


## PROSPECÇÃO CIENTÍFICA DA AQUICULTURA MULTITRÓFICA INTEGRADA(IMTA): ESTRATÉGIA DE MODELO PARA A INTEGRALIZAÇÃO DA CARCINICULTURA E OSTREICULTURA NO ESTADO DO MARANHÃO

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.814112402101>

Data de aceite: 02/10/2024

### **Fabiana Frazão Frazão**

Núcleo de Maricultura-NUMAR, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – IFMA, São Luís, Maranhão, Brasil  
<https://orcid.org/0000-0002-9804-4540>

### **Isadora Fontenelle Carneiro de Castro**

Graduada em Medicina Veterinária, Universidade Estadual do Maranhão-UEMA, Cidade Universitária Paulo VI, São Luís, Maranhão, Brasil  
<https://orcid.org/0000-0003-2369-7587>

### **Ricardo Henrique Nascimento Frazão**

Doutorando em Química, Núcleo de Catálise e Ambiental -NCCA, Universidade Federal do Maranhão-UFMA, São Luís, Maranhão, Brasil  
<https://orcid.org/0009-0009-3421-6532>

### **Flávia Abreu Everton**

Doutoranda em Aquicultura, Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE, Brasil  
<https://orcid.org/0000-0001-7006-3267>

### **Izabel Cristina da Silva Almeida Funo**

Núcleo de Maricultura-NUMAR, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – IFMA, São Luís, Maranhão, Brasil  
<https://orcid.org/0000-0003-2301-2146>

**RESUMO:** Objetivou-se neste trabalho é realizar a prospecção científica da Aquicultura Multitrófica Integrada (IMTA) e propor um modelo para o desenvolvimento da integralização da carcinicultura e ostreicultura no Estado do Maranhão. Foi realizada uma revisão da literatura sistemática sobre IMTA, na base *Web of Science*. A revisão foi realizada no mês de dezembro de 2023 a janeiro de 2024. Na análise dos dados, a China é o país que mais publicou sobre IMTA. Ostra como *Crassostrea gigas* são candidatas promissoras para utilização como espécies extrativas em sistemas IMTA em diversos países, porém no Brasil há registros de ostras nativas sendo utilizadas neste sistema multitrófico. Os valores médios de temperatura (28,56°C), o oxigênio dissolvido (5,86 g/L), a salinidade (21,31 g/L), pH (8,15) e Amônia-Nitrogênio (0,19 mg/L) foram registrados. Logo, o modelo IMTA proposto é um projeto para sustentabilidade ambiental, para ser desenvolvido no município de Humberto de Campos-MA, e implica integrar o cultivo de camarão e ostra. O sistema IMTA estará fundamentado como sistema de cultivo de ostra em travesseiros flutuantes. Conclui-se neste estudo, que *Crassostrea gasar* e *Penaeus vannamei*

são as espécies mais adequadas para propor um modelo para o desenvolvimento da integralização da carcinicultura e ostreicultura no Estado do Maranhão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cultivo multitrófico, *Crassostrea gasar* e *Penaeus vannamei*.

## SCIENTIFIC PROSPECTING OF INTEGRATED MULTITROPHIC AQUACULTURE (IMTA): A MODEL STRATEGY FOR OF INTEGRATED SHRIMP AND OYSTER FARMING IN THE STATE OF MARANHÃO

**ABSTRACT:** The aim of this study was to carry out scientific research into Integrated Multitrophic Aquaculture (IMTA) and to propose a model for the development of integrated shrimp and oyster farming in the state of Maranhão. A systematic literature review on IMTA was carried out on the *Web of Science* database. The review was carried out from December 2023 to January 2024. In the data analysis, China is the country that has published the most on IMTA. Oysters such as *Crassostrea gigas* are promising candidates for use as extractive species in IMTA systems in several countries, but in Brazil there are records of native oysters being used in this multi-trophic system. Average values for temperature (28.56°C), dissolved oxygen (5.86 g/L), salinity (21.31 g/L), pH (8.15) and ammonia-nitrogen (0.19 mg/L) were recorded. Therefore, the proposed IMTA model is a project for environmental sustainability, to be developed in the municipality of Humberto de Campos-MA, and involves integrating the cultivation of shrimp and oysters. The IMTA system will be based on an oyster cultivation system on floating pillows. This study concludes that *Crassostrea gasar* and *Penaeus vannamei* are the most suitable species to propose a model for the development of integrated shrimp and oyster farming in the state of Maranhão.

**KEYWORDS:** Multitrophic culture, *Crassostrea gasar* and *Penaeus vannamei*.

## INTRODUÇÃO

Em 2020, a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO, através do relatório do Estado Mundial da Pesca e Aquicultura (Edição-2022), a pesca e a produção aquícola atingiram recorde histórico de 214 milhões de toneladas, incluindo os 36 milhões de toneladas de algas marinhas. No entanto, aquicultura cresceu mais rápido do que a captura extrativa de pescado nos últimos dois anos (FAO, 2022).

O Brasil está entre os países mais produtores de pescado do mundo. De acordo com a FAO (2022), o Brasil está na 12<sup>a</sup> no ranking quanto a pesca de captura continental e na 13<sup>a</sup> na produção aquícola mundial.

A aquicultura é uma atividade do agronegócio que envolve a criação de animais e plantas aquáticas destinadas a alimentação humana (Siqueira, 2017). Devido a expansão considerável da aquicultura no Brasil e no mundo, novas tecnologias e processos produtivos têm sido desenvolvidos a fim de solucionar os problemas nas produções aquícolas. E, apesar dos benefícios sociais (geração de emprego) e econômicos, deve-se considerar que todas as atividades produtivas são impactantes ao meio ambiente, inclusive a aquicultura. A eutrofização dos recursos hídricos talvez seja um dos maiores impactos causados pela aquicultura tradicional (Naspirán-Jojoa et al., 2022).

As soluções compreendem uma série de estratégias técnicas com a integração de diferentes sistemas produtivos e variadas espécies, as quais utilizam diferentes níveis tróficos dentro do próprio sistema de cultivo, sistema este conhecido como Aquicultura Multitrófica Integrada (AMTI) ou o termo em inglês *Integrated Multitrophic Aquaculture* – IMTA (Scopel, 2019).

O termo aquicultura multitrófica integrada é um modelo que integra o cultivo de espécies aquáticas com diferentes níveis tróficos, na proximidade umas das outras ou em um mesmo sistema, de tal de modo a que os resíduos, subprodutos ou alimentos não consumidos de uma espécie sejam recapturados e utilizados por outra cultura (como energia, fertilizante ou alimento), aproveitando assim as suas interações sinérgicas para obter vantagens (Nissar et al. 2023). Segundo Fróis (2016), a diferença entre policultivo e IMTA está no nível trófico, visto que o IMTA refere-se à incorporação de espécies de diferentes níveis tróficos ou níveis nutricionais no mesmo sistema, esta é a grande diferença comparativamente ao sistema em policultivo, que utiliza várias espécies com o mesmo nível trófico.

