



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE
E BIOTECNOLOGIA –REDE BIONORTE



***Centropomus undecimalis* ORIUNDOS DA COSTA NORTE DO BRASIL:
BIOECOLOGIA ALIMENTAR, REPRODUÇÃO, ELEMENTOS-TRAÇO
NA MUSCULATURA E BIOINFORMÁTICA PARA ANÁLISE
INTEGRADA**

ISA ROSETE MENDES ARAUJO NASCIMENTO

São Luís - MA

2022

ISA ROSETE MENDES ARAUJO NASCIMENTO

***Centropomus undecimalis* ORIUNDOS DA COSTA NORTE DO BRASIL:
BIOECOLOGIA ALIMENTAR, REPRODUÇÃO, ELEMENTOS-TRAÇO NA
MUSCULATURA E BIOINFORMÁTICA PARA ANÁLISE INTEGRADA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede BIONORTE, da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia.

Orientadoras: Prof.^a Dr.^a Raimunda Nonata Fortes Carvalho Neta e Prof.^a Dr.^a Zafira da Silva de Almeida
(*in memoriam*)

São Luís

Dezembro – 2022

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Nascimento, Isa Rosete Mendes Araujo.

Centropomus undecimalis oriundos da Costa Norte do Brasil: bioecologia alimentar, reprodução, elementos-traço na musculatura e bioinformática para análise integrada / Isa Rosete Mendes Araujo Nascimento. - 2022.
182 f.

Orientador(a): Raimunda Nonata Fortes Carvalho Neta.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Rede - Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal/ccbs, Universidade Federal do Maranhão, São Luís-MA, 2022.

1. Bioecologia. 2. Bioinformática. 3. Elementos-traço. 4. Reprodução. 5. Robalo. I. Carvalho Neta, Raimunda Nonata Fortes. II. Título.

ISA ROSETE MENDES ARAUJO NASCIMENTO

***Centropomus undecimalis* oriundos da Costa Norte do Brasil:** bioecologia alimentar, reprodução, elementos-traço na musculatura e bioinformática para análise integrada

Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia - Rede BIONORTE, da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para a obtenção do Título de Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia.

Aprovada em: 20/12/2022.

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 RAIMUNDA NONATA FORTES CARVALHO NE
Data: 14/02/2023 18:49:14-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.^a Dr.^a Raimunda Nonata Fortes Carvalho Neta (Orientadora)
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) – Presidente da Banca

Documento assinado digitalmente
 LIGIA TCHAICKA
Data: 15/02/2023 08:05:35-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr.^a Lígia Tchaicka
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) – Membro

DEBORA
MARTINS SILVA
SANTOS:
40753310325
 Assinado digitalmente por DEBORA MARTINS SILVA SANTOS:40753310325
DN: C=BR, O=ICP-Brasil, OU=AC SOLUTI Multipla v5, OU=3552240600190, OU=Presencial, OU=Certificado PF A1, CN=DEBORA MARTINS SILVA SANTOS:40753310325
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização: sua localização de assinatura aqui
Data: 2023.02.16 14:48:05-03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 11.2.1

Prof.^a Dr.^a Débora Martins Silva Santos
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) – Membro

Documento assinado digitalmente
 VERONICA MARIA DE OLIVEIRA
Data: 17/02/2023 22:17:35-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr.^a Verônica Maria de Oliveira
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) – Membro

Documento assinado digitalmente
 DEBORA BATISTA PINHEIRO SOUSA
Data: 17/02/2023 19:29:17-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr.^a Débora Batista Pinheiro Sousa
Universidade Federal do Maranhão (UFMA) – Membro

“Dizem que a vida é para quem sabe viver, mas ninguém nasce pronto. A vida é para quem é corajoso o suficiente para se arriscar e humilde o suficiente para aprender”.

(Clarice Lispector)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, que me concedeu a graça de conquistar mais um nível de conhecimento e aprimoramento profissional, guiando-me, protegendo-me e me abençoando em cada etapa desta caminhada.

Aos meus amados, Humberto Mendes Nascimento (marido), Marina Letícy (filha) e Marco Antônio (filho), por serem a base para a realização dos meus sonhos. Eu amo vocês!

Aos meus adorados pais, Sonia Regina M. Araujo (*in memoriam*) e Alexandre Araujo Neto, e aos meus queridos irmãos, Alesson, Rafael e Letícia, pelo carinho, pelo incentivo e pelas orações. Também à minha tia-mãe, Divanilda H. Araujo (*in memoriam*), pelo amor incondicional dedicado a mim. Agradeço aos meus familiares maternos e paternos pelas orações e contribuições financeiras.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA) /Campus Centro Histórico, aos amigos, alunos e servidores desta instituição, que autorizaram meu afastamento para cursar o doutorado.

