anos, TIHg é maior que RfD em 11 espécies, incluindo todas as citadas anteriormente, exceto dourado. Para homens acima de 18 anos, TIHg é maior que RfD para as mesmas espécies, exceto dourado e cação-frango. Essas espécies apresentam média de Hg entre 0,3 e 0,75 mg.kg⁻¹ em peso úmido (Tabela 3), o que está abaixo do limite máximo tolerável (ANVISA, 2021). Para crianças entre 1 e 12 anos, TIHg excede RfD para 19 espécies avaliadas, incluindo os peixes ósseos Piraúna, Guarajuba, Guaiúba, Pargo, Serra e Albacora-laje, além das espécies citadas anteriormente. O índice de risco associado

(THQ) foi maior que 1 para as mesmas espécies em que TIHg excede o RfD em todos os grupos de consumidores. Nesse cenário, a concentração máxima de segurança (FSL) calculada foi de apenas 0,20 mg.kg⁻¹, 0,21 mg.kg⁻¹, 0,23 mg.kg⁻¹ e 0,10 mg.kg⁻¹, em peso úmido para mulheres em idade fértil, mulheres acima de 46 anos, homens acima de 18 anos e crianças entre 1 e 12 anos, respectivamente. Ainda assim, entre 59% e 78% das espécies de pescado analisadas apresentam concentrações de Hg menores que FSL e, portanto, não apresentariam nenhum risco aos consumidores.

Cenário “c” (TCsubs = 0,142 kg.dia-1)

Nesse cenário, um número maior de espécies apresentou TIHg maior que RfD, sendo 26 espécies no grupo de mulheres em idade fértil e mulheres acima de 46 anos, 25 espécies no grupo de homens acima de 18 anos e 40 espécies no grupo de crianças entre 1 e 12 anos de idade. Essas espécies apresentam média de Hg entre 0,02 e 0,75 mg.kg⁻¹ em peso úmido (Tabela 3), novamente abaixo do limite máximo tolerável (ANVISA, 2021). O índice de risco associado (THQ) foi maior que 1 para as mesmas espécies em que TIHg excede o RfD em todos os grupos de consumidores. Nesse cenário, a concentração máxima de segurança (FSL) calculada foi menor que 0,05 mg.kg⁻¹ em peso úmido para todos os grupos de consumidores avaliados. Claramente nota-se que a frequência e quantidade de pescado consumida controla fortemente a definição do limite máximo de segurança (FSL). É importante entender que o FSL deve ser utilizado como uma avaliação *a priori* visando identificar a existência de possíveis cenários onde o consumo de um certo tipo de pescado poderá trazer risco a um determinado tipo de consumidor. Portanto, esse tipo de estimativa não deve ser utilizado para fazer recomendações de consumo, visto que a dieta de consumidores em geral é incrivelmente variada e, portanto, difícil de ser definida com exatidão. Dessa forma, os índices TIHg e THQ refletem os riscos reais de uma população apenas quando utilizadas taxas de consumo determinadas localmente e/ou os níveis de Hg medidos no pescado ultrapassarem o limite de 1,0 mg.kg⁻¹ em peso úmido.

4.4 Recomendações ao consumo de pescado no estado do Ceará em relação as concentrações de Hg

O pescado é uma importante fonte de energia, proteína e uma ampla diversidade de nutrientes e vitaminas necessários para o bom funcionamento do metabolismo humano, incluindo redução do risco de morte por problemas cardíacos em adultos (FAO/WHO, 2010), além de melhorar o desenvolvimento neurológico de crianças, particularmente quando o consumo ocorre durante a gravidez. Além disso, o consumo de pescado é ainda uma tradição milenar de muitas populações costeiras, incluindo as populações do estado do Ceará.

Os riscos atribuídos a não ingestão dos nutrientes presentes no pescado são maiores do que os riscos atribuídos à eventual exposição ao Hg por meio do consumo de pescado que apresentam concentrações abaixo de $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ em peso úmido (FAO/WHO, 2010), o que é o caso da grande maioria do pescado comercializado no Ceará, como demonstrado neste estudo. Dessa forma, observa-se que todos os pescados comercializados no Ceará podem ser consumidos com segurança. No entanto, deve-se atentar com a frequência de consumo, especialmente por mulheres em idade fértil e crianças.

Recomenda-se consumir pequenas porções de diferentes tipos de pescado em vez de grandes quantidades de um único tipo que pode conter altas concentrações de Hg. Em geral, peixes de grande porte contém maiores níveis de contaminantes comparado com peixes de pequeno porte. Recomenda-se o consumo do músculo (filé) evitando o consumo de pele e órgãos como o fígado e trato digestivo, pois essas partes geralmente contêm maiores concentrações Hg. A carne de pescado após o processo de cocção apresenta menores concentrações de Hg comparado ao pescado fresco (Costa et al., 2022).

Consumidores em geral devem reduzir o consumo de tubarões (cação) e raias de grande porte, medindo mais que 1,0 m de comprimento no caso de tubarões, e 50 cm de largura do disco no caso de raias. Para esse tipo de pescado, é aconselhado o

consumo de no máximo uma porção por mês. Vale ressaltar que a quantidade segura de consumo de pescado varia com o peso corpóreo do consumidor.

Mulheres grávidas e/ou lactantes

A Organização Mundial de Saúde e a FAO, enfatizam que esse grupo de consumidores deve consumir pescado como forma de otimizar o desenvolvimento neurológico do bebê durante a gestação e nos primeiros anos de vida da criança (FAO/WHO, 2010). Isso se deve, em grande parte, aos altos níveis de ácidos graxos de cadeia longa (LCn3PUFA) contido na maioria dos peixes e frutos do mar e que são incorporados no cérebro e membranas da retina durante a gestação e amamentação do bebê (Martinez, 1992; Lewin et al., 2005). O desenvolvimento ótimo desses órgãos tem mostrado uma melhora nos testes de memória visual e compreensão de linguagem em crianças até 2 anos (Colombo et al., 2004; Daniels et al., 2004; Oken et al., 2008; Hibbeln et al., 2007). É importante destacar que esses benefícios foram observados em crianças cuja mães mantinham uma dieta rica em frutos do mar. Em contraste, crianças e recém-nascidos são mais sensíveis aos efeitos tóxicos do Hg e, por isso, os cuidados ao consumir pescado devem ser redobrados evitando espécies com alto teor desse contaminante.

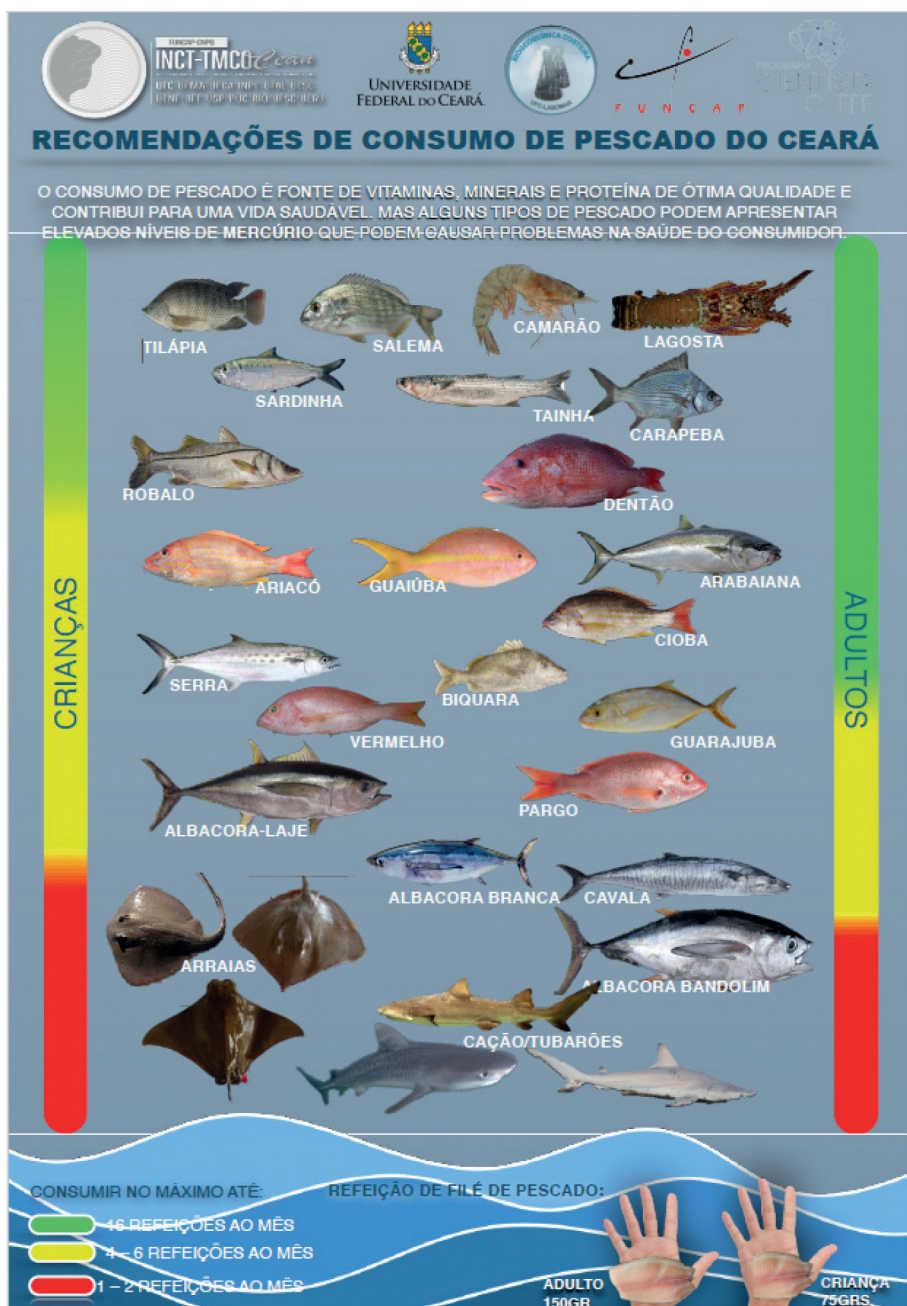
Mulheres grávidas, lactantes, e crianças devem evitar consumir peixes de grande porte, incluindo tubarões (cação) e raias maiores que 1,0 metro de comprimento e 50 centímetros de largura do disco, respectivamente. As concentrações Hg observadas nesse tipo de pescado juntamente com os riscos específicos para esse tipo de consumidor justificam essa recomendação. Outros peixes de grande porte, como a albacora-bandolim e a cavala maiores que 1,0 m de comprimento devem ser consumidas apenas uma vez por mês por esse grupo de consumidores. Peixes de pequeno porte das espécies acima citadas podem ser consumidos com segurança, desde que não ultrapasse a recomendação de uma vez por semana. Para todos os outros tipos de pescado avaliados recomenda-se um consumo de duas vezes por semana ou mais dependendo da espécie (Figura 2). Essa recomendação está de acordo com sugestões de consumo estabelecidas pela OMS e FAO (FAO/WHO, 2010).

Cabe ressaltar, que os resultados obtidos para o pescado produzido pela atividade aquícola do estado do Ceará apresentaram as menores concentrações de Hg comparado com o pescado oriundo da pesca extrativista. A tilápia e o camarão, portanto foram incluídos na categoria "sem restrição" e podem ser consumidos com segurança em uma frequência acima de três vezes por semana, por todos os grupos de consumidores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As concentrações de Hg medidas no pescado originado na pesca extrativista e na aquicultura, estão em sua quase totalidade abaixo dos limites preconizados pela legislação. Entretanto, os parâmetros de consumo e tipo de pescado, sugerem algumas recomendações quanto a restrição de consumo para alguns tipos de pescado e grupos de consumidores específicos. Integrando todos os resultados obtidos, o estudo sugere recomendações descritas figura 2 como referência para o consumo de pescado no estado do Ceará.

Figura 2 – Recomendação para consumo de pescado comercializado no Ceará considerando o risco de exposição ao Hg.



Em resumo, para todos os produtos da aquicultura não há restrição a seu consumo, seja por adultos ou crianças. Para todas as espé-

cies de pescado de pequeno porte oriundos principalmente da pesca artesanal e de subsistência recomenda-se um consumo pouco restritivo de quatro a seis refeições por semana, com pequenas variações dependendo da espécie (Figura 2). No caso de outros peixes de grande porte, como a albacora-bandalim e a cavala, maiores que 1,0 m de comprimento, devem ser consumidas apenas uma ou duas vezes por mês, particularmente por crianças e mulheres grávidas. Finalmente, as restrições mais fortes devem ser aplicadas ao consumo de peixes elasmobrânquios e de indivíduos de grande porte de atuns e afins.

REFERÊNCIAS

ANVISA, D.C. da A.N. de V.S., 2021. **INSTRUÇÃO NORMATIVA - IN N° 88, DE 26 DE MARÇO DE 2021, Limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos.** Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Brasília, DF.

ATSDR, 2022. **Toxicological Profile for Mercury** (Draft for Public Comment). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Services.

Barreto, R.R., Bornatowski, H., Motta, F.S., Santander-Neto, J., Vianna, G.M.S., Lessa, R., 2017. Rethinking use and trade of pelagic sharks from Brazil. **Mar. Policy** 85, 114-122. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.08.016>

Benford, D., Ceccatelli, S., Cottrill, B., DiNovi, M., Dogliotti, E., Edler, L., Farmer, P., Fürst, P., Hoogenboom, L., Knutsen, H.K., Haldorsen, Anne-Katrine Metzler, M., Nebbia, C.S., O’Keeffe, M., Rietjens, I., Schrenk, D., Silano, V., Loveren, H. van, Vleminckx, C., Wester, P., 2012. Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. **EFSA J.** 10. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2985>

Bernardo, C., Corrêa de Lima Adachi, A.M., Paes da Cruz, V., Foresti, F., Loose, R.H., Bornatowski, H., 2020. The label “Caçãõ” is a shark or a ray and can be a threatened species! Elasmobranch trade in Southern Brazil unveiled by DNA barcoding. **Marine Policy** 116, 103920. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103920>

Bezerra, M.F., de Alencar Goyanna, F.A., Lacerda, L.D., 2023. Risk assessment of human Hg exposure through consumption of fishery products in Ceará state, northeastern Brazil. **Mar. Pollut. Bull.** 189, 114713. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114713>

Bezerra, M.F., Lacerda, L.D., Lai, C.-T., 2019. Trace metals and persistent organic pollutants contamination in batoids (Chondrichthyes: Batoidea): A systematic review. *Environ. Pollut.* 248. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.070>

Caracas, I.B., Bezerra, M.F., Lacerda, L.D., Matias, J.F., 2022. *Protocolo para análise e quantificação de metais em pescados e produtos da aquicultura*. Fortaleza, Ceará. FUNCAP, Programa Cientista Chefe, 29 p.

Carrier, J., Musick, J., Heithaus, M., 2010. *Sharks and Their Relatives II*. Taylor & Francis, Boca Raton, 746 p. <https://doi.org/10.1201/9781420080483>

Cavalcante, J.V.C., 2018. *Risco ecológico da pesca de atuns e afins em cardumes associados no Atlântico Oeste*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca. Universidade Federal do Ceará.

Chiocchetti, G., Jadán-Piedra, C., Vélez, D., Devesa, V., 2017. Metal(loid) contamination in seafood products. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 57, 3715–3728. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1161596>

Clarkson, T.W., Magos, L., 2006. The toxicology of mercury and its chemical compounds. *Crit. Rev. Toxicol.* 36, 609–662. <https://doi.org/10.1080/10408440600845619>

Collette, B., Nauen, C.E., 1983. *FAO Species Catalogue*. Vol. 2. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date. FAO Fish. Synop. 2. FAO, Rome

Colombo, J., Kannass, K.N., Shaddy, D.J., Kundurthi, S., Maikranz, J.M., Anderson, C.J., Blaga, O.M., Carlson, S.E., 2004. Maternal DHA and the development of attention in infancy and toddlerhood. *Child Development*, 75,1254–1267.

COMEXSTAT, 2022. *Sistema de Estatísticas do Comércio Exterior*. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>

Costa, B.G.B., Lacerda, L.D., 2009. Concentração de mercúrio total em Cavala, *Scomberomorus cavalla*, e Serra, *Scomberomorus brasiliensis*, comercializados nas bancas de pescado do Mucuripe, Fortaleza, Ceará. *Arq. Ciências Mar* 42, 22–29.

Costa, F., Mieirol, C.L., Pereira, M.E., Coelho, J.P., 2022. Mercury bioaccessibility in fish and seafood: Effect of method, cooking and trophic level on consumption risk assessment. *Mar. Pollut. Bull.* 179, 113736. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113736>

Daniels, J.L., Longnecker, M.P., Rowland, A.S. & Golding, J. 2004. Fish intake during pregnancy and early cognitive development of offspring. *Epidemiology*, 15, 394–402.

DG-SANTE, 2017. *Fishery products*. European Commission Directorate-General (ECDG) for Health and Food Safety - Health and Food Audits and Analysis. DG(SANTE) 2017-6278. Ref. Ares (2018) 3086594. https://ec.europa.eu/food/audits-analysis/audit_reports/details.

FAO/WHO, 2010. *Report of the joint FAO / WHO expert consultation on the risks and benefits of fish consumption*. FAO Fisheries and Aquaculture report.

FAO/WHO, 1995. *Codex General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed (CODEX STAN 193-1995)*. Food and Agriculture Organization (FAO) and World Health Organization (WHO).

Freire, K.M.F., Almeida, Z. da S. de, Amador, J.R.E.T., Aragão, J.A., Araújo, A.R. da R., Ávila-da-Silva, A.O., Bentes, B., Carneiro, M.H., Chiquieri, J., Fernandes, C.A.F., Figueiredo, M.B., Hostim-Silva, M., Jimenez, É.A., Keunecke, K.A., Lopes, P.F.M., Mendonça, J.T., Musiello-Fernandes, J., Olavo, G., Primitivo, C., Rotundo, M.M., Santana, R.F., Sant'Ana, R., Scheidt, G., Silva, L.M.A. da, Trindade-Santos, I., Velasco, G., Vianna, M., 2021. Reconstruction of Marine Commercial Landings for the Brazilian Industrial and Artisanal Fisheries From 1950 to 2015. *Front. Mar. Sci.* 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.659110>

Gadig, O.B.F., Bezerra, M.A., Feitosa, R.D., Furtado-Neto, M.A.A., 2000. Ictiofauna marinha do estado do Ceará, Brasil: I. Elasmobranchii. *Arq. Ciências Mar* 33, 127–132.

Goyanna, F.A.A., 2016. Distribuição de mercúrio em atuns (*Thunnus obesus* e *Thunnus albacares*) capturados no Oceano Atlântico Oeste Equatorial. Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará. <https://doi.org/http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/24028>

Harada, M., 1995. Minamata Disease: Methylmercury Poisoning in Japan Caused by Environmental Pollution. *Crit. Rev. Toxicol.* 25, 1–24. <https://doi.org/10.3109/10408449509089885>

Hibbeln, J.R., Davis, J.M., Steer, C.P., Emmett, I., Rogers, C., Williams, C. & Golding, J. 2007. Maternal seafood consumption in pregnancy and neurodevelopmental outcomes in childhood (ALSPAC study): an observational cohort study. *Lancet*, 369, 578–585.

IBGE. 2021. *Produção da Pecuária Municipal 2020; Rio de Janeiro*: IBGE. Acesso em Junho 2022. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/pesquisa/18/16459?localidade=0&ano=2020&indicador=16512>

IBGE, 2024. Dados amostrais e estimativas populacionais das medianas de altura e peso da população, por sexo, segundo a idade e os grupos de idade - Amazonas - período 2008-2009. Antropometria e estado nutricional de crianças, adolescentes e adultos no Brasil. [https://www.Document.com](https://www.document.com). *Pesqui. Orçamentos Fam. - POF 2008-2009*. URL [https://ftp.ibge.gov.br/Orçamentos Familiares/Pesquisa de Orcamentos Familiares 2008 2009/Antropometria e estado nutricional de crianças adolescentes e adultos no Brasil/tab3 3.zip](https://ftp.ibge.gov.br/Orçamentos_Familiares/Pesquisa_de_Orçamentos_Familiares_2008_2009/Antropometria_e_estado_nutricional_de_crianças_adolescentes_e_adultos_no_Brasil/tab3_3.zip)

Lacerda, L.D., Costa, B.G.B.C., Lopes, D.N., Oliveira, K., Bezerra, M.F., Bastos, W.R., 2014. Mercury in indigenous, introduced and farmed fish from the semiarid region of the Jaguaribe River Basin, NE Brazil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 93, 31–35. <https://doi.org/10.1007/s00128-014-1263-0>

Lacerda, LD., Bezerra, M.F., Costa, B.G.B., Braga, T.M., Goyanna, F.A. de A., 2016. Mercury distribution in fish commercialized at the Mucuripe Market, Fortaleza, Ceará State, Brazil. *Arq. Ciências Mar* 49, 50–54.

Lacerda, L.D., Goyanna, F., Bezerra, M.F., Silva, G.B., 2017. Mercury Concentrations in Tuna (*Thunnus albacares* and *Thunnus obesus*) from the Brazilian Equatorial Atlantic Ocean. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 98, 149–155. <https://doi.org/10.1007/s00128-016-2007-0>

Lacerda, L.D., Santos, J.A., Campos, R.C., Gonçalves, R.A., Salles, R., 2007. Total-Hg and organic-Hg in *Cephalopholis fulva* (Linnaeus, 1758) from inshore and offshore waters of NE Brazil. *Braz. J. Biol.* 67, 493–498. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842007000300014>

Lewin, G.A., Schachter, H.M., Yuen, D., Merchant, P., Mamaladze, V. & Tsertsvadze, A. 2005. *Effects of omega-3 fatty acids on child and maternal health*. Rockville, MD, Agency for Healthcare Research and Quality (Evidence Reports/Technology Assessments, No. 118).

Martinez, M. 1992. Tissue levels of polyunsaturated fatty acids during early human development. *J. Pediatrics*, 120(4 Pt 2), S129–S138.

Mergler, D., Anderson, H.A., Chan, L.H.M., Mahaffey, K.R., Murray, M., Sakamoto, M., Stern, A.H., 2007. Methylmercury exposure and health effects in humans: A worldwide concern. *Ambio* 36, 3-11. <https://doi.org/10.1579/0044-7447>

Miyake, M., Guillotreau, P., Sun, C.-H., Ishimura, G., 2010. Recent developments in the tuna industry: stocks, fisheries, management, processing, trade and markets. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 543*. Rome, FAO. 2010. 125p. Rome.

Moura, V.L., de Lacerda, L.D., 2018. Contrasting Mercury Bioavailability in the Marine and Fluvial Dominated Areas of the Jaguaribe River Basin, Ceará,

Brazil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 101, 49–54. <https://doi.org/10.1007/s00128-018-2368-7>

Moura, V.L., Rabelo, J.N., Bezerra, M.F., Silva, G.B. da, Faria, V.V., Rezende, C.E., Bastos, W.R., Lacerda, L.D., 2020. Ecological and biological factors associated to mercury accumulation in batoids (Chondrichthyes: Batoidea) from northeastern Brazil. *Mar. Pollut. Bull.* 161, 111761. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111761>

MPA, 2012. *Boletim Estatístico Da Pesca E Aquicultura - 2011*. Secretaria de Monitoramento e Controle do Ministério da Pesca e Aquicultura – MPA. Coordenação-Geral de Monitoramento e Informações Pesqueiras. 60p., Boletim Estatístico Da Pesca E Aquicultura 2011. Brasília.

National Research Council (US) Committee on the Toxicological Effects of Methylmercury. *Toxicological Effects Of Methylmercury*. Washington (DC): National Academies Press (US); 2000. PMID: 25077280.

Nesheim, M.C., Yaktine, A.L., 2007. *Seafood Choices: Balancing Benefits and Risks*. Institute of Medicine. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11762>

Nóbrega, M.F., Lessa, R., 2009. *Peixes marinhos da região nordeste do Brasil*. Programa REVIZEE - Score Nordeste, Programa REVIZEE - Score Nordeste. Editora Martins & Cordeiro, Fortaleza.

Oken, E., Østerdal, M.L., Gillman, M.W., Knudsen V.K., Halldorsson, T.I., Strøm, M., Bellinger, D.C., 2008. Associations of maternal fish intake during pregnancy and breastfeeding duration with attainment of developmental milestones in early childhood: a study from the Danish National Birth Cohort. *Am. J. Clinical Nutr.* 288,789–796.

Raatz, S.K., Silverstein, J.T., Jahns, L., Picklo, M.J., 2013. Issues of fish consumption for cardiovascular disease risk reduction. *Nutrients* 5, 1081–1097. <https://doi.org/10.3390/nu5041081>

Teixeira, S.R.D., Sampaio, L.A.S.F., Marinho, R.A., 2014. Estudo biológico-pesqueiro da Sardinha-bandeira, *Ophistonema oglinum*, no município de Cascavel, Ceará, Brasil. *Arq. Ciências do Mar* 47, 31–38.

Tiktak, G.P., Butcher, D., Lawrence, P.J., Norrey, J., Bradley, L., Shaw, K., Preziosi, R., Megson, D., 2020. Are concentrations of pollutants in sharks, rays and skates (Elasmobranchii) a cause for concern ? A systematic review. *Mar. Pollut. Bull.* 160, 111701. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111701>

UN Environment, 2019. *Global Mercury Assessment 2018*. UN Environment Programme, Chemicals and Health Branch Geneva, Switzerland. Geneva, Switzerland.

USDA, 2010. *Dietary guidelines for Americans*. U.S. Dep. Agric. U.S. Dep. Heal. Hum. Serv. 95. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.0077>

USEPA, 2022. *United States Environmental Protection Agency. Regional screening levels for chemical contaminants at superfund sites*. [WWW Document]. URL <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-users-guide#special>

USEPA, 2001. *Water quality criterion for the protection of human health: methylmercury final*. US Environ. Prot. Agency, Washington, DC EPA-823-R-, 303.

USEPA, 2000. *Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisories. Vol. 2: Risk assessment and fish consumption limits*. EPA 823-B-00-007. Office of Science and Technology Office of Water U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC.

Vidal, M. de F., 2022. Carcinicultura. *Cad. Setorial ETENE*, 1-10.

Ximenes, L.F., 2021. Produção de pescado no Brasil e no nordeste brasileiro. *Cad. Setorial - Escritório Estud. Econômicos do Nord. - ETENE* 150, 1-16.

ANEXOS:

Anexo 1. Lista dos produtos entregues a FUNCAP:

1. Matias, J.F.O., Caracas, I.B.; Bezerra, M.F. & Lacerda L.D. 2022. Protocolo para análise e quantificação de metais em pescado e produtos da aquicultura. Programa Cientista Chefe da Pesca e Aquicultura, Fortaleza, 27 p.
2. Matias, J.F.O., Bezerra, M.F. & Lacerda L.D. 2022. Inventário justificado das espécies de pescado de maior interesse e risco de contaminação por metais (Hg e Cd) no Estado do Ceará. Programa Cientista Chefe da Pesca e Aquicultura, Fortaleza, 28 p.
3. Matias, J.F.O., Bezerra, M.F., Caracas, I.B., Vale, M.V.S.D. & Lacerda

L.D. 2023. Estimativa de exposição ao mercúrio e recomendação ao consumo de pescado no Estado do Ceará. Programa Cientista Chefe da Pesca e Aquicultura, Fortaleza, 29 p.

Anexo 2. Lista de artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais

1. Lacerda LD, Ward R, Ferreira AC, Borges R, Godoy, MDP, Meireles J. 2021. 20-years cumulative impact from shrimp farming on mangroves of Northeast Brazil. *Frontiers in Forests and Global Change* 4, 653096. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.653096>
2. Morgado F, Santos RMAL, Sampaio D, Lacerda LD, Soares AMVM, Vieira, HC, Abreu S. 2021. Chronological trends and mercury bioaccumulation in an aquatic semiarid ecosystem under a global climate change scenario in the Northeastern coast of Brazil. *Animals* 11, 2402. <https://doi.org/10.3390/ani11082402>
3. Lacerda LD, Ward RD, Borges R, Ferreira AC, 2022. Mangrove trace-metal Biogeochemistry response to global climate change. *Frontiers in Forests and Global Change* 5 (817992), 14. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.817992>
4. Julio TG, Moura VL, Lacerda LD, Lessa RPT. 2022. Mercury concentrations in coastal Elasmobranchs (*Hypanus guttatus* and *Rhizoprionodon porosus*) and human exposure in Pernambuco, Northeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 94 (Suppl. 4), e20220045 <https://doi.org/10.1590/0001-376520220220045>
5. Rodriguez CAB, Lacerda LD, Bezerra, MF. 2022. A review on the pan-oceanic distribution of mercury (Hg) in sea turtles. *Endangered Species Research* 49, 175–185. <https://doi.org/10.3354/esr01209>
6. Goyanna, F., Silva, G., Bezerra, M.F., Lacerda, L.D. 2023. Mercury in oceanic upper trophic level sharks and bony fishes - A systematic review. *Environmental Pollution* 318, 120821 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120821>
7. Moura, V.L. & Lacerda, L.D. 2022. Mercury sources, emissions, distribution and bioavailability along an estuarine gradient under semiarid conditions in NE Brazil. *International Journal of Pollution Research and Public Health* 19, 17092 <https://doi.org/10.3390/ijprph192417092>

8. Bezerra, M.F.; Goyanna, F. & Lacerda, L.D. 2023. Risk assessment of human mercury exposure through consumption of fishery products in Ceará State, Northeastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 189, 114713. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114713>
9. Rodriguez CAB, Lacerda LD, Bezerra, MF. 2023. Pilot study of mercury distribution in the carapace of four species of sea turtles from Northeastern Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology* 110, 99. <https://doi.org/10.1007/s00128-023-03745-1>
10. Verzele, P., Rodriguez, C.A.B., Bezerra, M.F. & Lacerda, L.D. 2024. Regional differences in Hg contents in liver and muscle of *Chelonia mydas* from three foraging grounds in Northeast Brazil. *Environmental Science & Pollution Research* 31, 3917-3925 <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31407-6>
11. Lacerda, L.D., Moura, V.L., Oliveira, R.W.S., Carmo, K.L.C.F., Nunes, J.L.S., Freitas, A.S. & Bezerra, M.F. 2024. Mercury (Hg) concentration in fish marketed in the São Luís Fish Market (MA) and potential exposure of consumers. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 96(1): e20230238 <https://doi.org/10.1590/0001-3765202420230238>
12. Rodriguez CAB, Bezerra, MF, Ristau N, Mendonça DM, Pires TT, Paulino LRS, Lacerda LD, 2024. Biological and ecological traits rather than geography control mercury (Hg) in scutes of marine turtles (*Caretta caretta*, *Chelonia mydas*, *Eretmochelys imbricata*, and *Lepidochelys olivacea*) from the Southwest Atlantic. *Marine Pollution Bulletin* 200, 116085 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116085>
13. Bezerra, M.F.; Rodriguez, C.A.B.; Rezende, C.E. & lacerda, L.D. 2024. Trophic ecology of sympatric sea turtle species in the Brazilian northeastern coast. *Marine Environmental Research*, 196 106406 <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2024.106406>
14. Evers, D.C.; Ackerman, J.T.; Bally, D.; Barrios-Rodriguez, C.A.; et al. 2024. Global mercury concentrations in biota: their use as a basis for a global biomonitoring framework. *Ecotoxicology* e02747. <https://doi.org/10.1007/s10646-024-02747-x>
15. Lacerda, L.D., Goyanna, F.A., Silva, G.B., Rezende, C.E., Bastos, W.R. & Bezerra, M.F. 2024. First record of mercury concentrations in albacore (*Thunnus alalunga*) from the Western Equatorial Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 203, 116469. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116469>

Anexo 3. Produtos de divulgação científica e de cooperação nacional e internacional

1. Andrade, J.B.; Val, A.L.; Prata, A.T.; Oliva, G.; Lacerda L.D.; Bustamante, M.M.C.; Bozza, P.T.; Artaxo Netto, P.E.; Oliven, R.G. & Almeida, V.A.F. 2022. *Contamination by Mercury*. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 12 p. <http://www.abc.org.br/wp-content/uploads/2023/02/Revista-GT-Mercurio-pag-simples-site-da-ABC-vers%C3%A3o-EN-US.pdf>
2. Andrade, J.B.; Val, A.L.; Prata, A.T.; Oliva, G.; Lacerda L.D.; Bustamante, M.M.C.; Bozza, P.T.; Artaxo Netto, P.E.; Oliven, R.G. & Almeida, V.A.F. 2022. *Documento da Academia Brasileira de Ciências (ABC) com recomendações de ações emergenciais relacionadas ao mercúrio (Hg) ao Excl. Sr. Ministro de Estado Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI)*. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 3 p.
3. Andrade, J.B.; Val, A.L.; Prata, A.T.; Oliva, G.; Lacerda L.D.; Bustamante, M.M.C.; Bozza, P.T.; Artaxo Netto, P.E.; Oliven, R.G. & Almeida, V.A.F. 2022. *Contaminação por mercúrio. Por que precisamos de um plano de ação?* Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 12 p. <https://www.abc.org.br/wp-content/uploads/2022/10/Revista-GT-Mercurio-pag-simples-site-da-ABC.pdf>
4. Lacerda, L.D. & Biazon, T.O. 2024. *Mercúrio e segurança alimentar*. Coluna Década do Oceano. Revista Ciência Hoje (SBPC), Rio de Janeiro, Maio de 2024. 2pp.
5. Lacerda, L.D. & Bezerra, M.F. 2023. *Projeto do Cientista Chefe elabora protocolo para detectar poluentes em pescados*. Mídias da FUNCAP. Edição Silvio Mauro.
6. Lacerda, L.D. & Bezerra, M.F. 2024. *Para evitar exposição ao mercúrio, estudo sugere restrições ao consumo de peixes como corvina e pescada amarela*. Matéria de divulgação, Agência Bori. Rio de Janeiro. <https://abori.com.br/saude/exposicao-mercurio-peixes-contaminacao/>
7. Lacerda, L.D. 2024. *Contaminação por mercúrio: por que precisamos de um plano de ação? Seminário: Ações para combate à contaminação de mercúrio*. MCTI, MS, MMA, MPI. Brasília, DF. <https://www.youtube.com/watch?v=TvJFTLxr-7c>

8. Lacerda, L.D. 2024. Exposição ao mercúrio pelo consumo de pescado. Reunião Temática do Eixo I: Ciência Básica na Fronteira do Conhecimento: Segurança Hídrica e Alimentar. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro. <https://www.abc.org.br/2024/03/03/simposio-5a-cncti-ciencia-basica-na-fronteira-do-conhecimento/>
9. Lacerda, L.D.; Andrade, J.B.; Val, A.L.; Prata, A.T.; Oliva, G.; Bustamante, M.M.C.; Bozza, P.T.; 2024. Termo de Referência (TR) da criação e implantação da Rede Mercúrio, a ser lançada durante a V Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia & Inovação. MCTI-FNDC, Brasília, 2024. (Circulação Restrita).
10. Disponibilização dos produtos do projeto junto ao site do INCT de Transferência de Materiais_Continente-Oceano – INCT-TMCOcean – Biblioteca Wim Salomons: <https://inct-tmcocean.com/>

Anexo 4. Formação de recursos humanos

1 Monografias de conclusão de curso concluídas

1. **Kevin Luiz Cordeiro Ferrer do Carmo.** *Avaliação da exposição ao mercúrio (Hg) através do consumo de pescado no litoral NE, Brasil.* 2023. Curso de Oceanografia. Universidade Federal do Ceará. Orientador: Luiz Drude de Lacerda. **Bolsa: FUNCAP-Cientista Chefe.**
2. **Marcus Vinicius da Silva Duarte Vale.** *Contaminação por mercúrio em peixes vermelhos (Perciformes: Lutjanidae) do estado do CE.* 2024. Monografia de Conclusão de Curso. Curso de Oceanografia. Universidade Federal do Ceará. Orientador: Luiz Drude de Lacerda. **Bolsa: FUNCAP-Cientista Chefe.**
3. **Maria Andreia Ferreira.** *Concentrações de mercúrio em ictiofósseis de diferentes guildas tróficas da Formação Romualdo, Cretáceo Inferior, Brasil.* 2024. Monografia de Conclusão de Curso. Curso de Oceanografia. Universidade Federal do Ceará. Orientador: Luiz Drude de Lacerda. **Bolsa: FUNCAP-Cientista Chefe.**

2 Dissertações de mestrado concluídas

1. **Paul Verzele.** *Le mercure dans le tortues marin (Caretta caretta) en l'Atlantique Sud.* 2022. Dissertação (**Mestrado** em Science de la Mer (SDM)) - Université de Toulon. Orientador: Luiz Drude de Lacerda. **Bolsa: Campus-France.**
2. **Mariana Silvestre Martins.** *Mudanças paleoambientais no estuário do Rio Jaguaribe no Holoceno recente.* 2024. Dissertação (**Mestrado** em Ciências Marinhas Tropicais) - Universidade Federal do Ceará. Orientador: Luiz Drude de Lacerda. **Bolsa: FUNCAP.**
3. **Andréia dos Santos Campos.** *Bioacumulação de mercúrio e ecologia trófica em elasmobrânquios desembarcados na costa do Ceará, Brasil.* 2024. Dissertação (**Mestrado** em Ciências Marinhas Tropicais) - Universidade Federal do Ceará. Orientador: Luiz Drude de Lacerda. **Bolsa: CAPES.**
4. **Tainá Guimarães Julio.** *Biodiversidade e contaminação por mercúrio de elasmobrânquios da costa de Pernambuco.* 2021. Dissertação (**Mestrado** em Biologia Animal) - Universidade Federal de Pernambuco, Coorientador: Luiz Drude de Lacerda. **Bolsa: FACEPE.**

3 Teses de Doutorado

1. **Cyntia Rafaela Ferreira de Moraes.** *Posição trófica e concentrações de mercúrio em cardumes associados em regiões oceânicas no Atlântico oeste equatorial.* 2021. Tese (**Doutorado** em Ciências Marinhas Tropicais) - Universidade Federal do Ceará. Orientador: Luiz Drude de Lacerda. **Bolsa: CAPES.**
2. **Victor Lacerda Moura.** *Fatores controladores das concentrações de mercúrio (Hg) em organismos aquáticos costeiros da região semiárida brasileira.* 2023. Tese (**Doutorado** em Ciências Marinhas Tropicais) - Universidade Federal do Ceará, Orientador: Luiz Drude de Lacerda. **Bolsa: FUNCAP.**
3. **Cesar Augusto Barrios.** *Mercurio (Hg) em tartarugas marinhas (Caretta caretta, Chelonia mydas, Eretmochelys imbricata e Lepidochelys olivacea) no Atlântico Sudoeste Tropical e considerações para seu uso em biomonitoramento.* 2023. Tese (**Doutorado** em Ciências Marinhas Tropicais) - Universidade Federal do Ceará. Orientador: Luiz Drude de Lacerda. **Bolsa: FUNCAP.**
4. **Felipe Augusto de Alencar Goyanna.** *Mercúrio em tubarões e peixes oceânicos de alto nível trófico capturados no Oceano Atlântico Equatorial.* 2024. Tese (**Doutorado** em Ciências Marinhas Tropicais) - Universidade Federal do Ceará. Orientador: Luiz Drude de Lacerda. **Bolsa: IBAMA.**

CAPÍTULO OITO

OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DA MICROALGA HAEMATOCOCCUS PLUVIALIS VIZANDO A PRODUÇÃO DE ASTAXANTINA

Rossi Lelis Muniz Souza²¹, Danilo Cavalcante da Silva²², Nicaely Maria de Oliveira Pereira²³, Winston Kleine Ramalho Viana²⁴, Aldeney Andrade Soares Filho²⁵, Kelma Maria dos Santos Pires Cavalcante²⁶, Francisco Geraldo Barbosa²⁷, Jair Mafezoli²⁸, Fatima Miranda Nunes²⁹, Marcos Carlos de Mattos³⁰, José Licarion Pinto Segundo Neto³¹, Maria Conceição Ferreira Oliveira³².