Adotar o IMTA pode melhorar a sustentabilidade da aquicultura intensiva no país, reduzindo os efluentes e promovendo economia, já que produz outras espécies com valor agregado (Chopin et al. 2001; Naspírán-Jojoa et al., 2022; Nissar et al. 2023).

O IMTA foi desenvolvido com base nos três pilares do tripé da sustentabilidade, visando criar um sistema equilibrado para promover sustentabilidade ambiental, econômica e social, visto que combina espécies de aquicultura alimentadas por ração balanceada (por exemplo, camarões), espécies da aquicultura extrativa orgânica (por exemplo, ostras e outros moluscos ou peixes herbívoros) e espécies da aquicultura extrativa inorgânicas (por exemplo, algas marinhas) (Khanjani et al., 2022).

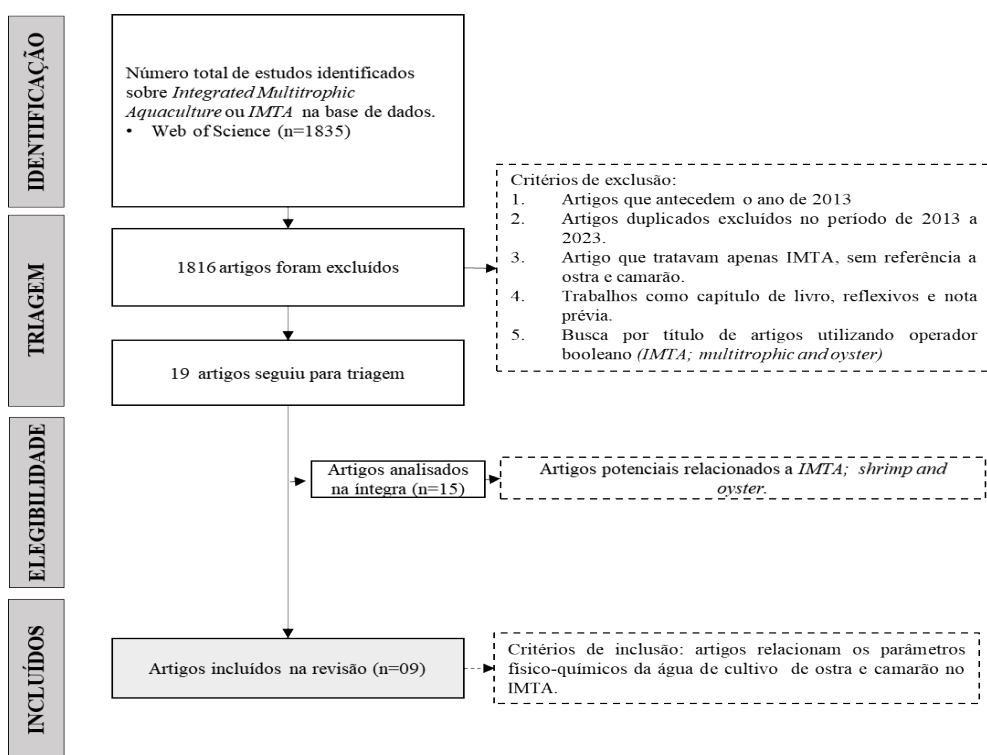
Desde 2005, a empresa Primar é uma referência na carcinicultura brasileira, visto que utiliza, além do método orgânico, o sistema IMTA, cultivando espécies de diferentes demandas alimentares para aproveitar melhor os nichos ecológicos dos viveiros. Camarões marinhos *Litopenaeus vannamei* (=nomenclatura atual *Penaeus vannamei*), ostra *Crassostrea gasar*, peixes Mugil curema, Mugil liza, e Chaetodipterus faber, crescem no mesmo ecossistema, reciclando de maneira sustentável a matéria orgânica, de modo a reduzir os impactos ambientais no interior e exterior da empresa (Santos, 2020).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é propor um modelo para o desenvolvimento da integralização da carcinicultura e ostreicultura no Estado do Maranhão, bem como fazer uma revisão que abrange descobertas anteriores sobre o Sistema IMTA com ênfase específica nas funcionalidades deste sistema, suas espécies adequadas, e características físico-químicas da água do ambiente de produção do sistema IMTA.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada uma revisão da literatura sistemática, pautada em pesquisas e abordagens cognitivas de análises científicas que exploraram a Aquicultura Multitrófica Integrada (IMTA), condicionadas na base de dado eletrônico *Web of Science*.

A revisão foi realizada no mês de dezembro de 2023 a janeiro de 2024. Para esta revisão sistemática, os termos pesquisados foram escolhidos com base em palavras-chave que aparecem com frequência em artigos relacionados à área. Os termos pesquisados foram *IMTA*; *integrated multitrophic aquaculture*; *shrimp and oyster* combinados entre si, utilizando-se os operadores booleanos AND/OR/\* para agregar todos os descritores. Na busca inicial, foram encontrados vários artigos sem limitar o período de tempo (n=1835) (Fig. 1) sobre Aquicultura Multitrófica Integrada (IMTA).



**Figura 1:** Fluxograma de seleção de estudos relacionados ao IMTA.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Portanto, como critérios de exclusão, estavam artigos que antecedem o ano de 2013, artigos de revisão, capítulos de livros; publicações duplicadas e artigos que não abordavam sobre a produção de ostra e camarão no sistema IMTA. Entretanto, foi definido como critério de inclusão: artigos publicados entre os anos de 2019 a 2023 que relacionaram os principais parâmetros de qualidade de água do cultivo de ostra e camarão no IMTA, com

finalidade de expor os trabalhos científicos mais recentes. Nessa etapa, de acordo com as variáveis de interesse, permaneceram 19 artigos potenciais para análise. Após a leitura dos textos na íntegra e aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, obteve-se um total de 09 artigos usados na revisão.

Os dados referentes a evolução do número de registros e características físico-químicas da água do ambiente de produção do sistema IMTA, foram tabulados em software de edição de dados, analisados e descritos a partir de estatística descritiva.

Visitas *in loco* foram realizadas no município de Humberto de Campos-MA, e foram capturados registros fotográficos do cultivo experimental de ostra e atividades de carcinicultura tradicional desenvolvido em povoados do referido município, para obtenção de informações mais detalhadas sobre os sistemas produtivos desenvolvidos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Prospecção científica

O resultado da análise bibliométrica para a busca pela palavras-chaves *IMTA*; *integrated multitrophic aquaculture*; *shrimp and oyster* nos últimos 10 anos, está apresentado na Fig. 2, relacionando a evolução do número de registros de artigos referentes ao IMTA no mundo. Percebe-se que o interesse na investigação científica relacionada com este tema tem se tornado crescente no decorrer dos anos, refletindo no aumento do número de estudos publicados em revistas.