À minha orientadora, Zafira da Silva de Almeida (*in memóriam*), que aceitou o desafio de dividir comigo esse sonho e me auxiliou na construção do meu projeto de tese e nas logísticas de campo, laboratório e suporte financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

À minha orientadora, Raimunda Nonata Fortes Carvalho Neta, por sua atenção, sua positividade, sua paciência, seu apoio financeiro e sua dedicação ao desenvolvimento desta pesquisa, aprimorando-a com seus conhecimentos inovadores.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal-REDE BIONORTE do Maranhão e suas coordenações, pelo apoio logístico e financeiro que auxiliaram na minha formação como doutora.

Ao corpo docente do Programa de Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia, pelo suporte intelectual, pelo incentivo e pela riqueza de conhecimentos concedidos a nós doutorandos.

Às instituições UEMA, FAPEMA e CAPES, pelo financiamento das análises laboratoriais terceirizadas e pelo apoio financeiro para a tradução e a publicação de artigos.

Aos colaboradores desta tese, Ana Luíza, Ádila, Cléa, Delon, Lorrane, Karla Nunes Fernanda, Fabiene, Hozana, Jéssica, Alexandre e Rosana Azevedo, Adriana Nascimento, Yanna Cruz, Débora Batista, Christiane Mota, Gabriel Costa, Jorge Nunes e à equipe de Histologia do LAMP/UEMA, pelos ensinamentos, pelos debates de resultados e pelo suporte incondicional nas análises biológicas, químicas, bioestatísticas e histológicas.

A todas (os) as professoras (es) e pesquisadoras (es) do Laboratório de Pesca e Ecologia Aquática - LabPEA, do Laboratório de Biomarcadores em Organismos Aquáticos - LABOAq e do Laboratório de Biologia Molecular - LabMOL da Universidade Estadual do Maranhão, que auxiliaram nos procedimentos de campo e nas análises laboratoriais desta tese.

Aos inesquecíveis colegas do BIONORTE - Turma 2019, pelo apoio nos momentos de dúvidas e aflição. Gratidão especial aos amigos: Luís Jorge Dias, Jadson Santos, Keyton Coelho, Érick Guimarães, Cristian Lima, Thércia Monroe, Deranilde Santana, Karla Caroline, Marcos Bispo, Pâmella Raio de Luar, Itatiane, Anildes, Jéssica, Ennio Costa, Ângelo Santiago, Hetty Salvino e Liliane, pelos momentos de trocas de informações e descontração.

A todos os colegas e conhecidos que ajudaram comprando meus peixes e colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho. Muito obrigada! Vocês fazem parte da minha conquista.

APRESENTAÇÃO

Apresento, neste documento, os resultados e a discussão da minha tese de doutorado, divididos em quatro artigos científicos.

O primeiro artigo versa sobre a **Bioecologia alimentar e reprodutiva como subsídio para o cultivo do peixe *Centropomus undecimalis* (Teleostei: Centropomidae) no Brasil: uma revisão sistemática**, publicado no mês de dezembro/2021, na Revista *Research, Society and Development* (Anexo 1). Este capítulo foi construído a partir de revisões de literatura e pensado para conhecermos um pouco mais dos estudos sobre a ecologia alimentar e a biologia reprodutiva do robalo desenvolvidos aqui no Brasil, visando sugerir como estratégia de conservação o cultivo da espécie em cativeiro no Maranhão.

No segundo artigo, descrevemos os estudos sobre os **Indicadores quantitativos da biologia reprodutiva de *Centropomus undecimalis* (Teleostei: Centropomidae) da Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba, costa norte do Brasil**, publicado na Revista *Boletim do Instituto de Pesca*. Este trabalho destaca aspectos sobre conhecimento da biometria, relação peso-comprimento, primeira maturidade sexual, índices biológicos, alometria, histologia gonadal, período reprodutivo e sugestões para o ordenamento pesqueiro desta espécie.

O terceiro artigo aborda estudos sobre os **Elementos-traço nos músculos do robalo *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792), capturados em áreas impactadas por vazamento de óleo na Costa Amazônica do Maranhão (Brasil)**. Este trabalho está em processo de avaliação na Revista *Scientific Report* e faz parte de um estudo que foi incorporado a esta tese no final de 2019, após capturarmos um exemplar de robalo oleado (óleo cru) e verificar que o aspecto das amostras de peixes capturados (após o vazamento de óleo que ocorreu na costa do Brasil em 2019) estavam com a qualidade comprometida.