1 INTRODUÇÃO

As microalgas são biofábricas naturais, caracterizadas pela versatilidade e sustentabilidade de suas aplicações (MUTANDA *et al.*, 2020; THORÉ *et al.*, 2023). Estes micro-organismos atuam, principalmente, como fonte de compostos bioativos de alto valor agregado para as indústrias alimentícia, cosmética, farmacêutica e nutracêutica e, na mitigação das mudanças climáticas globais por meio da fixação de carbono (MUTANDA *et al.*, 2020; ONORATO; RÖSCH, 2020; THORÉ *et al.*, 2023). Dentre as microalgas comercialmente relevantes, a espécie *Haematococcus pluvialis* se destaca por ser a maior fonte de astaxantina natural, correspondendo a aproximadamente 5% de seu peso seco (FAYAAZUDDIN *et al.*, 2023; NISHSHANKA *et al.*, 2022; PEREIRA, *et al.*, 2024).

21 Bolsista BIT FUNCAP Programa Cientista Chefe: Economia Azul

22 Bolsista BIT FUNCAP Programa Cientista Chefe: Economia Azul

23 Aluna de mestrado em Química/Universidade Federal do Ceará

24 Aluno de mestrado em Engenharia de Pesca/Universidade Federal do Ceará

25 Professor Associado II do Dep. de Engenharia de Pesca/UFC

26 Professor Adjunto III do Dep. de Engenharia de Pesca/UFC

27 Professor Associado IV do Dep. de Química Orgânica e Inorgânica/UFC.

28 Professor Titular do Dep. de Química Orgânica e Inorgânica/UFC.

29 Professora Adjunto IV do Dep. de Química Orgânica e Inorgânica/UFC.

30 Professor Titular do Dep. de Química Orgânica e Inorgânica/UFC.

31 Professor do Dep. Química analítica/ Univers. do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

32 Professora titular do Dep. de Química Orgânica e Inorgânica/UFC.

A astaxantina (3,3'-di-hidroxi- β , β -caroteno-4,4'-diona) é um pigmento carotenoide xantofila conhecido por ser um forte antioxidante, com propriedades antienvhecimento, anticancerígenas, de aumento da imunidade e anti-inflamatórias (NISHSHANKA *et al.*, 2022; JANNEL *et al.*, 2020; QUEEN, *et al.*, 2024). Tais benefícios proporcionados à saúde humana justificam, por exemplo, o interesse da National Aeronautics and Space Administration (NASA) em investigar o potencial deste pigmento na melhoria da saúde e da performance dos astronautas durante explorações espaciais de longa duração (NASA, 2024).

As propriedades biológicas destacadas da astaxantina tornam essa molécula química um insumo de elevado interesse para os setores produtivos de nutracêuticos, cosméticos, fármacos, aquicultura, ração animal, além de alimentos e bebidas. Segundo o relatório da Global Market Insights Inc. (GMI, 2024), o mercado global de astaxantina foi estimado em US\$ 908,35 milhões em 2023 e deverá superar os US\$ 1,5 bilhão até 2032, progredindo a uma Taxa de Crescimento Anual Composta (CAGR) de 5,6% de 2024 a 2032. O relatório aponta ainda que o crescimento de mercado global de astaxantina se deve aos seguintes fatores: i) crescente expansão da indústria de alimentos e bebidas (humana e animal); ii) aumento da demanda por suplementos dietéticos e nutracêuticos; iii) envelhecimento da população mundial e; iv) aumento da demanda por produtos de beleza e cuidados pessoais.

Com relação à origem da astaxantina existente no mercado, este estudo classifica o comércio de astaxantina entre sintético e natural. É previsto um CAGR de mais de 9,5% entre 2023-2032 para o mercado da astaxantina natural, impulsionando novas tecnologia de cultivo da *H. pluvialis*. Destaca-se ainda como fator de interesse pela astaxantina natural, o fato de ela ser 20 vezes mais antioxidante que a astaxantina sintética. Isso é justificado porque a astaxantina natural trata-se, predominantemente, do esteroisômero (3S,3'S), enquanto a astaxantina sintética é produzida como uma mistura dos estereoisômeros (3S,3'S), (3R,3'S) e (3R,3'R) na proporção 1:2:1 (PINTO *et al.*, 2023).

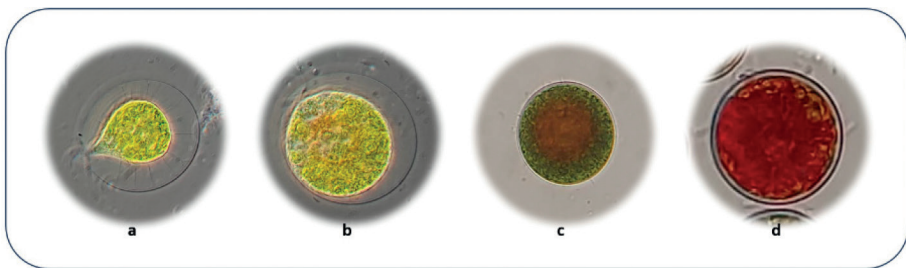
Os maiores desafios associados à produção comercial de *H. pluvialis* como fonte de astaxantina consiste na taxa lenta de crescimento e na concentração baixa de biomassa (TELLI; SELÇUK, 2022; YANG *et al.*, 2021). Portanto, este trabalho tem como objetivo desenvolver um protocolo de cultivo da microalga *H. pluvialis*, inserindo novas estra-

tégias de produção, visando otimizar o cultivo bem como aumentar a produção de biomassa e da astaxantina natural.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Haematococcus pluvialis é uma microalga verde de água doce pertencente à Classe Chlorophyceae, Ordem Volvocales e Família Haematococcaceae. A espécie é amplamente distribuída em diversos habitats e comumente encontrada em água doce (SHAH *et al.*, 2016). O ciclo de vida de *H. pluvialis* (Figura 1) apresenta quatro tipos de morfologias celulares que se desenvolvem em duas fases distintas: macrozooides (a), microzooides (b), palmela (c), e hematocistos (d) na fase encistada vermelha (HERNÁNDEZ; PULIDO; KURMEN, 2022; PEREIRA, *et al.*, 2024).

Figura 1 - Ciclo de vida de *Haematococcus pluvialis*.



Os macrozooides são células flageladas, com 8 a 20 μm de comprimento, de rápido crescimento, predominantes em condições favoráveis de cultivo e caracterizam-se por serem células esféricas, elipsoidais ou em formato de pera. Em condições desfavoráveis de cultura os macrozooides expandem de tamanho e perdem os flagelos formando os microzooides. Em seguida surgem multicamadas amorfas nas regiões internas da matriz extracelular ou da parede celular primária, as células se tornam estáticas e passam para a fase de palmela. Quando o estresse ambiental permanece contínuo, a divisão celular cessa e a palmela se transforma em hematocisto, com parede celular espessa e rígida. Nesta etapa, ocorre o aumento de quantidades de carotenóides, principalmente da astaxantina, conferindo a cor vermelha à célula (SHAH *et al.*, 2016; PEREIRA, *et al.*, 2024).

A composição química da microalga *H. pluvialis* varia de acordo com o seu ciclo de vida, sendo a fase vegetativa verde rica em luteína (75-80%), β -caroteno (10-20%) e outros carotenóides primários, como zeaxantina, neoxantina e violaxantina. Já na fase encistada vermelha se encontra o maior teor de carotenóides secundários (GRUJIĆ *et al.*, 2022), sendo a astaxantina a mais proeminente (80-99%). Neste percentual estão incluídos os ésteres de ácidos graxos de astaxantina, sendo 70% monoésteres e 25% diésteres e 5% de astaxantina (GRUJIĆ *et al.*, 2022; SHAH *et al.*, 2016).

A astaxantina ou 3,3'-di-hidroxi- β , β -caroteno-4,4'-diona, é um carotenóide secundário de coloração vermelho-alaranjado brilhante, descrita como um antioxidante natural 65 vezes mais potente que a vitamina C, 54 vezes mais eficaz que o β -caroteno e 100 vezes mais potente que a vitamina E (α -tocoferol). Apresenta propriedades antienvelhecimento, anticancerígenas, anti-inflamatórias e de aumento da imunidade, que justificam sua ampla aplicação nas indústrias alimentícia, cosmética, ração, nutracêutica e farmacêutica (ADIGÜZEL; ÜLGER, 2024; KHOO *et al.*, 2019; QUEEN, *et al.*, 2024).

As principais variedades de astaxantina disponíveis no mercado, incluem: i) a natural, proveniente de micro-organismos e; ii) a sintética, que é uma mistura de todos os estereoisômeros da astaxantina. Apesar da astaxantina sintética possuir maior disponibilidade, menores preços em relação a astaxantina natural e deter 95% da quota de mercado, ela apresenta menor capacidade antioxidante e elevada toxicidade (NISHSHANKA *et al.*, 2022). Dentre os produtos ricos em astaxantina natural comercializados, apenas os produzidos por *H. pluvialis* obtiveram aprovação da agência norte-americana FDA (Food and drug administration) para consumo humano (JANNEL *et al.*, 2020). Trata-se de suplementos alimentares constituídos por extratos de *H. pluvialis*, ou seja, suas formulações não apresentam astaxantina na sua forma pura.

A astaxantina é muito sensível à oxidação, desta forma, é comum encontrar na natureza conjugada com proteínas ou na forma de ésteres de ácidos graxos. A esterificação ocorre após a biossíntese da astaxantina, quando as hidroxilas reagem com uma cadeia de ácido graxo, podendo formar os monoéster ou diéster. O objetivo desta transformação é aumentar sua estabilidade e solubilidade nos lipídeos celulares do citoplasma. Em *H. pluvialis*, esse carotenóide apare-

ce esterificado, principalmente, com o ácido oléico (C18:1), palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), nonadecanoico (C19:0) e araquídico (C20:0) (RESTRØM *et al.*, 1981).

Sob estresse *H. pluvialis* inicia a expressão do gene fitoeno sintase (PSY), responsável pela condensação das caudas de duas moléculas de GGPP e formação do composto C40, o fitoeno, que atua como precursor da astaxantina e outros carotenóides (GWAK *et al.*, 2014). Depois de quatro etapas de dessaturação, catalisadas por duas fitoenodessaturases (PDS) e uma ζ -caroteno dessaturase (ZDS), é formado o licopeno, um composto altamente insaturado, cujas extremidades sofrem ciclização ao serem catalisadas por licopeno ciclases (LCY-e e LCY-b) (NAWROCKI *et al.*, 2015).

Na maioria dos organismos, a etapa de ciclização é um ponto de ramificação da síntese de carotenóides, no qual pode ser formado o α -caroteno (precursor da luteína) ou o β -caroteno (precursor da astaxantina). Em relação a microalga *H. pluvialis*, sob condições de estresse, observa-se um grande fluxo de carbono direcionado para a obtenção do β -caroteno e altos níveis de transcritos de LCY-b (GWAK *et al.*, 2014). Por fim, as duas etapas de oxigenação são catalisadas por β -caroteno cetolase (BKT) e β -caroteno hidroxilase (CrtR-b), que consistem nas etapas limitantes da síntese de astaxantina (VIDHYAVATHI *et al.*, 2008). Apesar dessas enzimas poderem atuar em qualquer ordem, a maior afinidade da enzima BKT pelo β -caroteno, em relação à zeaxantina, favorece a adição inicial do grupo carbonila na molécula antes que a enzima CrtR-b catalise a hidroxilação enantiosseletiva da cantaxantina em astaxantina (LOTAN; HIRSCHBERG, 1995).

Atualmente, o cultivo comercial de *H. pluvialis* para extração de astaxantina preconiza a utilização de duas etapas: i) sistema de biorreatores e; ii) produção em ambiente aberto, em raceways (MULARCZYK; MICHALAK; MARYCZ, 2020; LI *et al.*, 2020). A primeira etapa é responsável pela fase verde de proliferação e a segunda, sob estresse luminoso e deficiência nutricional, leva ao acúmulo de astaxantina (LI *et al.*, 2020; TENG *et al.*, 2023). O nitrogênio é um dos elementos essenciais que mais afeta o crescimento celular e a produção de astaxantina em *H. pluvialis* (SAMHAT *et al.*, 2024; ZHANG *et al.*, 2018), sendo o ajuste deste nutriente essencial para a produção do carotenoide a níveis desejáveis. É sabido que o desequilíbrio entre a oferta de nitrogênio e carbono é um dos fatores, juntamente com o estresse luminoso, que

induz a microalga ao estresse levando-a para a fase de hematocisto, quando então produz e acumula astaxantina como meio de proteção celular (JANNEL *et al.*, 2020; PEREIRA, *et al.*, 2024; SAMHAT *et al.*, 2024). Outros fatores como pH e salinidade também afeta o crescimento e produção de carotenóides, o que faz com que o protocolo de cultivo como um todo, seja de extrema importância para obtenção de sucesso (GIANNELLI *et al.*, 2015; NIIZAWA *et al.* 2018; TENG *et al.*, 2023).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Preparação da Cepa de *H. pluvialis* para Cultivo

A cepa de *H. pluvialis* foi obtida do banco de cepas do Laboratório de Planctologia da Universidade Federal do Ceará. Para a multiplicação das microalgas, foram utilizados 6 reatores de 500 mL, contendo meio Bold's Basal Medium (BBM) esterilizado (GÄRTNER, 1996). As culturas foram mantidas sob intensidade luminosa contínua de 3000 lux durante a fase macrozóide (dias 1-25) e 5000 lux durante a fase de hematocisto (dias 26-29), com aeração constante a uma temperatura de aproximadamente 25 °C. Em cada reator foram inoculados 50 mL de cultura estoque de *H. pluvialis*, com densidade celular de 69×10^4 células. mL⁻¹.

Cultivo de *H. pluvialis* com um Precursor da Astaxantina (β -caroteno)

Para esse trabalho foi utilizado como estratégia de cultivo a suplementação do meio de cultura com uma fonte de β -caroteno, que é um precursor do objeto de interesse desse estudo, o pigmento astaxantina. Para isso, foi utilizada uma fonte comum existente no mercado brasileiro e de fácil acesso, sendo escolhida a cenoura, ou mais precisamente, o suco da cenoura liofilizado. As cenouras adquiridas (1,0 kg) foram lavadas e descascadas, e o suco foi extraído com a ajuda de uma centrífuga de alimentos da marca Juicer® 1000 800W. Posteriormente, 300 mL de suco de cenoura foi congelado em nitrogênio líquido e liofilizado (Liofilizador L101 liotop, Brasil) por 48 horas, obtendo-se ao final

do processo um pó laranja (48,684 g), denominado suco de cenoura liofilizado (SC).

O trabalho foi dividido em três tratamentos, o controle (C), experimento 1(E1) e experimento 2(E2), com 15 repetições cada. Em todos os tratamentos, foi utilizado como meio de cultura o BBM. Dos tratamentos, somente o controle não recebeu suplementação de SC. Nos experimentos 1 e 2, foi adicionado uma solução de 1 mL de SC (concentração de $1,62 \text{ g.mL}^{-1}$) ao meio de cultura da microalga *H. pluvialis*. Destacando que no experimento 1 o SC foi adicionado no início da fase macrozoóide (dia 1), e no experimento 2 o SC foi introduzido no pico de crescimento celular (dia 26). Todos os experimentos foram feitos com quinze replicatas. Para avaliação do efeito de SC, as células tratadas foram coletadas em três pontos: início do estresse luminoso (dia 26); 24 horas após o estresse luminoso (dia 27); e quando metade das células de *H. pluvialis* encontravam-se no estágio de hematocisto (dia 29). Em cada ponto de coleta, 5 reatores/tratamento foram recolhidos.

3.2 Avaliação da Cinética de Crescimento de *H. pluvialis*

O estudo da cinética de crescimento de *H. pluvialis* foi realizado de três formas distintas: leitura de absorbância a 600 nm, contagem do número de células e medição de biomassa. As leituras de absorbância foram feitas durante todos os dias de cultivo (dias 1-29), usando um medidor de densidade celular (WPA CO 8000 Cell Density Meter). As contagens do número de células foram realizadas nos dias 1, 5, 9, 13, 17, 21, 25, 26, 27, 28 e 29, usando um hemocítmetro Neubauer sob um microscópio óptico (microscópio Olympus CX31). A medição da biomassa foi realizada nos três pontos de coleta (dias 26, 27 e 29), por meio de pesagem em balança analítica. A biomassa seca foi obtida pela centrifugação das culturas de *H. pluvialis* a 10.000 rpm por 10 min e secagem em estufa a 40 °C por 12 horas.

3.3 Quantificação do Teor de Astaxantina

A biomassa seca, obtida das culturas de *H. pluvialis* foi dispersa em etanol na proporção de 500 mg de biomassa para 25 mL de

etanol. A mistura foi tratada por 10 min (2s on e 2s off) em ultrassom (Sonicador sonics vibra-cell VCX 500 – VCX 750) com amplitude de 50% a 60 °C e então centrifugada a 3500 rpm por 10 min. O solvente do sobrenadante resultante foi removido sob pressão reduzida em evaporador rotativo, obtendo-se assim o extrato etanólico da microalga *H. pluvialis* (EEMHP). A quantificação do teor de astaxantina foi realizada com o auxílio de um espectrofotômetro (Shimadzu, UV mini-1240). Uma amostra de 1 mg de cada EEMHP foi dissolvida em 90% de acetona e as amostras foram analisadas com base na densidade óptica no comprimento de onda de 474 nm (DO_{474}). Em seguida, o teor de astaxantina foi determinado empregando-se a Equação 1 relatada por Vo *et al.* (2016), descrita abaixo.

$$\text{Astaxantina (mg.L}^{-1}\text{)} = (DO_{474} \times 7,0881) - 0,5904$$

3.4 Análise dos Dados Estatísticos

Box plots foram usados para analisar os experimentos realizados. O *box plots* fornece uma melhor visualização dos dados, permitindo avaliar as semelhanças e diferenças dos experimentos em uma única variável, como produção de biomassa e contagem de células, analisadas neste trabalho. Todas as análises foram realizadas em ambiente R 4.3.0 utilizando o aplicativo de manipulação de dados (DARZÉ *et al.*, 2022), que está disponível gratuitamente no github <https://github.com/Leams-UERJ-apps>.

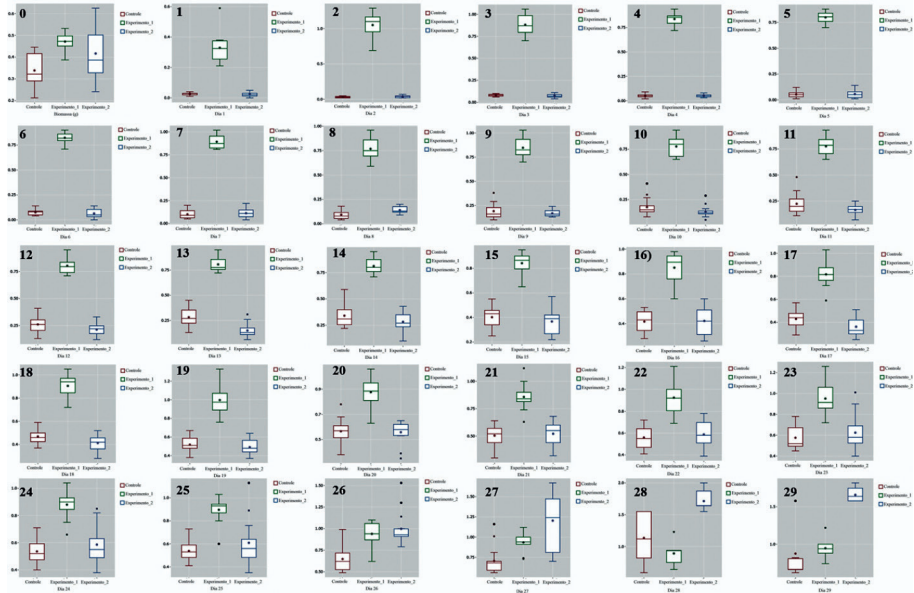
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeito do SC no Crescimento da Microalga *H. pluvialis*

Para avaliar a distribuição dos valores de absorbância dos experimentos controle (C), (E1) e 2 (E2) durante os 29 dias de cultivo, utilizou-se a análise gráfica *box plot* (Figura 2). Nesta análise, os gráficos apresentam formas de caixas, das quais podem ser obtidas informações sobre mediana, primeiro e terceiro quartis dos dados. Já as linhas verticais expressam o maior e o menor valor esperado dos resultados

e os pontos isolados, denominados outliers, representam os possíveis valores discrepantes. Além disso, a largura da caixa permite avaliar a dispersão dos dados obtidos.

Figura 2 - Box plot da absorvância registrada em 600 nm para controle, experimento 1 e experimento 2, respectivamente em vermelho, verde e azul. Os dias registrados são destacados na figura e zero é o *box plot* para a biomassa ponderada.



As análises dos gráficos *box plot* para as leituras de absorvância do primeiro dia de cultivo (Figura 3a) mostram que as amostras submetidas ao E1 possuem os maiores valores de absorvância, quando comparadas a C e E2. Este comportamento é esperado, visto que o SC foi introduzido no meio de cultura de tais amostras. Os valores de absorvância para os reatores dos experimentos C e E2 crescem gradualmente no decorrer dos dias e exibem perfis análogos até o dia 25 (Figura 3b), passando a se diferenciar a partir do dia 26 quando o experimento 2 é iniciado por meio da adição de SC. A partir do segundo dia de cultivo, observa-se que os valores de absorvância para E1 atingem um máximo e permanecem aproximadamente constantes até o dia 26 (Figura 3c). Ressalta-se que no dia 26 tem início o estresse luminoso, parâmetro adotado para estimular a transição das células do estágio vegetativo para o estágio de hematocisto e, conseqüente, produção de

astaxantina. A Figura 4 mostra o perfil das culturas de *H. pluvialis* para os experimentos C, E1 e E2 no dia 26.

Figura 3 - Box plot da absorbância registrada em 600 nm para os experimentos controle (C), 1 (E1) e 2 (E2), respectivamente, em vermelho, verde e azul, para os dias 1 (a), 25 (b), 26 (c), 27 (d), 28 (e) e 29 (f).

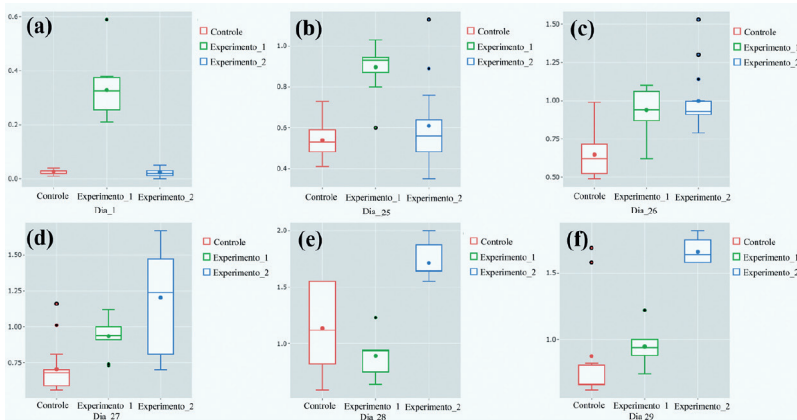


Figura 4 - Imagem dos frascos Erlenmeyer de uma replicata de cada um dos experimentos (E1, C e E2) no pico de crescimento (dia 26) da microalga.

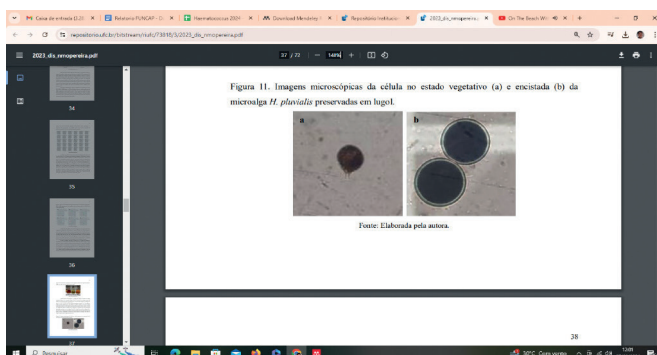


A comparação dos gráficos para os dias 26 (Figura 3c) e 27 (Figura 3d) revela as modificações causadas pelo estresse luminoso. Apesar do aumento no valor de absorbância, nota-se que cada experimento exibiu um comportamento distinto frente à incidência luminosa. A principal diferença se encontra no grau de dispersão dos da-

dos de absorvância dos cultivos, no qual a largura do *box plots* de C e E1 mostram uma redução e de E2 um aumento acentuado. A maior dispersão dos dados de E2 sugere que os cultivos estão passando por um processo de transição para maiores valores de absorvância, indicando que a abundância nutricional promovida pela introdução de SC influencia o crescimento da microalga. Por fim, os gráficos dos dias 28 (Figura 3e) e 29 (Figura 3f) refletem as absorvâncias dos cultivos quando aproximadamente metade das células atingem o estágio encistado. Os dados revelam que, no último dia de cultivo (dia 29) os valores de absorvância dos experimentos 1 e 2 são superiores ao do experimento controle, indicando que a introdução de SC influencia o crescimento da microalga *H. pluvialis* e é independente da etapa em que são introduzidos no meio de cultura. No entanto, ao comparar os resultados dos experimentos 1 e 2 observa-se que E2 se destaca por atingir maiores valores de absorvância, sendo um indício de que a introdução de SC no pico de crescimento causa maior acúmulo de biomassa.

A diferenciação da morfologia e contagem do número de células no estágio vegetativo e encistado de *H. pluvialis* foi realizada através das análises em microscópio óptico de alíquotas de 1 mL preservadas em lugol e recolhidas nos dias 1, 5, 9, 13, 17, 21, 25, 26, 27, 28 e 29 dos experimentos controle, 1 e 2. As células no estágio encistado diferenciam-se das células no estágio vegetativo por terem a forma arredondada, ausência dos dois flagelos e presença de uma parede celular espessa (Figura 5).

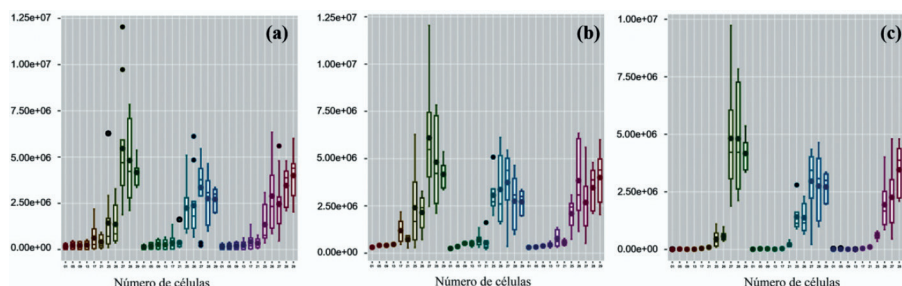
Figura 5 - Imagens microscópicas da célula no estado vegetativo (a) e encistada (b) da microalga *H. pluvialis* preservadas em lugol.



Os dados da contagem do número de células totais, vegetativas e encistadas de C, E1 e E2 foram esboçados em gráficos *box plots*

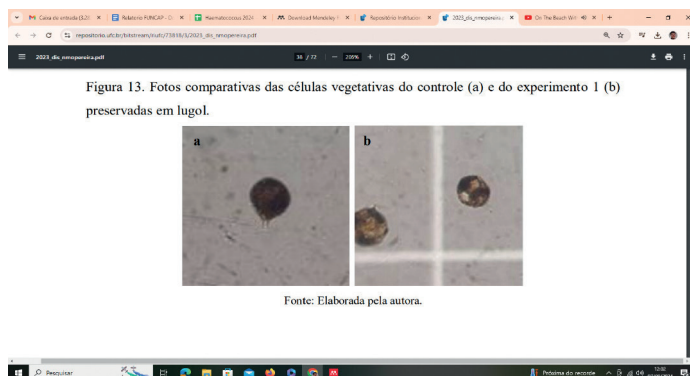
(Figura 6). O perfil desses gráficos nos revela que a número de células encistadas aumenta a partir do dia 26 em todos os cultivos, confirmando a eficiência do estresse luminoso na transição das células do estágio vegetativo para o estágio de hematocisto.

Figura 6 - Box plot do número de células dos dias 1, 5, 9, 13, 17, 21, 25, 26, 27, 28 e 29. Os primeiros onze box plots são os resultados para controle, seguidos por onze box plots para o experimento 1 e por onze box plots para o experimento 2. Em (a) o box plots foram construídos com células vegetativas e células encistadas; Em (b) incluem apenas as células vegetativas; Em (c) incluem apenas as células encistadas.



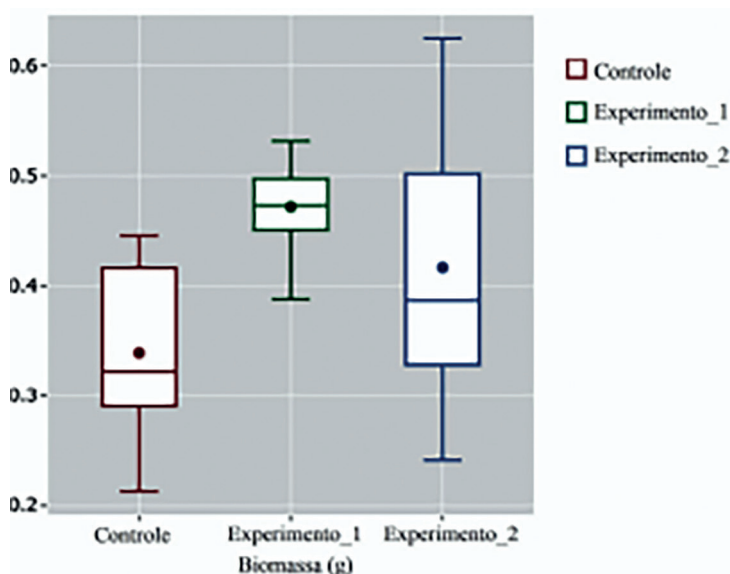
A análise dos gráficos da Figura 6 revela que o controle possui o maior número de células durante o experimento, com exceção do dia 29, cujos cultivos do experimento 2 excedem o seu valor. Este resultado permite concluir que o aumento do número de células não é o principal fator responsável pelo aumento dos valores de absorbância para E1 e E2. Isto é confirmado pela comparação da morfologia das células do controle com as células tratadas com SC, onde as células vegetativas de E1 diferenciam-se das células vegetativas do controle por desenvolverem vacúolos em seu citoplasma (Figura 7).

Figura 7 - Imagens comparativas das células vegetativas do controle (a) e do experimento 1 (b) preservadas em lugol.



O processo de vacuolização favorece os valores de absorvância por causar um aumento da área de superfície por unidade do citoplasma, ou seja, a presença do vacúolo promove um aumento do tamanho das células e maior distorção do seu formato aproximadamente esférico (RAVEN, 1997). Além disso, sob condições de saturação de recursos, o processo de vacuolização promove uma redução da taxa de crescimento específica máxima, motivo que explica a diferença do número de células presentes nos cultivos E1 e E2 em relação ao C (RAVEN, 1997). O dinamismo dos vacúolos confere benefícios às células, englobando tanto o acúmulo vacuolar de metabólitos secundários que auxiliam na sua adaptação a estresses ambientais, quanto a sua participação ativa em processos biossintéticos como local de biossíntese de metabólitos especializados (SHITAN; YAZAKI, 2019). Estas características estão associadas aos resultados obtidos para os valores de biomassa e teor de astaxantina dos experimentos C, E1 e E2. A aferição da biomassa seca para os cultivos em C, E1 e E2, nos três pontos de coleta, foram expressos na forma de gráficos *box plots* (Figura 8).

Figura 8 - Box plot da biomassa (em gramas) para controle, experimento 1 e experimento 2, respectivamente em vermelho, verde e azul.



Os dados das massas agrupadas estão em concordância com a discussão realizada para os valores de absorvância obtidos nos dias 26, 27 e 29, que correspondem, respectivamente, à 1ª, 2ª e 3ª coleta.

Nota-se que, dentre os três experimentos, o gráfico para E1 revela um menor valor esperado próximo a 0,4 g, contrastando com os gráficos de C e E2, os quais possuem valores esperados menores (próximos a 0,2 g). Este dado indica que na 1ª coleta, os valores de biomassa para as células do experimento 1 foram superiores aos de C e E2.

A Figura 9 mostra a coloração das biomassas dos experimentos na 1ª coleta. Sugere-se que a coloração avermelhada observada em E1 deve-se ao acúmulo de metabólitos secundários do SC nos vacúolos das suas células vegetativas, pois existem mais células no estágio vegetativo do que hematocisto no dia 26 (Figura 6b e 6c).

Figura 9 - Imagens das placas de Petri contendo as biomassas dos experimentos controle, 1 e 2 na 1ª coleta.