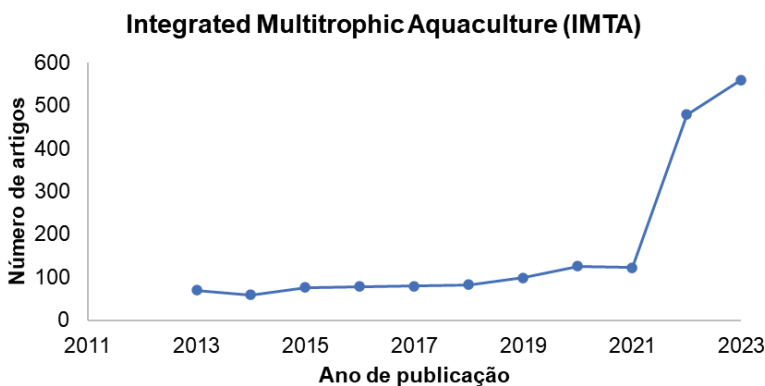


Figura 2: Evolução do número de registros de artigos publicados referente a IMTA pela busca na base *Web of Science*, no período de 2013 a 2023.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A análise dos dados da distribuição de publicações por países, apresentados na Fig. 3, possibilita evidenciar que a China é o país que mais publicou sobre IMTA. Estes dados refletem um fato histórico, sendo que há registro que a técnica foi originada na China por volta dos anos 4000 a.C. (Chopin et al., 2012).

## Integrated Multitrophic Aquaculture (IMTA)

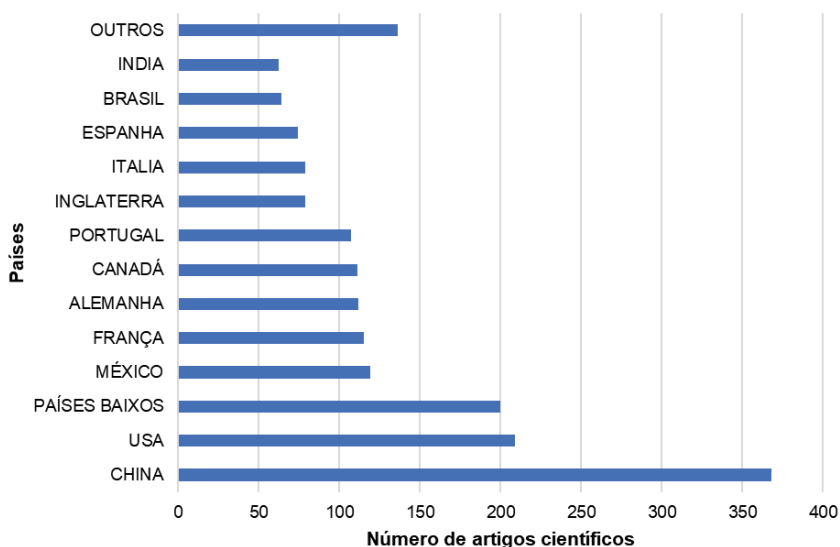


Figura 3: Países que adotam o sistema IMTA pela busca na base *Web of Science*, no período de 2013 a 2023.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A maricultura em sistema multitrófico é praticada na China, USA, Holanda, México, França, Portugal, Canadá, Chile, Itália entre outros países. No Brasil, porém, ainda são raros os cultivos que operam nesse sistema, especialmente em ambiente marinho. Diante disto, pesquisas que envolvam aquicultura multitrófica apresentam-se como uma tendência no caso do Brasil, ocupando a 12<sup>a</sup> colocação no ranking.

No entanto, conforme Martins (2017), os países que possuem sistemas IMTA em funcionamento em escalas comerciais e que envolvem produção de ostra e camarão são: China, Estados Unidos da América, Canadá, Chile, Irlanda, Índia, Japão, Tailândia, Austrália, Portugal, Noruega e Israel.

Na literatura, foram listadas diferentes espécies que são utilizadas no sistema IMTA em diversos países, combinando molusco/camarão, peixe/algas/molusco, peixe/camarão/equinodermos e algas/camarão/moluscos/poríferos (Tabela 1). Conforme Khanjani et al. (2022), vários fatores determinam a seleção de uma espécie para ser usada no IMTA, entre eles estão selecionar espécies que vão consumir os efluentes orgânicos e inorgânicos da espécie principal; selecionar espécies adaptadas a ambiente de cultivo, que tenha um pacote tecnológico e mercado definido, espécies adaptadas a condições oceanográfica e ambientais.

Conforme a Tabela 1, os mexilhões estão entre as espécies com grandes perspectivas de utilização como consumidores dos efluentes orgânicos da espécie principal (peixes e/ou camarões), uma vez que, pois, proporcionam valor econômico e reduzem o impacto ambiental do cultivo na aquicultura. Mexilhões como *Crassostrea gigas* e espécies do gênero *Mytilus* sp. são candidatos promissores para utilização como espécies extractivas em sistemas IMTA no mundo (Hargrave et al. 2022; Khanjani et al., 2022), e promissoras também no Brasil (Lima et al., 2021; Carvalho et al., 2022).

Nos últimos 10 anos, conforme a prospecção científica, acompanhamos o avanço da IMTA como método de mitigação de nutrientes na aquicultura intensiva, especialmente em ambientes marinhos. Alguns estudos recentes nesta área são apresentados na Tabela 2 que mostra os principais parâmetros físico-químicos importantes para a integralização do cultivo de camarão e ostras, e além de outras espécies em combinação.

No Brasil, as principais espécies de camarão e ostra utilizadas no sistema IMTA foram *Litopenaeus vannamei* (=nomenclatura atual *Penaeus vannamei*) e *Crassostrea gasar* (= *Crassostrea brasiliiana*), respectivamente. Na tabela 2, a média dos parâmetros físico-químicos da água foram monitorizados no sistema IMTA que apresentavam ostra e camarão em combinação sinérgica. A temperatura média ( $28,56 \pm 1,99$  °C), o oxigênio dissolvido ( $5,86 \pm 0,60$  mg/L), a salinidade ( $21,31 \pm 10,58$  g/L), pH ( $8,15 \pm 0,60$ ) e Amônia-Nitrogênio ( $0,19 \pm 1,19$ mg/L) foram mantidos a níveis ótimos de produção para estas espécies. Os dados corroboram com Legarda (2020), Carvalho et al., (2019), Costa et al., (2021) e Lima et al., (2021).