O quarto artigo desenvolvido para esta tese descreve **O uso da bioinformática como ferramenta facilitadora para estudos da biologia reprodutiva de peixes**, em que um protótipo de um software denominado *Ictiodados* foi criado para analisar dados quantitativos sobre a reprodução de peixes. Esta ferramenta foi elaborada utilizando o *Centropomus undecimalis*, como modelo biológico, mas poderá ser aplicada a qualquer espécie de peixe. O artigo sobre este capítulo encontra-se em fase de submissão.

NASCIMENTO, Isa Rosete Mendes Araújo. *Centropomus undecimalis* oriundos da costa nortedo Brasil: bioecologia alimentar, reprodução, elementos-traço na musculatura e bioinformáticapara análise integrada. 2022. 182 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia - REDE BIONORTE) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2022.

RESUMO

A Costa Norte do Brasil abriga uma valiosa biodiversidade ictiofaunística, com aproximadamente 274 espécies distribuídas ao longo do litoral maranhense. No entanto, existem espécies que ainda carecem de dados sobre sua biologia, ecologia e qualidade para consumo. Esta pesquisa teve por objetivo conhecer a bioecologia, a biologia reprodutiva, a qualidade do músculo do robalo *Centropomus undecimalis* para o consumo humano após o vazamento de óleo ocorrido na costa do Brasil em 2019 e criar uma ferramenta integrativa para a organização de dados reprodutivos dos peixes com o uso da bioinformática. Para o conhecimento da bioecologia, fez-se o levantamento de dados pretéritos em artigos com temas afins e compilados os resultados para subsidiar estratégias de cultivo da espécie em cativeiro no Maranhão. Nos estudos de biologia reprodutiva, obteve-se exemplares da pesca comercial e procedeu-se à análise laboratorial de todo o processo reprodutivo. Posteriormente, avaliaram-se dados biométricos, relação peso-comprimento, proporção sexual, comprimento de primeira maturação (L_{50}), índices biológicos e pico reprodutivo do robalo. Para o conhecimento da qualidade do peixe para consumo, avaliou-se a presença de elementos-traço no músculo do robalo. As amostras foram analisadas e os dados obtidos foram comparados com as legislações internacionais. Com o uso da bioinformática, criou-se o protótipo do software *ictiodados* que utiliza informações sobre biometria e reprodução do robalo (mas que pode ser aplicada a qualquer peixe a posteriori). Os resultados bioecológicos mostram que ainda é necessário avaliar mais o custo-benefício para o cultivo do robalo em cativeiro. A biologia reprodutiva aponta que o pico reprodutivo da espécie analisada no Maranhão ocorre nos meses de fevereiro, maio e novembro. A análise dos elementos-traço indicou uma contaminação do músculo do robalo por Al, Sn, Pb and Ba e níveis alterados de B, Cu, Cr, Fe, Mo, Ni, V and Zn. No que tange ao uso da bioinformática, o protótipo do software *ictiodados* foi elaborado no intuito de organizar e disponibilizar o acesso aos dados por gestores ambientais e pesquisadores e podem ser promissores para dar celeridade ao acesso a informações reprodutivas dos peixes.

Palavras-chave: Centropomidae; ecologia; biologia reprodutiva; metais; software.

NASCIMENTO, Isa Rosete Mendes Araújo. *Centropomus undecimalis* from the north coast of Brazil: food bioecology, reproduction, trace elements in musculature and bioinformatics analysis for integrated plants. 2022. 182 f. Thesis (Doctorate in Biodiversity and Biotechnology- REDE BIONORTE) – State University of Maranhão, São Luís, 2022.

ABSTRACT

The North Coast of Brazil harbors a valuable ichthyofaunistic biodiversity with approximately 274 species distributed along the coast of Maranhão. However, there are species that still lack data on their biology, ecology and quality for consumption. This research aimed to know the bioecology, reproductive biology, the quality of the muscle of the bass *Centropomus undecimalis* for human consumption after the oil spill that occurred in 2019 and to create an integrative tool for organizing reproductive data of fish using bioinformatics. For the knowledge of bioecology, past data were collected in articles with similar themes and we compiled the results to support strategies for the cultivation of the species in captivity in Maranhão. In reproductive biology studies, specimens were obtained from commercial fishing and laboratory analysis of the entire reproductive process was carried out.. Subsequently, biometric data, weight-lengthratio, sex ratio, length at first maturation (L50), biological indices and reproductive peak of basswere evaluated. For the knowledge of the quality of the fish for consumption, the presence of trace elements in the bass muscle was evaluated. The samples were analyzed and the data obtained were compared to international legislations. With the use of bioinformatics, the prototype of the software “ictiodados” was created, which uses information on biometrics and reproduction of bass (but which can be applied to any fish later). The bioecological results showthat it is still necessary to further evaluate the cost-benefit for the cultivation of bass in captivity.Reproductive biology indicates that the reproductive peak of sea bass in Maranhão occurs in the months of February, May and November. The analysis of trace elements indicated a contamination of the sea bass muscle by Al, Sn, Pb and Ba and altered levels of B, Cu, Cr, Fe,Mo, Ni, V and Zn. Regarding the use of bioinformatics, the prototype of the 'ictiodados' software was developed in order to organize and provide access to data by environmental managers and researchers and may be promising to speed up access to fish reproductive information.