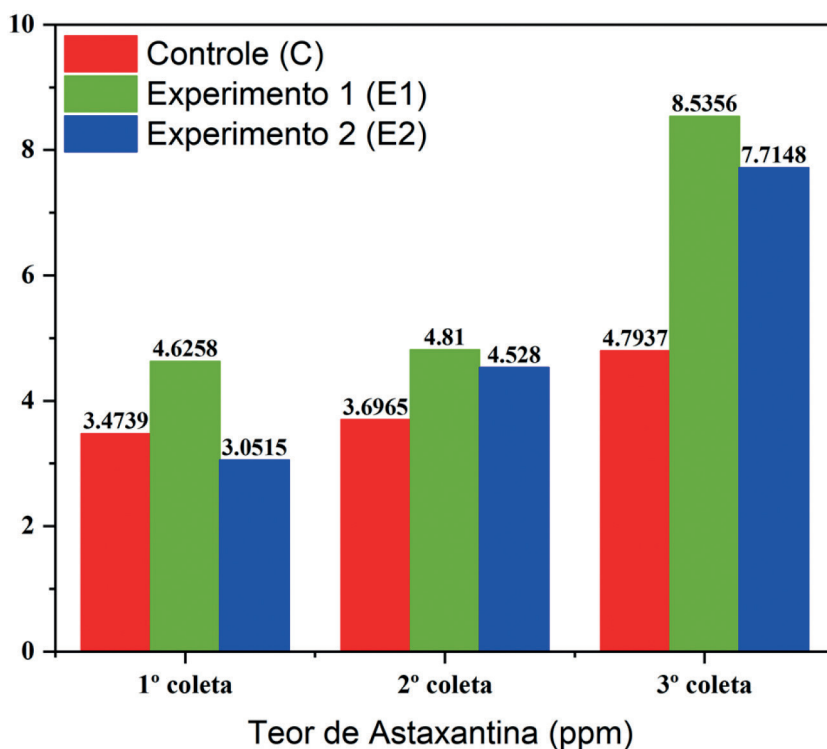


Outra informação importante está vinculada à menor largura do gráfico de E1 (Figura 8), que é um indicativo de que o grau de dispersão foi pequeno, ou seja, não ocorreu um aumento significativo no valor da biomassa após o estresse luminoso. Em contrapartida, os gráficos de C e E2 apresentam larguras elevadas, consequentemente, maiores dispersões e aumentos significativos nos valores de biomassa entre as coletas. Ao comparar os maiores valores esperados dos gráficos de E1 e E2, observa-se que ambos os experimentos atingem valores superiores ao controle, porém E2 se destaca por exibir uma biomassa superior a 0,6 g.

4.2 Efeito do SC no Acúmulo de Astaxantina

Para comparar o acúmulo de astaxantina nas células da microalga *H. pluvialis* entre os cultivos de C, E1 e E2, quantificou-se o teor de astaxantina dos extratos etanólicos. A partir dos extratos etanólicos (EEMHP) provenientes da biomassa seca dos 45 reatores, foi possível determinar o teor de astaxantina das células de *H. pluvialis* empregando-se a metodologia descrita na literatura (VO *et al.*, 2016). A média do teor de astaxantina dos experimentos controle, 1 e 2, para cada coleta, foram agrupados no gráfico de barras ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Teor de astaxantina (ppm) nos extratos etanólicos (EEMHP) das biomassas geradas nos experimentos controle, 1 e 2.



Os resultados observados na Figura 10 mostram que a suplementação do meio de cultura da microalga com SC aumenta o teor de astaxantina, independentemente do momento em que é adicionado. Quando comparados com a média do controle na terceira coleta, os experimentos 1 e 2 resultaram num acréscimo de 78,1 e 60,9% no teor de astaxantina, respectivamente.

5 CONCLUSÃO

A utilização de SC como fonte de metabólitos secundários precursores de *H. pluvialis* revelou ser uma estratégia promissora para potencializar a produção de astaxantina e aumentar a sua biomassa, independentemente da etapa em que é adicionada no meio de cultura. A introdução de SC foi capaz de elevar o teor de astaxantina em 78,1 e 60,9% nos cultivos dos experimentos 1 e 2, respectivamente. Tais efei-

tos foram atribuídos ao surgimento de vacúolos nas células submetidas ao SC, que além de acumular os metabólitos secundários provenientes da cenoura no interior celular de *H. pluvialis*, gera distorções no formato aproximadamente esférico e aumento do tamanho das células, fatores que influenciam diretamente os valores de absorvância obtidos ao longo do experimento. Os resultados são melhores em relação aos descritos na literatura envolvendo outras estratégias de aumento da produção de astaxantina por *H. pluvialis*.

REFERÊNCIAS

ADIGÜZEL, E.; ÜLGER, T. G. A marine-derived antioxidant astaxanthin as a potential neuroprotective and neurotherapeutic agent: A review of its efficacy on neurodegenerative conditions, **European Journal of Pharmacology**, v. 977, 2024, 176706, ISSN 0014-2999, <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2024.176706>.

DARZÉ, B.C. *et al.* Chemometrics web app part 1: Data handling. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 231, p. 104696, 2022.

FAYAAZUDDIN, T. *et al.* Commercial astaxanthin production from green alga *Haematococcus pluvialis*. In: Amaresan, N., Dharumadurai, D., Babalola, O.O. (eds) **Food Microbiology Based Entrepreneurship**. Springer: Singapore, 2023.

GÄRTNER, G. **Soil Algae**. In: Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E., Margesin, R. (eds) *Methods in Soil Biology*. Berlin: Springer, Heidelberg, 1996.

GIANNELLI, L. *et al.* Effects of temperature on the astaxanthin productivity and light harvesting characteristics of the green alga *Haematococcus pluvialis*, **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v.119, n.3, 2015, Pages 345-350, ISSN 1389-1723, <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2014.09.002>.

GLOBAL MARKET INSIGHTS INC - GMI. **Astaxanthin Market Size**. 2024. Disponível em: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/astaxanthin-market> Acesso em: 10 set. 2024.

GRUJIĆ, V. J. *et al.* Diversity and content of carotenoids and other pigments in the transition from the green to the red stage of *Haematococcus pluvialis* microalgae identified by HPLC-DAD and LC-QTOF-MS. **Plants**, v. 11, n. 8, 2022.

GWAK, Y. *et al.* Comparative analyses of lipidomes and transcriptomes reveal a concerted action of multiple defensive systems against photooxidative

stress in *Haematococcus pluvialis*. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 15, p. 4317–4334, 2014.

HERNÁNDEZ, A.V.; PULIDO, G.M.C.; KURMEN, C.J.E. Revisión del estado actual de las formulaciones y aplicaciones de astaxantina producida por *Haematococcus pluvialis*. **Revista Mutis**, v. 13, n. 1, p. 1–27, 2022.

JANNEL, S. *et al.* Novel insights into the biotechnological production of *Haematococcus pluvialis*-derived astaxanthin: advances and key challenges to allow its industrial use as novel food ingredient. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 8, n. 10, p. 789, 2020.

KHOO, K. S. *et al.* Recent advances in biorefinery of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis*. **Bioresource technology**, v. 288, n. 121606, 2019.

LI, X. *et al.* Biotechnological production of astaxanthin from the microalga *Haematococcus pluvialis*. **Biotechnology Advances**. 2020 43. 107602. 10.1016/j.biotechadv.2020.107602.

LOTAN, T.; HIRSCHBERG, J. Cloning and expression in *Escherichia coli* of the gene encoding fl-C-4-oxygenase, that converts fl-carotene to the ketocarotenoid canthaxanthin in *Haematococcus pluvialis*. **FEBS letters journal**, v. 364, n. 2, p. 125-128, 1995.

MULARCZYK M, MICHALAK I, MARYCZ K. Astaxanthin and other Nutrients from *Haematococcus pluvialis*-Multifunctional Applications. **Mar Drugs**. v.18, n.9, 2020. doi:10.3390/md18090459.

MUTANDA, T. *et al.* Biotechnological applications of microalgal oleaginous compounds: current trends on microalgal bioprocessing of products. **Frontiers in Energy Research**, v. 8, 2020.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. NASA. Microalgae protocols. 2024. Disponível em: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/microalgaeprotocols_508.pdf Acesso em: 10 set. 2024.

NAWROCKI, W. J. *et al.* The plastid terminal oxidase: its elusive function points to multiple contributions to plastid physiology. **Annual Review of Plant Biology**, v. 66, p. 49–74, 2015.

NIIZAWA, I., *et al.* Enhancement of astaxanthin production from *Haematococcus pluvialis* under autotrophic growth conditions by a sequential stress strategy. **Preparative Biochemistry & Biotechnology**, v.48, n.6, p.528–534, 2018. <https://doi.org/10.1080/10826068.2018.1466159>

NISHSHANKA, G. K. S. H. *et al.* *Haematococcus pluvialis*: a potential feedstock for multiple-product biorefining. **Journal of Cleaner Production**, v. 344, p. 131103, 2022.

ONORATO, C.; RÖSCH, C. Comparative life cycle assessment of astaxanthin production with *Haematococcus pluvialis* in different photobioreactor technologies. **Algal Research**, v. 50, p. 102005, 2020.

PEREIRA, N.M.O. *et al.* Effect of carrot juice on *Haematococcus pluvialis* growth and astaxanthin production, **Algal Research**, v. 81, 2024, 103590, ISSN 2211-9264, <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103590>.

PINTO, E.G. *et al.* Astaxantina: extração, biodisponibilidade, potencial bioativo e aplicações industriais. In: Pinto, Ellen Godinho. Ciência e tecnologia de alimentos. Pesquisa e avanços: volume 4 / Organizadores. – Jardim de Seridó – RN: Agron Food Academy, 2023, p. 225-235. Disponível em: <https://agronfoodacademy.com/livro-ciencia-e-tecnologia-de-alimentos-pesquisas-e-avancos>. Acesso em: 10 de setembro 2024.

QUEEN, C.J.J. *et al.* The Effects of Astaxanthin on Cognitive Function and Neurodegeneration in Humans: A Critical Review. **Nutrients** 2024, 16, 826. <https://doi.org/10.3390/nu16060826>

RAVEN, J. A. The Vacuole: a Cost-Benefit Analysis. **Advances in Botanical Research**, v. 25, p. 59-86, 1997.

RESTRØM, B. *et al.* Optical purity of (3S,3'S)-astaxanthin from *Haematococcus pluvialis*. **Phytochemistry**, v. 20, n. 11, p. 2561-2564, 1981.

SAMHAT, K. *et al.* Optimization of continuous astaxanthin production by *Haematococcus pluvialis* in nitrogen-limited photobioreactor, **Algal Research**, v. 80, 2024, 103529, ISSN 2211-9264, <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103529>.

SHAH, M. M. R. *et al.* Astaxanthin-producing green microalga *Haematococcus pluvialis*: From single cell to high value commercial products. **Frontiers in plant science**, v. 7, p. 531, 2016.

SHITAN, N.; YAZAKI K. Dynamism of vacuoles toward survival strategy in plants. **Biochim biophys acta biomembr**, 2019. v. 1862, n. 12, p. 183127.

TELLI, M., SELÇUK, Ü. E. Biomass and astaxanthin production enhancement for *Haematococcus pluvialis*. **Research square**, v. 1, p. 1-22, 2022.

TENG, Z. *et al.* Biomass production and astaxanthin accumulation of *Haematococcus pluvialis* in large-scale outdoor culture based on year-round survey: Influencing factors and physiological response, **Algal**

Research, v. 71, 2023, 103070, ISSN 2211-9264, <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103070>.

THORÉ, E.S.J. *et al.* Microalgae, **Current Biology**, v.33, n.3, 2023, Pages R91-R95, ISSN 0960-9822, <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.12.032>.

VIDHYAVATHI, R. *et al.* Regulation of carotenoid biosynthetic genes expression and carotenoid accumulation in the green alga *Haematococcus pluvialis* under nutrient stress conditions. **Journal of experimental botany**, v. 59, n. 6, p. 1409–1418, 2008.

VO, T. *et al.* Effect of the ethylene precursor, 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid on different growth stages of *Haematococcus pluvialis*, **Bioresource Technology**, v. 220, 2016, p. 85-93, ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.08.046>.

YANG, S. *et al.* Improving astaxanthin production of *Haematococcus pluvialis* by an efficient fed-batch strategy in a photobioreactor. **Algae Research**. v. 60, p. 102539, 2021.

ZHANG W.W. *et al.* Enhancing astaxanthin accumulation in *Haematococcus pluvialis* by coupled light intensity and nitrogen starvation in column photobioreactors. **J. Microbiol. Biotechnol.** 2018; 28:2019-2028. <https://doi.org/10.4014/jmb.1807.07008>

CAPÍTULO NOVE

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIMICROBIANO DE EXTRATOS DAS MACROALGAS BRYOTHAMNION TRIQUETRUM, SARGASSUM SP E CODIUM ISTHMOCLADUM COLETADAS NO LITORAL DO ESTADO DO CEARÁ

Karla Maria Catter³³
Oscarina Viana de Sousa³⁴
Francisca Gleire Rodrigues de Menezes³⁵
Anna Luisa de Carvalho Brito³⁶
João Felipe Nogueira Matias³⁷

1 INTRODUÇÃO

As macroalgas são organismos fotossintetizantes que habitam os ambientes aquáticos de todo o planeta (Valentin, 2010). As algas, junto com as plantas, são os principais produtores primários, pois são capazes de transformar energia luminosa em energia química, gerando variadas moléculas que podem ser utilizadas para diferentes fins (Reis, 2021).

O planeta Terra é coberto por grandes extensões de águas, doces e marinhas. E destaca-se a diversidade de organismos, principalmente das comunidades de algas. Cabe a estas a estabilidade dos ecossistemas naturais, pois um maior número de espécies equivalentes funcionalmente, mas com diferentes capacidades de tolerância aos inúmeros fatores ambientais, resiste melhor a alterações no meio aquático, inclusive a alterações decorrentes da atividade humana (Vidotti; Rollemberg, 2004)

No ambiente marinho, as macroalgas incluem um grande número de espécies com uma ampla diversidade de formas do talo, formam a

33 Bolsista Programa Cientista Chefe - FUNCAP

34 Prof. Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará (UFC)

35 Prof. Depto Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Ceará (UFC)

36 Técnica de Laboratório, Instituto Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará (UFC)

37 Cientista Chefe Programa Economia Azul- FUNCAP

base da cadeia alimentar e servem como fonte de nutrientes para uma grande variedade de organismos aquáticos (Mariano-Soriano et al, 2008). As algas servem também de abrigo, de berçário e de refúgio para várias espécies de invertebrados e pequenos vertebrados. A importância das macroalgas em ecossistemas naturais aumenta com a crescente eutrofização da biosfera, pois elas garantem oxigênio para a manutenção da vida em praticamente todos os ecossistemas do planeta Terra (Basilio, 2020).

No litoral brasileiro, principalmente na região nordeste e sudeste, há uma grande quantidade e variedade de algas, atraindo interesse econômico, social e ambiental (Nassar, 2012). As macroalgas sintetizam compostos bioativos, proteínas, vitaminas, minerais, carotenoides e ácidos graxos com altos valores nutricionais e potenciais para produção de fármacos (Kumar, 2008).

Quando comparadas com outros organismos que também são importantes para estudos biotecnológicos, as algas marinhas possuem um grande diferencial, a capacidade de ser cultivada e, conseqüentemente, produzir em grande quantidade compostos bioativos vinculado a alguma espécie (Benedetti et al., 2018)

As propriedades naturais das algas permitem a extração de compostos com atividades antibacteriana, antitumoral, antifúngica, antiviral e antioxidante. Destaca-se a grande importância na área da cosmética, como tratamentos de pele, protetor solar, produtos para cabelos (Fonseca, 2016). A busca por novas substâncias bioativas que seja alternativa à utilização de antimicrobianos sintéticos está sendo cada vez mais alvo de pesquisas científicas (Al-Haj et al., 2010).

Desse modo, investigações para a descoberta de novas substâncias antimicrobianas se tornam importantes a fim de evitar impactos negativos nos sistemas de saúde. Diante disso, o objetivo deste trabalho é pesquisar macroalgas do litoral Cearense, e investigar o potencial de suas biomoléculas como base para a geração de novos produtos bioativos.com capacidade antimicrobiana.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Macroalgas

As macroalgas de maior porte e complexidade ocorrem ao longo da zona costeira rochosa. Em costões rochosos, durante marés bai-

xas, é possível visualizar as faixas de diferentes composições de algas, o que é resultado das diferenças entre as espécies em relação à sua capacidade de sobreviver à exposição atmosférica. As algas que habitam a zona entremarés são diariamente expostas a grandes variações de umidade, temperatura, salinidade, luz e movimentação da água. Além disso, são consumidas por uma grande variedade de herbívoros, como peixes, ouriços-do-mar, moluscos e tartarugas marinhas. Dessa forma, as características específicas de bioquímica, estrutura e histórico de vida são resultados de adaptação a todos esses aspectos físicos e biológicos (Azevedo; Nauer, 2012).

O termo alga representa um grupo de organismos classificados em grupos distintos, sem valor taxonômico. Esses organismos apresentam uma grande variação de formas e tamanhos, podendo ser uni ou multicelulares, procariotos ou eucariotos e que utilizam o pigmento clorofila -a para realizar a fotossíntese. De modo geral, o corpo dessas algas recebe o nome de talo, e não apresenta diferenciação em raiz, caule ou folhas. Em relação ao tamanho do talo, as algas podem ser diferenciadas em dois grupos: microalgas e macroalgas. As macroalgas são macroscópicas, multicelulares e habitam ambientes aquáticos marinhos e continentais (Nauer, 2016). Com base em sua coloração, as algas são tipicamente divididas em três grandes grupos: algas vermelhas (Rhodophyta), verdes (Chlorophyta), marrons ou pardas (Ochrophyta) (Dapper et al, 2014).

2.1.1 Algas do Filo Rhodophyta

As algas vermelhas (Filo Rhodophyta) são abundantes principalmente em águas tropicais. Essas algas possuem a ficoeritrina como principal pigmento, além disso, são bastante utilizadas na indústria alimentícia e microbiológica. É a partir das algas vermelhas que se extraem ficocoloides usados como aditivos alimentares e na produção de meio de cultura bacteriano (Silva; Raimundo et al., 2016; Mauricio et al., 2011).

2.1.2 Algas do Filo Chlorophyta

O filo Chlorophyta composto pelas algas verdes, é um grupo que contém os pigmentos clorofila a e b, carotenos e xantofilas, e acumulam amido no interior de suas células (Lee, 2008). As algas verdes estão presentes em praticamente todos os habitats do planeta. Sua parede celular é bastante diversificada estruturalmente, constituída principalmente

por glicoproteínas, polissacarídeos sulfatados e polímeros fibrilares, variando muito de espécie para espécie. Algumas delas ainda, possuem como principal componente fibrilar a celulose (Domozych et al., 2012).

2.1.3 Algas do Filo Ochrophyta

As algas marrons ou pardas (filo Ochrophyta) são organismos pluricelulares predominantemente marinhos, vivem fixos em um substrato formando imensas florestas submersas. Esses organismos possuem alguns pigmentos como as clorofilas a e c, carotenóides e fucoxantina, como substância de reserva, óleos e polissacarídeos (Vidotti; Rollemberg, 2004).

Existem diferentes compostos extraídos de algas que são matérias-primas para muitas indústrias, um exemplo disso são os ficocoloides (ágar, carragenana e alginato), com ampla aplicação na indústria de alimentos (Souza, 2011; Neto, 2016). Certamente, muitas espécies de algas nativas do litoral brasileiro, são produtoras de substâncias de interesse comercial (Castelar, 2014).

2. 2 Resistência antimicrobiana

O crescente surgimento de patógenos resistentes a antibióticos é uma ameaça a saúde pública e um grande desafio para medicina. A resistência aos antibióticos é onipresente em todo o mundo, segundo alerta da Organização Mundial de Saúde (OMS) sem intervenção, o mundo está caminhando para uma era pós-antibiótica, colocando em risco a saúde humana e animal (WHO, 2014). A resistência antimicrobiana se agrava em razão do uso indiscriminado de antibióticos e da alta disposição dessas drogas no ambiente (Lai et al., 2022).

Os antibióticos, são considerados medicamentos de grande interesse desde a sua descoberta, em 1928, pelo médico microbiologista Alexander Fleming. No entanto, a sua popularidade rapidamente conduziu ao uso excessivo e indiscriminado. Durante a última década, os antibióticos perderam a eficácia e o tratamento de infecções bacterianas é cada vez mais difícil. A resistência aos medicamentos é um problema grave na atualidade e a descoberta de novos compostos antibacterianos para combater as infecções é premente (Kong; Ray, 2016).

A cada ano, são registradas 700 mil mortes causadas por agentes infecciosos resistentes a antimicrobianos. Estima-se que até 2050,

10 milhões de vidas serão perdidas anualmente devido a complicações relacionadas a esse fenômeno. Classificada pela OMS como uma das 10 maiores ameaças mundiais de saúde pública (WHO, 2023).

A resistência das bactérias aos antimicrobianos e a capacidade de formação de biofilme são um grande entrave para a saúde pública, pois tornam o controle de infecções bacterianas mais dificultoso (Blackledge et al., 2013). Embora a resistência bacteriana não seja um fenômeno novo, observa-se um aumento substancial no número de microrganismos patogênicos que apresentam multirresistência aos agentes farmacológicos, sendo que a OMS considera as infecções causadas por estes como uma doença emergente, além de um problema mundial. É importante ressaltar que o tratamento de pacientes infectados com patógenos é dispendioso, prolongam a permanência hospitalar, reduzem a disponibilidades de leitos para outros pacientes, aumentam os custos do atendimento; induzem a utilização de doses maiores de antimicrobianos, que quase sempre são mais tóxicos e de alto custo, podendo resultar em morbimortalidade. *Staphylococcus aureus* e *Pseudomonas aeruginosa* estão entre as bactérias comumente relacionados à resistência bacteriana, sendo causas de infecções hospitalares (Theuretzbacher, 2013).

2.2.1 Biofilmes bacterianos

Biofilme é uma comunidade de microrganismos, como bactérias que são capazes de viver e se reproduzir como uma entidade coletiva conhecida como colônia. Ou seja, os biofilmes, são biomassas vivas que possuem uma estrutura aprimorada, e serve tanto para proteger quanto para permitir a expansão da colônia (Sharma et al 2023).

Estima-se que 80% das infecções microbianas em humanos sejam causadas por bactérias produtoras de biofilme, sendo este um fator que favorece a virulência destas, assim como dificulta seu tratamento. Bactérias associadas com biofilme são até 1000 vezes mais resistentes a antibióticoterapia em comparação com seus homólogos planctônicos, além de serem inacessíveis ao sistema imune do hospedeiro, favorecendo o surgimento de infecções crônicas apesar do uso terapia medicamentosa agressiva. Os biofilmes podem se formar na superfície de dispositivos médicos, gerando uma fonte contínua de infecção que muitas vezes exige a remoção do mesmo. *Staphylococcus spp.*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Serratia marcescens* e *Enterobacter cloacae*, entre outras espécies, são clinicamente relevantes por formarem biofilme e colonizarem dispositivos médicos, causarem infecções crônicas ou apre-

sentarem resistência a antimicrobianos de amplo espectro, como os carbapenemas (Blackledge et al., 2013; Trentin et al., 2013).

Com isso, uma estratégia para combater bactérias resistentes a medicamentos é o uso de novas substâncias derivadas de produtos naturais, os ecossistemas marinhos possuem organismos que produzem compostos que eliminam ou inibem o crescimento de microrganismos, em particular as macroalgas marinhas têm recebido atenção como fontes vegetais subexploradas de agentes antimicrobianos (Eom et al. 2012).

2. 3. Macroalgas como uma fonte promissora de compostos antimicrobianos

As pesquisas realizadas com algas têm crescido nos últimos anos, demonstrando bioatividades importantes como: antioxidante, anti-inflamatória, antitumoral e antimicrobiana (Honório, 2018). As algas marinhas são fontes importantes de antibióticos com ampla e eficiente atividade antibacteriana, principalmente de espécies clínicas (Christobel et al., 2011).

Jiménez et al. (2011) testaram extratos etanólicos e aquosos de diferentes espécies de algas pardas, vermelhas e verdes coletadas na costa chilena. Em testes in vitro, a feófito *Lessonia trabeculata* apresentou efeito inibitório contra as bactérias *Erwinia carotovora* e *Pseudomonas syringae*. Outra alga parda, *Macrocystis intergrifolia*, também apresentou atividade inibitória frente *P. syringae*.

Os estudos com extratos algais de *Turbinaria conoides*, *Padina gymnospora* e *Sargassum tenerrimum* demonstraram que estas macroalgas conseguiram inibir o crescimento bacteriano (Osman et al., 2010; Rosaline et al., 2012).

Al-Saif e colaboradores (2014), verificaram que os extratos das algas *Ulva reticulata*, *Caulerpa occidentalis*, *Cladophora socialis*, *Dicthyota ciliolata* e *Gracilaria dendroides* isoladas de águas costeiras do Mar Vermelho de Jeddah da Arábia Saudita, apresentaram atividade antibacteriana nas cepas de *Escherichia coli* ATCC 25322, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 e *Enterococcus faecalis* ATCC 29212.

De acordo com Kong; Ray (2016) a geração de novos antibióticos poderá ser provenientes de compostos extraídos de algas.

3 BASE METODOLÓGICA

3.1 Áreas de estudo

As algas marinhas foram coletadas nos bancos naturais de algas de dois municípios cearenses, na praia de Redonda no município de Icapuí-CE (Figura 3), que está situado no extremo leste do estado do Ceará, na latitude $4^{\circ}38'44.29''S$ e longitude $37^{\circ}28'43.67''O$. E no litoral oeste, na praia de Icaraizinho de Amontada (Figura 3) localizada no município de Amontada, na latitude $3^{\circ}1'25.31''S$ e longitude $39^{\circ}38'56.62''O$.

Figura 3: Mapa de localização da coleta de algas marinhas na Praia de Redonda, Icapuí - Ceará e na Praia de Icaraizinho de Amontada, Amontada - Ceará.



Fonte: Malha municipal (IBGE, 2022), Raster do Google Satélite

3.2 Coleta, lavagem e seleção das algas

As coletas foram realizadas obedecendo as características de cada região durante as marés de quadratura. Em Redonda, Icapuí- CE as coletas das algas foram realizadas nos dias 23 de março de 2022 e 19 de julho de 2022, com as alturas de marés em torno de 0,7 m. Em

Icaraizinho de Amontada a coleta foi realizada dia 13 de julho de 2022, com a altura da maré de 0,1 m.

O material coletado foi lavado em água do mar e acondicionado em sacos plásticos e transportados em isopor com gelo, para o Laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado - LAMAP do Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR e mantido sob congelamento até a posterior lavagem.

As algas foram submetidas à limpeza manual para retirada de epífitas e impurezas, lavadas com água destilada, e em seguida, separadas para identificação e posterior secagem.

3.3 Identificação e Secagem das algas

Após a lavagem, seguiu-se a identificação taxonômica dos exemplares coletados, de acordo com Guiry; Guiry (2021). Em seguida foram secas em estufa de secagem (Medicate MD 1.2) por 50°C - 55° C por até 48 horas e posteriormente congeladas até o processo de liofilização.

3.4 Liofilização das Algas

As algas secas e armazenadas em congelador foram liofilizadas em liofilizador da marca Liobras L 101, do laboratório de Avaliação de Contaminantes Orgânicos do Instituto de Ciências do Mar (Labomar). Posteriormente, foram trituradas em um multiprocessador doméstico (Britânia LIQ PRO) até a obtenção de um pó fino e homogêneo.

3.5 Extração com solventes orgânicos e Rendimento dos Extratos

A partir do pó resultante da trituração foram realizadas as extrações com os solventes orgânicos, etanol (polar) e hexano (apolar), utilizando a proporção de 1:10 (p/v).

O rendimento dos extratos foi calculado a partir da massa do pó das algas (Silva, 2017) e posteriormente realizado a atividade antibacteriana dos extratos algais. A porcentagem do rendimento foi cal-

culada usando a fórmula: $\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{massa do extrato seco (g)}}{\text{massa do pó da alga (g)}} \times 100$.

3.6 Origem e pureza das cepas bacterianas

Para testar a atividade antimicrobiana das algas marinhas, foram utilizadas cepas bacterianas patogênicas, *Escherichia coli* ATCC 25922 e *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, pertencentes ao acervo do Laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado (LAMAP), com perfis de multirresistência a antimicrobianos e isoladas de diversos ambientes de cultivos aquícolas e de interesse na saúde clínica.

As cepas antes de serem submetidas aos testes antibacterianos com os extratos de algas, foram investigadas quanto a sua pureza analisando as características morfotintoriais das células, através da coloração de Gram (SOARES; CASIMIRO; ALBUQUERQUE, 1991).

3.7 Atividade Antimicrobiana

Para o teste de atividade antibacteriana, foi utilizado o método de difusão em ágar em semi-poços seguindo orientações do Clinical & Laboratory Standards Institute (CLSI, 2012) com adaptações. As diluições dos extratos das macroalgas foram, 100, 500 e 1.000 µg/mL. Como controle negativo foi utilizado uma solução de água destilada estéril e 4% de dimetilsulfóxido (DMSO) e como controle positivo uma solução do antibiótico de amplo espectro cloranfenicol (30 µg/mL), ambas filtradas em membrana Millipore 0,45 µm. As culturas bacterianas foram repicadas em tubos de ensaio contendo Ágar Triptona Soja (TSA) inclinado e incubadas por 24 h a 35°C. Em seguida, com uma alça microbiológica, os inóculos bacterianos foram transferidos para tubos de ensaio contendo solução salina 0,85% de NaCl. A turbidez foi ajustada de acordo com a escala de McFarland 0,5 e a confirmação feita pela leitura da absorbância em 625 nm entre 0,08 e 0,10. Um swab de algodão estéril foi mergulhado na suspensão ajustada e em seguida, foi passado na superfície da placa de Petri contendo ágar Mueller Hinton (MH). Posteriormente, com o auxílio de uma haste de metal esterilizada, foram feitos os semi poços e colocados 5 µl dos extratos das algas em triplicata e os controles (negativo e positivo). As placas foram incu-

badas em estufa bacteriológica por 48 h a 35°C. Decorrido esse tempo, os halos foram medidos com auxílio de um paquímetro digital.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para realizar as pesquisas com bioativos de algas marinhas, procurou-se coletar representantes dos três filios: Rhodophyta (algas vermelhas), Chlorophyta (algas verdes) e Ochrophyta (algas pardas). As algas coletadas em Icapuí-CE, foram identificadas como: *Bryothamnion triquetrum*, *Bryothamnion seaforthii*, *Hypnea musciformis*, *Gracilaria* sp. e *Laurencia* sp. pertencentes ao filo Rhodophyta. Do filo Chlorophyta foram identificadas as espécies: *Ulva lactuca*, *Codium isthmocladum* e *Caulerpa racemosa*. Do filo Ochrophyta: *Lobophora variegata*, *Padyna gymnospora*, *Padyna* sp e *Dictyota* sp. As algas coletadas em Icaraizinho de Amontada-CE, foram identificadas, do filo Rhodophyta, *Bryothamnion triquetrum* e *Bryothamnion seaforthii*. E pertencentes ao filo Ochrophyta, *Sargassum vulgare*, *Sargassum* sp e *Lobophora variegata* (Tabela 1).

Tabela 1- Relação das algas coletadas, seus respectivos filios e locais de coletas.

Algas coletadas	Filo	Locais de coleta
<i>Bryothamnion triquetrum</i>	Rhodophyta	Icapuí e Icaraizinho de Amontada
<i>Bryothamnion seaforthii</i>	Rhodophyta	Icapuí e Icaraizinho de Amontada
<i>Hypnea musciformis</i>	Rhodophyta	Icapuí
<i>Gracilaria</i> sp	Rhodophyta	Icapuí
<i>Laurencia</i> sp	Rhodophyta	Icapuí
<i>Ulva lactuca</i>	Chlorophyta	Icapuí
<i>Codium isthmocladum</i>	Chlorophyta	Icapuí
<i>Caulerpa racemosa</i>	Chlorophyta	Icapuí
<i>Lobophora variegata</i>	Ochrophyta	Icapuí e Icaraizinho de Amontada
<i>Padyna gymnospora</i>	Ochrophyta	Icapuí
<i>Padyna</i> sp	Ochrophyta	Icapuí
<i>Dictyota</i> sp	Ochrophyta	Icapuí
<i>Sargassum vulgare</i>	Ochrophyta	Icaraizinho de Amontada
<i>Sargassum</i> sp	Ochrophyta	Icaraizinho de Amontada

As algas identificadas foram: do filo Rhodophyta, três espécies e 02 gêneros; do filo Ochrophyta foram 03 espécies e 03 gêneros e 03 espécies do Filo Chlorophyta.

Na atual pesquisa, as algas identificadas em maior diversidade foram do filo Ochrophyta. As algas marinhas pardas são na sua maioria multicelulares e possuem um papel importante em ambientes marinhos, tanto para a alimentação quanto para o equilíbrio ecológico dos habitats que se formam. A cor característica deste grupo de organismo decorre de grandes quantidades de carotenóides fucoxantina (o que produz uma cor castanha) contidos nos seus cloroplastos e pela presença de vários taninos (Davis; Volesky; Mucci, 2003). Na literatura, espécies desse grupo já foram citadas como fontes de terpenos e proteínas com atividade biológica contra bactérias e vírus (Abrantes, 2006; Beaulieu, 2015).

Em relação as algas vermelhas, estas contêm bioativos antioxidantes potentes, anti-inflamatórios, fotoprotetivos e antimelanogênicos, o que contribui para sua capacidade de se desenvolver nos mais diversos ambientes, respondendo às mudanças com uma produção de vários metabólitos secundários como fluorotanino, polissacarídeos sulfatados, carotenoides, flavonoides e polifenóis (David; Baharulnizam; Rajabalaya, 2022).

De acordo com Fontenelle et al., (2018); Alves, (2015), alguns compostos extraídos de espécies da alga vermelha, gênero *Bryothamnion*, apresentaram propriedades terapêuticas como anti-inflamatório, antioxidantes e antibacteriano.

Na presente pesquisa, a espécie mais encontrada visualmente e coletada em maior volume foi, *Codium isthmocladum*, uma macroalga verde e rica em polissacarídeos sulfatados bioativos. De acordo com Alves (2021), a costa marinha nordestina abriga uma considerável variedade de *Codium* ssp. Soeiro (2020), realizou análises químicas e estruturais nesta espécie e identificou galactanas sulfatadas de *C. isthmocladum*, concluindo ser biomoléculas promissoras em possíveis tratamentos farmacológicos, sobretudo como compostos antibacterianos e antibiofilmes.

Carneiro (2020), coletou amostras de *Codium isthmocladum* na Praia de Paracuru, Ceará, Brasil e isolou duas novas lectinas de *C. isthmocladum*, com potencial antibiofilme para as bactérias das espécies *Staphylococcus aureus* e *Staphylococcus epidermidis*.

As algas verdes, por sua vez, são usualmente exploradas para a obtenção de carragenana, amido e pigmentos. Devido à gama de compostos importantes que podem ser encontrados nas macroalgas, esses organismos têm sido amplamente explorados para a produção de diversos produtos como biocombustíveis, produtos farmacêuticos e nutracêuticos (Puri, 2022).

Na corrente pesquisa foram coletados 14 tipos diferentes de macroalgas (9 espécies e 5 gêneros), porém apenas 3 algas tiveram rendimento suficiente para serem processados, representando as algas vermelhas a *Bryothamnion triquetrum*, a alga parda *Sargassum* sp, e a alga verde *Codium isthmocladum*.

Vidoti; Rollemberg (2004) relataram que no Brasil, a região costeira compreendida entre o Estado do Ceará e o Norte do Rio de Janeiro abrigam uma flora algal das mais diversificadas do país. No tocante à exploração de espécimes com fins comerciais, a atividade vem correspondendo significativamente com a coleta de algas vermelhas do gênero *Gracilaria* e *Hypnea* no litoral Nordeste, com as principais coletas realizadas na costa entre os Estados do Ceará e da Paraíba.

Segundo Farias (2004), o Estado do Ceará possui uma grande variedade de macroalgas marinhas com maior preponderância das algas vermelhas, da divisão Rhodophyta (205 espécies), seguida das algas verdes, divisão Chlorophyta (77 espécies) e das algas pardas ou marrons, divisão Ochophyta (31 espécies), perfazendo um total de 313 espécies.

A alga vermelha, *Gracilaria birdiae* é amplamente coletada nos bancos naturais da costa nordeste para extração do agar-agar (Plastino; Oliveira, 2002) e nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, esta espécie vem sendo cultivada em escala piloto nos módulos flutuantes de estruturas do tipo long-line e, portanto, em fase experimental e a sua produção ainda é pequena (Carvalho Filho, 2004).