PEIXES	CRUSTÁCEOS	ALGAS	MOLUSCOS	EQUINODERMOS	PORÍFEROS E ANELÍDEOS/ POLIQUETAS
Atum-do-Pacífico ( <i>Thunnus orientalis</i> ); Truta arco-íris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> )	Camarão tigre gigante ( <i>Penaeus monodon</i> )	Alga parda ( <i>Laminaria japônica</i> )	Vieiras ( <i>Scapharca broughtonii</i> ; <i>Argopecten irradians</i> ; <i>Chlamys farreri</i> )	Pepino-do-mar da Califórnia ( <i>Parastichopus californicus</i> )	Esponjas do mar ( <i>Agelas oroides</i> )
Salmão-real ( <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> ); Salmão do Atlântico ( <i>Salmo salar</i> )	Camarão-banana ( <i>P. merguensis</i> )	Alga gigante marrom ( <i>Macrocystis pyrifera</i> )	Vieira japonesa ( <i>Patinopecten yessoensis</i> )	Pepino-do-mar teimoso ( <i>Holothuria pervicax</i> )	Esponja amarela ( <i>Aplysina aerophoba</i> )
Cavalomarinho ( <i>Hippocampus reid</i> )	Camarão-branco-do-pacífico ( <i>Litopenaeus vannamei</i> )	Alga castanha ( <i>Alaria esculenta</i> )	Mexilhão de lábios verdes ( <i>Perna canaliculus</i> ); Mexilhão -do-pacífico ( <i>Mytilus trossulus</i> ); Mexilhão-azul ( <i>Mytilus edulis</i> )	Pepino-do-mar japonês ( <i>Apostichopus japonicus</i> )	Esponja ( <i>Axinella cannabina</i> )
Tainha Lebranche ( <i>Mugil liza</i> ) e Tainha Curimã ( <i>M. cephalus</i> )	Camarão-da-india ( <i>Penaeus indicus</i> )	Alga vermelha ( <i>Porphyra umbilicalis</i> )	Ostra-do-pacífico ( <i>Crassostrea gigas</i> )	Pepino-do-mar marrom ( <i>Australostichopus mollis</i> )	Esponja miolo de pão ( <i>Hymeniacidon perlevis</i> )
Dourada ( <i>Sparus aurata</i> )	Camarão branco chinês ( <i>Fenneropenaeus chinensis</i> )	Alga marrom ( <i>Saccharina latissima</i> )	Ostra cortez ( <i>Crassostrea corteziensis</i> )	Pepino-do-mar -de-pés-laranja ( <i>Cucumaria rondose</i> )	Poliqueta ( <i>Hediste diversicolor</i> )

Charuteiro-do-Japão ( <i>Seriola quinqueradiata</i> ); Peixe-carvão-do-pacífico ( <i>Anoplopoma fimbria</i> )	Camarão-da-praia ( <i>Pandalus platyceros</i> )	Alga verde ( <i>Ulva lactuca</i> ; <i>U. ohnoi</i> ; <i>U. rigida</i> ; <i>Enteromorpha</i> spp.;	Ostra portuguesa ( <i>Crassostrea angulata</i> ); Ostra americana ( <i>Crassostrea virginica</i> )	Ouriços do mar verde ( <i>Strongylocentrotus droebachiensis</i> )	Poliqueta marinho ( <i>Sabella spallanzanii</i> )
Robalo negro ( <i>Sebastes schlegelii</i> )	Camarão-gordura ou camarão-lama ( <i>Metapenaeus ensis</i> )	Alga vermelha ( <i>Gracilaria chilensis</i> )	Ostra-do-mangue ( <i>Crassostrea gasar</i> )	Ouriços do mar ( <i>Paracentrotus lividus</i> )	Poliqueta ( <i>Perinereis aibuhitensis</i> )
Bacalhau ( <i>Gadus</i> sp.)	Camarão esqueleto ( <i>Caprella equilibra</i> )	Alga de cor roxa-avermelhada ( <i>G. birdiae</i> )	Ostra magalana ( <i>Crassostrea cuttackensis</i> )		
Pargo japonês ( <i>Pagrus major</i> );	Camarão caprela do mar ( <i>Caprella scaura</i> )	Alga verde ( <i>Chaetomorpha linum</i> )	Amêijoia ou sarnambi ( <i>Ruditapes decussatus</i> )		
Robalo-legítimo ( <i>Dicentrarchus labrax</i> )			Bivalves ( <i>Meritrix casta</i> , <i>Avicennia officinalis</i> , <i>Bruguiera gymnorhiza</i> )		

Tabela 1: Diferentes espécies utilizadas nas IMTA. (Adaptado de Kumara et al., 2023; Khanjani et al., 2022; Costa et al., 2021; Lima et al., 2021; Carvalho et al., 2022; Biswas et al. 2019; Biswas et al. 2020; Giangrande et al. 2020; Varamogianni-Mamatsi et al. 2022; Yeh et al. 2022)

TEMPERATURA (°C)	pH	SALINIDADE (g/L)	OXIGÊNIO DISSOLVIDO (mg/L)	Amônia-Nitrogênio (mg/L)	ESPÉCIES	PAÍS	REFERÊNCIAS
28,4	8,76	8,08	5,82	0,162	<i>Crassostrea cuttackensis</i> ; <i>Enteromorpha</i> spp.; <i>Penaeus monodon</i> , <i>Mugil cephalus</i> and <i>Liza parsia</i>	Índia	Biswas et al. 2019
27,5	8,32	5,7	5,88	0,043	<i>Crassostrea cuttackensis</i> , <i>Penaeus monodon</i> , <i>Mugil cephalus</i> and <i>Liza parsia</i>	Índia	Biswas et al. 2020
24,81	8,33	32,01	6,96	0,05	<i>Litopenaeus vannamei</i> e <i>Crassostrea gasar</i>	Brasil	Costa et al. 2021
29,7	7,81	28,9	5,45	0,6	<i>Litopenaeus vannamei</i> e <i>Crassostrea gasar</i>	Brasil	Lima et al. 2022
29	8	32	7,9	0	<i>Crassostrea brasiliiana</i> ; <i>Litopenaeus vannamei</i> ; <i>Hippocampus reidi</i>	Brasil	Carvalho et al., 2019
29,83	7,89	28,19	5,35	0,35	<i>Litopenaeus vannamei</i> ; <i>Crassostrea</i> sp.	Brasil	Lima et al. 2021
32,5	9,4	29,6	2,85	0	<i>Penaeus vannamei</i> ; <i>Crassostrea corteziensis</i>	México	Mazón-Suástegui et al. 2022
27,5	7,37	7,81	7,8	0,18	<i>Crassostrea cuttackensis</i> ; <i>Penaeus vannamei</i>	Índia	Naskar et al., 2022
27,8	7,48	19,5	4,72	0,3	<i>Crassostrea angulata</i> ; <i>Litopenaeus vannamei</i> ; <i>Chanos chanos</i> ; <i>Gracilaria verrucosa</i>	Taiwan	Yeh et al. 2022
28,56 (±1,99)	8,15 (±0,60)	21,31 (±10,58)	5,86 (±1,49)	0,19 (±1,19)	Média (± Desvio padrão)		

Tabela 2. Características físico-químicas da água do ambiente de produção do sistema IMTA.