Keywords: Centropomidae; ecology; reproductive biology; metals; software.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 0-1 - Robalo <i>Centropomus undecimalis</i>	17
Figura 0-2 - (A) Seleção de <i>C. undecimalis</i> no Mercantil do Peixe para envio a São Paulo e Brasília; (B) Comercialização do robalo no Porto; (C) Pesca esportiva do robalo. Imagens obtidas em Tutóia-MA	18
Figura 0-1 - Períodos reprodutivos do robalo-flecha <i>Centropomus undecimalis</i> segundo a percepção de pescadores amadores do estado de São Paulo.....	34
Figura 0-1 - Red dots and lines indicate the city of Tutoia (where the capture and commercialization of common snook of the species and the Environmental Protection Area of the Parnaíba Delta with their demarcation.....	46
Figura 0-2 - (A) Correlation between total weight and total length. (B) Correlation between total weight and total length for males. (C) Correlation between total weight and total length for females.....	51
Figura 0-3 - Gonadal histology of <i>Centropomus undecimalis</i> females. A - Ovigerous lamellae with immature oocytes (1); B - Oocytes at stage B of maturation (2); C - Mature oocytes with spawning capacity (3); D - Atresic follicle (4)	53
Figura 0-4 - Estimated mean duration of the first sexual maturation (L50) of the common snook population.....	54
Figura 0-5 - Comparison between means of Δ GSR in females per month of collection	54
Figura 0-6 - Comparison between means of Δ K per month of collection.....	55
Figura 0-1 - Maranhão's coast map, northern coast of Brazil, with emphasis on the city of Tutóia, MA	70
Figura 0-2 - Oiled fish caught off the coast of Maranhão in October 2019. Female measuring 60cm in Total Length	73
Figura 0-1 - Mapa da área de estudo destacando com pontos de localização a faixa de captura das amostras (de Travosa ao Delta do Parnaíba) e com um círculo vermelho o município de Tutóia, local de compra dos exemplares de robalo <i>C. undecimalis</i> na costa norte do Br	93
Figura 0-2 - Ilustração do menu principal do protótipo “Ictiodados”	98
Figura 0-3 - Ilustração da tela de localização geográfica do software.....	99
Figura 0-4 - Ilustração da tela sobre histologia gonadal.....	100
Figura 0-5 - Ilustração da tela de cadastro do peixe	100

Figura 0-6 - Ilustração da tela do protótipo com informações sobre a biologia do peixe em estudo.....	101
Figura 0-7 - Tela indicadores biométricos, onde serão gerados os gráficos com as informações descritas no cadastro dos peixes	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista de artigos analisados e selecionados	30
Tabela 2 - Analysis of the biometrics of common snook fish sampled in the municipality of Tutoia - MA according to sex	49
Tabela 3 - Summary of reproductive data of <i>C. undecimalis</i> captured in Tutoia-MA	49
Tabela 4 - Frequency analysis of the maturation stage as a function of the months of collection of the common snook sampled in the municipality of Tutoia – MA	52
Tabela 5 - Analysis of biometric indices of the common snook sampled in the city of Tutóia, Maranhão. Where: GSI = gonadosomatic index; HSI = hepatosomatic index; VSI = vicerosomatic index	55
Tabela 6 - Comparations between the reference values and the averages detected in the samples.....	55
Tabela 7 - Correlations between the condition factor and the concentration of trace elements in common snook muscle samples in the city of Tutóia, MA, after an oil spill accident.....	73
Tabela 8 - Average concentrations of essential trace elements detected in common snook muscle samples collected in the city of Tutóia, MA, after an oil spill accident.....	74
Tabela 9 - Average concentrations of non-essential trace elements detected in common snook muscle samples in the city of Tutóia, MA, after an oil spill accident.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAS/GH - Equipamento: Atomic Absorption Spectroscopy with graphite furnace
APA - Área de Proteção Ambiental
BAC - Brazilian Amazon Coast
CF - Comprimento furcal
CP - Comprimento padrão
CT - Comprimento total
DL ou LD - Limite de detecção
EPA Method – Environmental Process for Analytical Methods Process
FCD – Fase de capacidade de desova
FD – Fase de desenvolvimento
FI – Fase imatura
FR – Fase de Regressão
FRG - Fase de Regeneração
GSI ou IHS - Índice Gonadossomático
HSI ou IHS - Índice Hepatossomático
IPC/OES - Equipamento: atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma
IUCN - do inglês, International Union for Conservation of Nature (União Internacional de Conservação da Natureza)
PG - Peso da gonada
PT - Peso total
Pv - Peso da Víscera
QL ou LQ - Limite de Quantificação
VSI ou IVS - Índice Vicerossomático
WHO - do inglês, World Health Organization (Organização Mundial de Saúde - OMS)