Na presente pesquisa, avaliou-se o rendimento dos extratos algais utilizando os solventes orgânicos etanol e hexano que está representado na Tabela 2. Os extratos obtidos com a alga verde *Codium isthmocladum* apresentaram os melhores rendimentos em comparação aos extratos das outras algas. Os extratos etanólicos foram os mais eficientes.

Segundo Cho et al. (2011), os extratos de algas verdes apresentam rendimentos superiores quando comparado às outras classes de

algas. Resultados que corroboram com os achados da corrente pesquisa, na qual a espécie *Codium isthmocladum* obteve o melhor percentual comparado aos demais extratos, com um rendimento de extrato etanólico de 1,77%.

De acordo com Chiet al. (2016), vários fatores podem influenciar diretamente no rendimento e conteúdo final da extração, tais como, método de extração, tempo, temperatura, solvente e espécies das algas e habitats.

Chibi et al. (2019) obtiveram uma grande variação nos rendimentos de extração de 86 espécies de algas marinhas coletadas na costa de Marrocos. Encontraram rendimentos de 0,56% a 6,16% nas rodófitas, de 0,76% a 7,79% nas clorófitas e 0,13% a 9,07% nas ocrófitas, tendo atribuído os resultados às diferenças entre as espécies, mesmo quando o processo de extração (clorofórmio:metanol 2:1, v/v) foi similar.

Tabela 2- Rendimento dos extratos orgânicos das macroalgas marinhas coletadas em Icapui-CE e Icaraizinho de Amontada-CE.

Algas	Peso seco (g)	Peso dos extratos (g)		Rendimento dos extratos (%)	
		Etanol	Hexano	Etanol	Hexano
<i>Bryothamnion triquetrum</i>	3	0,0117	0,002	0,39	0,07
<i>Codium isthmocladum</i>	10	0,1771	0,0834	1,77	0,83
<i>Sargassum</i> sp.	6	0,0511	0,02	0,85	0,33

3 = peso de 3 gramas, 10 = peso de 10 gramas, 6 = peso de 6 gramas.

Na presente pesquisa, verificou-se que os extratos etanólicos e hexânicos das macroalgas *Bryothamnion triquetrum*, *Codium isthmocladum* e *Sargassum* sp foram capazes de inibir a multiplicação das bactérias *Escherichia coli* ATCC 25922 e *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, ambas apresentando capacidade bactericida e bacteriostática (Tabela 3).

Tabela 3. Atividade antibacteriana in vitro dos extratos algais, etanólicos e hexânicos frente a culturas de bactérias padrões (*E. coli* ATCC 259222 e *S. aureus* ATCC 25923).

Macroalga	Solvente	<i>E. coli</i> (Tam. halo em mm) triplicata			<i>S. aureus</i> (Tam. halo em mm) triplicata		
<i>B. triquetrum</i> Conc. 100µg/ml	Etanol	13	9,9	11,7	6,1	11,0	9,2
	Hexano	8,6	9,4	12,4	8,5	7,4	12,5
<i>B. triquetrum</i> Conc. 500µg/ml	Etanol	9,5	13,9	12,6	8,2	10,6	10,0
	Hexano	10,7	14,8	12,6	7,4	8,9	12,8
<i>B. triquetrum</i> Conc. 1000µg/ml	Etanol	8,4	11,6	13,3	9,1	9,5	8,3
	Hexano	11,0	12,0	10,0	9,7	8,0	9,0
<i>C. isthmocladum</i> Conc. 100µg/ml	Etanol	10,7	10,2	11,6	23,9	12,3	14,1
	Hexano	9,4	8,8	12,1	10,7	10,0	13,7
<i>C. isthmocladum</i> Conc. 500µg/ml	Etanol	11,4	10,0	11,2	23,0	43,5	10,0
	Hexano	9,1	8,5	10,3	13,1	9,9	12,1
<i>C. isthmocladum</i> Conc. 1000µg/ml	Etanol	11,0	10,2	10,0	42,6	13,1	15,8
	Hexano	10,5	9,0	10,0	14,0	11,4	11,0
<i>Sargassum sp</i> Conc. 100µg/ml	Etanol	10,7	11,5	12,0	8,4	9,9	9,9
	Hexano	9,5	10,7	11,3	10,1	9,2	11,8
<i>Sargassum sp</i> Conc. 500µg/ml	Etanol	11,2	10,3	11,7	7,9	10,8	9,1
	Hexano	9,4	11,0	11,2	11,8	11,1	15,0
<i>Sargassum sp</i> Conc. 1000µg/ml	Etanol	11,7	11,7	12,9	8,4	8,7	9,8
	Hexano	7,4	8,7	9,7	13,2	9,0	15,3

Halos medidos em mm

Os extratos da alga *C. isthmocladum* destacou-se por ter apresentado os maiores halos frente a cepa *S. aureus*. Já os extratos de *B. triquetrum* apresentaram uma inibição mais discreta frente a esta cepa. Em relação a cepa de *E. coli*, os extratos de *B. triquetrum* expressaram os maiores halos, ao contrário do extrato hexânico da alga *Sargassum sp*, que tiveram halos mais modestos.

Segundo Arguelles, (2020), o extrato metanólico da alga *Codium intricatum*, coletada nas Filipinas, apresentou atividade inibitória contra a bactéria Gram positiva *Staphylococcus aureus*. No entanto, nenhum efeito inibitório foi observado entre os patógenos bacterianos

Gram-negativos, tais como, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Aeromonas hydrophila* e *Pseudomonas aeruginosa*.

Na presente pesquisa, os extratos das algas tiveram resultados satisfatórios com a cepa de *E. coli*. Geralmente, os antibióticos são menos efetivos contra bactérias Gram negativas, por causa da complexidade da estrutura multicamada da parede celular contendo lipopolissacarídeos na parte mais externa da superfície celular, o que dificulta a penetração do composto ativo (Tortora; Funke; Case, 2017).

Deveau e colaboradores (2016), trabalharam com extrato da macroalga *Ulva lactuca*, os resultados dos ensaios de difusão em disco e MIC confirmaram a atividade antimicrobiana desta espécie, demonstrando a inibição de cepas de *Staphylococcus*, nas quais se apresentam como patógenas em humanos, a pesquisa forneceu evidências de que a capacidade antibacteriana de *U. lactuca* é influenciado pelo ciclo lunar.

Teles de Carvalho et al (2021), pesquisaram o potencial antimicrobiano de extratos metanólicos do gênero *Caulerpa* coletados na costa Cearense, através do teste de difusão em Ágar por poços e verificaram resultados satisfatórios frente as cepas de *E. coli* e *S. aureus*.

As bactérias ambientais de importância clínica e não clínica, estão se tornando cada vez mais resistentes aos antimicrobianos convencionais. As bactérias Gram-negativas multirresistentes representam um maior risco à saúde pública. Não apenas o aumento da resistência de bactérias Gram-negativas é mais rápido do que em bactérias Gram-positivas, mas também, há um menor número de novos antimicrobianos e menor desenvolvimento de ativos para bactérias Gram-negativas, que em muitas vezes apresentam ativos com cobertura terapêutica insuficiente para 10-20 anos (Kumarasamy et al., 2010).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a resistência bacteriana é facilitada pelo uso incorreto de antibióticos, tornando as bactérias multirresistentes, podendo levar à morte ou ainda causar grandes prejuízos à sociedade. O problema ainda pode ser agravado por medicamentos de baixa qualidade, diagnóstico incorreto e falta de prevenção/controle por parte dos órgãos responsáveis (WHO, 2017).

Investigar novos princípios ativos e/ou mecanismos de atuação se mostra uma estratégia promissora, visto que novas classes de antimicrobianos não são descobertas desde 1980. Os progressos registrados

têm sido relacionados à modificação de classes de antimicrobianos já existentes, basicamente através da melhoria de parâmetros farmacocinéticos (Chernov et al., 2019). As algas mantêm o equilíbrio biológico nos ambientes aquáticos, portanto, é fundamental investigar suas biomoléculas como base para a geração de novos produtos bioativos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi possível coletar uma diversidade de algas marinhas, tanto vermelhas, verdes e pardas de duas praias do Estado do Ceará. Nos testes de atividade antimicrobiana, foi constatado resultados satisfatórios dos extratos etanólicos e hexânicos das algas *Bryothamnion triquetrum*, *Codium isthmocladum* e *Sargassum* sp. frente as cepas *Escherichia coli* ATCC 25922 e *Staphylococcus aureus* ATCC 25923. Com base nos resultados encontrados na presente pesquisa, sugere-se um aprofundamento à cerca do potencial biológico destas macroalgas marinhas

A ampla biodiversidade de algas encontradas ao longo do litoral Cearense, somada aos compostos bioativos presentes em várias destas espécies com potencial antibacteriano, revelam uma estratégia promissora na produção de novos compostos bactericidas e bacteriostáticos

Com isso, é importante pensar em futuras pesquisas com foco em organismos marinhos para a descoberta de novos compostos bioquimicamente ativos. O potencial biotecnológico das macroalgas, também trará benefícios para os pescadores, setor tecnológico e econômico do Estado do Ceará.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES, J. L. **Estudo da atividade anti-hsv-1 de terpenos isolados de algas pardas marinhas**. 2006. 82f Dissertação (Mestrado em Neuroimunologia) - Centro de Estudos Gerais, Universidade Federal Fluminense, Niteroi, 2006.

AL-HAJ N. A.; MASHAN, N. I.; SHAMSUDIN, M. N.; MOHAMAD, H.; VAIRAPPAN, C. S.; SEKAWI, Z.; **Antibacterial Activity of Marine Source Extracts Against**

Multidrug Resistance Organisms. American Journal of Pharmacology and Toxicology, v. 5, p. 95-102, 2010.

AL-SAIF, S.S.AI.; NEVEIN ABDEL-RAOUF, N.; EL-WAZANANI, H.H.; AREF, I.A. **Antibacterial substances from marine algae isolated from Jeddah coast of Red sea, Saudi Arabia.** Saudi Journal of Biological Sciences, v. 21, n. 1, p. 57, 2014.

AZEVEDO, C.A.A.; NAUER, F. **Biodiversidade e Ecologia de Macroalgas Marinhas Brasileiras,** Botânica no Inverno 2012.

BASILIO, T.H., Cap 03- **Algas Marinhas-** Biodiversidade e conservação das ilhas costeiras do litoral sul Capixaba, 2020.

BEAULIEU, J. M.; ESPINOZA, S.; GAINETDINOV, R.R. **Do pamine receptors** - IUPHAR Review 13. British Journal of Pharmacology, v. 72, n.1, p.1-23, 2015.

BENEDETTI, M.; VECCHI, V.; BARERA, S.; DALL'OSTO, L. **Biomass from microalgae: the potential of domestication towards sustainable biofactories.** Microbial Cell Factories, v. 17, n. 1, p. 1-18, 2018.

BLACKLEDGE, M. S.; WORTHINGTON, R. J.; MELANDER, C. **Biologically inspired strategies for combating bacterial biofilms.** Current Opinion in Pharmacology, v. 2013, p. 699-706, 2013.

CARVALHO FILHO, J. Algas: **Uma alternativa para as comunidades pesqueiras?** Panorama da Aquicultura. Disponível em: Acesso em: 28 set 2022, 2004.

CASTELAR, B. **Algicultura de espécies nativas: alternativas ao uso da espécie exótica *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P.C. Silva (Rhodophyta, Solieriaceae) em áreas de alto risco de invasão no Brasil.** Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2014.

CHO, M.L.; LEE, H.S.; KANG, I.J.; WON MHAND YOU G. **Antioxidant properties of extract and fractions from *Enteromorpha prolifera*, a type of green seaweed.** Food Chemistry, v.127, p. 999-1006, 2011.

CHRISTOBEL, G. J.; LIPTON, A.P.; AISHWARYA, M.S.; SARIKA, A.R.; UDAYAKUMAR, A. **Antibacterial activity of aqueous extract from selected macroalgae of southwest coast of India.** Seaweed Res. Util., v. 33, n. 1-2, p. 67-75, 2011.

CLSI - CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. 2012. Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests; Approved Standard-Eleventh Edition. CLSI document

M02-A11. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute 32(1): 76p, 2012.

DAPPER, T.B.; PUJARRA, S.; OLIVEIRA, A.J.; OLIVEIRA, F.G.; PAULER, R. **Potencialidades das macroalgas marinhas na agricultura: revisão.** Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, v.07, p. 295-313, 2014.

DAVID, S. R.; BAHARULNIZAM, N. B.; RAJABALAYA, R. Review article **A review on biological assays of red algae marine compounds : An insight into skin whitening activities.** Journal of Herbal Medicine, v. 35, p. 100585, 2022.

DAVIS, T. A.; VOLESKY, B.; MUCCI, A. **A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae.** Water Research, v. 37, p. 4311-4330, 2003.

DEVEAU, A.M.; MILLER-HOPE, Z.; LLOYD, E.; WILLIAMS, B.S.; BOLDOC, C.; MEADER, J.M.; WEISS, F.; BURKHOLDER, K.M. **Antimicrobial activity of extracts from macroalgae *Ulva lactuca* against clinically important Staphylococci is impacted by lunar phase of macroalgae harvest.** Lett Appl Microbiol. Vol. 62(5), p.363, 2016.

DOMOZYCH, D. S.; CIANCIA, M.; FANGEL, J. U.; MIKKELSEN, M. D.; ULVSKOV, P.; WILLIAM, G. T. W. **The cell walls of green algae: A journey through evolution and diversity.** Frontiers Plant Science, v. 3, p. 1-7, 2012.

EOM, S.H., KIM, Y.M. AND KIM, S.K. **Antimicrobial effect of phlorotannins from marine brown algae.** Food Chemical Toxicology , v. 50, p. 3251–3255, 2012.

FARIAS, W. R. L. **Cultivo de algas marinhas no Estado do Ceará.** In: Seminário Nordestino de Pecuária, 8., 2004. Fortaleza. Anais... Fortaleza: PECNORDESTE, p. 37-38, 2004.

FONSECA, J.A. **Aplicação de Algas na Indústria Alimentar e Farmacêutica.** Dissertação, Universidade Fernando Pessoa Faculdade de Ciências da Saúde, Porto, 2016.

GUIRY IN GUIRY, M.D.; GUIRY, G.M. 20 October 2021. **AlgaeBase.** World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; Acesso em 27 janeiro 2023

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. [Malha Municipal | IBGE, https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html](https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html), acesso em 29 agosto 2024.

JIMÉNEZ, E.; DORTA, F; MEDINA, C.; RAMÍREZ. A.; RAMÍREZ, I.; PEÑA-CORTÉS, H. **Anti-phytopathogenic activities of macro-algae extracts**. Marine Drugs, v. 9, p. 739-756, 2011.

KONG, K.; RAY, M. **Antibiotic Resistance: Mechanisms and New Antimicrobial Approaches**. Londres, Elsevier, 2016.

KUMAR, C.S., GANESAN, P., SURESH, PV., BHASKAR, N. **Seaweeds as a source of nutritionally beneficial compounds - A Review**. Journal of Food Science and Technology. Mysore v. 45, n. 1, p. 1-13, 2008.

LAI, C. K. C. et al. **Overcoming the rising incidence and evolving mechanisms of antibiotic resistance by novel drug delivery approaches – An overview**. Advanced Drug Delivery Reviews, v. 181, p. 114078, 2022.

LEE, R. E, Phycology, Fourth edition, Cambridge University Press, 2008.

MAURÍCIO A.; JACINTO, L.; SERÔDIO, L.; CLEMENTE, M. I. Ciências da natureza. p.1-10, 2011.

MARIANO-SORIANO, E.M.; CARNEIRO, M.A.; SORIANO, J. **Manual de Identificação de Macroalgas Marinhas do Litoral do Rio Grande do Norte. Natal**, RN: Editora da UFRN, 2008.

NAUER, F. VI **Botânica no Inverno** 2016 /Cap 3, Introdução às macroalgas marinhas, 2016.

NASSAR, C. **Macroalgas Marinhas do Brasil**: guia de campo das principais espécies. 1 ed. Rio de Janeiro: Technical Books, 2012.

NETO, J.A.; MUTUE, T.F. **Guia Ilustrativo de identificação e utilização de algas marinhas bentônicas do estado de São Paulo**. São Carlos: Rima Editora, 184 p, 2016.

OLIVEIRA, V. B.; ZUCHETTO, M.; OLIVEIRA, C. F.; PAULA, C. S.; DUARTE, A. F. S.; MIGUEL, M. D.; MIGUEL, O. G. **Efeito de diferentes técnicas extrativas no rendimento, atividade antioxidante, doseamentos totais e no perfil por clae-dad de *Dicksonia sellowiana* (presl.). Hook, dicksoniaceae**. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais. Campinas, v.18, n.1, p.230-239, 2016.

OSMAN, M.E.H.; ABUSHADY, A.M.; ELSHOBARY, M.E. **In vitro screening of antimicrobial activity of extracts of some macroalgae collected from Abu-Qir bay Alexandria**, Egypt. African Journal of Biotechnology, v. 9, n. 12, p.7203, 2010.

PLASINO, E.M.; OLIVEIRA, E.C. ***Gracilaria birdiae* (Gracilariales, Rhodophyta), a new species from the tropical South American Atlantic with a terete**

frond and deep spermatangial conceptacles. Phycologia v.41, n.4 p. 389-396, 2002.

PURI, M.; GUPTA, A.; MCKINNON, R.A.; REINU E. ABRAHAM, **Marine bioactives : from energy to nutrition.** Trends in Biotechnology, v. 40, no 3, p. 271–280, 2022.

REIS, M. C. **Avaliação Da Capacidade Inovativa Na Indústria No Uso De Algas Sobre A Ótica Patentária Brasileira,** Cadernos de Prospecção, v.14, n.2, p. 548, 2021.

ROSALINE, X.D.; SAKTHIVELKUMAR, S.; RAJENDRAN, K. JANARTHANAN, S. **aL** Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, v. 2, n. 1, p. 140-140, 2012.

SHARMA, S.; MOHLER, J.; MAHAJAN, S.D.; SCHWARTZ, S.A.; BRUGGEMANN, L.; AALINKEEL, R. Microbial Biofilm: **A Review on Formation, Infection, Antibiotic Resistance, Control Measures, and Innovative Treatment.** v.11, p1614, 2023.

SILVA, F. N. RAIMUNDO, S.G. **VI Botânica no Inverno 2016 /** Org. Miguel Peña H. [et al.]. – São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Botânica, 223p., 2016.

SILVA, G.; C.; **Extratos bioativos de algas marinhas da costa do Ceará: determinação de atividade contra o vírus da dengue e bactérias patogênicas resistentes a múltiplos antimicrobianos.** 2017. 91 f. Tese (doutorado), Programa de Pós- Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Fortaleza, 2017.

SOARES, J. B.; CASIMIRO, A. R. S.; ALBUQUERQUE, L. M. B. **Métodos de coloração. Microbiologia Básica.** Fortaleza: UFC, v. 2, p. 33-35, 1991.

SOEIRO, V.C. **Avaliação do potencial antioxidante, antibacteriano e antibiofilme de polissacarídeos sulfatados obtidos da alga verde *Codium isthmocladum*.** 2020. 127f Tese, Centro de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Bioquímica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

SOUZA, G. C. C. F. **Algas Marinhas.** Dossiê Técnico. Paraná: Instituto de Tecnologia do Paraná, 2011.

TELES DE CARVALHO, F. C., ABREU, J.O., REBOUÇAS, R.H, SAKER-SAMPAIO, S., RODRIGUEZ, M. T T, SOUSA, O.V. **Evaluación de la bioactividad de extractos de algas de especies del género *Caulerpa* colectadas en la costa de Ceará (Brasil),** Hig. Sanid. Ambient. v. 21, p.1991-1997, 2021.

THEURETZBACHER, U. **Global antibacterial resistance: The never-ending story.** *Journal of Global.* Antimicrobial Resistance, v. 1, p. 63-69, 2013.

TORTORA, G. J.; CASE, C. L.; FUNKE, B. R. *Microbiologia.* 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 861p., 2017.

TRENTIN, D. S.; GIORDANI, R. B.; MACEDO, A. J. **Biofilmes bacterianos patogênicos: aspectos gerais, importância clínica e estratégias de combate.** *Revista Liberato,* v. 14, p. 113- 238, 2013.

VALENTIN, Y. Y. **Macroalgas Marinhas e Biotecnologia,** Companheiras Inseparáveis, 2010

VIDOTTI, E.C.; MARIA DO CARMO, E.; ROLLEMBERG, E. **Algas: da economia nos ambientes aquáticos à biorremediação e à química analítica.** *Quim. Nova,* Vol. 27, No. 1, 139-145, 2004.

WHO, World Health Organization, **Antimicrobial Resistance** – Global Report on Surveillance. Geneva, Switzerland: WHO Press, 2014.

WHO, World Health Organization. **Antimicrobial resistance surveillance in Europe 2023 - 2021 data.** Stockholm: European Centre for Disease Prevention and Control and World Health Organization; 2023.

Trabalhos publicados e submetidos

- Inovações para a pesca artesanal: subsídios para o desenvolvimento da atividade no estado do Ceará. *Revista Eletrônica Sistemas & Gestão,* v. 16, p. 229-241, 2021. DOI: 10.20985/1980-5160.2021.v16n3.1650.
- Direitos e deveres do pescador artesanal do estado do Ceará [livro eletrônico]: manual de orientação para regularização da atividade pesqueira. Fortaleza: INESP, 2022.

Artigos submetidos

- Identificação de inovações tecnológicas provenientes de subprodutos da Pesca Artesanal no Estado do Ceará, Brasil, submetido para a *Revista Eletrônica Sistemas & Gestão.*
- Perfil social, técnico e legal da pesca e do pescador artesanal do Estado do Ceará, em fase final para envio.

Agradecimentos

A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pelas bolsas concedidas e o financiamento do projeto.

Ao Programa Cientista Chefe (FUNCAP).

Ao Laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado (LAMAP), ao Laboratório de Avaliação de Contaminantes Orgânicos (LACOR), e ao Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR), UFC.

CAPÍTULO DEZ

DESCARBONIZAÇÃO DA CARCINICULTURA NO ESTADO DO CEARÁ

Rozane Valente Marins³⁸

Mariany Sousa Cavalcante³⁹

Andréa da Consolação de Oliveira Carvalho⁴⁰

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas globais causadas pelas atividades humanas têm provocado desequilíbrios nos ecossistemas marinhos e costeiros (IPCC, 2023). Essas mudanças têm como principal efeito o aquecimento do planeta em resposta ao aumento acelerado das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, especialmente o dióxido de carbono (CO₂). A queima de combustíveis fósseis é a principal fonte de CO₂ antropogênico para a atmosfera globalmente, seguida das mudanças no uso terra. O nível de CO₂ atmosférico, que era abaixo de 280 ppm na era pré-industrial, aumentou para médias acima de 400 ppm nas últimas décadas (NOAA/GML, 2024).

Dessa forma, pesquisadores e órgãos públicos têm buscado medidas que reduzam as emissões de CO₂, como o uso de energias alternativas, e que preservem ecossistemas naturais que sequestram e estocam carbono por séculos ou milênios (MACREADIE *et al.*, 2019). A Agenda 2030 da ONU, por exemplo, é um plano de ação global para eliminar a pobreza extrema e a fome, combater a desigualdade e a injustiça e combater as mudanças climáticas globais até 2030. A Agenda 2030 está embasada em 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que são abrangentes, mas interconectados com metas específicas a serem cumpridas em prol da saúde, educação, economia, meio ambiente e justiça. Dentre estes objetivos globais, o ODS 13 - Ação con-

38 Laboratório de Biogeoquímica Costeira, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará. Av. Abolição 3207, 60165071, Fortaleza, CE

39 Laboratório de Biogeoquímica Costeira, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará. Av. Abolição 3207, 60165071, Fortaleza, CE

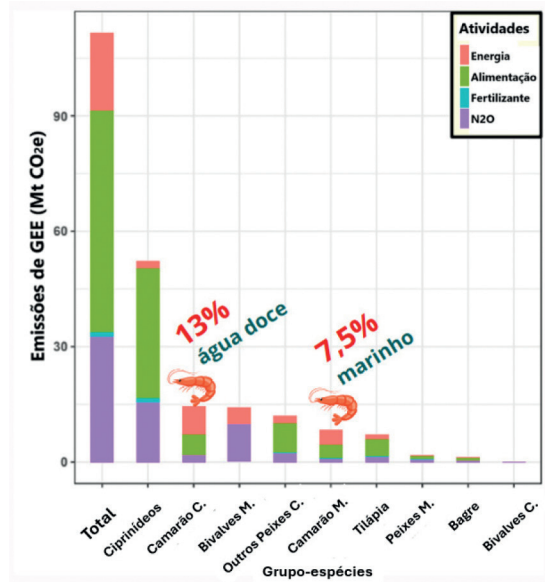
40 Laboratório de Biogeoquímica Costeira, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará. Av. Abolição 3207, 60165071, Fortaleza, CE

tra a Mudança Global do Clima objetiva combater a mudança do clima e seus impactos. O ODS 13 é transversal aos demais, uma vez que a ação contra a mudança climática inclui ações que impactam nas metas dos demais objetivos da Agenda 2030. Para atingir essas metas, é necessário investir na descarbonização da economia, o que implica na transformação das atividades almejando a neutralização das emissões de carbono ou “carbono líquido zero”. Isso não significa que a atividade deixará de emitir carbono, mas que a quantidade de carbono emitido não poderá ser maior que a quantidade de carbono capturado. Portanto, a busca pela descarbonização das atividades antrópicas é de grande interesse para o desenvolvimento sustentável.

No Brasil, a principal fonte antropogênica de gases do efeito estufa para a atmosfera são as mudanças no uso da terra através do desmatamento, agricultura, pecuária e outros (RIBEIRO; LEÃO; FREITAS, 2018). Comparando as emissões de carbono entre as atividades de produção de proteína animal, a aquicultura se destaca pela baixa emissão de CO₂ comparada à pecuária e avicultura, pois necessita de menor taxa de conversão de terra e uso de energia para produzir 100 g de proteína animal (MACLEOD *et al.*, 2020). Contudo, as emissões moderadas de gases de efeito estufa (GEE) provenientes da aquicultura não devem ser motivo de conformismo, pois a atividade tem se expandido rapidamente, sendo necessário o desenvolvimento de soluções eficientes para um cultivo mais sustentável.

A carcinicultura vem se expandindo desde a década de 1980 devido a sua grande contribuição para a segurança alimentar e ao desenvolvimento econômico. No Brasil, a atividade se destaca na região nordeste, sendo o camarão da espécie *Litopenaeus vannamei* a espécie mais cultivada no país. Atualmente, o Ceará é o maior produtor nacional de camarão, com 54,1% da produção (IBGE, 2023). A pegada de carbono da carcinicultura é elevada quando comparada a outros cultivos aquícolas, como o da tilápia, peixes de água doce e bivalves. A alimentação do cultivo e o consumo de energia e a conversão de terras em tanques são as principais fontes de gases do efeito estufa através dessa atividade (MACLEOD *et al.*, 2020; POORE & NEMECEK, 2018). A **Figura 1** destaca diferenças interessantes nas emissões de GEE entre cultivos da mesma espécie, sendo a emissão de GEE para o cultivo de camarão na água doce duas vezes maior em comparação com o marinho, devido a maior demanda de energia e alimentação.

Figura 1. Emissões de gases de efeito estufa (GEE) de nove grupo-espécies (Peixes M.: peixes marinhos; Bivalves M.: bivalves marinhos; Camarões M.: camarão marinho; Camarão C.: camarão de água doce; outros peixes C.: outros peixes de água doce; Bivalves C.: bivalves de água doce). (Adaptada de Xu et al., 2022).



Os sistemas de carcinicultura podem absorver ou liberar carbono na interface atmosfera-água, dependendo do manejo (i.e., forma de alimentação, densidade de indivíduos e outros) e de fatores ambientais como sazonalidade, precipitação, vazões fluviais, marés, padrões de vento, geomorfologia e flutuações de temperatura (ZHANG et al., 2019). Contudo, é necessário conhecer a magnitude dos fluxos de CO₂ nos tanques de cultivo e verificar formas de reduzir essas emissões através da adoção de práticas sustentáveis. Com uma gestão adequada, a aquicultura tem o potencial de sequestrar carbono da atmosfera acumulando-o como material residual ou favorecendo sua dissolução na água (CHANDA et al., 2019; ZHANG et al., 2022). A adoção de práticas sustentáveis para reduzir e compensar as emissões de GEE, como por exemplo, o uso de energias renováveis e restauração de áreas de manguezal acompanhadas da adoção de protocolos de manejo sustentáveis pode atingir a meta de geração de créditos de carbono, que agregaram valor ao produto e incentivo ao consumo sustentável (PO-ORE & NEMECEK, 2018).

Nesse contexto, foi realizada uma avaliação de estudos que estimam os fluxos de CO₂ na interface atmosfera-água na produção do camarão *Litopenaeus vannamei*. E, para exemplificar como a variabilidade de parâmetros hidroquímicos influencia a estimativa da pCO₂, é apresentado um estudo de caso em uma fazenda experimental de cultivo de *L. vannamei*. Com base nos aspectos avaliados pela literatura e pelo experimento, será discutido de que forma a atividade da carcinicultura no Ceará tem potencial para atingir o tão almejado objetivo do carbono líquido zero, contribuindo assim para as metas dos objetivos de desenvolvimento sustentável da atividade de produção de camarão no estado do Ceará.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CO₂ como principal gás do efeito estufa

A vida na Terra é possível graças a uma combinação de fatores que permitem condições habitáveis. Um desses fatores, é a presença de uma atmosfera composta por gases capazes de protegê-la de raios UV solares nocivos e de mantê-la a uma temperatura média adequada para a manutenção da vida (KILLOPS & KILLOPS, 2005). O efeito estufa é um fenômeno natural em que certos gases na atmosfera retêm parte do calor do sol, absorvido e irradiado pela superfície terrestre, impedindo que o calor se dissipe completamente no espaço. Esse fenômeno é fundamental na regulação do clima, criando um ambiente adequado para a vida. No entanto, atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis, indústrias, mudanças nos usos da terra, estilos de vida e padrões de consumo e produção, têm aumentado drasticamente a concentração de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera, causando o superaquecimento do planeta. O Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (AR6) atestou que as atividades humanas têm causado o aquecimento global, com a temperatura da superfície global atingindo 1,1 °C acima de 1850-1900 em 2011-2020 (IPCC, 2023).

O dióxido de carbono (CO₂) é considerado o principal gás do efeito estufa responsável pelo aquecimento global e pelas mudanças climáticas. Embora existam outros, como o metano (CH₄) e o óxido nítrico (N₂O), o CO₂ se destaca por sua abundância na atmosfera e seu papel central no ciclo do carbono (LIBES, 2009). As consequências do

incremento de CO₂ na atmosfera incluem aquecimento da atmosfera e dos oceanos, diminuição global de neve e gelo, aumento do nível dos mares, alteração do ciclo do carbono e de outros ciclos biogeoquímicos, acidificação dos oceanos, aumento de eventos climáticos extremos e perturbações nos ecossistemas (IPCC, 2023).

2.2 O balanço global de carbono

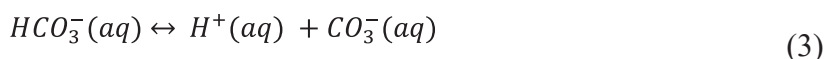
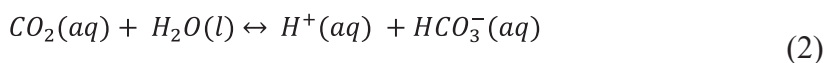
O ciclo global do carbono envolve a movimentação desse elemento entre os compartimentos atmosféricos, terrestres e oceânicos (FRIEDLINGSTEIN *et al.*, 2022). Essa movimentação pode ocorrer em uma escala de tempo relativamente rápida, como nos processos de respiração e fotossíntese, ou em escala geológica, como o carbono proveniente do intemperismo das rochas e do transporte e deposição de carbonatos (FALKOWSKI *et al.*, 2000). Caso os processos de absorção de CO₂ sejam maiores que os de emissão, o reservatório é considerado um sumidouro do CO₂ atmosférico, caso contrário, ele atuará como uma fonte de CO₂ para a atmosfera (BAUER *et al.*, 2013).

Ecossistemas costeiros têm se mostrado tão eficientes quanto florestas temperadas e tropicais no sequestro de CO₂ da atmosfera e seu armazenamento na forma de carbono orgânico (DALAL & ALLEN, 2008). O carbono armazenado nos ecossistemas costeiros é chamado de carbono azul (*blue carbon*). Dentre os ecossistemas de carbono azul, os manguezais são os que possuem maior capacidade de armazenamento de carbono (ALONGI, 2014), desempenhando um papel significativo na compensação das emissões antropogênicas de CO₂ (MACREADIE *et al.*, 2021; WYLIE, SUTTON-GRIER & MOORE, 2016). Contudo, pelo menos 35% dessas florestas foram destruídas entre 1980 e 2000 em todo o mundo por assentamentos humanos, poluição, desflorestamento, conversão em salinas ou tanques de aquicultura e outros, desconsiderando seus importantes serviços sociais e ecológicos (FRIESS *et al.*, 2019). O Brasil ocupa a terceira posição entre os países com maior área de mangue, com 7% do total mundial. Mesmo esses mangues estando concentrados (80%) ao longo do litoral norte e nordeste (do Ceará até o Amapá), que são regiões relativamente preservadas no país, 50.000 ha dessas florestas (aproximadamente 4%) foram convertidas para outros usos da terra, sendo a carcinicultura responsável por 20%–50% da área total convertida (FAO, 2007; FERREIRA & LACERDA, 2016).

Manguezais degradados não apenas deixam de atuar como sumidouros de carbono, como também contribuem para as emissões de CO_2 , através da oxidação do carbono armazenado (LOVELOCK *et al.*, 2017). Assim, o reflorestamento de mangues tem sido reconhecido como uma solução climática natural para contribuir com a mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Nas últimas décadas, vários programas de restauração não só iniciaram o plantio de florestas de mangue, como se esforçaram para medir, mapear e estimar o potencial dos ecossistemas de mangue para compensação das emissões de carbono (ADAME *et al.*, 2015; WYLIE; SUTTON-GRIER; MOORE, 2016).

Os processos que envolvem o transporte do CO_2 dissolvido nas águas superficiais para a atmosfera são influenciados pela temperatura, salinidade e ventos. Já os processos biológicos envolvem a produtividade primária que absorve CO_2 pela fotossíntese, convertendo-o em matéria orgânica e/ou na formação de estruturas carbonáticas ($CaCO_3$) em conchas e esqueletos. Embora parte da matéria orgânica seja consumida por outras formas de vida e parte das estruturas inorgânicas sejam dissolvidas, uma fração significativa pode ser depositada quando esses organismos morrem, ficando estocada em sedimentos (EMERSON & HEDGES, 2008).

Na interface entre a atmosfera e a superfície da água há movimento espontâneo do CO_2 através da difusão em busca do equilíbrio entre os dois compartimentos. Ao se dissolver na água, o CO_2 reage com ela para formar ácido carbônico (H_2CO_2), que se dissocia rapidamente em íons bicarbonato (HCO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}) (Equações 1, 2 e 3). Esse processo é importante para o sequestro de carbono quando águas superficiais com déficit de CO_2 em relação à atmosfera, favorecem a absorção de CO_2 (EMERSON; HEDGES, 2008).



A combinação de fatores abióticos (i.e., temperatura e salinidade) e fatores bióticos (i.e., produção primária, respiração) influenciam a pressão parcial do CO_2 na água e, por consequência, a emissão dos

gases do efeito estufa nos ecossistemas aquáticos. A concentração de CO_2 na água é frequentemente expressa como pressão parcial de CO_2 ($p\text{CO}_2$). Segundo a Lei de Henry, concentração de um gás dissolvido na solução é proporcional à pressão parcial que o gás exerce em equilíbrio com a solução a uma determinada temperatura. Se a pressão parcial do CO_2 na água for maior que na atmosfera, o gás será liberado da água para o ar; caso contrário, ele será absorvido pela água. A temperatura e a salinidade das águas superficiais afetam a quantidade de gás que pode ser dissolvida. O aumento da salinidade e da temperatura tende a reduzir a solubilidade do dióxido de carbono na água. Logo, quanto mais quente e salgada a água, menos dióxido de carbono ela pode absorver ou armazenar e mais tende a liberar na atmosfera.