A eficiência da produção aquícola depende de manter os parâmetros de qualidade da água em condições adequadas para as unidades de cultivo (Legarda, 2020). Os parâmetros de qualidade de água nos ambientes de produção do sistema IMTA é interessante ser monitorado, visto que interfere na taxa de sobrevivência e crescimento das ostras (Funô, 2016; Antônio et al., 2019). Segundo Melo (2018) e Funô et al. (2015), em condições de cultivo, as maiores taxas de crescimento desse camarão e ostras foram observadas em salinidades entre 25 e 30 g/L. Funô et al. (2015) verificaram o efeito da salinidade (5 a 50 g/L) sobre a sobrevivência e crescimento de *C. gasar* e sugerem que esta espécie seja cultivada em áreas marinhas com salinidade entre 30 a 35. Os resultados sugerem que a ostra *C. gasar* é eurialina, resistente a uma ampla faixa de salinidade, podendo ser cultivada em áreas marinhas ou ambientes estuarinos, não sendo recomendados o cultivo em áreas que apresentem salinidades iguais ou inferiores a 5 g/L. Os resultados demonstram que a salinidade influenciou significativamente na sobrevivência e crescimento da ostra (altura, comprimento e largura das conchas e peso vivo) da espécie *C. gasar*. Os ambientes costeiros dos municípios do litoral do Maranhão são influenciados pela estação chuvosa (fevereiro a julho) e uma estação seca (agosto a janeiro), resulta numa variação anual da salinidade costeira de 0,1 a 49,2 (Antônio et al., 2021).

Entretanto, Mazón-Suástegui et al. 2022 informa que o ganho de peso e reprodução das ostras da espécie *Crassostrea corteziensis* foi principalmente correlacionado com a temperatura. Os nossos resultados mostram que *C. corteziensis* é uma ótima espécie candidata para sistemas IMTA, particularmente durante a estação quente com o cultivo do camarão *Penaeus vannamei*.

Em Lima et al. (2022), o estudo mostra que o sistema multitrófico com camarão e ostra (*P. vannamei* e *Crassostrea* sp.) utilizando um sistema simbiótico pode ser desenvolvido com ambas as espécies na mesma unidade de produção sem comprometer o desempenho zootécnico de nenhuma das espécies. Além disso, a utilização de ostras em sistema multitrófico, cultivadas juntamente com camarões no mesmo tanque ou em tanque de recirculação adjacente, é uma alternativa para a manutenção dos compostos nitrogenados e, quando cultivado no mesmo ambiente, pode promover um melhor desempenho zootécnico dos camarões.

Segundo Khanjani et al. (2022), até o momento, diversas espécies foram testadas para uso no sistema IMTA como espécies de baixo nível trófico, e espécies que suportam uma ampla variação dos parâmetros físico-químico da água de cultivo. Além do cultivo do *Litopenaeus vannamei* (=nomenclatura atual *Penaeus vannamei*) associado com *Crassostrea gasar* (= *Crassostrea brasiliiana*), tem-se visto a integração entre espécies de tainha (*Mugil cephalus* e *Liza parsia*) e camarão tigre (*Penaeus monodon*) como espécie alimentadas, cultivadas ao lado de ostras estuarinas (*Crassostrea cuttackensis*), e espécies de algas (*Enteromorpha* spp.) como espécies extrativistas (Biswas et al. 2019; Biswas et al. 2020). A integração do cultivo de camarão e ostras também ocorre com cavalo-marinho

(*Hippocampus reidi*). No trabalho de Carvalho et al (2019), este estudo demonstrou a viabilidade técnica da integração das fases do cultivo do cavalo marinho em uma fazenda orgânica que executa o sistema IMTA de *C. brasiliiana* e *L. vannamei*. Os parâmetros físico-químicos da água foram monitorizados todos os dias. A concentração de oxigênio dissolvido, o pH, a temperatura e salinidade para o ensaio 1 e o ensaio 2 foram 6,0 e 7,9 mg L<sup>-1</sup>; 7,6 e 8,0; 24 e 29 °C; e 25 e 32 g/L, respectivamente.

## **Modelo para integralização da carcinicultura e ostreicultura no Estado do Maranhão**

Na costa brasileira, em especial, o litoral do Estado do Maranhão, observam-se áreas estuarinas potencialmente favoráveis às atividades de carcinicultura e ostreicultura. Segundo o IBGE (2022), o Brasil produziu na carcinicultura 113.300.618 kg de camarão, porém, o Estado do Maranhão contribuiu 423.896 kg. Na ostreicultura foram mais de 8.739.136 kg (Brasil) e 24.580 kg (Maranhão).

De acordo com Funo (2019) e Marinho (2019), a ostreicultura iniciou no Brasil em 1971 e está vinculada a produção de três espécies, duas delas são endêmicas *Crassostrea rhizophorae* e *Crassostrea gasar* (= *Crassostrea brasiliiana*), conhecidas popularmente como ostras do mangue, ostra preta ou ostra de lama, e uma exótica, a *Crassostrea gigas* conhecida como ostra japonesa. No entanto, vale ressaltar que *C. gigas* é a principal espécie cultivada no Brasil e a mais uma das espécies mais produzidas no mundo (FAO, 2022; IBGE, 2022).

Com referência a espécie mais cultivada na ostreicultura maranhense têm-se a *Crassostrea gasar*. Conforme Antônio et al. (2021), a ostra nativa (*Crassostrea gasar*) é naturalmente encontrada nos estuários do estado do Maranhão, por isto é muito utilizada na ostreicultura familiar sustentável, com finalidade de implantação de unidades demonstrativas de autogestão de cultivo de ostras com a participação direta das comunidades pesqueiras e/ou marisqueiras, com vistas a geração de renda para a comunidade e a preservação dos estoques naturais de ostras nativas. Segundo o IBGE (2022), o município de Humberto de Campos produziu 15.980 kg de ostra.

Quanto a carcinicultura, de acordo com Ferreira et al. (2023), a espécie que apresenta grande potencial de criação é camarão marinho *Penaeus vannamei*. No referido trabalho, foi realizado um diagnóstico da evolução da produção de camarão cultivado no Estado do Maranhão entre os anos de 2013 e 2019, listando os principais municípios que executam a atividade. Os dados analisados na pesquisa bibliográfica demonstraram que a produção da carcinicultura no Estado do Maranhão é praticada em alguns municípios, sendo os de maior produção em Bacabeira, Primeira Cruz, Água Doce do Maranhão e Humberto de Campos. Em 2021, a produção média de camarão cultivado em Humberto de Campos equivale a 6,8%.

Em Humberto de Campos-MA, está o povoado Carnaubeiras, localizado a 2,7km da comunidade pesqueira Ilha Grande. Neste referido povoado há uma propriedade que desenvolve a atividade de carcinicultura. A propriedade (não denominada por questões éticas) conta com mais de 82 mil m<sup>2</sup> de área total de lâmina d'água distribuídos em 7 viveiros de engorda os quais funcionam em sistema semi-intensivo, com 10 camarões/m<sup>2</sup> (Figura 6) são viveiros de terra, não sendo revestidos. A propriedade possui um canal de abastecimento de 800 m de comprimento x 10 m de largura, que realiza o bombeamento diário de água nos viveiros, seguindo o movimento da maré.



Imagens ©2024 Airbus, CNES / Airbus, Maxar Technologies, Dados do mapa ©2024 50 m

Figura 6: Imagens de satélite (Airbus, CNES) da área produtiva da atividade de carcinicultura no povoado Carnaubeiras em Humberto de Campos-MA, 2024.

Fonte: Google maps (2024).

Em Humberto de Campos-MA, portanto, tem sido registrado na literatura como áreas potenciais para o cultivo de ostras (Antônio et al., 2021) e camarão (Ferreira et al., 2023).

Logo, o modelo IMTA proposto (Figura 4) é um projeto para sustentabilidade ambiental, para ser desenvolvido no município de Humberto de Campos-MA, e implica usar culturas em proximidade, com espécies comercialmente valiosas de diferentes tróficos níveis e com funções ecossistêmicas complementares (Chopin et al., 2012; Loayza-Aguilar et al., 2023).

Para o melhor aproveitamento dos diversos nichos ecológicos, o sistema IMTA estará fundamentado como sistema de cultivo de ostra otimizado para travesseiros flutuantes (formados de cano PVC, garrafa PET e telas plásticas de diferentes malhas) dispostos em “long-lines” (Figura 4), adaptados da metodologia de Suplicy (2021).

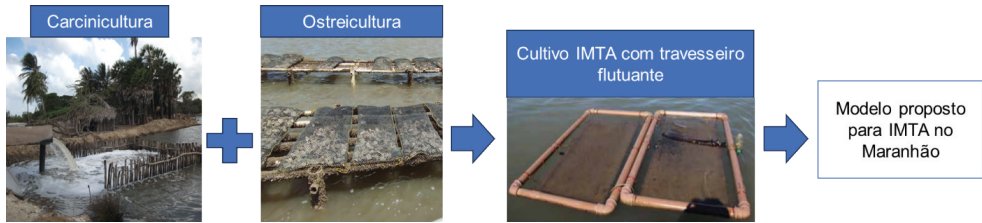


Figura 4: Etapas para implantação do IMTA em Humberto de Campos, Maranhão-Brasil.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Nesse sentido, o sistema será integrado por: a) espécies da aquicultura que dependem de ração como os camarões; b) aquicultura extrativista de suspensão orgânica, que representa a produção de ostra; c) aquicultura extrativa de inorgânicos, à base de macroalgas marinhas; d) aquicultura extrativa de depósito, usando tainhas e outros peixes nativos que entram no sistema de cultivo através de bombeamento de água (Figura 5).

Como resultado da implementação do modelo IMTA, teríamos: a biodiversidade preservada, a aquicultura diversificada e a rentabilidade melhorada, uma vez que as espécies biotransformadoras propostas têm valor econômico atual ou potencial. Como adicional vantagem, a cultura principal será mais eficiente, reduzindo os impactos da eutrofização, visto que é comum após a despesca do camarão o lançamento das águas de cultivo para manguezal.

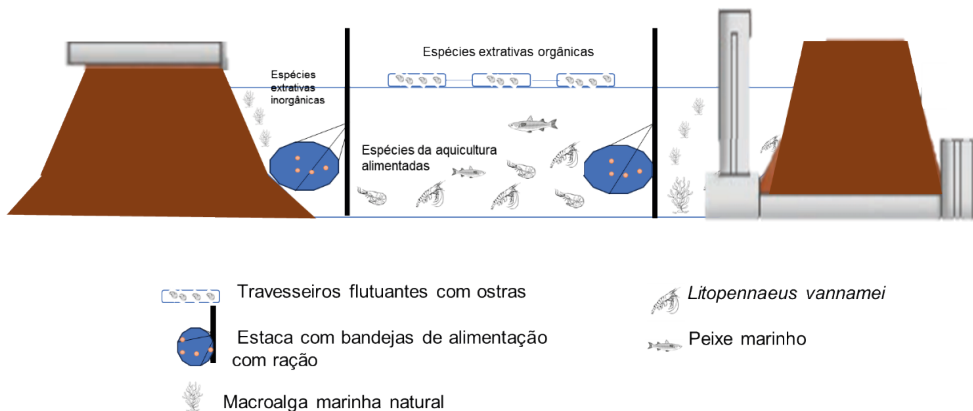


Figura 5: Esquema do modelo proposto para o ensaio experimental de implantação do IMTA em Humberto de Campos, Maranhão-Brasil.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

No modelo, adotará uma densidade de produção de 10 a 20 camarões por m<sup>2</sup> com fornecimento de rações balanceadas como a principal forma de alimento. As pós-larvas serão provenientes de laboratórios de larvicultura do Estado do Ceará. As densidades de ostras serão testadas para melhor definição do modelo, em baixa, média e alta densidade por travesseiro flutuante.

Para a metodologia de povoamento das estruturas de cultivo de ostras, será adaptada de Antônio et al. (2019). O cultivo será realizado com sementes de ostras nativas obtidas de coletores na própria região de Humberto de Campos-MA. Serão utilizados coletores de garrafas plásticas do tipo PET. Posteriormente, efetua-se o povoamento com as sementes obtidas pelos coletores. As sementes serão sobrepostas nas telas que ficam dispostas sob os travesseiros flutuantes nos viveiros de produção de camarão, onde permanecem até atingirem 4mm. Após este tamanho, elas passam para a etapa dos travesseiros flutuantes, iniciando na tela de tamanho 4mm (300 ostras/trav), 9mm (200 ostras/trav), 14mm (100 ostras/trav) e 23mm (50 ostras/trav) até a despesca.