Em relação aos efeitos biológicos, quanto maior a produção primária na superfície, maior a absorção de carbono. No entanto, o aumento da respiração aumenta a produção de CO_2 , favorecendo a emissão deste gás para a atmosfera. Dependendo do metabolismo preponderante do corpo hídrico, autotrófico ou heterotrófico, ele pode atuar como fonte quanto como sumidouro de CO_2 (COTOVICZ, MARINS & SILVA, 2022). Além disso, a decomposição da matéria orgânica nos sedimentos por fungos e bactérias é uma importante fonte de GEE em ambientes aquáticos. Logo, a composição da matéria orgânica, o nível de oxigênio, a temperatura e atividades humanas (como emissão de esgotamento domésticos e uso de fertilizantes agrícolas em excesso) influenciam na concentração de CO_2 em corpos hídricos (BAUER *et al.*, 2013). A velocidade do vento é outro fator que influencia a transferência de gases através da interface água-atmosfera devido à agitação da superfície da água (JIANG, CAI & WANG, 2008).

O clima é um fator relevante no controle dos fluxos de dióxido de carbono na interface água-atmosfera, devido a fatores como temperatura da água e produtividade primária (TAKAHASHI, 2002). A intensidade desses processos também varia sazonalmente, com menores temperaturas e maior produtividade, reduzindo a $p\text{CO}_2$ durante a primavera e o verão. Corpos hídricos continentais, como rios, estuários e lagos, são ainda mais vulneráveis à variabilidade climática, pois as diferenças nas taxas de precipitação influenciam no aporte e qualidade da matéria orgânica nesses sistemas (CARVALHO *et al.*, 2017; CAVALCANTE *et al.*, 2021; CHIELLE *et al.*, 2023).

2.3 Balanço de carbono na carcinicultura

O balanço de carbono na carcinicultura considera os diferentes componentes de entrada e saída de carbono para o sistema de cultivo. As entradas de carbono para o cultivo são contabilizadas pela entrada de alevinos, quantidade de ração utilizada na alimentação, o uso de fertilizantes, a produção primária do fitoplâncton, a água do cultivo e a água da chuva (YANG et al., 2022). A saída de carbono se dá através da perda pela respiração do plâncton, respiração nos sedimentos, emissões de carbono de gases de efeito estufa (CO_2 e CH_4), biomassa produzida de camarões, saída de água e acúmulo de carbono em sedimentos (Figura 2).

Figura 2 – Esquema representativo das entradas e saídas de carbono em um cultivo de camarão (*Litopenaeus vannamei*) (Adaptado de Yang et al., 2022).



Embora alguns estudos estimem os fluxos de carbono através da interface água-atmosfera e as variáveis de influência em tanques de aquicultura (i.e., CHANDA et al., 2019; SOARES & HENRY-SILVA, 2019), ainda faltam dados relevantes para o Brasil, onde os viveiros de aquicultura de pequena escala são comuns, mas não ainda bem estudados. A prática de drenagem de tanques, comum em muitos tanques de aquicultura de pequena escala, pode redirecionar o carbono a jusante. No entanto, o sequestro de carbono nos sedimentos pode contrabalançar o impacto ambiental dos tanques de aquicultura (BOYD et al., 2010).

Para avaliar com precisão as emissões do principal GEE em tanques de aquicultura, é essencial considerar tanto as entradas como

as saídas de carbono, em suas diferentes formas químicas (espécies químicas). Para tal é necessário a abordagem de balanço de massa de carbono (em toneladas/ciclo de produção, ou equivalente) que tem sido pouco utilizada em estudos de tanques de aquicultura (ZHANG et al., 2022). É crucial fazer esforços para determinar os diferentes componentes de entrada e saída de carbono dos viveiros de carcinicultura com *Litopenaeus vannamei* no Nordeste do Brasil e avaliar os balanços de carbono, quantificar a contribuição das emissões de CO₂ para a produção total de carbono e avaliar o papel da atividade na busca pela sustentabilidade ambiental com vista a emissão neutra em carbono. Com base nessa abordagem, é possível fornecer recomendações eficazes para aumentar a sustentabilidade da produção de acordo com vários dos objetivos do desenvolvimento sustentável das Nações Unidas (ODS 2, 3, 7, 12 e 13).

2.4 Carcinicultura no estado do Ceará: uma atividade em expansão

A produção de camarão cultivado no estado do Ceará apresentou um crescimento de 300% no número de municípios nos últimos anos, totalizando 59 municípios e 1.786 fazendas ativas em 2021 (ABCC, 2021) (**Figura 3**). O Ceará foi o estado com maior produção em 2023 (61 mil toneladas) (IBGE, 2023), e dos cinco municípios com maior produção no Brasil, quatro deles estão localizados nesse estado: Aracati (12,7 mil toneladas), Jaguaruana (8,4 mil toneladas), Acaraú (6,3 mil toneladas) e Russas (4,1 mil toneladas). É interessante notar a interiorização da atividade de carcinicultura, que antes era restrita à região costeira, que agora ocupa regiões com condições oligohalinas, com boa adaptação da produção.

Assim, a produção de camarão cultivado no Ceará apresentou um incremento de, 271% em 10 anos, principalmente devido ao aumento de micro e pequenos produtores, que representam 88,2% do total de produtores do estado. Nos últimos 10 anos, houve uma mudança no uso da terra, e agora, o Ceará conta com mais de 13.000 hectares ocupados com o desenvolvimento da atividade da carcinicultura, consolidou o estado como líder da produção de camarão nacional (ABCC, 2021).

3 BASE METODOLÓGICA

3.1 Estado da arte da emissão de carbono pela carcinicultura

A fim de avaliar a emissão de CO₂ em tanques de cultivo de camarão (*Litopenaeus vannamei*), foi realizado um levantamento bibliográfico para identificar a variabilidade dos parâmetros do sistema CO₂-carbonato em cultivos de camarão. As plataformas de busca acessadas foram Springer, Plos one, Pub Med e Science direct e as palavras-chave pesquisadas foram: “shrimp farming” e “CO₂ emission”.

Os artigos sugeridos nas buscas foram adicionados ao aplicativo da web gratuito Rayyan (OUZANNI et al, 2016) como uma ferramenta para auxiliar a seleção de artigos. A primeira etapa da seleção foi realizada com a leitura dos títulos e resumos dos artigos em pares, classificados em três categorias: incluídos, excluídos ou em dúvida. Para isso, foram definidos os seguintes critérios de inclusão e exclusão. Os artigos recuperados foram então selecionados para os seguintes critérios de seleção: ser um artigo científico, avaliar as emissões de CO₂ pela atividade de carcinicultura, abordar cultivo de camarão da espécie *Litopenaeus vannamei*. Os de exclusão foram: abordagem exclusiva de cultivos diferentes do camarão (como peixes, por exemplo), abordagem exclusiva de outros gases do efeito estufa sem menção ao CO₂, teses e monografias.

A segunda etapa da seleção dos artigos foi conduzida por um terceiro revisor, responsável por tomar decisões nos casos em que houve divergência na classificação entre os dois primeiros revisores (inclusão, exclusão ou dúvida). Quando necessário, esse revisor poderia ler o artigo por completo para resolver eventuais dúvidas quanto à sua inclusão ou exclusão. Após a conclusão da etapa de seleção, deu-se início à fase de extração de dados. Dois revisores leram cada artigo na íntegra e extraíram as informações de interesse. Em seguida, um terceiro revisor comparou as respostas e solucionou problemas de divergências de respostas, lendo os artigos e finalizando a etapa de extração de resultados. Finalmente, foram feitas análises e tratamento de resultados para a interpretação e discussão de resultados. Avaliamos a distribuição geográfica, a evolução temporal dos trabalhos publicados e quais os principais tópicos abordados dentro desse tema.

3.2 Avaliação do sistema CO₂-carbonato de um cultivo experimental

A avaliação de um cultivo experimental de camarões foi investigada a fim de verificar a influência dos parâmetros: salinidade e do sistema carbonático (alcalinidade e pH) em condições controladas de um cultivo experimental de em um cultivo de *Litopenaeus vannamei*. A avaliação envolveu dois sistemas de produção de camarão, e as amostras de água foram coletadas periodicamente de sete tanques de água hipersalina e sete tanques de água salobra, perfazendo um total de quatorze unidades experimentais semifechadas. Ambos os tratamentos utilizaram o mesmo método de alimentação, mesma forma de aeração e mesma densidade de cultivo. Desse modo, foi possível estabelecer o comparativo do comportamento da pCO₂ sob influência de diferentes salinidades e alcalinidade total. Esse estudo está sendo publicado em detalhes por Cavalcante e colaboradores.

Para avaliação do comportamento das variáveis do sistema CO₂-carbonato foram avaliadas diferentes condições de salinidade (tanques com salinidade maior que 35 e tanques com salinidade menor que 20). Foram realizadas coletas de amostras de água do início ao final do cultivo. Foram medidos além da salinidade, a temperatura e o oxigênio dissolvido utilizando uma sonda multiparâmetros (YSI Professional®). Em laboratório, foram mensurados o pH, a alcalinidade total e o teor de fósforo total na água dos tanques. Com esse par de parâmetros do sistema carbonato (pH e AT) é possível determinar a pCO₂ (DICKSON et al., 2007) utilizando o software CO2SYS (PIERROT et al., 2021) usando os valores de temperatura, salinidade, AT e pH como parâmetros de entrada. Essa ferramenta já foi discutida e validada por vários estudos (e.g., ABRIL et al., 2014; ORR et al., 2018; MARINS et al., 2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

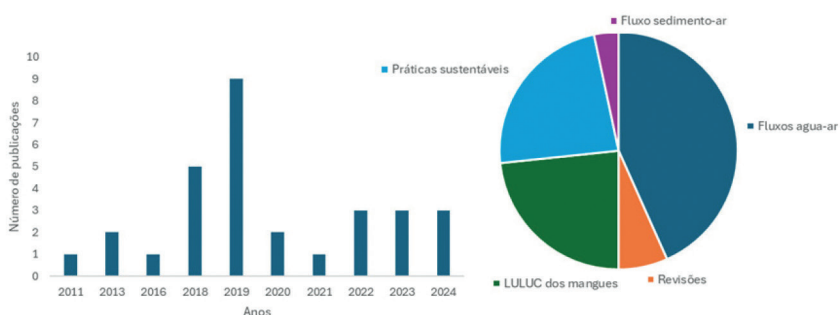
4.1 Avaliação da emissão de carbono pela carcinicultura

A busca bibliográfica inicial identificou 370 publicações para o processo de seleção, das quais 30 se enquadraram nos objetivos da pesquisa e foram selecionadas para a leitura, extração e interpreta-

ção dos resultados (**Figura 4**). Embora artigos já relatassem impactos da aquicultura de camarão no meio ambiente desde a década de 90, eles estavam mais relacionados a deterioração da qualidade da água (CHUA et al., 1989; DIERBERG & KIATTISIMKUL, 1996). Porém, estudos mais integrados, mas não relacionados a emissão de carbono, também foram realizados (LACERDA et al., 2009; COSTA et al., 2013; LACERDA et al., 2021).

A preocupação com as emissões de gases do efeito estufa pela atividade de carcinicultura é relativamente mais recente. CAO et al. (2011) avaliaram os impactos da atividade e, verificando que esses impactos contribuem com o aquecimento global e a acidificação das águas, propuseram estratégias para minimizar os impactos e promover a sustentabilidade da carcinicultura. Segundo os autores, as principais fontes de CO₂ para a atmosfera foram a produção de ração para alimentação e o uso de energia não renovável. Logo, eles apontaram a importância de desenvolver fórmulas alternativas de ração que substituam o uso de farinha de peixe na ração sem trazer prejuízos ao desenvolvimento dos organismos e sem induzir um novo problema ambiental. Além disso, ressaltaram a importância do uso de energias renováveis para abastecimento da atividade.

Figura 4 - Gráfico de barras representativas do número de trabalhos encontrados para cada ano com a temática emissões de carbono pela carcinicultura. A direita o gráfico de pizza mostra as temáticas principais abordadas por cada estudo.



Outras estimativas recentes também apontaram a alimentação e o uso de energia como principais contribuintes na pegada de carbono pela aquicultura (TIEN et al., 2019; XU et al., 2022). Contudo, a

aquicultura tem maior eficiência na produção de proteína animal do que os animais ruminantes devido à eficiência com que os organismos aquáticos convertem a ração em biomassa, refletindo na menor intensidade de emissões de GEE. A aquicultura representou aproximadamente 0,5% do total de emissões antrópicas em 2017, considerando as emissões totais para a aquicultura de 263 MtCO₂eq/ano e as emissões antropogênicas totais de 53,5 GtCO₂eq/ano (MACLEOD et al., 2020). Embora as emissões sejam relativamente baixas, o esforço para tornar a carcinicultura cada vez mais sustentável é essencial, frente a expansão da atividade e o cenário de mudanças climáticas globais e o aumento das exigências de produção mais sustentável de alimentos para as populações globais (ODS 12 e 13, mais especificamente, consumo e produção responsáveis e ação contra a mudança global do clima, respectivamente).

Dentre os artigos que destacam práticas sustentáveis para a aquicultura, os modelos superintensivos (*Indoor Super-Intensive Culture - ISIC*), de monocultura (*Pond Mono-Culture - PMC*) e multi tróficos integrados (*Pond Integrated Multi-Trophic Aquaculture - PIMTA*) são comparados quanto aos efeitos econômicos e ecológicos. Os resultados apontam que o cultivo multi trófico integrado é o que apresenta maior margem de lucro e maiores benefícios ao meio ambiente. Este modelo de cultivo gera menores liberações de nitrogênio e fósforo, reduzindo o impacto da eutrofização e permite que os tanques apresentem maior capacidade de sumidouro de CO₂, podendo ser atingidas as metas de carbono líquido zero (WANG et al., 2023). O uso de rações não convencionais, com ingredientes alternativos aumentando a eficiência de custos e a sustentabilidade dos alimentos para animais têm sido avaliadas (NUNES et al., 2022).

Estão, ainda, em discussões soluções como a implementação de taxas governamentais para emissões de CO₂ em contradição com subsídios do governo para combustíveis fósseis para a aquicultura para garantir a segurança alimentar (MARTINELL et al., 2021) gerando conflitos sociais, ambientais e econômicos. Assim, é apontado que para atingir a sustentabilidade, é necessário investir em tecnologias e soluções para redução das emissões de CO₂, promover mudanças na composição da alimentação, alterar as fontes de geração de eletricidade e fazer o tratamento de efluentes antes da descarga, otimizando a ca-

deia produtiva e promovendo uma produção e consumo de camarão mais sustentáveis (CAO et al., 2011).

Além das práticas supracitadas, visando a redução das emissões de CO₂, deve-se ressaltar que as áreas de manguezais são protegidas pelo Decreto Lei 12045 (BRASIL, 2024) que criou o Programa Nacional de Conservação e Uso Sustentável dos Manguezais do Brasil – ProManguezal, dando fim a uma polêmica recente sobre o uso dessas áreas. Entretanto, a prática de conservação e proteção necessita de monitoramento, apoio governamental e investimentos para poder gerar certificação de produção e consumo sustentável (ODS 12).

Áreas de mangue possuem capacidade de reter materiais e algumas vezes foram usadas para tratamento de efluentes. Entretanto, é sabido que essas áreas possuem capacidade limitada de retenção de materiais. Atuam como verdadeiras “esponjas” de materiais, porém ultrapassada sua capacidade de retenção essas áreas podem não mais reter com a mesma eficiência materiais de efluentes da carcinicultura (MARINS et al., 2020).

Ações de sustentabilidade ambiental geram certificados de produção orgânica de alimentos, uma demanda crescente no mercado global. Pesquisas de mercado apontam que consumidores estão dispostos a pagar 15–30% a mais por esses produtos orgânicos certificados (ASCHEMANN-WITZEL & ZIELKE 2017). Portanto, incentivos financeiros para os produtores podem ser necessários para reduzir as emissões de carbono e maximização do sequestro através do cultivo sustentável de camarão preservando áreas de mangue, energia renovável e manejo da produção de forma a garantia de produção carbono líquido zero.

Para avaliar as práticas de manejo que favorecem a absorção de CO₂, é necessário realizar medições dos seus fluxos na interface água-atmosfera, identificando os parâmetros controladores da sua concentração para planejamento de um cultivo visando a sustentabilidade (AIMÉ et al., 2018). A densidade de organismos é um fator relevante nos fluxos de CO₂ na interface água-atmosfera, havendo casos de sistemas com maiores densidades apresentarem menor pCO₂ devido ao melhor aproveitamento da ração fornecida (BARRÉTO, OLIVEIRA & HENRY-SILVA, 2024; HUANG et al., 2024). CHANDA et al., (2019) e RIXEN et al., (2023) mostraram a eficiência da adição de carbonato de cálcio

na redução da $p\text{CO}_2$ nos tanques de carcinicultura, permitindo que eles passassem de fonte a sumidouros de CO_2 atmosférico através da redução da turbidez e aumento da atividade fotossintética. A salinidade também é um importante regulador desses fluxos. Sistemas de cultivo com água doce ($111,48 \pm 25,42 \text{ gCm}^{-2}\text{ano}^{-1}$) apresentam maiores magnitudes de fluxos de CO_2 que sistemas com água salobra ($37,45 \pm 19,66 \text{ gCm}^{-2}\text{ano}^{-1}$) e hipersalina ($-26,56 \pm 22,33 \text{ gCm}^{-2}\text{ano}^{-1}$) (ZHANG et al., 2022). Outros fatores como pH, temperatura do ar e morfometria também são fatores que devem ser considerados, pois determinaram os padrões de variação do fluxo de CO_2 nos tanques de camarão (SOARES & HENRY-SILVA, 2019; ZHANG et al., 2019).

4.2 Emissão de CO_2 pela carcinicultura – um comparativo entre diferentes condições de salinidade

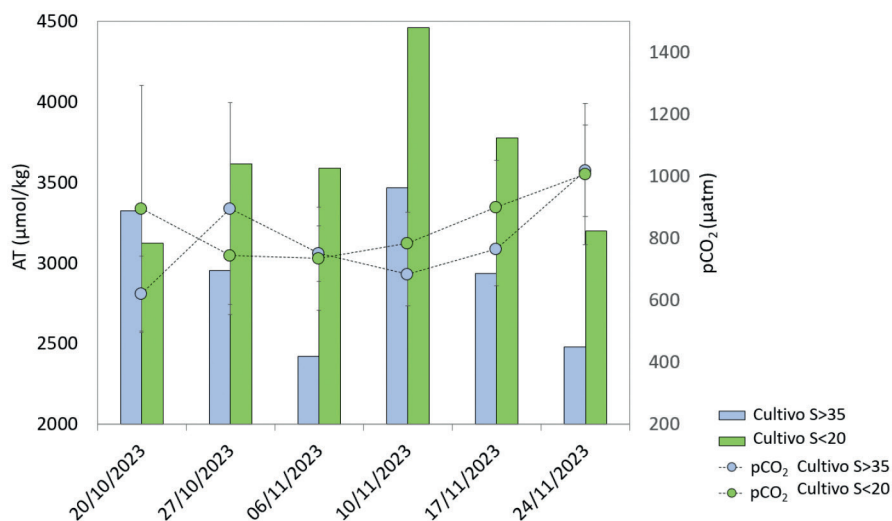
Tendo em vista a expansão da carcinicultura, antes restrita às áreas costeira, para o interior do Estado, foram monitorados cultivos experimentais de camarão com dois tratamentos (hipersalino e salobra) a fim de comparar os efeitos da salinidade em relação às emissões de CO_2 . Os cultivos experimentais avaliados foram submetidos às mesmas condições de densidade (140 animais/m^2), aeração e alimentação. As temperaturas encontradas para o experimento variaram entre $27,1$ e $28,6 \text{ }^\circ\text{C}$. As salinidades variaram entre $37,5$ e $42,7$ para os tanques hipersalinos e entre $14,8$ e $17,1$ para os tanques oligohalinos. Os níveis de oxigênio dissolvido foram em média $5,2 \pm 0,8 \text{ mg L}^{-1}$ (78% saturação), devido ao uso de aeradores nos tanques, mantendo-se acima da concentração mínima recomendada ($5,0 \text{ mg L}^{-1}$) para a manutenção, sobrevivência e crescimento do camarão (CARBAJAL-HERNÁNDEZ et al., 2017).

Os parâmetros do sistema carbonato avaliados foram o pH e a alcalinidade total. O pH apresentou valores parecidos entre os diferentes tratamentos, variando entre $8,1$ e $7,6$ para os tanques hipersalinos e entre $8,2$ e $7,8$ para os tanques de cultivo em água salobra. Esses valores estão dentro da variação considerada apropriada ($6,5$ - $9,0$) para *L. vannamei* (VAN WYK et al.,

1999). Já os valores de alcalinidade variaram entre os diferentes tratamentos, sendo menores em média para os taques hipersalinos ($2911,6 \pm 409,6 \mu\text{mol. Kg}^{-1}$) em comparação com os tanques de cultivo oligohalinos ($3653,9 \pm 520,1 \mu\text{mol.kg}^{-1}$) (**Figura 5**). Essa diferença é importante, pois aponta diferenças no equilíbrio do sistema carbonato entre os diferentes níveis de salinidade e reflete em valores estimados de pCO_2 distintos para os diferentes tratamentos. Os níveis de pCO_2 encontrados variaram entre $798,7 \pm 212,7 \mu\text{atm}$ para a água salgada e entre $842,4 \pm 218,7 \mu\text{atm}$ para a água salobra (**Figura 5**). Os níveis mais elevados de pCO_2 encontrados nos tanques com salinidade menor que 20 ocorreu devido à composição da água do cultivo formada pela mistura de águas estuarinas e água de poço de uma área de mangue com correção de alcalinidade através da calagem o que levou a níveis de AT e pCO_2 ainda mais elevados do que o cultivo com águas hipersalinas, compostas principalmente por água estuarina, que também apresentou supersaturação significativa de CO_2 para a atmosfera devido ao metabolismo heterotrófico (COTOVICZ et al., 2022).

Importante ressaltar que, neste experimento controlado, o uso de melaço e o cultivo em tanques fechados limitou a produtividade primária pelo fitoplâncton. Apesar do experimento apresentar condições bastante distintas da realidade das fazendas de carcinicultura em relação às condições de cultivo, este experimento permitiu avaliar o efeito da salinidade sob os parâmetros do sistema carbonato em condições controladas de cultivo. Assim, foi possível verificar que nas condições apresentadas, o cultivo de camarão sob condições oligohalinas apresentou maior pCO_2 , com tendência a liberar CO_2 para a atmosfera a fim de estabelecer o equilíbrio, já o cultivo sob condições de maior salinidade apresentou uma menor contribuição para as emissões de CO_2 para a atmosfera devido aos níveis mais baixos de pCO_2 . A salinidade utilizada na carcinicultura em regiões distantes do litoral costuma ser inferior a 5, valor inferior ao utilizado neste experimento. A expansão da atividade de carcinicultura para regiões distantes do litoral deve ser avaliada sob a perspectiva do sistema CO_2 -carbonato não apenas para mitigar possíveis emissões de CO_2 para a atmosfera, mas também para implementar práticas de manejo sustentável capaz de neutralizar as emissões de CO_2 pela atividade.

Figura 5 - Gráfico de barras com as médias encontradas nas coletas para o cultivo hipersalino ($S > 35$, barras azuis) e para o cultivo salobro ($S < 20$, barras verdes). As médias estimadas para a $p\text{CO}_2$ estão representadas pelos círculos azuis ($S > 35$) e verdes ($S < 20$).



4.3 Rumo ao carbono líquido zero – diretrizes para sustentabilidade

A construção sustentável de fazendas de camarão deve aliar uma gestão eficiente dos recursos e práticas para manutenção da biodiversidade e dos ecossistemas locais, pode estabelecer altos padrões de desempenho que salvaguardam o ambiente e ainda apresentem um potencial de sequestro de carbono atmosférico. Na literatura internacional (IFOAM, 2014; AHMED et al., 2018) há desacordo das práticas com as normas brasileiras de proteção e conservação das áreas de manguezais. Porém, a busca pela sustentabilidade ambiental permanece e aponta que a manutenção de manguezais colabora na prevenção de doenças do camarão à medida que as práticas de gestão orgânica alcançam um nível mais elevado de resistência a doenças devido aos baixos insumos não agrícolas.

A contribuição da aquicultura para as emissões totais de GEE provenientes da agricultura é pequena em relação a outras atividades agrícolas. No entanto, a expansão da atividade exige atenção, uma vez que os corpos hídricos são propensos a liberar CO_2 para a atmosfera

e isso deve ser quantificado e analisado, tendo em vista a emissão de efluentes da atividade. Uma ferramenta interessante para essa finalidade é a análise do ciclo de vida (ACV ou *Life Cycle assessment - LCA*) que avalia as emissões de forma integral, desde a aquisição de recursos naturais, passando pela fase de produção e utilização, até à gestão de resíduos (incluindo eliminação e reciclagem). Essa análise permite investigar detalhadamente as emissões de GEE considerando cada seguimento da atividade de aquicultura a fim de desenvolver estratégias para reduzir e remover as emissões pela atividade, possibilitando a implementação de padrões carbono neutro. A ACV para a aquicultura indica que a ração formulada é o principal contribuinte para a emissão de GEE (AHMED et al., 2018). Práticas de intensificação ecológica através do cultivo de organismos dentro da capacidade de carga do tanque, ou usando energia renovável, como energia solar para a operação agrícola e o uso de equipamentos mais eficientes podem ajudar a reduzir as emissões de GEE. O Ceará possui grande potencial para uso de energias renováveis (i.e. solar, eólica) e novas usinas já estão sendo contratadas (CIN, 2024) ampliando a possibilidade de redução das emissões de GEE. Para isso, o incentivo governamental ao uso dessas novas tecnologias, inclusive na fase de transporte da produção, é estratégia economicamente benéfica para a economia do Estado e interessante do ponto de vista ambiental.

Para atingir o carbono líquido zero, além de reduzir as emissões de GEE, será necessário mitigar as emissões que não puderem ser evitadas. Portanto, deve-se considerar nas áreas costeiras obediência ao ProManguezal como forma de sequestrar carbono azul através da restauração e plantio de novas áreas de manguezais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aquicultura global desempenha um papel importante para a disponibilidade e acessibilidade de alimentos, contribuindo diretamente para a segurança alimentar e atuando indiretamente para o desenvolvimento econômico sustentável. Apesar dos produtos da aquicultura, tanto em ambientes costeiros como afastados da costa, constituírem uma fonte de proteína animal substancial, as contribuições essenciais da aquicultura para a segurança alimentar global e para a economia crescem condicionadas a uma série de conflitos so-

bre o uso de recursos naturais e a avaliação da contribuição da atividade para a emissão de gases de efeito estufa ainda tem um caminho a ser percorrido. Para garantir a expansão sustentável da aquicultura, precisamos entender qual a contribuição da aquicultura para as emissões globais de gases de CO₂ e como isso pode ser mitigado.

Considerada a carcinicultura do Ceará, os ecossistemas utilizados podem atuar como fonte ou sumidouro de carbono, seja através da retenção de carbono em materiais/sedimentos de fundo, seja pela transformação de carbono orgânico em alimento, seja na absorção/emissão de CO₂ para a atmosfera, ou na retenção do carbono contido em efluentes considerada a capacidade de depuração dos sistemas naturais que varia sazonalmente a depender das chuvas, das descargas fluviais, da capacidade de lavagem das regiões estuarinas pelas marés, do regime de ventos, e da variação da temperatura. Ou seja, não se trata de um quadro único estabelecido de impactos para o meio ambiente a partir de diferentes manejos dessa produção aquícola. Assim, é importante monitorar essa variabilidade e gerar informações suficientes para avaliar as diferentes técnicas de manejo a fim de encontrar soluções que permitam minimizar seus impactos sobre o ciclo do carbono, buscando modos de gestão que promovam a sustentabilidade da atividade. Além disso, considerada a importância da atividade de carcinicultura no NE do Brasil, e em especial no estado do Ceará, atual maior produtor do camarão *Litopenaeus vannamei*, e seu acelerado crescimento nas últimas duas décadas com potencial impacto sobre o meio ambiente, é fundamental avaliar a absorção e retenção de carbono por áreas de produção buscando técnicas variadas de manejo da produção (região costeira e áreas interiores), para emissão de carbono líquido zero, que podem gerar selo de produção orgânica, e gerar novo padrão de consumo da produção.

6 AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem a FUNCAP FDP-0213-00130.01.00/23, pela bolsa de Pesquisador Visitante de Carvalho, A.C.O. (Proc. N°07076088/2022) e pela bolsa de recém doutora de Cavalcante, M.S. do Programa Cientista Chefe (Proc. N°07764628/2023) e ao INCT-TM-COcean Proc. No. 405.765/2022-3 pelo apoio na atualização da infraestrutura necessária ao desenvolvimento das atividades de pesquisa do

REFERÊNCIAS

ABCC, 2021. Censo da carcinicultura dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Piauí 2021 / Organizadores: Itamar de Paiva Rocha [et al.]; Natal, 2022.

ABRIL, G., MARTINEZ, J.-M., ARTIGAS, L. F., MOREIRA-TURCQ, P., BENEDETTI, M. F., VIDAL L., MEZIANE, T., KIM, J.-H., BERNARDES, M. C., SAVOYE, N., DEBORDE, J., ALBÉRIC, P., SOUZA, M. F. L., SOUZA, E. L., E ROLAND, F. Amazon River Carbon Dioxide Outgassing fuelled by Wetlands, *Nature*, 505, 395–398, 2014. <https://doi.org/10.1038/nature12797>

AHMED, N., THOMPSON, S., & GLASER, M. Integrated mangrove-shrimp cultivation: Potential for blue carbon sequestration. *Ambio*, 47, 441–452, 2018. <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0946-2>

AIMÉ, Joanne; ALLENBACH, Michel; BOURGEOIS, Carine; LÉOPOLD, Audrey; JACOTOT, Adrien; VINH, Truong Van; NHO, Nguyen Thanh; PATRONA, Luc Della; MARCHAND, Cyril. Variability of CO(2) emissions during the rearing cycle of a semi-intensive shrimp farm in a mangrove coastal zone (New Caledonia). *Marine pollution bulletin, England*, vol. 129, n. 1, p. 194–206, 2018. ISSN: 1879-3363 (Electronic). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.02.025>

ASCHEMANN-WITZEL, J., E S. ZIELKE. Can't buy me green? A review of consumer perceptions of and behavior toward the price of organic food. *The Journal of Consumer Affairs* 51: 211–251, 2017. <https://doi.org/10.1111/joca.12092>

ADAME, M. F.; HERMOSO, V.; PERHANS, K.; LOVELOCK, C. E.; HERRERA-SILVEIRA, J. A. Selecting cost-effective areas for restoration of ecosystem services. *Conservation Biology*, vol. 29, no. 2, p. 493–502, 2015. <https://doi.org/10.1111/cobi.12391>

ALONGI, Daniel M. Carbon Cycling and Storage in Mangrove Forests. *Annual Review of Marine Science*, vol. 6, no. 1, p. 195–219, 2014. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>

BAUER, James E.; CAI, Wei Jun; RAYMOND, Peter A.; BIANCHI, Thomas S.; HOPKINSON, Charles S.; REGNIER, Pierre A.G. The changing carbon cycle of the coastal ocean. *Nature*, vol. 504, no. 7478, p. 61–70, 2013. <https://doi.org/10.1038/nature12857>.

BARRETO, Maurílio K.; OLIVEIRA, Camila T. A; HENRY-SILVA, Gustavo G. Greenhouse gas emission flux (CO₂, CH₄, N₂O) from marine shrimp (*Litopenaeus vannamei*) monoculture cultures in the Brazilian semi-arid region. *Aquaculture*, [S. l.], v. 582, n. July 2023, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740536>

BOYD C.E., Wood C.W., Chaney P.L., Queiroz J.F. Role of aquaculture pond sediments in sequestration of annual global carbon emissions. *Environ Pollut.* Aug;158(8):2537-40,2010. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.04.025>

BRASIL. Presidência da República, Casa Civil, Secretaria Especial para Assuntos Jurídicos. Decreto nº 12.045 de 05 de junho de 2024. D.O.U de 06/06/2024, pág. nº 4, D12045 (planalto.gov.br)

CAO, Ling; DIANA, James S.; KEOLEIAN, Gregory A.; LAI, Qiuming. Life cycle assessment of Chinese shrimp farming systems targeted for export and domestic sales. *Environmental science & technology*, United States, v. 45, n. 15, p. 6531–6538, 2011. <https://doi.org/10.1021/es104058z>

CARBAJAL-HERNÁNDEZ, J. J., SÁNCHEZ-Fernández, L. P., Hernández-Bautista, I., & Hernández-López, J. A model based on an artificial neural network for assessing water quality on large shrimp farms. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(5), 71-89, 2017. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-05-05>

CARVALHO, A. C. O.; MARINS, R. V.; DIAS, F. J. S.; REZENDE, C. E.; LEFEVRE, N.; CAVALCANTE, M. S.; ESCHRIQUE, S.A. Air-sea CO₂ fluxes for the Brazilian northeast continental shelf in a climatic transition region. *JOURNAL OF MARINE SYSTEMS*, v. 173, p.70-80, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2017.04.009>

CAVALCANTE, M. S.; MARINS, R.V.; DIAS, F. J. S.; REZENDE, C. E. Assessment of carbon fluxes to coastal area during persistent drought conditions. *Regional Studies in Marine Science* 47, 101934, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101934>

CHANDA, Abhra; DAS, Sourav; BHATTACHARYYA, Sourav; DAS, Isha; GIRI, Sandip; MUKHOPADHYAY, Anirban; SAMANTA, Sourav; DUTTA, Dibyendu; AKHAND, Anirban; CHOUDHURY, S. B.; HAZRA, Sugata. CO₂ fluxes from aquaculture ponds of a tropical wetland: Potential of multiple lime treatment in reduction of CO₂ emission. *Science of the Total Environment*, vol. 655, p. 1321–1333, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.332>

CHIELLE, R.; MARINS, R. V.; CAVALCANTE, M. S.; COTOVICZ JR, L. C. Seasonal and spatial variability of CO₂ emissions in a large tropical mangrove dominated delta. *LIMNOLOGY AND OCEANOGRAPHY*, v. Dec., p. 1/9999-16, 2023. <https://doi.org/10.1002/lno.12471>

CHUA THIA ENG; PAW, James N.; GUARIN, Flordeliz Y. The environmental impact of aquaculture and the effects of pollution on coastal aquaculture development in Southeast Asia. *Marine Pollution Bulletin*, [S. l.], v. 20, n. 7, p. 335–343, 1989. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(89\)90157-4](https://doi.org/10.1016/0025-326X(89)90157-4)

CIN Centro Internacional de Negócios do Ceará. 2024. Energias Renováveis. <https://www.cin-ce.org.br/exibir/094444/energias>

COSTA, B.G.B.; SOARES, T.M.; TORRES, R.F.; LACERDA, L.D. Mercury Distribution in a Mangrove Tidal Creek Affected by Intensive Shrimp Farming. *Bull Environ Contam Toxicol* 90, 537–541, 2013.

<https://doi.org/10.1007/s00128-012-0957-4>

COTOVICZ, Luiz C. J; MARINS, Rozane V.; SILVA, Agda R. F. Eutrophication Amplifies the Diel Variability of Carbonate Chemistry in an Equatorial, Semi-Arid, and Negative Estuary. *Frontiers in Marine Science*, vol. 9, no. April, p. 1–18, 2022. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.767632>

DALAL, Ram C.; ALLEN, Diane E. Turner review no. 18. Greenhouse gas fluxes from natural ecosystems. *Australian Journal of Botany*, vol. 56, no. 5, p. 369–407, 2008. <https://doi.org/10.1071/BT07128>

DICKSON, A.G., SABINE, C.L. and CHRISTIAN, J.R. 2007. Guide to Best Practices for Ocean CO₂ Measurements. Sidney, North Pacific Marine Science Organization. 191 p.

DIERBERG, Forrest E.; KIATTISIMKUL, Woraphan. Issues, impacts, and implications of shrimp aquaculture in Thailand. *Environmental Management*, v. 20, n. 5, p. 649–666, 1996. <https://doi.org/10.1007/BF01204137>

EMERSON, Steven; HEDGES, John. *Chemical Oceanography and the Marine Carbon Cycle*. [S. l.]: Cambridge University Press, 2008. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511793202>

FALKOWSKI, P; SHOLES, R.J; BOYLE, E.; CANADELL, J.; CANFIELD, D.; ELSER, J; GRUER, N.; et al. The Global Carbon Cycle - A Test of Our Knowledge of Earth as a System. *Science (New York, N.Y.)*, vol. 291, no. 2000, p. 290–296, 2000. <https://doi.org/10.1126/science.290.5490.291>

FAO. The world's mangroves 1980–2005. Rome: [s. n.], 2007. vol. 153. <https://www.fao.org/4/a1427e/a1427e00.htm>

FERREIRA, A. C.; LACERDA, L. D. Degradation and conservation of Brazilian mangroves, status and perspectives. *Ocean and Coastal Management*, vol. 125, p. 38–46, 2016. DOI 10.1016/j.ocecoaman.2016.03.011. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.03.011>.