De acordo com Santos (2020), a diferença no tempo de cultivo entre a ostra e o camarão dificulta o trabalho com as duas espécies em um mesmo viveiro, ao mesmo tempo. O camarão leva entre 60-90 dias para atingir o tamanho comercial, já as ostras cultivadas em viveiros levam um mínimo de 1 ano para atingir o tamanho comercial de 8 cm. Em decorrência disto, adotará conforme o modelo IMTA o sistema de rotação de culturas, onde as ostras são transferidas de viveiro três vezes por ano, evitando assim o acúmulo de matéria orgânica no solo e promovendo a sanidade do ambiente; e a despesca do camarão será escalonada, não sendo realizada a despesca total dos sete viveiros.

## CONCLUSÃO

Neste estudo indica que a ostra *Crassostrea gasar* (= *Crassostrea brasiliiana*) e o camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (=nomenclatura atual *Penaeus vannamei*) são as espécies mais adequadas para propor um modelo para o desenvolvimento da integralização da carcinicultura e ostreicultura no Estado do Maranhão. Aquicultura multitrófica integrada (IMTA) representa o futuro da aquicultura sustentável. No Brasil, há pesquisas que testam o cultivo multitrófico com outras espécies de peixes, moluscos bivalves e algas. No Estado do Maranhão não há modelo de IMTA. No entanto, há potencial para a implantação deste sistema visto que já existe o desenvolvimento da carcinicultura marinha e ostreicultura como atividades isoladas.

## REFERÊNCIAS

- Antonio, Í., Sousa, A., Lenz, T., Funo, I., Lopes, R., & Figueiredo, M. (2021). Reproductive cycle of the mangrove oyster, *crassostrea rhizophorae* (Bivalvia: Ostreidae) cultured in a macrotidal high-salinity zone on the amazon mangrove coast of brazil. *Acta Amazonica*, 51(2), 113–121. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202003582>
- Antonio, Í. G., Brito Freire, T., Gomes, H. M., Da, T., & Lima, C. (2019). Produção de Ostra Nativa em Primeira Cruz-MA. *Revista Práticas em Extensão São Luís*, 03 (01), 27-41.

Biswas, G., Kumar, P., Ghoshal, T. K., Kailasam, M., De, D., Bera, A., Mandal, B., Sukumaran, K., & Vijayan, K. K. (2020). Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) outperforms conventional polyculture with respect to environmental remediation, productivity and economic return in brackishwater ponds. *Aquaculture*, 516. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734626>

Biswas, G., Kumar, P., Kailasam, M., Ghoshal, T. K., Bera, A., & Vijayan, K. K. (2019). Application of Integrated Multi Trophic Aquaculture (IMTA) Concept in Brackishwater Ecosystem: The First Exploratory Trial in the Sundarban, India. *Journal of Coastal Research*, 86(sp1), 49–55. <https://doi.org/10.2112/S186-007.1>

Carvalho, T. L., Cacho, J. C. S., Souza, R. S., Morais, J. A., Wandeness, A., Carlos, M. T. L., Wainberg, A. A., Souza-Santos, L. P., & Ribeiro, F. A. S. (2019). Integrating of the seahorse *Hippocampus reidi* in multi-trophic organic farms of oysters and shrimp: Effects of density and diet. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 54(1), 43–50. <https://doi.org/10.22370/rbmo.2019.54.1.1465>

Chopin T, Buschmann AH, Halling C, Troell M, Kautsky N, Neori A, Kraemer GP, Zertuche JA, Yarish C, Neefus C. 2001. Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: A key toward sustainability. *J. Phycol.* 37:975-986. Doi: 10.1046/j.1529-8817.2001.01137.x

Chopin, T., Cooper, J. A., Reid, G., Cross, S., & Moore, C. (2012). Open-water integrated multi-trophic aquaculture: Environmental biomitigation and economic diversification of fed aquaculture by extractive aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 4(4), 209–220. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2012.01074.x>

Costa, L. C. de O., Poersch, L. H. da S., & Abreu, P. C. (2021). Biofloc removal by the oyster *Crassostrea gasar* as a candidate species to an Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) system with the marine shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 540. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736731>

FAO. 2022. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul*. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>

Ferreira, M. W. M., Santos Ferreira, A. N., Ferreira de Carvalho, B. L., Cavalcante Bezerra, J. H., Silva de Brito, P., Guimarães, E. C., Sousa Soares, J. A. L., Santos de Castro, C. U., De Andrade, T. P., & Santos, J. P. (2023). Carcinicultura no estado do maranhão: evolução e perspectivas futuras. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, 14(1), 36–45. <https://doi.org/10.18817/repesca.v14i1.3046>

Fonseca, T., David, F. S., Ribeiro, F. A. S., Wainberg, A. A., & Valenti, W. C. (2017). Technical and economic feasibility of integrating seahorse culture in shrimp/oyster farms. *Aquaculture Research*, 48(2), 655–664. <https://doi.org/10.1111/are.12912>

Funo, I. C. da S. A., Gomes Antonio, Í., Ferreira Marinho, Y., & Olivera Gálvez, A. (2015). Influência da salinidade sobre a sobrevivência e crescimento de *Crassostrea gasar*. 41(4), 837–847.

Funo, I. C. Da S. A. (2016). AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS PRODUTIVOS E BIOLÓGICOS DA OSTRINA NATIVA *Crassostrea gasar* (ADANSON, 1757) COMO SUBSÍDIO AO DESENVOLVIMENTO DA OSTREICULTURA EM AMBIENTES ESTUARINOS DO ESTADO DO MARANHÃO. 2016. 122f. Tese de doutorado ( Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

Fróis, A. M., F. (2016). *Aquacultura Multi-trófica Integrada em Tanques de Terra*. Dissertação de mestrado (Fundação para Ciência Tecnologia), Universidade de Lisboa, Portugal. 86f.

Hargrave, M. S., Nylund, G. M., Enge, S., Pavia, H. (2022). Co-cultivation with blue mussels increases yield and biomass quality of kelp. *Aquaculture* 550, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737832>

IBGE. (2022). Pecuária-aquicultura. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/18/16459>. Acesso em: 09 de fevereiro de 2024.