FRIEDLINGSTEIN, P.; O’SULLIVAN, M.; JONES, M. W.; ANDREW, R. M.; GREGOR, L.; HAUCK, J.; LE QUÉRÉ, C. et al. Global Carbon Budget 2022. *Earth System Science Data*, vol. 14, no. 11, p. 4811–4900, 2022. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>

FRIESS, D. A.; ROGERS, K.; LOVELOCK, C. E.; KRAUSS, K. W.; HAMILTON, S. E.; LEE, S. Y.; et al. The State of the World’s Mangrove Forests: Past, Present, and Future. *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 44, p. 89–115, 2019. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033302>

HUANG, M.; ZHOU, Y.; TIAN, H.; PAN, S.; YANG, X.; GAO, Q.; DONG, S. Rapidly increased greenhouse gas emissions by Pacific white shrimp aquacultural intensification and potential solutions for mitigation in China. *Aquaculture*, v. 587, n. November 2023, p. 740825, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740825>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023). Anuário Estatístico. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/18/16459>

IFOAM. 2014. The IFOAM norms for organic production and processing. Bonn: International Federation of Organic Agriculture Movements. https://www.bioagricert.org/images/doc-en/ifoam/ifoam_norms_july_2014_t.pdf

IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC, 2023. DOI 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647. Available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>.

JIANG, Li Qing; CAI, Wei Jun; WANG, Yongchen. A comparative study of carbon dioxide degassing in river- and marine-dominated estuaries. *Limnology and Oceanography*, vol. 53, no. 6, p. 2603–2615, 2008. <https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.6.2603>

KILLOPS, Stephen; KILLOPS, Vanessa. Introduction to organic geochemistry. [S. l.]: Blackwell Publishing, 2005.

LACERDA, L.D.; SANTOS, J. A.; LOPES, D. V. Fate of copper in intensive shrimp farms: bioaccumulation and deposition in pond sediments. *Brazilian Journal of Biology*, v. 69, p. 851–858, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842009000400012>

LACERDA, L. D.; WARD, R.; GODOY, M. D. P.; MEIRELES, A. J.; BORGES, REBECCA; FERREIRA, A. C. 20-Years Cumulative Impact from Shrimp Farming on Mangroves of Northeast Brazil. *Frontiers in Forests and Global Change*, v. 4, p. 653096., 2021. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.653096>

LIBES, Susan. Introduction to Marine Biogeochemistry. Amsterdam: Academic Press, 2009.

LOVELOCK, Catherine E; ATWOOD, Trisha; BALDOCK, Jeff; DUARTE, Carlos M.; HICKEY, Sharyn; LAVERY, Paul S.; et al. Assessing the risk of carbon dioxide emissions from blue carbon ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 15, no. 5, p. 257–265, 2017. <https://doi.org/10.1002/fee.1491>

MACLEOD, Michael J.; HASAN, Mohammad R.; ROBB, David H. F.; MAMUN-UR-RASHID, Mohammad. Quantifying greenhouse gas emissions from global aquaculture. *Scientific Reports*, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 1–8, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68231-8>

MACCREADIE, Peter I.; ANTON, Andrea; RAVEN, John A.; BEAUMONT, Nicola; CONNOLLY, Rod M.; FRIESS, Daniel A.; et al. The future of Blue Carbon science. *Nature Communications*, vol. 10, no. 1, p. 1–13, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11693-w>

MACCREADIE, Peter I.; COSTA, Micheli D. P.; ATWOOD, Trisha B.; FRIESS, Daniel A.; KELLEWAY, Jeffrey J.; KENNEDY, Hilary; LOVELOCK, Catherine E.; SERRANO, Oscar; DUARTE, Carlos M. Blue carbon as a natural climate solution. *Nature Reviews Earth & Environment*, vol. 2, no. 12, p. 826–839, Dec. 2021. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00224-1>.

MARINS, Rozane V.; LACERDA, Luiz D.; ARAÚJO, Isabel Cristina S.; FONSECA, Louize V. & SILVA, Francisco A.T.F. *An Acad Bras Cienc* vol. 92, no. 3, e20200758, 2020. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020200758>

MARINS, R. V.; CARVALHO, A. C. O.; SILVA, A. R. F.; CAVALCANTE, M. S. Avaliação de métodos diretos e indiretos de medição da pCO₂ em ambientes estuarinos. *Quim. Nova*, vol. 46, No. 6, 582-590, 2023. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20230048>

MARTINELL, D. P., VERGARA-SOLANA, F. J., PADILHA, M. A., DÍAZ, G. P., MEJAES, A., LAFUENTE, M. M. V., & SUMAILA, U. R. Social effects of energy subsidies and taxes on CO₂ emissions: the case of Mexican aquaculture public policies. *Marine Policy*, 128, 104481, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104481>

NOAA/GML. National Oceanic and Atmospheric Administration. Global Monitoring Laboratory. Acessado em: 2024. <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends>

NUNES, A. J., DALEN, L. L., LEONARDI, G., & BURRI, L. Developing sustainable, cost-effective and high-performance shrimp feed formulations containing low fish meal levels. *Aquaculture reports*, 27, 101422. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101422>

ORR, J. C., EPITALON, J. M., DICKSON, A. G., & GATTUSO, J. P. Routine uncertainty propagation for the marine carbon dioxide system. *Marine Chemistry*, 207, 84-107, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2018.10.006>

OUZZANI, M.; HAMMADY, H.; FEDOROWICZ, Z. and ELMAGARMID, A. Rayyan – a web and mobile app for systematic reviews. *Systematic Reviews* 5:210, 2016. <https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4>

PIERROT, D., LEWIS, E., e WALLACE, D. MS Excel Program Developed for CO2 System Calculations Program – version 3.0, 2021. https://github.com/dpierrot/co2sys_xl

POORE, J.; NEMECEK, T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, vol. 360, no. 6392, p. 987-992, 2018. <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>

RIBEIRO, L. C. S.; LEÃO, E. J. A; FREITAS, L. F. S. Greenhouse gases emissions and economic performance of livestock, an environmental input-output analysis. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, vol. 56, no. 2, p. 225-238, 2018. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560203>.

RIXEN, T.; DREWS, M.; VAN ASPEREN, H.; DAORU, W.; KLEMME, A.; WARNEKE, T. Greenhouse gas concentrations and emissions from a plastic-lined shrimp pond on Hainan, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 284, n. December 2022, p. 108278, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108278>

SOARES, D.C.E.; HENRY-SILVA, G G. Emission and absorption of greenhouse gases generated from marine shrimp production (*Litopenaeus vannamei*) in high salinity. *Journal of Cleaner Production*, vol. 218, p. 367-376, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.002>

Takahashi, T., Sutherland, S. C., Sweeney, C., Poisson, A., Metzl, N., Tilbrook, B., Bates, N., Wanninkhof, R., Feely, R. A., Sabine, C., et al. Global sea-air CO₂ flux based on climatological surface ocean pCO₂, and seasonal biological and temperature effects. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 49, 1601-1622. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(02\)00003-6](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(02)00003-6)

TIEN, N. N., MATSUHASHI, R., & CHAU, V. T. T. B. A sustainable energy model for shrimp farms in the Mekong Delta. *Energy Procedia*, 157, 926-938, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.259>

VAN WYK, P.; DAVIS-HODGKINS, M.; LARAMORE, R.; MAIN, K.L.; MOUNTAIN, J.; SCARPA, E. J. Production of Marine Shrimp in Freshwater Recirculating Aquaculture Systems, Florida Department of Agriculture and Consumer Services. Bob Crawford. Tallahassee, Florida. 220 pages, 1999. Disponível

em: [https://www.researchgate.net/publication/242621708 Farming Marine Shrimp in Recirculating Fresh Water Systems](https://www.researchgate.net/publication/242621708_Farming_Marine_Shrimp_in_Recirculating_Fresh_Water_Systems)

WANG, Y., CHEN, Z., CHANG, Z., MENG, G., & LI, J. Ecological and economic analysis for different shrimp farming models in China. *Aquaculture International*, 31(4), 1941-1958, 2023. <http://dx.doi.org/10.1007/s10499-023-01066-y>

WYLIE, L.; SUTTON-GRIER, A. E.; MOORE, A. Keys to successful blue carbon projects: Lessons learned from global case studies. *Marine Policy*, vol. 65, p. 76–84, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2015.12.020>.

XU, C.; SU, G.; ZHAO, K.; XU, X.; LI, Z.; HU, Q.; XUE, Y.; XU, J. Current status of greenhouse gas emissions from aquaculture in China. *Water Biology and Security*, v. 1, n. 3, p. 100041, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2022.100041>

YANG, P.; TANG, K. W.; YANG, H.; TONG, C.; YANG, N.; LAI, D. Y. F.; et al. Insights into the farming-season carbon budget of coastal earthen aquaculture ponds in southeastern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 335, no. May, p. 107995, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107995>

ZHANG, Y.; YANG, P.; YANG, H.; TAN, L.; GUO, Q.; ZHAO, G.; et al. Plot-scale spatiotemporal variations of CO₂ concentration and flux across water–air interfaces at aquaculture shrimp ponds in a subtropical estuary. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, no. 6, p. 5623–5637, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3929-3>

ZHANG, Y.; TANG, K. W.; YANG, P.; YANG, H.; TONG, C.; SONG, C. et al. Assessing carbon greenhouse gas emissions from aquaculture in China based on aquaculture system types, species, environmental conditions and management practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 338, no. July, p. 108110, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108110>

CAPÍTULO ONZE

CONSERVAÇÃO SEMINAL E POLISSACARÍDEOS SULFATADOS COMO SUPLEMENTO DO MEIO DILUIDOR ESPERMÁTICO DE PEIXES

Marcos Luiz da Silva Apoliano⁴¹
Carmina Sandra Brito Salmito Vanderley⁴²

1 INTRODUÇÃO

A aquicultura é um dos setores de produção de proteína animal que mais cresce no Brasil e no mundo, com projeções de produção de 204 milhões de toneladas em 2030. Assim, para esse ano, espera-se que cerca de 59% de pescados disponíveis para consumo humano seja proveniente da produção da aquicultura mundial (FAO, 2020).

Dessa forma, a crescente demanda por pescado de qualidade e o acelerado desenvolvimento aquícola impulsionam o interesse pela otimização de biotecnologias para produção de peixes, em especial aquelas relacionadas à reprodução. No Brasil, ainda assim, grande parte da produção de peixes nativos é baseada em populações não selecionadas, o que pode promover problemas como a redução da variabilidade genética e aumento da endogamia (FREITAS *et al.*, 2021; MASTROCHIRICO-FILHO *et al.*, 2019). Dessa forma, a aplicação de técnicas de conservação seminal é uma importante ferramenta para a propagação artificial de espécies de peixes.

41 Universidade Estadual Vale do Acaraú, UVA, Camocim, CE, Brasil; Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, UFC, Fortaleza, CE, Brasil; Laboratório de Biotecnologia da Reprodução de Peixes, Universidade Estadual do Ceará

42 Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, UFC, Fortaleza, CE, Brasil; Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, UECE, Fortaleza, CE, Brasil; Laboratório de Biotecnologia da Reprodução de Peixes, Universidade Estadual do Ceará; Av. Dr. Silas Munguba, 1700, Campus do Itaperi, Fortaleza, CE, 60.714.903, Brasil; sandra.salmito@uece.br

A conservação seminal é uma importante ferramenta para o desenvolvimento da aquicultura, pois pode ser destinada para o aperfeiçoamento das estratégias reprodutivas, que visam a manutenção da viabilidade espermática e a preservação da sua capacidade de fertilização dos peixes. Dentre as principais vantagens dessa biotécnica reprodutiva, podemos destacar a provisão controlada e contínua de gametas, o que possibilita o uso no momento mais adequado da reprodução e mitiga as dificuldades relacionadas a assincronia reprodutiva entre machos e fêmeas. Bem como a eliminação da necessidade de manter e/ou transportar reprodutores permanentes em centros de reprodução para fertilização artificial.

Além disso, a conservação de sêmen permite a realização de estudos sobre a conservação do patrimônio genético desejável aos programas de hibridização e seleção genética e, a facilidade do intercâmbio entre instituições de pesquisas e larviculturas comerciais (CONTRERAS *et al.*, 2020; MAGNOTTI *et al.*, 2018; PIRES *et al.*, 2019; SHAZADA *et al.*, 2023).

Além da importância aquícola a conservação seminal também é crucial para questões ambientais ligadas à preservação de espécies, pois sua utilização permite a formação de bancos de germoplasma, que consistem em potenciais soluções para diminuir as perdas resultantes da ação antrópica sobre os peixes nativos e seus ecossistemas, garantindo assim, a manutenção da diversidade genética tanto para os programas de repovoamento, como para a produção comercial de espécies específicas (SHIMODA, 2004).

2 TÉCNICAS DE CONSERVAÇÃO DE SÊMEN

2.1 Congelação seminal

A congelação de sêmen de peixes é uma técnica de criopreservação seminal cuja função é preservar o material gamético, imerso em nitrogênio líquido, por longos períodos, de uma forma que lhes permita ser utilizado sempre que necessário (BAKHACH, 2009; RAJAN; MATSUMURA, 2018). Tal fato justifica-se devido a redução do metabolismo e do consumo energético dos espermatozoides com as baixas tempe-

raturas, possibilitando assim, com que os gametas sejam armazenados em estado de quiescência, por tempo indefinido, em nitrogênio líquido (SALMITO-VANDERLEY *et al.*, 2012).

Essa biotécnica é largamente utilizada para os mais variados grupos de animais, tais quais os bovinos, touros, equinos, caprinos e peixes, obtendo resultados expressivos na preservação do material genético das espécies (ALYETHODI *et al.*, 2021; CABRITA *et al.*, 2014; GANGWAR *et al.*, 2018; LONDON *et al.*, 2017). A primeira pesquisa relacionada ao uso desta biotécnica reprodutiva em peixes foi realizada por Blaxter (1953), na qual este autor buscou permitir o cruzamento de dois tipos de arenque (*Clupea harengus*) que desovavam em períodos distintos do ano.

Porém, essa técnica expõe as células espermáticas às condições de estresse, pois as baixas temperaturas promovem a formação de cristais de gelo intracelular e extracelular, o que pode promover sua lise e posterior morte celular (RIBEIRO *et al.*, 2022; SALMITO-VANDERLEY *et al.*, 2012). Esses eventos são chamados de crioinjúrias e surgem devido a formação de cristais de gelo durante o processo de solidificação da água, dessa forma, os gametas congelados sofrem severas modificações na membrana e, até mesmo, a lise celular (RIBEIRO *et al.*, 2022). Em concomitante, a presença das espécies reativas de oxigênio (EROs) promovem o aumento do estresse oxidativo, que também causa danos a estrutura morfológica e funcional dos espermatozoides (FÉLIX; OLIVEIRA; CABRITA, 2021).

Existem diferentes metodologias para aplicação da congelação seminal em peixes, podendo ser de forma lenta, rápida e ultrarápida. A redução da temperatura de forma lenta utiliza metodologia convencional por meio do uso de caixas térmicas de poliestireno, enquanto que a congelação rápida utiliza o *Dry Shipper* e a ultrarápida as máquinas de congelação programadas (MCPs) (SALMITO-VANDERLEY; ALMEIDA-MONTEIRO; NASCIMENTO, 2016).

Diversos fatores podem interferir sobre a qualidade do sêmen pós-descongelação e afetar a viabilidade dos espermatozoides, entre eles podemos citar a: taxa de diluição; tempo e temperatura de equilíbrio; curva de resfriamento e de descongelação (HUNTER, 1982; PEREIRA, 2021).

Dessa forma, buscando o sucesso da congelação seminal, é necessário a utilização de um meio de congelação seminal, composto basicamente por um diluente e um crioprotetor, que irão fornecer energia e proteção, reduzindo os riscos de formação de cristais de gelo, estresse oxidativo e, conseqüentemente, o estresse oxidativo (SALMITO-VANDERLEY *et al.*, 2012).

O diluente caracteriza-se como uma solução rica em sais e/ou carboidratos, que promove a elevação do volume seminal, facilita sua distribuição em alíquotas, e atua como fonte de energia para os espermatozoides pós-descongelados. Para ser considerado um bom diluente, a solução deve apresentar as seguintes condições: isotonicidade, para impedir a ativação da motilidade espermática; estabilidade, para manter intactas as propriedades físico-químicas durante o contato com o sêmen; elevada condutividade térmica, para proporcionar uma rápida transferência de temperatura do meio externo para os espermatozoides; esterilidade, evitando a presença de microrganismos nocivos às células espermáticas; e servir de carreador de crioprotetores (LEGENDRE; BILLARD, 1980; ALVES, 2021).

Já os crioprotetores são substâncias que podem atuar de forma interna ou externa nas células espermáticas, cuja principal função é protegê-los contra as crioinjúrias. Os crioprotetores necessitam possuir baixa toxicidade e alta solubilidade em água (BATISTA *et al.*, 2006). Os de ação externa são macromoléculas e atuam na proteção do meio extracelular, auxiliando no processo de desidratação do meio intracelular e proporcionando maior estabilidade da membrana plasmática (AMANN; PICKETT, 1987).

Por outro lado, os crioprotetores de ação intracelular possuem a capacidade de retirar a água da célula e diminuir a temperatura de congelação no interior celular, evitando a formação dos cristais de gelo internamente. Dentre os principais crioprotetores de ação interna, destaca-se o dimetilsulfóxido (DMSO), bastante empregado na congelação seminal de peixes (NUNES *et al.*, 2016, ALMEIDA-MONTEIRO *et al.*, 2017; NASCIMENTO *et al.*, 2017).

2.2 Resfriamento seminal

O resfriamento seminal é uma tecnologia de conservação de gametas que promove o armazenamento de espermatozoides à curto prazo. Essa técnica consiste na estocagem de amostras seminais, na ausência de luz, a temperaturas entre 0 e 4 °C e em atmosfera de oxigênio por horas e, até mesmo, dias (CONTRERAS *et al.*, 2020; SHALIUTINA *et al.*, 2013). Além disso, consiste em um método eficiente, simples, de menor custo e menor impacto deletério aos espermatozoides, pois atua em maiores temperaturas de armazenamento e dentro da faixa tolerável aos efeitos do frio (CONTRERAS *et al.*, 2020; DILAURO *et al.*, 1994; PIRES *et al.*, 2019).

No entanto, existem alguns fatores que podem afetar a qualidade e viabilidade dos espermatozoides submetidos ao armazenamento hipotérmico, são eles: temperatura de armazenamento, exposição a luz, atmosfera circundante, uso de antibióticos e diluentes. (CONTRERAS *et al.*, 2020; SHAZADA *et al.*, 2023).

A temperatura utilizada durante o resfriamento seminal interfere decisivamente no sucesso do armazenamento a curto prazo. Fatores como a tolerância do sêmen ao frio nas espécies aquáticas, a redução do metabolismo espermático e do crescimento bacteriano, influenciam sobre a faixa ideal para conservação gamética em peixes (CONTRERAS *et al.*, 2020; SHAZADA *et al.*, 2023). Nesse sentido, Ravinder *et al.* (1997) observaram que espermatozoides não diluídos de carpa comum (*Cyprinus carpio*) apresentaram perda total de seu potencial cinético dentro de 20 e 84 horas após resfriamento à 22 e 2 °C, respectivamente. Enquanto que, ao serem armazenados à 5 °C, obtiveram-se uma motilidade espermática de 33% em até 84 horas de resfriamento.

Ao avaliarem o resfriamento do sêmen não diluído de truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), Scott e Baynes (1980) verificaram a manutenção da capacidade fecundante dos espermatozoides por menos de 24 horas quando armazenado à 12 °C, enquanto que, quando armazenado entre 0 e 5 °C foi observado uma capacidade de fertilização espermática por até oito dias.

De forma geral, durante o resfriamento seminal é recomendado que haja uma boa troca gasosa entre o sêmen e a atmosfera circun-

dante, de tal forma a prevenir os efeitos nocivos causados pela anoxia. Com isso, aconselha-se armazenar a amostra seminal em recipientes com área livre de 2 a 4 mm de altura, para que haja uma melhor interação entre a interface atmosfera/sêmen (BILLARD *et al.*, 2004; JENKINS-KEERAN *et al.*, 2001).

A adição de antibióticos a solução diluidora é uma importante ferramenta para o sucesso do resfriamento seminal, apresentando bons resultados para diversas espécies, tais como para a carpa comum, *Cyprinus carpio* (SAAD *et al.*, 1988) e piracanjuba, *Brycon orbignyanus* (VIVEIROS *et al.*, 2010). Essa adição justifica-se, pois, durante o armazenamento seminal a curto prazo, a presença de bactérias no sêmen tem sido apontada como um dos principais fatores que afetam a viabilidade, cinética espermática e a capacidade de fertilização dos espermatozoides em peixes (VIVEIROS *et al.*, 2010).

Ao testarem o uso de gentamicina para o controle do crescimento bacteriano durante o resfriamento seminal de piracanjuba, Viveiros *et al.*, (2010) verificaram que a adição de 0,1 mg/mL do antibiótico proporcionou maior motilidade espermática e inibiu o desenvolvimento bacteriano em até seis dias de armazenamento à 4-6 °C, sem prejuízos à fertilização.

Os meios diluentes no resfriamento seminal têm por objetivo prolongar o tempo de armazenamento e proteger os espermatozoides da ação tóxica dos subprodutos do metabolismo celular e do choque térmico promovido pela variação brusca de temperatura. Além disso, atuam na prevenção da oxidação das membranas plasmática e mitocondrial, fornecendo substrato energético e isosmolaridade ao meio extracelular (ULLOA-RODRÍGUEZ *et al.*, 2018). Para isso o sêmen de peixes é diluído em soluções salinas isotônicas ou diluentes que apresentam composição química semelhante ao plasma seminal específico de cada espécie (BOBE; LABBÉ, 2009).

Dentro dos testículos, os espermatozoides dos peixes apresentam-se imóveis e essa característica deve ser mantida durante a diluição e resfriamento para evitar o rápido esgotamento das reservas energéticas das células espermáticas. Dentre os principais benefícios dos diluentes, destacam-se a redução da densidade espermática, que facilita a absorção de oxigênio e trocas gasosas; prevenção da ativação flagelar e o rápido esgotamento das reservas energéticas; fornecimen-

to de compostos orgânicos para o metabolismo energético; redução da desidratação celular (BOBE; LABBÉ, 2009; CONTRERAS *et al.*, 2020; TRIGO *et al.*, 2015).

Ao avaliarem a adição de uma solução diluidora durante o resfriamento seminal de esturjão do Atlântico (*Acipenser oxyrhynchus*), Park e Chapman (2005) observaram que o sêmen diluído manteve a motilidade espermática por até 21-28 dias resfriado à 4 °C, enquanto que o sêmen não diluído armazenado nas mesmas condições manteve capacidade fertilizante por apenas 12 horas.

Além dos fatores citados acima, o processo de conservação seminal pela aplicação do frio aumenta a produção de EROs e, devido a diluição do plasma seminal, contribui para o desequilíbrio do sistema antioxidante natural e ocorrência do estresse oxidativo. Além disso, as membranas plasmáticas dos espermatozoides são constituídas por ácidos graxos, que são bastantes instáveis e susceptíveis aos ataques das espécies reativas de oxigênio (EROs) e peroxidação lipídica (WATHES *et al.*, 2007).

3 ESTRESSE OXIDATIVO

O estresse oxidativo é um processo inevitável no metabolismo aeróbico. A molécula de oxigênio (O₂) é fundamental para manutenção das funções celulares aeróbicas. No entanto, a exposição celular a esse elemento pode desencadear reações indesejáveis ao metabolismo, pela geração em excesso de moléculas parcialmente reduzidas, também conhecidas por espécies reativas de oxigênio - EROs (CABRITA *et al.*, 2014; SANDOVAL-VARGAS *et al.* 2021).

As EROs são agentes pró-oxidantes derivados do oxigênio e desempenham funções importantes sobre as vias celulares reguladas por processos redox (SANDOVAL-VARGAS *et al.* 2021). Para mamíferos em metabolismo fisiológico normal, pequenas quantidades de EROs modulam os processos fisiológicos associadas à capacitação e regulação da motilidade espermática (AITKEN, 2017; ZILLI, SCHIAVONE; VILELLA, 2017).

Apesar de sua essencialidade para alguns processos fisiológicos, o excesso de EROs pode interagir facilmente com proteínas, lipí-

dios, DNA, RNA e promover injúrias celulares nos mais diversos níveis, que aliadas ao desequilíbrio entre os agentes antioxidantes presentes na célula, induzem ao chamado estresse oxidativo (CABRITA *et al.*, 2014). As EROs são produzidas como subproduto da cadeia respiratória mitocondrial ou de sistemas enzimáticos intracelulares (BAKER; AITKEN, 2004). Dentre as principais EROs podemos citar os radicais ânion superóxido (O_2^-), hidroxila (OH^-), peroxila (ROO^-), óxido nítrico (NO^-) e as moléculas peróxido de hidrogênio (H_2O_2), oxigênio singleto (1O_2), ácido hipocloroso (HClO) e o peroxinitrito ($ONOO^-$) (SANDOVAL-VARGAS *et al.* 2021).

As células espermáticas são altamente suscetíveis à ação das EROs e ao estresse oxidativo. A membrana plasmática dos espermatozoides possui um elevado teor de ácidos graxos poli-insaturados em sua composição, o que a torna vulnerável ao ataque oxidativo das EROs e peroxidação lipídica. Além disso, a ação das EROs pode resultar em uma série de alterações patológicas aos espermatozoides, tais como a oxidação proteica, prejuízos à peça intermediária e no axonema, deficiências mitocondriais e fragmentação do DNA. Tais alterações podem contribuir para a redução da viabilidade espermática e a capacidade de fertilização do sêmen (AITKEN, 2020; CABRITA *et al.*, 2014; DA COSTA; STREIT JR., 2019; FELIX; OLIVEIRA; CABRITA, 2021; WATHES *et al.*, 2007).

Para peixes, o plasma seminal fornece a principal defesa contra o estresse oxidativo e ação das EROs sobre as células espermáticas, uma vez que, durante o processo de espermatogênese, os espermatozoides perdem uma significativa parte dos seus antioxidantes endógenos e passam a depender dos antioxidantes presentes no plasma (GAUTIER; AURICH, 2022). Segundo Aitken e Drevet (2020), o plasma seminal possui um dos fluidos antioxidantes mais poderosos já conhecidos, composto por inúmeras enzimas antioxidantes e sequestradores de radicais livres que, quando combinados, possui capacidade antioxidante cerca de 10 vezes maior que o sangue.

Entretanto, a exposição dos espermatozoides às baixas temperaturas de armazenamento durante o processo de conservação seminal, pode contribuir para o aumento das EROs e possível dano oxidativo. Processo pelo qual Flores *et al.* (2009) acreditam estar associado a diminuição da atividade dos mecanismos utilizados pela mitocôndria para eliminação das EROs. Além disso, a criopreservação de sêmen

promove a redução dos agentes antioxidantes do plasma seminal pela adição do meio diluente, causando um desequilíbrio do sistema antioxidante natural, formado por agentes pró-oxidantes e antioxidantes (CABRITA *et al.*, 2011; MOTTA *et al.*, 2022).

A adição de compostos antioxidantes ao meio diluidor espermático a fim de reduzir o estresse oxidativo causado por EROs é um procedimento bastante estudado na criopreservação seminal de peixes. Esta abordagem vem sendo associada à manutenção da integridade da membrana, aumento da motilidade, bem como a diminuição da fragmentação do DNA, peroxidação lipídica e formação das EROs (MOTTA *et al.*, 2022; SANDOVAL-VARGAS *et al.* 2021).

Os antioxidantes são compostos naturais ou sintéticos responsáveis pelo retardo ou inibição do processo de oxidação, podendo ser divididos quanto ao seu mecanismo de ação antioxidante, em primários e secundários e, quanto à atividade catalítica em enzimáticos e não enzimáticos (ABEYRATHNE *et al.*, 2022; FÉLIX; OLIVEIRA; CABRITA, 2021; PISOSCHI *et al.*, 2021). Dentre os compostos antioxidantes não enzimáticos estão os polissacarídeos sulfatados.

4 POLISSACARÍDEOS SULFATADOS

Os polissacarídeos sulfatados (PS) são polímeros aniônicos de carboidratos encontrados nos mais diversos organismos presentes na natureza, tais como nas bactérias, fungos, algas, vegetais e animais (BEZERRA NETO *et al.*, 2008; VASCONCELOS; ARAÚJO; SANTANA, 2015). Essas macromoléculas naturais consistem em mais de dez unidades de monossacarídeos agrupados por ligações glicosídicas, com a presença do grupamento sulfato nos grupos hidroxilas das unidades de açúcar (HUANG *et al.*, 2019).

A presença do radical sulfato promove alterações na estereoespecificidade dos polissacarídeos, bem como na repulsão eletrostática, flexão e extensão da cadeia polissacarídica e o aumento da solubilidade em água, o que modifica as atividades biológicas desses polímeros (HUANG *et al.*, 2019; ZHAN-FENG; HAN-WEN, 2005). Os radicais sulfato podem atuar exercendo ação redutora pela doação de elétrons (JRIDI *et al.*, 2019), ação quelante com íons metálicos (CAMPO

et al., 2006) e na formação de proteoglicanos ao ligar-se a proteínas da membrana e matriz extracelular (SOUSA et al., 2016).

Estudos confirmam que os polissacarídeos sulfatados exibem atividades biológicas mais expressivas se comparados aos não sulfatados (HUANG et al., 2019; XIE et al., 2016). Ao verificarem as propriedades antioxidantes dos polissacarídeos sulfatados e dessulfatados extraídos da macroalga marinha *Undaria pinnatifida*, Hu et al. (2010) observaram que a fração sulfatada de polissacarídeo proporcionou atividades antioxidantes mais fortes do que a fração não sulfatada. Da mesma forma, Xie et al., 2016 obtiveram melhores propriedades antioxidantes após a sulfatação química de polissacarídeo extraído da árvore *Cyclocarya paliurus*. Acredita-se que a presença do grupo sulfato exerça uma função auxiliar para a doação de hidrogênio dos polissacarídeos, contribuindo assim, com a atividade antioxidante (WANG et al., 2010)

As macroalgas marinhas são as mais importantes fontes de polissacarídeos sulfatados de origem não animal (COSTA et al., 2010), possuindo várias atividades biológicas tais como anticoagulante, antitrombótica (JIAO et al., 2011), antitumoral (ZOROFCHIAN-MOGHADAMTOUSI et al., 2014), antiviral (HEMMINGSON et al., 2006) e imunestimulante (YANG et al., 2011). Além disso, atuam em mecanismos de cardioproteção (THOMES et al., 2010) e neuroproteção (LUO et al., 2009), possuem efeitos hipoglicemiantes (ZHONG et al., 2021), além da comprovada ação antioxidante (JRIDI et al., 2019; USOV et al., 2022).

Devido a exposição à diferentes condições ambientais adversas, tais como a poluição, intensa radiação solar e altas concentrações de oxigênio que contribuem para formação de radicais livres, as macroalgas marinhas desenvolveram uma série de compostos capazes de proteger seu aparelho fotossintético (GUPTA; ABU-GHANNAM, 2011). Dentre eles estão os compostos que possuem atividade antioxidante, como os polissacarídeos sulfatados (CORNISH; GARBARY, 2010). Nas macroalgas marinhas, os PS estão presentes na matriz mucilaginosa da parede celular, protegendo-a contra a desidratação em períodos de maré baixa, servindo como reserva energética e para manutenção do equilíbrio iônico (DENIAUD-BOUET et al., 2017).

A estrutura química dos polissacarídeos sulfatados extraídos de macroalgas marinhas varia de acordo com a espécie, região anatômi-

ca do tecido, localização geográfica, época de colheita, e até mesmo o procedimento de extração (YUAN; MACQUARRIE, 2015). A complexidade na estrutura desses compostos se deve às diversas possibilidades de ligações entre os monossacarídeos e a distribuição de grupamentos dos sulfatos, que são responsáveis pela diversidade de atividades biológicas atribuídas a estes compostos (ANAND *et al.*, 2016).

5 POLISSACARÍDEOS SULFATADOS NA CONSERVAÇÃO SEMINAL

Diversos estudos já realizados demonstraram resultados promissores com a utilização de polissacarídeos sulfatados extraídos de macroalgas e de origem animal, durante a conservação seminal de sêmen de peixes. Pereira *et al.* (2020) estudaram a suplementação do meio crio-diluidor com polissacarídeos sulfatados extraídos da pele de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e de macroalgas marinhas (*Caulerpa cupressoides*, *Solieria filiformis* e *Acanthophora muscoides*) durante a congelação seminal de (*Colossoma macropomum*).

Estes autores observaram que os melhores resultados de integridade de membrana plasmática foram obtidos quando o sêmen de tambaqui foi criopreservado com a suplementação de polissacarídeos sulfatados da pele de tilápia do Nilo, enquanto menores índices desse parâmetro foram obtidos quando se utilizou a adição de polissacarídeos de macroalgas. Já para os parâmetros morfológicos dos espermatozoides, melhores resultados foram obtidos quando polissacarídeos sulfatados da macroalga *Caulerpa cupressoides* e *Solieria filiformis* foram incorporados no sêmen criopreservado.

Tais efeitos de manutenção dos parâmetros de qualidade espermática, a exemplo da integridade de membrana e morfologia, justificam-se devido a provável ação antioxidante na eliminação das Espécies Reativas de Oxigênio (EROs) pelos polissacarídeos sulfatados (YE *et al.*, 2008; MATANJUM, 2016; JRIDI *et al.*, 2019; CAMPO *et al.*, 2006; SOUSA *et al.*, 2016). Na pesquisa realizada por Pereira *et al.* (2020), os autores verificaram boas interações entre os polissacarídeos sulfatados extraídos da pele de tilápia e da macroalga marinha *S. filiformis* com o sêmen de tambaqui, sugerindo que o uso combinado das duas

fontes de PS, podem aumentar os benefícios para obtenção de melhores resultados dos dois parâmetros, simultaneamente.

Novas pesquisas foram realizadas por Pereira *et al.* (2021) sobre a adição de diferentes concentrações de glicosaminoglicanos (GAGs), extraídos da pele de tilápia do Nilo, no sêmen congelado de *Colossoma macropomum*. Esses autores verificaram ainda, os efeitos das interações sêmen: polissacarídeos sulfatados com os diferentes meios diluidores: água-de-coco em pó específica para peixes (ACP®-104) e a solução de glicose 5%. Como resposta, Pereira *et al.* (2021) verificaram melhores resultados para os parâmetros espermáticos de linearidade (LIN), movimento em linha reta (MLR) e integridade do DNA, quando o sêmen de tambaqui foi criopreservado em solução de glicose 5%. Além disso, os pesquisadores verificaram que a adição de baixas concentrações de GAGs (< 1,0 mg/mL) são capazes de conservar a qualidade espermática após o processo de descongelação, especialmente quando a criopreservação tenha sido realizada com uso de glicose 5%.

Uma provável justificativa para obtenção desses resultados é que as GAGs, possivelmente, tenham formado uma camada de revestimento na membrana celular dos espermatozoides, protegendo-os contra os choques térmicos durante o processo de criopreservação, desidratação e formação de cristais de gelo (BRAGA *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2021). Apesar do notório efeito benéfico às células espermáticas pós-congelação, o mecanismo de ação dos polissacarídeos sulfatados extraídos da pele de Tilápia, como agentes protetores, ainda não é completamente esclarecido.

O uso de PS como suplemento do meio de congelação seminal de tambaqui, também foi testado por Lobato *et al.* (2022). Esses autores avaliaram a adição de diferentes concentrações (0,0; 2,0; 3,0 ou 4,0 mg/mL) de polissacarídeos sulfatados de duas macroalgas marinhas verdes (*Ulva lactuca* e *Caulerpa racemosa*), no meio criodiluidor do sêmen de *Colossoma macropomum*. Da mesma forma que Pereira *et al.* (2020), os resultados obtidos por esses autores mostram que as concentrações mais elevadas (3,0 e 4,0 mg/mL) de PS são prejudiciais aos espermatozoides de tambaqui, submetidos a congelação seminal. Enquanto que as menores concentrações mantiveram os parâmetros de qualidade espermática viáveis.