Ibrahim, A. N. A. F., Castilho-Noll, M. S. M., & Valenti, W. C. (2023). Zooplankton community dynamics in response to water trophic state in integrated multitrophic aquaculture. *Boletim Do Instituto de Pesca*, 49. <https://doi.org/10.20950/1678-2305/bip.2023.49.e730>

Kerrigan, D., & Suckling, C. C. (2018). A meta-analysis of integrated multitrophic aquaculture: extractive species growth is most successful within close proximity to open-water fish farms. In *Reviews in Aquaculture* (Vol. 10, Issue 3, pp. 560–572). <https://doi.org/10.1111/raq.12186>

Khanjani, M. H., Zahedi, S., & Mohammadi, A. (2022). Integrated multitrophic aquaculture (IMTA) as an environmentally friendly system for sustainable aquaculture: functionality, species, and application of biofloc technology (BFT). In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 29, Issue 45, pp. 67513–67531). <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22371-8>

Kumara, R., Syamala, K., Anand, P. S. S., Chadha, N. K., Sawant, P. B., Prasad, M. S., Doddamani, P. L., & Muralidhar, A. P. (2023). Effect of Bivalves on Water Quality, Microbial Load and Growth Performance of *P. vannamei* and *M. cephalus* in Halophyte-based Integrated Multi-trophic Aquaculture Reared under Pond Conditions. *Indian Journal of Animal Research*, 57(8), 988–994. <https://doi.org/10.18805/IJAR.B-5123>

Lima, P. C. M. de, da Silva, A. E. M., da Silva, D. A., de Oliveira, C. Y. B., Severi, W., Brito, L. O., & Olivera Gálvez, A. (2022). Use of recirculation and settling chamber in synbiotic multi-trophic culture of *Crassostrea* sp. with *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*, 53(18), 6626–6640. <https://doi.org/10.1111/are.16132>

Lima, P. C. M., Silva, A. E. M., Silva, D. A., Silva, S. M. B. C., Brito, L. O., & Gálvez, A. O. (2021). Effect of stocking density of *Crassostrea* sp. in a multitrophic biofloc system with *Litopenaeus vannamei* in nursery. *Aquaculture*, 530. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735913>

Loayza-Aguilar, R. E., Huamancondor-Paz, Y. P., Saldaña-Rojas, G. B., & Olivros-Ramirez, G. E. (2023). Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA): Strategic model for sustainable mariculture in Samanco Bay, Peru. In *Frontiers in Marine Science* (Vol. 10). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1151810>

Lopes, V. H. P. (2021). Policultivo integrado multitrófico do camarão-rosa *Farfantepenaeus paulensis* (Decapoda: Penaeidae) com a ostra-do-mangue *Crassostrea brasiliiana* (Bivalvia: Ostreidae) em sistema de bioflocos. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Paulista. 47f.

Martins, S. R. F. A. (2017). Implementation of a Laboratorial Integrated Multitrophic Aquaculture System (IMTA) for European Seabass, Sea Urchin and Seaweed Production. 111f. Dissertação de mestrado. Universidade do Porto, Departamento de Biologia, Faculdade de Ciências. Porto.

Mazón-Suástegui, J. M., Arcos-Ortega, G. F., Contreras-Mendoza, C. N., Medina-Sánchez, J. R., Chávez-Villalba, J., Lodeiros, C., Cruz-Flores, R., & López-Carvallo, J. A. (2022). Enhanced growth of the pleasure oyster *Crassostrea corteziensis* cultured under integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) concept, using farm effluents of shrimp *Penaeus vannamei*. *Aquaculture Research*, 53(15), 5214–5226. <https://doi.org/10.1111/are.16005>

Naskar, S., Biswas, G., Kumar, P., De, D., Sawant, P. B., Das, S., & Roy, U. (2022). Effects of estuarine oyster, *Crassostrea cuttackensis* as the extractive species at varied densities on productivity and culture environment in brackishwater integrated multi-trophic aquaculture (BIMTA) system. *Aquaculture*, 554. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738128>

Naspirán-Jojoa, D. C., Fajardo-Rosero, A. G., Ueno-Fukura, M., & Collazos-Lasso, L. F. (2022). Perspectivas de una producción sostenible en acuicultura multitrófica integrada (IMTA): Una revisión. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 69(1). <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v69n1.101539>

Nissar, S., Bakhtiyar, Y., Arafat, M. Y., Andrabi, S., Mir, Z. A., Khan, N. A., & Langer, S. (2023). The evolution of integrated multi-trophic aquaculture in context of its design and components paving way to valorization via optimization and diversification. In *Aquaculture* (Vol. 565). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.739074>

Omont, A., Elizondo-González, R., Quiroz-Guzmán, E., Escobedo-Fregoso, C., Hernández-Herrera, R., & Peña-Rodríguez, A. (2020). Digestive microbiota of shrimp *Penaeus vannamei* and oyster *Crassostrea gigas* co-cultured in integrated multi-trophic aquaculture system. *Aquaculture*, 521. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735059>

Rosa, J., Lemos, M. F. L., Crespo, D., Nunes, M., Freitas, A., Ramos, F., Pardal, M. Â., & Leston, S. (2020). Integrated multitrophic aquaculture systems – Potential risks for food safety. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 96, pp. 79–90). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.008>

Santos, E. S. dos. (2020). Acompanhamento do cultivo orgânico do camarão *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) na empresa Primar Aquacultura Ltda. Curso de Engenharia de Pesca, pela Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, Unidade Ensino Penedo.

Scopel, Bruno Ricardo O potencial biotecnológico da halófitas Batis maritima (Bataceae) e o desenvolvimento de um bioprocesso em aquicultura multitrófica integrada / Bruno Ricardo Scopel - 2019. 64 folhas: il., fig., tab. Orientador: Ranílson de Souza Bezerra Coorientadora: Márcia Vanuza da Silva Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas. Recife, 2019

Siqueira, T. V. De. (2017). AQUICULTURA: A NOVA FRONTEIRA PARA AUMENTAR A PRODUÇÃO MUNDIAL DE ALIMENTOS DE FORMA SUSTENTÁVEL. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental*, 17, 1–8.

Suplicy, F. M. (2021). Cultivo de ostras em travesseiros flutuantes: uma nova técnica para maricultores de Santa Catarina. *Agropecuária Catarinense*, 34(1), 16–18.

Tullberg, R. M., Nguyen, H. P., & Wang, C. M. (2022). Review of the Status and Developments in Seaweed Farming Infrastructure. In *Journal of Marine Science and Engineering* (Vol. 10, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/jmse10101447>

Yeh, S. L., Dahms, H. U., Chiu, Y. J., Chang, S. J., & Wang, Y. K. (2017). Increased production and water remediation by land-based farm-scale sequentially integrated multi-trophic aquaculture systems—An example from southern Taiwan. *Sustainability (Switzerland)*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/su9122173>

Zamora, L. N., Yuan, X., Carton, A. G., & Slater, M. J. (2018). Role of deposit-feeding sea cucumbers in integrated multitrophic aquaculture: progress, problems, potential and future challenges. In *Reviews in Aquaculture* (Vol. 10, Issue 1, pp. 57–74). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1111/raq.12147>

Zhang, J., Zhang, S., Kitazawa, D., Zhou, J., Park, S., Gao, S., & Shen, Y. (2019). Bio-mitigation based on integrated multi-trophic aquaculture in temperate coastal waters: Practice, assessment, and challenges. In *Latin American Journal of Aquatic Research* (Vol. 47, Issue 2, pp. 212–223). Escuela de Ciencias del Mar. <https://doi.org/10.3856/vol47-issue2-fulltext-1>