Os resultados obtidos por Pereira *et al.* (2020) e Lobato *et al.* (2022) indicam que a adição de grandes concentrações de polissacarídeos sulfatados na congelação seminal de tambaqui, possivelmente, promove uma má interação entre sêmen-diluidor. Tal resposta pode ocasionar a redução de determinados parâmetros de qualidade espermática e, conseqüentemente, a viabilidade dos espermatozoides. Isso sugere um efeito espécie-específico que provavelmente não depende apenas do tipo de antioxidante adicionado, mas também sua concentração e interação com o meio diluidor utilizado (CABRITA *et al.*, 2011).

O uso de polissacarídeos sulfatados no meio de conservação seminal também já foi testado para espécies nativas do semiárido Brasileiro e que também são encontradas em toda a região Nordeste do país, a exemplo do curimatã comum, *Prochilodus brevis* (ROSA *et al.*, 2003). Nascimento *et al.* (2022) estudaram o uso de diferentes concentrações de polissacarídeos sulfatados (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 ou 3,0 mg/mL) de duas macroalgas marinhas, a *Gracilaria domingensis* e *Ulva fasciata*, na suplementação do meio de congelação seminal de *Prochilodus brevis*. Esses autores verificaram que as menores concentrações (0,5 e 1,0 mg/mL) de PS apresentaram melhores resultados quanto aos parâmetros de qualidade espermática. Além disso, observaram também que os PS extraídos da macroalga vermelha *G. domingensis*, na concentração de 1,0 mg/mL, mostrou-se superior na manutenção de determinados parâmetros espermáticos, sendo, portanto, um potencial suplemento para o sêmen criopreservado de *P. brevis*. Neste estudo os autores observaram a existência de uma possível maior afinidade dos espermatozoides da espécie pelos PS extraídos da macroalga vermelha, quando comparada à macroalga verde.

As diferentes interações entre sêmen e PS podem estar relacionado com a estrutura química dos desses polímeros presentes nas macroalgas. A composição química dos polissacarídeos sulfatados em macroalgas marinhas varia de acordo com a espécie, região anatômica do tecido, localização geográfica, época de colheita, e até mesmo o procedimento de extração (YUAN; MACQUARRIE, 2015). A complexidade na estrutura desses compostos se deve às diversas possibilidades de ligações entre os monossacarídeos e a distribuição de grupamentos dos sulfatos, que são responsáveis pela diversidade de atividades biológicas atribuídas a estes compostos, dentre elas a capacidade antioxidante (ANAND *et al.*, 2016).

Além do uso de PS extraídos de macroalgas marinhas durante a criopreservação, também já foram utilizados polissacarídeos sulfatados extraídos de microalgas salinas. Silva (2024) verificou a utilização de diferentes concentrações (0,0; 1,0; 2,0 e 3,0 mg/mL) de polissacarídeos sulfatados da microalga *Arthrospira platensis*, no meio de congelação seminal de curimatã comum (*P. brevis*). Neste trabalho, a microalga utilizada foi cultivada em ambiente totalmente controlado. Naturalmente a *Spirulina* (*A. platensis*) possui uma elevada produção de compostos bioativos, dentre eles destacam-se os fenólicos, com comprovada atividade antioxidante pela doação de elétrons (MACHADO *et al.*, 2017).

No presente trabalho, Silva (2024) observou que a maior concentração de polissacarídeos sulfatados (3,0 mg/mL) obteve maior eficiência na preservação da qualidade espermática de *P. brevis* após o processo de congelação seminal. Além disso, esse autor verificou uma maior taxa de fertilização quando utilizou o sêmen pós-descongelado suplementado com 3,0 mg/mL de PS de *A. platensis*. Esse resultado reitera que efeitos da suplementação do meio diluidor são inteiramente dependentes das características e da concentração do composto suplementar adicionado, o que pode promover uma interação espécie-específico com o sêmen utilizado (CABRITA *et al.*, 2011; PEREIRA *et al.*, 2020).

Além das aplicações na técnica de congelação seminal, também existem trabalhos que utilizam a adição de polissacarídeos sulfatados de macroalgas marinhas no meio diluidor do resfriamento do sêmen de peixes. Sales *et al.* (2023) verificaram o efeito da adição de diferentes concentrações (0,5; 1,0 e 1,5 mg/mL) de PS extraídos da macroalga *Gracilaria domingensis*, no resfriamento seminal à curto prazo de *Prochilodus brevis* durante diferentes tempos (0, 6, 24, 48, 72, 96 e 120 h) de armazenamento. Os autores verificaram os parâmetros de morfologia, integridade da membrana, integridade do DNA e cinética espermática. Como resultado, verificou-se que após 96 horas de resfriamento seminal, houve uma significativa redução da cinética espermática para todos os tratamentos, mas que em até 72 horas é possível manter a viabilidade espermática sem interferências negativas da adição dos PS.

Apesar da diminuição significativa da qualidade seminal de *P. brevis* em 96 horas de armazenamento hipotérmico, ainda assim é vi-

ável sua manutenção em até 72 horas. Pois nessas condições, permite-se a conservação em temperaturas mais amenas e possibilita com que pequenos produtores, sem acesso a botijões criogênicos, consigam armazenar e transportar amostras seminais da espécie em até três dias, sem perda da qualidade espermática.

O mesmo método de conservação seminal foi empregado por Apoliano (2024). Nessa pesquisa, o autor avaliou o efeito do uso de diferentes concentrações (0,0; 0,25; 0,50; 0,75 mg/mL) de polissacarídeos sulfatados da macroalga marinha *Ascophyllum nodosum*, sobre os parâmetros de qualidade espermática do sêmen resfriado de tambaqui (*Colossoma macropomum*), em diferentes tempos (6, 12, 24, 48 e 72 horas) de armazenamento, à 4 °C. Nessa pesquisa foram verificados os seguintes parâmetros de qualidade espermática: velocidade curvilínea (VCL), velocidade em linha reta (VSL), velocidade média do percurso (VAP), morfologia, integridade da membrana e do DNA espermático. Além disso, também foi verificado a capacidade de fertilização dos espermatozoides após o processo de resfriamento seminal.

Como resultado, o autor sugere que a suplementação com PS de *A. nodosum* não é capaz de manter a qualidade de todos os parâmetros espermáticos do sêmen de tambaqui, quando armazenado por diferentes tempos à 4 °C. Contudo, não apresenta efeitos negativos sobre a integridade da membrana e morfologia dos espermatozoides da espécie. Além disso, foi observado que a adição de 0,75 mg/mL de PS promove melhorias sobre a taxa de fertilização em até 24 horas de resfriamento seminal de tambaqui, sendo, portanto, recomendado sua adição para manutenção da capacidade fecundante dos espermatozoides da espécie.

Dessa forma, a não ocorrência de efeitos negativos em alguns parâmetros espermáticos e sobre a taxa de fertilização observadas por Apoliano (2024), indica que os polissacarídeos sulfatados possuem um potencial bioativo que ainda pode ser explorado durante a aplicação das técnicas de resfriamento e congelamento seminal de peixes. Novas pesquisas devem buscar a compreensão das diferentes interações bioquímicas entre os polissacarídeos sulfatados extraídos de macroalgas marinhas e as membranas espermáticas de peixes, bem como o mecanismo de ação sobre as espécies reativas de oxigênio e peroxidação lipídica.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento sobre as biotécnicas de conservação seminal de peixes viabiliza a implementação e o aperfeiçoamento das técnicas de propagação artificial desses organismos. Entretanto ainda é necessário o aprimoramento dessas técnicas de para que permitam uma melhor qualidade espermática pós-congelação e pós-resfriamento e, conseqüentemente, a potencialização da capacidade fertilizante dos espermatozoides. O uso de polissacarídeos sulfatados como agente antioxidante no meio crioprotetor pode ser uma importante ferramenta para reduzir os danos promovidos pelas crioinjúrias e promover a manutenção da qualidade do sêmen após passar pelo procedimento de criopreservação. Porém são necessários novos estudos que verifiquem o grau de interação desses polímeros com as membranas dos espermatozoides e o mecanismo de ação sobre as EROs e peroxidação lipídica. Assim, essa tecnologia pode ser adotada para o uso em pisciculturas, como modo de transporte do material genético de uma propriedade à outra, sem a necessidade de deslocar os reprodutores, diminuindo, portanto, as condições de estresse animal e a disseminação de doenças entre os empreendimentos.

REFERÊNCIAS

ABEYRATHNE, E.D.N.S.; NAM, K.; HUANG, X.; AHN, D.U. Plant-and animal-based antioxidants' structure, efficacy, mechanisms, and applications: A review. **Antioxidants**, v.11, n.5, p.1025, 2022.

AITKEN, R. J. Impact of oxidative stress on male and female germ cells: implications for fertility. **Reproduction**, v. 159, n. 4, p. R189-R201, 2020.

AITKEN, R. J. Reactive oxygen species as mediators of sperm capacitation and pathological damage. **Molecular reproduction and development**, v. 84, n. 10, p. 1039-1052, 2017.

AITKEN, R. J.; DREVET, J. R. The importance of oxidative stress in determining the functionality of mammalian spermatozoa: A two-edged sword. **Antioxidants**, v. 9, n. 2, p. 111, 2020.

ALMEIDA-MONTEIRO, P.S.; OLIVEIRA-ARAÚJO, M.S.; PINHEIRO, R.R.P.; LOPES, J.T.; FERREIRA, Y.M.; MONTENEGRO, A.R.; MELO-MACIEL, M.A.P.; SALMITO-VANDERLEY, C.S.B. Influence of vitamins C and E on the quality of

cryopreserved semen *Prochilodus brevis* (Prochilodontidae, Teleostei).

Semina: Ciências Agrárias, v. 38, p. 2669- 2680, 2017.

AMANN, R.P.; PICKETT, B.W. Principles of cryopreservation and review of cryopreservation of stallion spermatozoa. *Journal of Equine Veterinary Science*, v. 7, n. 3, p. 145-173, 1987.

ANAND, N.; RACHEL, D.; THANGARAJU, N.; ANANTHARAMAN, P. Potential of marine algae (*sea weeds*) as source of medicinally important compounds.

Plant Genetic Resources, v. 14, n. 4, p. 303-313, 2016.

APOLIANO, M. L. S. **Adição de Polissacarídeos Sulfatados da Macroalga Marinha *Ascophyllum nodosum* ao Meio Diluidor no Resfriamento Seminal de Tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816)**. Tese. 72p. (Doutorado em Engenharia de Pesca) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024.

BAKER, M. A.; AITKEN, R. J. The importance of redox regulated pathways in sperm cell biology. **Molecular and cellular endocrinology**, v. 216, n. 1-2, p. 47-54, 2004.

BAKHACH, J. The cryopreservation of composite tissues: principles and recent advancement on cryopreservation of diferent type of tissues.

Organogenesis, v. 5, n. 3, p. 119-126, 2009.

BATISTA, M.; ALAMO, D.; GONZALEZ, F.; CRUZ, M. G.; GRACIA, A. Influence of the freezing technique (nitrogen liquid vs ultrafreezer of -152 degrees C) and male-to-male variation over the semen quality in Canarian Mastiff breed dogs. **Reprod. Domest. Anim.**, v. 41, p. 423-428, 2006.

BEZERRA NETO, J. T. B.; RODRIGUES, J. A. G.; PONTES, G. C.; FARIAS, W. R. L. Polissacarídeos sulfatados da alga *Caulerpa sertularioides* (GMEL.) HOWE. Análise de metodologias de precipitação. **Rev. Bras. Enga. Pesca**, v. 3, n. 2, p. 50-62, 2008.

BILLARD, R.; COSSON, J.; NOVEIRI, S. B.; POURKAZEMI, M. Cryopreservation and short-term storage of sturgeon sperm, a review. **Aquaculture**, v. 236, n. 1-4, p. 1-9, 2004.

BLAXTER, J. H. S. Sperm storage and cross-fertilization of spring and autumn spawning herring. **Nature.**, v. 172, p. 1189-90, 1953.

BOBE, J.; LABBÉ, C. Chilled storage of sperm and eggs. In: *Methods in Reproductive Aquaculture: Marine and Freshwater Species*. Cabrita, E.; Robles, V.; Herráez, P. (eds). **CRC Press**. p. 219-235, 2009.

BRAGA, P. C.; DAL SASSO, M.; LATTUADA, N.; GRECO, V.; ZUCCA, E.; STUCCHI, L.; FERRO, E.; FERRUCCI, F. Antioxidant activity of hyaluronic acid investigated by means of chemiluminescence of equine neutrophil bursts and electron paramagnetic resonance spectroscopy. **J. Veter. Pharm. Therap.**, v. 38, p. 48-54, 2015.

CABRITA, E.; MA, S.; DIOGO, P.; MARTÍNEZ-PÁRAMO, S.; SARASQUETE, C.; DINIS, M. T. The influence of certain aminoacids and vitamins on post-thaw fish sperm motility, viability and DNA fragmentation. **Animal reproduction science**, v. 125, n. 1-4, p. 189-195, 2011.

CABRITA, E.; MARTÍNEZ-PÁRAMO, S.; GAVAIA, P.J.; RIESCO, M.F.; VALCARCE, D.G.; SARASQUETE, C.; HERRÁEZ, M.P.; ROBLES, V. Factors enhancing fish sperm quality and emerging tools for sperm analysis. **Aquaculture**, v. 432, p. 389-401, 2014.

CAMPO, G. M.; AVENOSO, A.; CAMPO, S.; FERLAZZO, A. M.; CALATRONI, A. Chondroitin sulphate: antioxidant properties and beneficial effects. **Mini Reviews in Medicinal Chemistry**, v. 6, n. 12, p. 1311-1320, 2006.

CONTRERAS, P.; DUMORNÉ, K.; ULLOA-RODRÍGUEZ, P.; MERINO, O.; FIGUEROA, E.; FARIAS, J. G.; RISOPATRON, J. Effects of short-term storage on sperm function in fish semen: a review. **Reviews in Aquaculture**, v. 12, n. 3, p. 1373-1389, 2020.

CORNISH, M. L.; GARBARY, D. J. Antioxidants from macroalgae: Potential applications in human health and nutrition. **Algae**, v. 4, n. 25, p. 155-171, 2010.

COSTA, L. S.; FIDELIS, G. P.; CORDEIRO, S. L.; OLIVEIRA, R. M.; SABRY, D. A.; CÂMARA, R. B. G.; NOBRE, L. T. D. B.; COSTA, M. S. S. P.; ALMEIDA-LIMA, J.; FARIAS, E. H. C.; LEITE, E.L.; ROCHA, H.A.O. Biological activities of sulfated polysaccharides from tropical seaweeds. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 64, p. 21-28, 2010.

DA COSTA, B. B.; STREIT JR., D. P. Estresse oxidativo e antioxidantes no de sêmen de peixes. **Ciência Animal**, v. 29, n. 2, p. 93-109, 2019.

DENIAUD-BOUËT, E.; HARDOUIN, K.; POTIN, P.; KLOAREG, B.; HERVÉ, C. A review about brown algal cell walls and fucose containing sulfated polysaccharides: Cell wall context, biomedical properties and key research challenges. **Carbohydrate Polymers**, v. 175, p. 395-408, 2017.

DILAURO, M. N.; KRISE, W. F.; HENDRIX, M. A.; BAKER, S. E. Short term storage of Atlantic sturgeon sperm. **The progressive Fish Culturist**, v. 56, n. 1, p. 143-144, 1994.

FAO (Food and Agriculture Organization of The United Nations). **The 2020 edition of The State of World Fisheries and Aquaculture**. Nature and Resources, v. 35, n. 3, p. 4–13, 2020.

FÉLIX, F.; OLIVEIRA, C. C. V.; CABRITA, E. Antioxidants in fish sperm and the potential role of melatonin. **Antioxidants**, v. 10, n. 1, p. 36, 2021.

FLORES, E.; FERNÁNDEZ-NOVELL, J. M.; PEÑA, A.; RODRÍGUEZ-GIL, J. E. The degree of resistance to freezing-thawing is related to specific changes in the structures of motile sperm subpopulations and mitochondrial activity in boar spermatozoa. **Theriogenology**, v. 72, n. 6, p. 784-797, 2009.

FREITAS, M.V.; LIRA, L.V.G.; ARIEDE, R.B.; AGUDELO, J.F.G.; OLIVEIRA NETO, R.R; DE BORGES, C.H.S.; MASTROCHIRICO-FILHO, V. A.; GARCIA NETO, B.F.; CARVALHEIRO, R.; HASHIMOTO, D.T. Genotype by environment interaction and genetic parameters for growth traits in the Neotropical fish pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Aquaculture**, v. 530, p. 735933, 2021.

GANGWAR, C.; SAXENA, A.; PATEL, A.; SINGH, S.P.; YADAV, S.; KUMAR, R.; SINGH, V. Effect of reduced glutathione supplementation on cryopreservation induced sperm cryoinjuries in Murrah bull semen. **Animal Reproduction Science**, v. 192, p. 171-178, 2018.

GAUTIER, C.; AURICH, C. “Fine feathers make fine birds”–The mammalian sperm plasma membrane lipid composition and effects on assisted reproduction. **Animal Reproduction Science**, v. 246, p. 106884, 2022.

GUPTA, S.; ABU-GHANNAM, N. Bioactive potential and possible health effects of edible brown seaweeds. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, n.6, p.315-326, 2011.

HEMMINGSON, J. A.; FALSHAW, R.; FURNEAUX, R. H.; THOMPSON, K. Structure and antiviral activity of the galacto fucan sulfates extracted from *Undaria pinnatifida* (Phaeophyta). **Journal of Applied Phycology**, v. 18, p. 185-193, 2006.

HU, T.; LIU, D.; CHEN, Y.; WU, J.; WANG, S. Antioxidant activity of sulfated polysaccharide fractions extracted from *Undaria pinnatifida* in vitro. **International journal of biological macromolecules**, v. 46, n. 2, p. 193-198, 2010.

HUANG, L.; SHEN, M.; MORRIS, G. A.; XIE, J. Sulfated polysaccharides: Immunomodulation and signaling mechanisms. **Trends in Food Science & Technology**, v. 92, p. 1-11, 2019.

HUANG, L.; SHEN, M.; MORRIS, G. A.; XIE, J. Sulfated polysaccharides: Immunomodulation and signaling mechanisms. **Trends in Food Science & Technology**, v. 92, p. 1-11, 2019.

HUNTER, R. H. F. Fisiologia e Tecnologia da Reprodução da Fêmea dos animais domésticos. **Ed. Acribia. Zaragoza**, 1982.

JENKINS-KEERAN, K.; SCHREUDERS, P.; EDWARDS, K.; WOODS III, L. C. The effects of oxygen on the short-term storage of striped bass semen. **North American Journal of Aquaculture**, v. 63, n. 3, p. 238-241, 2001.

JIAO, G.; YU, G.; ZHANG, J.; EWART, H. S. Chemical Structures and Bioactivities of Sulfated Polysaccharides from Marine Algae. **Mar. Drugs**, v. 9, p. 196-223, 2011.

JRIDI, M.; NASRI, R.; MARZOUGUI, Z.; ABDELHEDI, O.; HAMDY, M.; NASRI, M. Characterization and assessment of antioxidant and antibacterial activities of sulfated polysaccharides extracted from cuttlefish skin and muscle. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 123, p. 1221-1228, 2019.

JRIDI, M.; NASRI, R.; MARZOUGUI, Z.; ABDELHEDI, O.; HAMDY, M.; NASRI, M. Characterization and assessment of antioxidant and antibacterial activities of sulfated polysaccharides extracted from cuttlefish skin and muscle. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 123, p. 1221-1228, 2019.

LEGENDRE, M.; BILLARD, R. Cryopreservation of rainbow trout sperm by deep-freezing. **Reproduction Nutrition Developpement**, v. 20, n. 6, p. 1859-1868, 1980.

LOBATO, J. S.; PEREIRA, V. A.; MOREIRA, F. H. G.; BARBOSA, M. S. A.; RODRIGUES, J. A. G.; ARAUJO, I. W. F.; CÂNDIDO-SOBRINHO, S. A.; SALMITO-VANDERLEY, C. S. B. Supplementation of cryodiluent medium with sulfated polysaccharides from green seaweeds in the freezing of *Colossoma macropomum* semen. **SEMINA-CIENCIAS AGRARIAS**, v. 43, n. 6, p. 2769-2784, 2022.

LONDON, K.T.; CHRISTENSEN, B.W.; SCOTT, C.J.; KLOOSTER, K.; KASS, P.H.; DUJOVNE, G.A.; MEYERS, S.A. The effects of an oxygen scavenger and coconut water on equine sperm cryopreservation. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 58, p. 51-57, 2017.

LUO, D.; ZHAN, Q.; WANG, H.; CUI, Y.; SUN, Z.; YANG, J. Fucoidan protects against dopaminergic neuron death in vivo and in vitro. **European Journal of Pharmacology**, v. 617, p. 33-40, 2009.

MACHADO, A. R.; GRAÇA, C. S.; DE ASSIS, L. M.; DE SOUZA-SOARES, L. A. Uma abordagem sobre caracterização e avaliação do potencial antioxidante de extratos fenólicos de microalgas *Spirulina* sp. LEB-18 e *Chlorella pyrenoidosa*. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40, n.1, p.264-278, 2017.

MAGNOTTI, C.; CERQUEIRA, V.; LEE-ESTEVEZ, M.; FARIAS, J.G.; VALDEBENITO, I.; FIGUEROA, E. Cryopreservation and vitrification of fish semen: a review with special emphasis on marine species. **Reviews in Aquaculture**, v. 10, n. 1, p. 15-25, 2018.

MASTROCHIRICO-FILHO, V. A.; PAZO, F. D.; HATA, M. E.; VILLANOVA, G. V.; FORESTI, F.; VERA, M.; MARTÍNEZ, P.; PORTO-FORESTI, F.; HASHIMOTO, D. T. Assessing genetic diversity for a pre-breeding program in *Piaractus mesopotamicus* by snps and ssrs. **Genes**, v. 10, n. 9, p. 1-13, 2019.

MATANJUM, P. Nutrient composition, Antioxidant and Antiobesity properties of Sabah Red and Brown Seaweeds. In: **Proceedings of 22nd International Seaweed Symposium**. 2016. p. 90.

MOTTA, N. C.; EGGER, R. C.; MONTEIRO, K. S.; DE OLIVEIRA, A. V.; MURGAS, L. D. S. Effects of melatonin supplementation on the quality of cryopreserved sperm in the neotropical fish *Prochilodus lineatus*. **Theriogenology**, v. 179, p. 14-21, 2022.

NASCIMENTO, R. V.; DE ALMEIDA-MONTEIRO, P. S.; PEREIRA, V. A.; TORRES, T. M.; NUNES, L. T.; SALES, Y. S.; SALMITO-VANDERLEY, C. S. B. DO NASCIMENTO. Sulfated Polysaccharides from Seaweed As a Supplement to Prochilodus Brevis Sperm Freezing Medium. **Cryoletters**, v. 43, n. 2, p. 110-119, 2022.

NUNES, L. T.; OLIVEIRA, M. S.; LOPES, J. T.; DE SOUZA, M. E. M.; PINHEIRO, R. R. R.; CAMPELLO, C. C.; VANDERLEY, C. S. B. S. Cryopreservation of *Prochilodus brevis* semen: freezing media and thawing rates. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 3, p. 1643-1653, 2016.

PARK, C.; CHAPMAN, F. A. An extender solution for the short-term storage of sturgeon semen. **North American Journal of Aquaculture**, v. 67, n. 1, p. 52-57, 2005.

PEREIRA, V. A.; DE ALENCAR, D. B.; DE ARAÚJO, I. W. F.; RODRIGUES, J. A. G.; LOPES, J. T.; NUNES, L. T.; VANDERLEY, C. S. B. S. Supplementation of cryodiluent media with seaweed or Nile tilapia skin sulfated polysaccharides for freezing of *Colossoma macropomum* (Characiformes: Serrasalminidae) semen. **Aquaculture**, v. 528, p. 735553, 2020.

PEREIRA, V. A.; DO NASCIMENTO, R. V.; DE ALMEIDA-MONTEIRO, P. S.; OLIVEIRA-ARAÚJO, M. S.; FERREIRA, Y. M.; TORRES, T. M.; SALMITO-VANDERLEY, C. S. B. The effect of glycosaminoglycans, extracted from the skin of tilapia, in the

sperm freezing medium of *Colossoma macropomum*. **Cryoletters**, v. 42, n. 5, p. 272-282, 2021.

PIRES, L.B.; SANCHES, E.A.; ROMAGOSA, E.; CORRÊA FILHO, R.A.C.; NASS, R.A.R.; LOPERA-BARRERO, N.M.; POVH, J.A. Sperm quality of *Colossoma macropomum* after room-temperature and cold storage. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 35, n. 3, p. 747-753, 2019.

PISOSCHI, A. M.; POP, A.; IORDACHE, F.; STANCA, L.; PREDOI, G.; SERBAN, A. I. Oxidative stress mitigation by antioxidants-an overview on their chemistry and influences on health status. **European Journal of Medicinal Chemistry**, v. 209, p. 112891, 2021.

RAJAN, R.; MATSUMURA, K. Development and application of cryoprotectants. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, v. 1081, p. 339-354, 2018.

RAVINDER, K.; NASARUDDIN, K.; MAJUMDAR, K. C.; SHIVAJI, S. Computerized analysis of motility, motility patterns and motility parameters of spermatozoa of carp following short-term storage of semen. **Journal of Fish Biology**, v. 50, n. 6, p. 1309-1328, 1997.

RIBEIRO, J.C.; CARRAGETA, D.F.; OLIVEIRA, P.F.; BERNARDINO, R.L.; ALVES, M.G. Aquaporins and Animal Gamete Cryopreservation: Advances and Future Challenges. **Animals**, v. 12, n. 3, 2022.

ROSA, R.S.; MENEZES, N.A.; BRITSKI, H.A.; COSTA, W.J.E.M.; GROTH, F. Diversidade, padrões de distribuição e conservação dos peixes da Caatinga. In: LEAL, I.L.; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. (2. ed.) **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. cap. 3, p. 135-180.

SAAD, A.; BILLARD, R.; THERON, M. C.; HOLLEBECQ, M. G. Short-term preservation of carp (*Cyprinus carpio*) semen. **Aquaculture**, v. 71, n. 1-2, p. 133-150, 1988.

SALES, Y. S.; LOBATO, J. S.; VIEIRA, C. T. N. S.; FERREIRA, Y. M.; APOLIANO, M. L. D. S.; NASCIMENTO, R. V. D.; SALMITO-VANDERLEY, C. S. B. Supplementation of Sulfate Polysaccharides in the Seminal Cooling Medium of Common Curimatã (*Prochilodus Brevis*). **Cryoletters**, v. 44, n. 4, p. 208-218, 2023.

SALMITO-VANDERLEY, C. S. B.; ALMEIDA-MONTEIRO, P. S. D.; NASCIMENTO, R. V. Tecnologia de conservação de sêmen de peixes: resfriamento, congelação e uso de antioxidantes. **Rev. Bras. Reprod. Anim**, v. 40, n. 4, p. 194-199, 2016.

SALMITO-VANDERLEY, C. S. B.; VIEIRA, M. J. A. F.; LEITE, L. V.; OLIVEIRA, F. C. E.; LINHARES, F. R. A.; SALGUEIRO, C. C. M.; NUNES, J. F. Meios de congelação para conservação de sêmen de peixes da família Characidae. **Ciência animal**, v. 22, n. 1, p. 255-268, 2012.

SANDOVAL-VARGAS, L.; SILVA, J. M.; RISOPATRON, G. J.; VILLALOBOS, E. F.; CABRITA, E.; VALDEBENITO, I. I. Oxidative stress and use of antioxidants in fish semen cryopreservation. **Reviews in Aquaculture**, v. 13, n. 1, p. 365-387, 2021.

SCIMENTO, R.V.; LEITE-CASTRO, L.V.; MONTENEGRO, A.R.; OLIVEIRA-ARAÚJO, M.S.; LOPES, J.T.; ALMEIDA-MONTEIRO, P.S.; FERREIRA, Y.M.; SALMITO-VANDERLEY, C.S.B. Influence of Cooling Time and Diluents on the Freezability of *Prochilodus brevis* semen. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 45, n. 1, p. 9, 2017.

SCOTT, A. P.; BAYNES, S. M. A review of the biology, handling and storage of salmonid spermatozoa. **Journal of Fish Biology**, v. 17, n. 6, p. 707-739, 1980.

SHALIUTINA, A.; HULAK, M.; GAZO, I.; LINHARTOVA, P.; LINHART, O. Effect of short-term storage on quality parameters, DNA integrity, and oxidative stress in Russian (*Acipenser gueldenstaedtii*) and Siberian (*Acipenser baerii*) sturgeon sperm. **Animal reproduction science**, v. 139, n. 1-4, p. 127-135, 2013.

SHAZADA, N. E.; ALAVI, S. M. H.; SIDDIQUE, M. A. M.; CHENG, Y.; ZHANG, S.; RODINA, M.; LINHART, O. Short-term storage of sperm in common carp from laboratory research to commercial production—A review. **Reviews in Aquaculture**, p. 1-16, 2023.

SHIMODA, E. **Análise e criopreservação do sêmen da piabanha. Brycon insignis**, Tese. 121 p. (Doutorado em Produção Animal) – Universidade Estadual Do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2004.

SILVA, D. V. **Polissacarídeos Sulfatados Extraídos da Microalga *Arthrospira platensis* na Congelação de Sêmen de *Prochilodus brevis* (Actinopterygii)**. Dissertação. 53 p. (Mestrado em Engenharia de Pesca) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024.

SOUSA, W. M.; SILVA, R. O.; BEZERRA, F. F.; BINGANA, R. D.; BARROS, F. C. N.; COSTA, L. E.; FREITAS, A. L. P. Sulfated polysaccharide fraction from marine algae *Solieria filiformis*: Structural characterization, gastroprotective and antioxidant effects. **Carbohydrate polymers**, v. 152, p. 140-148, 2016.

THOMES, P.; RAJENDRAN, M.; PASANBAN, B.; RENGASAMY, R. Cardioprotective activity of *Cladosiphon okamuranus* against isoproterenol induced myocardial infarction in rats. **Phytomedicine**, v. 18, p. 52-57, 2010.

TRIGO, P.; MERINO, O.; FIGUEROA, E.; VALDEBENITO, I.; SÁNCHEZ, R.; RISOPATRÓN, J. Effect of short-term semen storage in salmon (*Oncorhynchus mykiss*) on

sperm functional parameters evaluated by flow cytometry. **Andrologia**, v. 47, n. 4, p. 407-411, 2015.

ULLOA-RODRÍGUEZ, P.; CONTRERAS, P.; DUMORNÉ, K.; LEE-ESTEVEZ, M.; DÍAZ, R.; FIGUEROA, E.; FARIAS, J. G. Patagonian blenny (*Eleginops maclovinus*) spermatozoa quality after storage at 4 °C in Cortland medium. **Animal Reproduction Science**, v. 197, p. 117-125, 2018.

USOV, A. I.; BILAN, M. I.; USTYUZHANINA, N. E.; NIFANTIEV, N. E. Fucoidans of Brown Algae: Comparison of Sulfated Polysaccharides from *Fucus vesiculosus* and *Ascophyllum nodosum*. **Marine Drugs**, v. 20, n. 10, p. 638, 2022.

VASCONCELOS, A. G.; ARAÚJO, K. V.; SANTANA, L. D. A. B. Polissacarídeos extraídos de algas marinhas e suas aplicações biotecnológicas: uma revisão. **Rev. Bras. Inov. Tecnol. Saúde**, v. 5, n. 3, p. 2236-1103, 2015.

VIVEIROS, A. T. M.; NASCIMENTO, A. F.; ORFÃO, L. H.; ISAÚ, Z. A. Motility and fertility of the subtropical freshwater fish streaked prochilod (*Prochilodus lineatus*) sperm cryopreserved in powdered coconut water. **Theriogenology**, v. 74, n. 4, p. 551-556, 2010.

VIVEIROS, A. T.; ISAÚ, Z. A.; FIGUEIREDO, H. C.; LEITE, M. A.; MARIA, A. N. Gentamycin controls bacterial growth during refrigerated storage of piracanjuba, *Brycon orbignyanus*, semen. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 41, p. 57-65, 2010.

WANG, J.; ZHANG, Q.; ZHANG, Z.; SONG, H.; LI, P. Potential antioxidant and anticoagulant capacity of low molecular weight fucoidan fractions extracted from *Laminaria japonica*. **International journal of biological macromolecules**, v. 46, n. 1, p. 6-12, 2010.

WATHES, D. C.; ABAYASEKARA, D. R. E.; AITKEN, R. J. Polyunsaturated fatty acids in male and female reproduction. **Biology of reproduction**, v. 77, n. 2, p. 190-201, 2007.

WATHES, D. C.; ABAYASEKARA, D. R. E.; AITKEN, R. J. Polyunsaturated fatty acids in male and female reproduction. **Biology of reproduction**, v. 77, n. 2, p. 190-201, 2007.

XIE, J. H.; WANG, Z. J.; SHEN, M. Y.; NIE, S. P.; GONG, B.; LI, H. S.; XIE, M. Y. Sulfated modification, characterization and antioxidant activities of polysaccharide from *Cyclocarya paliurus*. **Food Hydrocolloids**, v. 53, p. 7-15, 2016.

YANG, B.; YU, G.; ZHAO, X.; REN, W.; JIAO, G.; FANG, L.; WANG, Y.; DU, G.; TILLER, C.; GIROUARD, G.; BARROW, C. J.; EWART, H. S.; ZHANG, J. Structural characterisation and bioactivities of hybrid carrageenan-like sulphated

galactan from red alga *Furcellaria lumbicalis*. **Food Chem**, v. 124, p. 50-57, 2011.

YE, H.; WANG, K.; ZHOU, C.; LIU, J.; ZENG, X. Purification, antitumor and antioxidant activities in vitro of polysaccharides from the brown seaweed *Sargassum pallidum*. **Food Chemistry**, v. 111, n. 2, p. 428-432, 2008.

YUAN, Y.; MACQUARRIE, D. Microwave assisted extraction of sulfated polysaccharides (fucoïdan) from *Ascophyllum nodosum* and its antioxidant activity. **Carbohydrate polymers**, v. 129, p. 101-107, 2015.

ZHAN-FENG, L. I. U.; HAN-WEN, S. U. N. Progress of the Research on Chemically Modifications of Polysaccharide. **Journal of Hebei University** (Natural Science Edition), v. 25, n. 1, p. 104, 2005.

ZHONG, Q. W.; ZHOU, T. S.; QIU, W. H.; WANG, Y. K.; XU, Q. L.; KE, S. Z.; WANG, S. J.; JIN, W. H.; CHEN, J. W.; ZHANG, H. W.; WEI, B.; WANG, H. Characterization and hypoglycemic effects of sulfated polysaccharides derived from brown seaweed *Undaria pinnatifida*. **Food Chemistry**, v. 341, p. 128148, 2021.

ZILLI, L.; SCHIAVONE, R.; VILELLA, S. Role of protein phosphorylation/ dephosphorylation in fish sperm motility activation: state of the art and perspectives. **Aquaculture**, v. 472, p. 73-80, 2017.

ZOROFCHIAN-MOGHADAMTOUSI, S.; KARIMIAN, H.; KHANABDALI, R.; RAZAVI, M.; FIROOZINIA, M.; ZANDI, K.; ABDUL, K. H. Anticancer and antitumor potential of fucoïdan and fucoxanthin, two main metabolites isolated from brown algae. **The Scientific World Journal**, p. 1-10, 2014.

CAPÍTULO DOZE

RELATO DO ACOMPANHAMENTO DA ENGORDA DA GAROUPA-VERDADEIRA EPINEPHELUS MARGINATUS EM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA

Viviana Lisboa⁴³

Ricardo Camurça⁴⁴

João Felipe Nogueira Matias⁴⁵

1INTRODUÇÃO

O pescado, termo utilizado para denominar alimentos de origem aquática (*i.e.* peixes, crustáceos, algas, anfíbios, répteis, equinodermos, etc.), é uma das principais fontes de proteína na alimentação humana. Devido sua elevada digestibilidade, alto valor biológico e elevado teor de ácidos graxos poli-insaturados, minerais e vitaminas que beneficiam a saúde e a qualidade de vida, o consumo de pescado é recomendado e estimulado pelos órgãos de saúde (Soares et al., 2012; FAO, 2024). A Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda um consumo *per capita* de pescado igual a 12 quilos/ano, sendo a média mundial em 2022 equivalente a 20,7 quilos/ano (FAO, 2024). No Brasil consumo de pescado estimado é de 10,5 kg/ano (IBGE de 2018), abaixo do recomendado pela OMS, com exceção para o estado do Amazonas apresentando um consumo médio de 150 kg/habitante/ano (Oliveira et al., 2010).

O elevado nível de exploração no qual os estoques pesqueiros mundiais se encontram torna o aumento da produção de pescado via pesca extrativa insustentável. Mediante essa limitação, a aquicultura é apontada como uma alternativa para suprir a crescente demanda por pescado e em 2022 a produção aquícola de fato superou a da pesca de

43 Bolsista FUNCAP

44 Técnico Administrativo da UFC, Coordenador da Unidade de Pesquisa em Piscicultura Marinha, UPMAR/LABOMAR/UFC

45 Cientista-Chefe do Programa Economia Azul - FUNCAP

captura, tornando-se assim a principal atividade produtora de pescado (FAO, 2024).

Entre os setores da aquicultura há a Maricultura, que é a produção de organismos aquáticos em água salgada ou salobra, sendo a produção de peixe marinho em cativeiro denominada Piscicultura Marinha (Lisboa et al., 2020). Mundialmente a produção de peixes marinhos praticada em sistema de gaiolas no mar contribui com cerca de 65% da produção mundial total de peixes cultivados em ambientes marinhos e costeiros, sendo os Salmonídeos os mais cultivados, totalizando em 2022 uma produção de 4.243 mil toneladas (FAO, 2024).

O início da piscicultura marinha no Brasil data o século XVII, com a captura e confinamento de peixes marinhos em sistema extensivo de viveiros de maré nos municípios de Recife e Olinda (Von Ihering, 1932). Na década de 1930 foi estimado que essa região totalizava uma produção anual de 25 toneladas, mas somente na década de 2000 foi realizado o primeiro registro oficial da produção brasileira em piscicultura marinha, equivalente a 49 toneladas de bijupirá (*Rachycentron canadum*). Apesar de todos os esforços, a produção comercial de peixes marinhos no Brasil em larga escala ainda não se estabeleceu (Nascimento et al., 2022; Kuhnen et al., 2022).

Além do bijupirá, a garoupa-verdadeira *Epinephelus marginatus* é outra espécie apontada como promissora para a produção em cativeiro, devido aspectos como valor de mercado, disponibilidade de pacote tecnológico para reprodução e produção de alevinos em laboratório, praticabilidade de engorda em diferentes sistemas de cultivo, adaptação ao consumo de dieta artificial (ração), potencial zootécnico, fácil manejo e rusticidade (Lisboa et al., 2020).

O Ceará possui 573 km de litoral, dispõe de temperaturas elevadas durante todo o ano, sem oscilações significativas, e detém vasta experiência e tradição produtiva no setor da Maricultura, exibindo assim potencial para o desenvolvimento da piscicultura marinha. Na perspectiva da engorda da garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*) em cativeiro no estado do Ceará ser promissora, foi constituído o Projeto Garoupa_CE. Com a meta de gerar e propagar inovações tecnológicas que oportunizem o desenvolvimento da piscicultura marinha, a diversificação da matriz produtiva do setor aquícola e a criação de bens e serviços no estado do Ceará, o projeto teve início em

2021 e constitui um dos nove projetos do Programa Cientista Chefe Economia Azul da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP). No decorrer de sua execução, espontaneamente constituiu-se duas etapas. A primeira, de agosto de 2021 a outubro de 2022, ocorreu através da Coordenadoria de Desenvolvimento da Pesca e Aquicultura Familiar (COPEA), da Secretaria do Desenvolvimento Agrário (SDA), e parceria com os empreendimentos Mirante Pescados e fazenda Marinha Prime Seafood. Posteriormente também obteve o apoio da Coordenação de Pesca e Aquicultura e da Fazenda, através da Secretaria do Desenvolvimento Econômico e do Trabalho (SEDET).

O acompanhamento da engorda da garoupa-verdadeira na primeira fase foi executado em sistema de gaiolas inseridas a um tanque de lona suspenso, operando em sistema fechado e recirculação de água. A estrutura utilizada pertence a Mirante Pescado. Originalmente constituída e utilizada na produção de camarão em sistema de bioflocos, a estrutura é localizada no município de Cascavel – CE, distante em torno de 68km de Fortaleza e 27,3 km do mar. A dificuldade logística, principalmente referente a indisponibilidade de caminhão pipa para transportar água salgada até a Fazenda Mirante Pescado, expôs a necessidade de encerrar esse ciclo e buscar um local mais adequado as demandas para execução do projeto.

A Unidade de Pesquisa em Piscicultura Marinha (UPMAR/LABOMAR/UFC) é um dos laboratórios constituintes do Centro de Estudos Ambientais Costeiros (CEAC) do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR), da Universidade Federal do Ceará. Por dispor uma estrutura operacional adequada e categórica atuação no desenvolvimento de pesquisas com peixes marinhos, foi proposta e constituída uma parceria com esta unidade, desencadeando assim o início da segunda, e atual, etapa do projeto.

Em suma, este capítulo dispõe sobre o acompanhamento da engorda da garoupa-verdadeira em sistema de recirculação de água até o peso comercial de 1kg, referente a segunda etapa do Projeto Garoupa_CE (FUNCAP), executada através da Secretaria da Pesca e Aquicultura do Ceará (SPA - CE) e parceria com a UPMAR.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Apesar da origem da piscicultura marinha ser desconhecida, a Indonésia é apontada como país precursor, praticando em 1400 D.C. a captura e confinamento do “milkfish” (*Chanos chanos*) em viveiros (Shepherd & Bromage, 1988). Já a produção em escala comercial ocorreu na década de 60, devido a descoberta do uso do rotífero na larvicultura de peixes marinhos (Hirata, 1979; Côrtes & Tsuzuki, 2010). Atualmente, o grupo de peixes mais produzidos na piscicultura marinha mundial são os Salmonídeos (FAO 2024).

Similar ao referido à Indonésia, os primeiros registros sobre a piscicultura marinha no Brasil mencionam a captura e confinamento de espécies marinhas (*Centropomus*, *Mugil*, *Eugerres* e *Diapterus*) em viveiros (Von Ihering, 1932; Schubart, 1936). Entretanto, no Brasil, o primeiro registro de produção da piscicultura marinha ocorreu somente no “Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura Brasil 2008-2009” e equivaleu a 49 toneladas de Bijupirá (*Rachycentron canadum*) produzidas em sistema de gaiolas flutuantes em área aquícola marinha localizada na plataforma continental de Pernambuco (Lima et al., 2019). Este foi o primeiro e único registro, evidenciando o fato da piscicultura marinha no Brasil continuar incipiente e com obstáculos a serem superados (Lisboa et. al., 2020).

Atualmente a prática da piscicultura marinha brasileira se resume as seguintes produções comerciais de pequena escala e instituições de pesquisa; Maricultura Costa Verde (Angra dos Reis-RJ), Fazenda Marinha Prime Seafood (Alcobaça – BA), Laboratório de Piscicultura Marinha (LAPEM/FURG), Laboratório de Piscicultura Marinha (LAPMAR/UFSC) e Unidade de Pesquisa em Piscicultura Marinha (UPMAR/Labomar/UFC).

Segundo Lisboa et al. (2024), a Maricultura Costa Verde (Angra dos Reis-RJ) realiza o cultivo de bijupirá (*Rachycentron canadum*) em gaiolas próximas à costa e a Fazenda Marinha Prime Seafood (Alcobaça – BA) realiza a produção da garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*) em tanques suspensos revestidos de lona em sistema de fluxo contínuo. O Laboratório de Piscicultura Marinha (LAPEM/FURG) desde 2019 tem focado suas atividades na miragaia (*Pogonias courbina*) e o Laboratório de Piscicultura Marinha (LAPMAR/UFSC) realiza pesquisa principalmente com tainha (*Mugil lisa*) e a sardinha (*Sardinella brasi-*

liensis). Já a Unidade de Pesquisa em Piscicultura Marinha (UPMAR/Labomar/UFC) tem como foco a reprodução e larvicultura de espécies nativas da costa cearense, em especial os Lutjanídeos, e atualmente está parceiro na execução do Projeto Garoupa_CE do Programa Cientista Chefe Economia Azul (FUNCAP) (Figura 1).

Figura 1. Imagem dos tanques que integram o Sistema de Recirculação de Água (SRA) da UPMAR/LABOMAR/UFC. Foto: Viviana Lisboa.



A garoupa-verdadeira *Epinephelus marginatus* (Figura 2) é uma das principais espécie apontadas como promissora para a produção brasileira de peixes marinhos em cativeiro. Isso se dá em razão da espécie apresentar, além de valor de mercado, um pacote tecnológico para reprodução e produção de alevinos em laboratório disponível, praticabilidade de engorda em diferentes sistemas de cultivo, adaptação ao consumo de dieta artificial (ração), potencial zootécnico, fácil manejo e rusticidade (Lisboa et al., 2020).

Apesar da garoupa ser um dos peixes marinhos mais populares e produzidos na Ásia, no Brasil informações sobre sua produção em cativeiro ainda são escassas.

Figura 2. Exemplar de garoupa-verdadeira amostrado na 5° Biometria. Foto: Viviana Lisboa.



Particularmente no nordeste brasileiro, a perspectiva da engorda da garoupa-verdadeira *Epinephelus marginatus* em cativeiro é auspiciosa, visto as características climáticas e estruturais dessa região, que dispõe de temperaturas elevadas durante todo o ano, viabilidade de implementação dos diversos sistemas de produção agregado a uma vasta experiência e tradição de atuação na Maricultura (Lisboa et al., 2020).

A engorda é a fase do ciclo produtivo em que os peixes são cultivados de alevinos ao tamanho comercial (Lima et al., 2013) e sua duração varia em função da espécie, da qualidade dos alevinos, dos fatores ambientais (i.e. temperatura, salinidade), da qualidade da água (i.e. concentração de compostos nitrogenados), do manejo (e.i. taxa e frequência alimentar), da biomassa estocada (densidade), da qualidade do alimento ofertado, do estado sanitário dos peixes, da demanda do mercado consumidor e do sistema de produção adotado. Dentre as alternativas de sistemas de produção, destaca-se o Sistema de Recirculação de Água (SRA)

Usualmente conhecido pela abreviatura RAS, derivada do termo em inglês Recirculating Aquaculture Systems, o SRA proporciona a praticabilidade de um ambiente de produção mais estável, de melhor manejo, inclusive sanitário e de biossegurança, o escalonamento e incremento da produção (Summerfelt et al., 2009a; Summerfelt et al., 2009b; Long et al., 2019). Como fator de destaque, o SRA atende à necessidade global do uso de tecnologias mais sustentáveis, devido a reutilização da água, a redução da demanda por espaço e da produção de efluentes (Martins et al., 2010).

Como a preferência do mercado consumidor da garoupa é a comercialização de peixes a partir de 1kg, e pretendendo preencher a lacuna de informações sobre a produção da garoupa em cativeiro no Brasil, sobretudo a fase de engorda em sistema de recirculação, a segunda etapa do Projeto Garoupa_CE (FUNCAP), executada através da Secretaria da Pesca e Aquicultura do Ceará (SPA - CE) e parceria com a UPMAR, realizou o acompanhamento da engorda da garoupa-verdadeira, *Epinephelus marginatus*, em sistema de recirculação de água até o peso comercial de 1kg.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Montagem do sistema de recirculação

Foram estruturados dois SRA independentes e igualmente constituídos por um tanque de 3.000 litros, uma bomba periférica, um filtro mecânico de cartucho, dois filtros biológico de 200l e cobertos com tela de sombreamento (70%). Na entrada de água do tanque também foi utilizado filtro tipo “Bag” de 50 micras.

Figura 3. Sistema de recirculação de água montado para a execução do projeto. Foto: Viviana Lisboa.



3.2 Aquisição dos alevinos

Os 200 alevinos de garoupa-verdadeira e as sacas de ração adquiridas através da parceria com a Fazenda Marinha Prime Seafood (Alcobaça – BA) foram transportados para a UPMAR (Eusébio – CE) via terrestre em caminhão composto de caixas de transporte (“*transfish*”).

Os peixes foram submetidos a 24 horas de jejum e, antes de sua transferência para os “*transfish*”, submetidos a um banho de água doce. Após a verificação da qualidade da água no “*transfish*” (concentração de oxigênio, salinidade, temperatura e pH) foi realizada a adição de neutralizar de amônia e a estocagem dos peixes (7kg/m³) e das sacas de ração. Todo o trajeto foi realizado sob a supervisão remota da equipe do projeto e com funcionário da empresa “JJ transporte” previamente treinado.

Os peixes saíram da Fazenda Marinha Prime Seafood (Alcobaça – BA) na tarde do dia 20 de dezembro de 2022 e chegaram na UPMAR (Eusébio – CE) na madrugada de 22 de dezembro de 2022. Na ocasião, após a checagem da qualidade da água ao final do transporte, foi realizada a transferência e aclimatação dos peixes (Figura 4).

Figura 4. Recepção dos peixes na UPMAR.



Foto: Viviana Lisboa

3.3 Acompanhamento da qualidade de água

O acompanhamento da qualidade de água foi realizado diariamente através da determinação dos valores da concentração de oxigênio (mgO_2/l), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidade (‰), pH, amônia total ($\text{NH}_4^++\text{NH}_3$), amônia gasosa (N-NH_3), Nitrito (NO_2), Nitrato (NO_3) e alcalinidade (mg/L CaCO_3). Para determinação da qualidade de água foram utilizados oxímetro Alfakit AT 155, refratômetro, pH Medidor portátil de pH YSI-ECO-pH10A e kits da SERA.

3.4 Manejo alimentar

A alimentação foi originalmente realizada com ração comercial para carnívoros marinhos (SOCIL, 50-48% PB, 13 a 16% de lipídios - R\$: 8,60/kg) de 8-10mm, duas vezes ao dia, até a saciedade aparente. Ao final do período experimental, a verificação da composição nutricional (centesimal) da dieta foi determinada por análise bromatológica a Association of Official Analytical Chemists – AOAC (2007).

3.5 Acompanhamento da engorda

Os juvenis chegaram com peso e comprimento médio, respectivamente, de $143,23\text{g} \pm 2,0$ e $20,86\text{cm} \pm 0,1$, e após o período de quarentena foram distribuídos nos tanques (100 peixes por tanque), totalizando densidade de $5\text{kg}/\text{m}^3$.

O acompanhamento da engorda da garoupa-verdadeira em RAS foi realizado através do desempenho dos dados de peso (g) e comprimento total (cm). Esses dados foram obtidos em biometrias mensais com peixes em jejum (24h), sendo na ocasião averiguado também o estado sanitário dos peixes através da inspeção da integridade física do animal.

As biometrias foram realizadas sempre durante o período da manhã, devido a temperatura mais amena. Inicialmente os tanques eram drenados até $\frac{1}{4}$ do seu volume total e então realizada a captura e transferência dos peixes para outro tanque, para que nessa ocasião também fosse realizada a higienização dos tanques e do sistema de aeração. Todos os peixes eram pesados e medidos individualmente e após observação do estado sanitário e de bem estar, eram devolvidos ao respectivo tanque.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Operação do sistema de recirculação de água (SRA)

Para acelerar o processo de colonização das mídias biológicas por bactérias nitrificantes, processo comumente denominado “maturação”, foi adicionado inóculo comercial de bactérias nitrificantes aos biofiltros. De modo geral, a rotina de operação e manejo dos dois SRA foi simples e prática, com reposições esporádicas do pequeno volume de água evapora, com ressalva para a necessidade recorrente de substituição da bomba periférica, devido ao desgaste precoce de seus componentes por ação corrosiva da água salgada.

4.2 Acompanhamento da qualidade de água

Como efeito do bom funcionamento dos RAS, durante todo o período de engorda os parâmetros de qualidade da água permaneceram nos níveis toleráveis para a espécie (Gracia López & Castelló-Orvay, 2003).

4.3 Aquisição dos alevinos

À primeira vista foi observado expressiva heterogeneidade no desempenho do crescimento em gramas e a instauração de hierarquia, manifestada principalmente durante a oferta de alimento. Nesta ocasião, era observado a opressão dos peixes menores por parte dos maiores, afetando inclusive o consumo da ração. Para promover um ambiente de bem-estar aos peixes e uma distribuição de tamanho mais



uniforme, foi realizado o gradeamento (separação dos indivíduos por classe de peso). A definição do ponto de “corte” foi baseado na mediana da amostragem 10% do lote, ajustando-se da seguinte forma:

- Tanque 1 → peixes com peso médio menor e/ou igual a 180g;
- Tanque 2 → peixes com peso acima de 180g.

Para evitar o manejo excessivo e estresse dos peixes, o gradeamento foi realizado simultaneamente à ocasião da 1ª biometria. Durante as biometrias foi observado que a espécie é realmente rústica e de fácil manejo, sendo a realização deste manejo viável inclusive sem a utilização de anestésico.

No decorrer da rotina de contato e manejo dos peixes foi verificado que os peixes vieram acometidos por *Neobenedenia* sp. (Figura 5). A *Neobenedenia* sp. é um ectoparasito monogenoóide da família Capsalidae com incidência mundial em cultivos de peixes marinhos. Semelhante ao carrapato, esse ectoparasita se fixa e suga o sangue do hospedeiro, provocando mortalidades massivas e grandes prejuízos (Sanches & Vianna, 2007).

Figura 5. Exemplar de garoupa-verdadeira infestado com *Neobenedenia* sp. (5A). *Neobenedenia* sp. coletada de peixe (5B). Fotos: Viviana Lisboa.

5a

5b

Essa contaminação desencadeou redução significativa do consumo e, em parte dos peixes, o surgimento de escoriações e perfurações nos olhos que ocasionaram inclusive cegueira. Como medida de controle, deu-se início a protocolo de imersão dos peixes em água doce durante 5 minutos, comumente denominados “banho de água doce” (Figura 6).

Figura 6. Protocolo de “banho de água doce”.

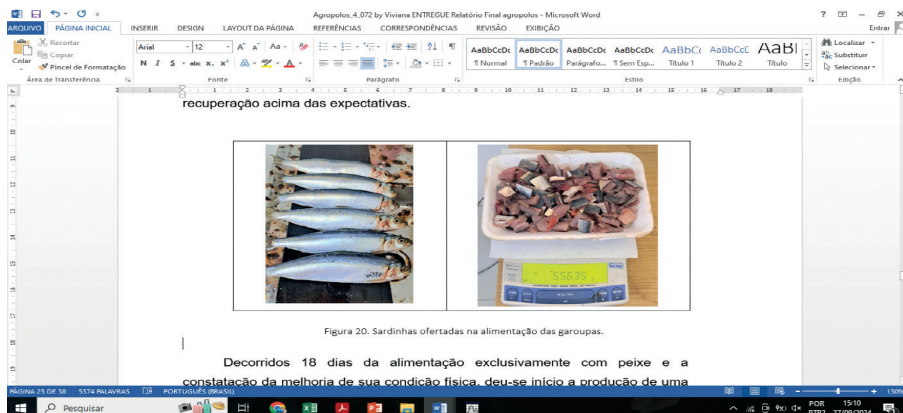


Foto: Viviana Lisboa

4.4 Manejo alimentar

Inicialmente, como programado, a alimentação foi realizada com ração comercial para peixes marinhos carnívoros (SOCIL) duas vezes ao dia, até a saciedade aparente. Entretanto, pretendendo reverter o quadro progressivo de redução do consumo de alimento e danos físicos (*i.e.* lesões) decorrentes da ação do ectoparasita e restaurar a saúde dos peixe, a oferta de ração comercial foi substituída pela oferta de peixe (sardinha) picado (Figura 7). De imediato os peixes voltaram a se alimentar.

Figura 7. Sardinhas ofertadas na alimentação das grupos. Fotos: Viviana Lisboa.



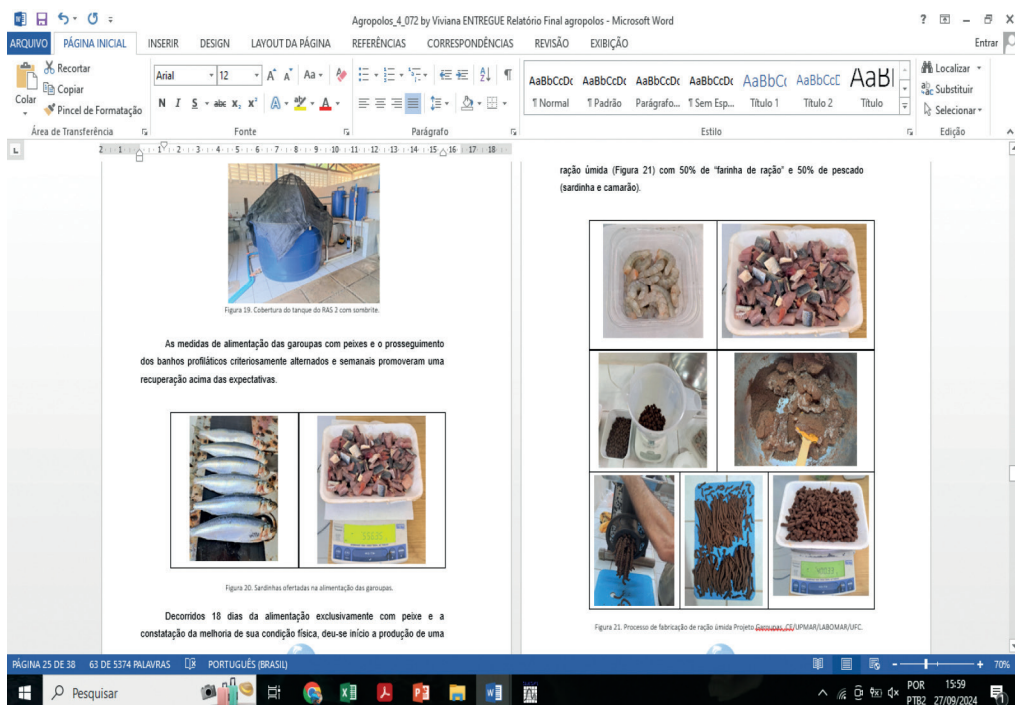
Concomitantemente, o “banho de água doce” moderou a infestação, mas não erradicou a presença do ectoparasito. Desta forma, foi estabelecido a continuidade desse protocolo durante todo o período de engorda.

Após a visível recuperação da condição física e vitalidade dos peixes, foi iniciado o processo de readaptação ao consumo da ração comercial através da produção local (UPMAR) e oferta de ração semi-úmida. Constituída inicialmente de 50% de “farinha de ração” e 50% de pescado (sardinha e camarão), sendo a “farinha de ração” obtida a partir da moagem dos pellets da ração comercial em liquidificador (Figura 8).

A obtenção do “patê” de pescado foi realizada triturando o peixe e o camarão no moedor de carne e a homogeneização de todos os ingredientes foi efetuada em batedeira comercial. Para a repetição dessa “massa” homogeneizada foi utilizado em moedor de carne elétrico e “selados” por moderada secagem em estufa.

Destaca-se que a ração comercial utilizada na alimentação, apesar de estar com validade vencida e colonizada por “gorgulhos”, teve que ser utilizada devido a impossibilidade de compra mediante a indisponibilidade comercial do produto.

Figura 8. Processo de fabricação da ração semi-úmida na UPMAR. Fotos: Viviana Lisboa.



A verificação da composição centesimal da ração comercial, semi-úmida e da sardinha, apresentada na tabela 1, demonstra que as três dietas utilizadas dispunham de elevada concentração proteica, que a ração comercial apresenta menor concentração de extrato etéreo e que a sardinha congelada, como esperado, é a dieta com maior porcentagem de lipídeos, umidade e cinzas.

Tabela 1. Composição centesimal dos alimentos utilizados no acompanhamento da engorda da garoupa-verdadeira, *Epinephelus marginatus*, em Sistema de Recirculação de Água (SRA).

Dieta	Composição (%)			
	PB MS	Umidade (%)	Extrato etéreo	Cinzas (%)
Ração comercial	56,65	11,36	7,02	11,41
Ração semi-úmida	59,24	23,87	8,85	8,22
Sardinha	56,84	61,43	12,18	34,56

PB = Proteína Bruta.

A garoupa se adaptou bem ao consumo de ração semi-úmida, sendo observado o rápido consumo da porção ofertada e de forma geral, observa-se que as três dietas utilizadas foram adequadas para alimentação da garoupa-verdadeira, que é uma espécie carnívora topo de cadeia.

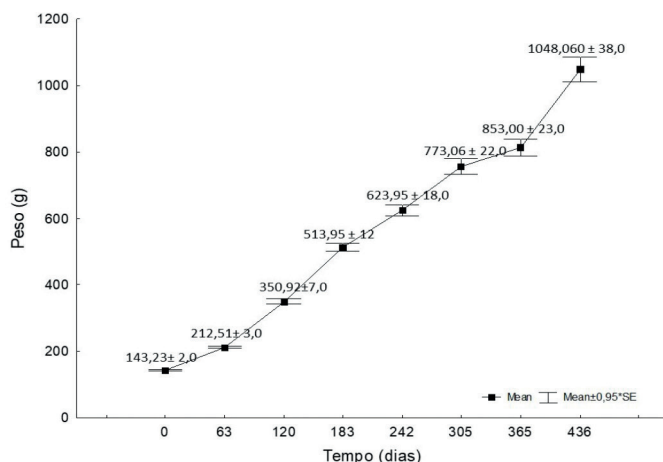
4.5 Acompanhamento da engorda

O gráfico 1 apresenta o período de engorda dos alevinos de garoupa-verdadeira, peso médio inicial igual a $143,23g \pm 2,0$, em SRA até o peso comercial de 1kg, sendo esse período estimado em 14 meses.

Em seu habitat natural, a garoupa *Epinephelus morio* (garoupa-de-São-Tomé) leva em média 2 anos para atingir 480 gramas (Salazar & Sanchez, 1988) e para a própria espécie *Epinephelus marginatus* é apontado levar 3,3 anos para atingirem 400 gramas (Bruslé, 1985). Comparado ao crescimento de outras espécies de garoupa e em ambiente natural, esse é um resultado surpreendente e promissor.

No ambiente de cultivo, a garoupa *Epinephelus polyphkadion*, peso médio inicial igual a 57g, após doze meses em sistema de tanques de fibra de vidro e fluxo de água contínuo, cerca de 5x do volume total/dia, atingiu 513g, enquanto a própria *Epinephelus marginatus*, peso médio inicial igual a 25,2g, após 12 meses em SRA, atingiu 450g (Gracia Lopez & Castello Orvay, 2003).

Gráfico 1. Gráfico do acompanhamento da engorda (g) da garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*) em sistema de recirculação de água (RAS) até o peso comercial de 1kg. Fonte: Dados da biometria.



Já a garoupa *Epinephelus fuscoguttatus*, peso médio inicial igual a 120g, após sete meses em sistema de tanques em fluxo contínuo de água ($\pm 5x$ do volume total/ dia), atingiu o peso médio de 534 gramas, após sete meses (James et al., 1998). Conjecturando sobre este resultado, pressupõe-se em 14 meses algo em torno de 1.068kg, semelhante aos 1.048kg apontado aos 14 meses no gráfico 1.

Considerando as sequelas, inclusive de mortalidade, da ação do ectoparasita somado a necessidade do uso e adaptação a diferentes dietas. Comparado aos resultados de outras espécies de garoupa em ambiente de cultivo, inclusive *E. fuscoguttatus*, notadamente apontada entre as espécie de garoupa com melhor desempenho em cativeiro, o período de 14 meses de engorda observado neste relato demonstram que o emprego de um sistema de cultivo adequado, tanto do ponto de vista técnico-operacional, bem como de bem-estar do animal e sustentabilidade ambiental, propiciou um desempenho aquém do presumido para a espécie e promissor para piscicultura marinha.

5 CONCLUSÃO

A garoupa-verdadeira *Epinephelus marginatus* se adaptou bem ao sistema de recirculação de água, que por sua vez cumpriu seu propósito de manutenção da qualidade da água com êxito.

O parasitismo da *Neobenedenia* sp. na produção de peixes marinhos é uma ocorrência habitual e adversa, ressaltando a importância da procedência do alevinos, do período de quarentena, do acompanhamento sanitário e instauração de protocolos de profilaxia.

O crescimento heterogêneo observado demandou a instauração de gradeamentos periódicos e, se tratando da produção de peixe marinho em cativeiro, a verificação do comportamento de adaptação e transição de consumo entre os diferentes tipos de alimento é relevante e crucial na escolha da espécie a ser produzida.

O estabelecimento do período de engorda da garoupa-verdadeira *Epinephelus marginatus* em SRA em 14 meses aponta um resultado promissor para espécie e relevante na construção de conhecimento e tecnologia para o desenvolvimento da produção de peixes marinhos em cativeiro no Brasil.

REFERÊNCIAS

AOAC (2007) Official Methods of Analysis, 18th edn. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg.

Bregnballe, J. (2015). A Guide to Recirculation Aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations and EUROFISH International Organization.

Bruslé, J. (1985). Esposé synoptique des données biologiques sur les mérourus *Epinephelus aeneus* (Geoffroy Saint Hilaire, 1809) et *Epinephelus guaza* (Linnaeus, 1758) de L'Océan Atlantic et de la Méditerranée, FAO Synop. Pêches, 129: 64.

Côrtes, G.F. & Tsuzuki, M.Y. (2010). Efeito do tamanho do rotífero na sobrevivência e no crescimento de neon gobi *Elacatinus figaro* durante as fases iniciais de larvicultura, Boletim do Instituto de Pesca, vol. 36, No. 3, pp. 205-212.

FAO. (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Blue Transformation in action. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>

Gracia López, V. & Castelló-Orvay, F. (2003). Preliminary data on the culture of juveniles of the dusky grouper, *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834). Hidrobiológica, Madri, vol.13 (4), pp. 321-327.

Hirata, H. (1979). Rotifer culture in Japan. In: Styczniska-Juurewicz T.; Backiel E., Cultivation of fish fry and its livefood, European Mariculture Society, Special Publication, Bredene, vol. 4, pp. 361-375.

James, C. M.; Al-Thobaiti, S.A.; Rasem, B.M.; CARLOS, M.H. (1998). Comparative growth of brown-marbled grouper *Epinephelus fuscoguttatus* (Forsskal) and camouflage grouper *E. polyphemadion* (Bleeker) under hatchery and growout culture conditions. Asian Fisheries Society, vol. 11 (2), pp. 78-86.

Lima, A. F.; Taffarel, G.; Giovanni, B.; Moro, G. V. (2013) Engorda de peixes. In: Rodrigues, A. P. O.; Lima, A. F.; Alves, A. L.; Rosa, D. K.; Torati, L. S.; Santos, V. R. V. dos (Ed.). Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos. Brasília, DF: Embrapa, 2013, 440p. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/108228> . Acesso em 23/09/2024.

Kuhnen, V. V.; Hopkins, K.; Mota, L. S.; Sousa, O. M.; SANCHES, E. G. Challenges and lessons from marine finfish farming in Brazil. Marine Policy, Amsterdam, v. 138, n. 104979, abr. 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.104979>

Lima L. S, Pinto T. K, Brandão B. C. S, Santos, W.; Hamilton, S.; Domingues, E. C.; Klein, A. P.; Schettini, C. A.; Poersch, L. H.; Cavalli, R. O. (2019). Impact of cage farming of cobia (*Rachycentron canadum*) on the benthic macrofauna in a tropical region. *Aquaculture*, 512. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734314>

Lisboa, V.; Eloy, H. R. F.; Catter, K. M.; Vidigal, R. C. A. B.; Souza, R. L. M.; Matias, J. F. N. (2020). Brazilian Marine Fish Farming: Challenges and Prospects for its Development in the State of Ceará. *Sistemas & Gestão, Niterói*, v. 15, n. 2, p. 113-122, ago. 2020. DOI <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2020.v15n2.1636>

Lisboa, V.; Pinto, R. C. C.; Matias, J. F. N. (2024). Marine finfish farming in Brazil: Opportunity or illusion? *Hatchery Feed & Management*, vol 12 (3), pp. 39-43. https://hatcheryfm.com/magazine/?utm_source=Hatcheryfm&utm_campaign=de8f7164d8-MAIL_CAMPAIGN_2018_09_10_10_29_COPY_01&utm_medium=email&utm_term=0_686a37a9cd-de8f7164d8-126050 . Acesso em 20/09/2024.

Long, L.; Zhang, H.; Ni, Q.; Liu, H.; Wu, F.; Wang, X. (2019). Effects of stocking density on growth, stress, and immune responses of juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) in a recirculating aquaculture system. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, vol. 219, pp. 25-34. DOI <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2019.02.002>

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. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: a perspective on environmental sustainability. *Aquac. Eng.* 43, 83–93. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.09.002>

Nascimento, M. S.; Carvalho, C. V. Z.; Passini, G.; Soares, M.; Evangelista, D. K. R.; Sousa, D. N. (2022). Panorama da piscicultura marinha no Brasil: desafios e perspectivas. *Embrapa Pesca e Aquicultura*, Palmas, 40p. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1142679> . Acesso em 28/08/2024.

Oliveira, D. M. & Frédo, F. L. (2011). Caracterização e dinâmica espaço-temporal da atividade pesqueira na baía de Marajó Estuário Amazônico. *Arquivos de Ciências do Mar*, vol. 44, pp. 40-53.

Pillay, T.V.R. (1993), “Aquaculture. Principles and Practices”, Fishing News Book. 575pp.

Ramos, F.M.; Sanches, E.G.; Fujimoto, R.Y.; Cottens, K.F.; Cerqueira, V.R. (2012). *Crescimento de juvenis da garoupa-verdadeira Epinephelus marginatus submetidos a diferentes dietas*, *Boletim do Instituto de Pesca*,

vol. 38, No. 1, pp. 81-88. <https://institutodepesca.org/index.php/bip/article/view/946/926> . Acesso em 28/08/2024.

Salazar A. & Sanchez, J. (1988). Aspectos biológico pesqueros del mero *Epinephelus morio* de la flota artesanal de las costas de Yucatán, México. Proceedings of the 41st Gulf and Caribbean Fisheries Institute, p. 422-430.

Sanches, E. G. & Vianna, R. T. (2007). Ocorrência de *Noebenedenia melleni* (MONOGENEA: CAPSALIDAE) em garoupa-verdadeira, *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834), cultivada em tanques-rede. Arq. Ciên. Mar, vol. 40 (2), pp. 96-100. DOI: <https://doi.org/10.32360/acmar.v40i2>

Schubart, O. (1936). Investigações sobre os viveiros do Recife. Boletim da Secretaria de Agricultura, Indústria e Comércio do Estado de Pernambuco, vol. 1, n. 2, pp. 153-176.

Shepherd, C. J. & Bromage, N. R. (1988). Intensive Fish Farming. Oxford: Blackwell Scientific Publications Ltd, 1988, 404 p.

Soares, K. M. P; Gonçalves, A. A. (2012). Qualidade e segurança do pescado. Ver. Inst. Adolfo Lutz, São Paulo, vol. 71(1), pp. 1-10.

Rev Inst Adolfo Lutz. 2012; 71(1):1-10

Summerfelt, S.T., Sharrer, M., Gearheart, M., Gillette, K., Vinci, B.J., 2009a. Evaluation of partial water reuse systems used for Atlantic salmon smolt production at the White River National Fish Hatchery. Aquac. Eng. 41, 78–84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2009.06.003>

Summerfelt, S.; Bergheim, A.; Colt, J.; 2009b. Preface. Aquacult. Eng. 41, 45. Terjesen, B.F.; Summerfelt, S.T.; Nerland, S.; Ulgenes, Y.; Fjæra, S.O.; Megard Reiten, B.K.; Selset, R.; Kolarevic, J.; Brunsvik, P.; Bæverfjord, G.; Takle, H.; Kittelsen, A.; Asgard, T. (2013). Design, dimensioning, and performance of a research facility for studies on the requirements of fish in RAS environments. Aquac. Eng. 54, 49–63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.11.002>

Von Ihering R. (1932). Criação de peixes em viveiros no Recife”, Bol. Sec. Agric. Ind. Viação – Recife – PE, vol.35, pp. 35-40.





ALECE

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA
DO ESTADO DO CEARÁ

Mesa Diretora 2025-2026

Deputado Romeu Aldigueri
Presidente

Deputado Dannel Oliveira
1º Vice-Presidente

Deputada Larissa Gaspar
2ª Vice-Presidente

Deputado De Assis Diniz
1º Secretário

Deputado Jeová Mota
2º Secretário

Deputado Felipe Mota
3º Secretário

Deputado João Jaime
4º Secretário



Escaneie o QR CODE
e acesse nossas
publicações