LISTA DE SÍMBOLOS

ΔK - Fator de condição

ΔIGS - Relação do índice gonadosomático para identificar o período reprodutivo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivo geral.....	16
1.2 Objetivos específicos.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 As potencialidades do robalo <i>Centropomus undecimalis</i> como recurso pesqueiro	17
2.2 Bioecologia de peixes	19
2.3 O vazamento de óleo cru no litoral nordeste brasileiro e seus efeitos em peixes	21
2.4 A biologia computacional integrada ao conhecimento científico	23
CAPÍTULO I – Bioecologia alimentar e reprodutiva como subsídio para o cultivo do peixe <i>Centropomus undecimalis</i> (Teleostei: Centropomidae) no Brasil: uma revisão sistemática	
CAPÍTULO II – Quantitative indicators of the reproductive biology of adult specimens of <i>Centropomus undecimalis</i> (Teleosteo: Centropomidae) obtained from commercial fishermen in the Parnaíba Delta Environmental Protection Area, north coast of Brazil	43
CAPÍTULO III - Trace elements in the muscles of the Common Snook <i>Centropomus Undecimalis</i> (Pisces, Centropomidae), captured in a Bay on the north coast of Brazil in the largest Delta of the Americas	68
CAPÍTULO IV - Uso da bioinformática para o desenvolvimento do protótipo “Ictiodados” como ferramenta facilitadora para análises biométricas e reprodutivas em peixes.....	91
7 CONCLUSÕES PARCIAIS GERAIS	105
REFERÊNCIAS	107
APÊNDICES	127
ANEXOS	160

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma das maiores zonas costeiras do planeta, com aproximadamente 8.500 km de extensão, dos quais 2.975 km fazem parte da Costa Amazônica Brasileira (Brazilian Amazon Coast - BAC), composta pelos estados do Amapá, Pará e Maranhão (PEREIRA *et al.*, 2009) (BRASIL, 2018). Essa região é um dos centros pesqueiros mais importantes do país devido à sua alta produtividade (STRIDE *et al.*, 1992) (LESSA *et al.* 1999a) (MARCENIUK *et al.*, 2019) (COELHO *et al.*, 2021).

Segundo dados da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN) (2018), o Brasil assumiu diversos compromissos para proteger a biodiversidade marinha em 2017. Entre esses compromissos estariam visitar e atualizar as áreas prioritárias de conservação da biodiversidade, mapeando os ecossistemas costeiros e marinhos, como também melhorar a pesca e outros regulamentos de extração de recursos naturais nos ecossistemas costeiros e marinhos. No entanto, a utilização dos recursos pesqueiros tem se tornado insustentável, visto que a porcentagem dos estoques que estão dentro dos níveis biologicamente sustentáveis diminuiu de 90% em 1974 para 65,5% em 2017 (FAO, 2021).

O estado do Maranhão, do ponto de vista biológico, tem uma posição geográfica privilegiada. A região é caracterizada por elevada diversidade de paisagens que, nos ambientes continentais, é refletida em uma biodiversidade peculiar (NUNES; PIORSKI, 2011). Porém, acidentes ocasionados por ações antrópicas, tais como pesca excessiva, desmatamentos, contaminação dos ambientes aquáticos, entre outros, têm colocado as espécies em risco em todos os tipos de ambientes em que elas ocorrem (DIAS *et al.*, 2017) (SILVA *et al.*, 2021).

Em agosto de 2019, grandes quantidades de petróleo espalhadas por correntes marinhas foram detectadas ao longo de todo o Nordeste e parte do Litoral Sudeste do Brasil, atingindo aproximadamente 1.000 localidades (LOURENÇO *et al.*, 2020). Apesar de suas proporções e do dano ambiental causado, que pode perdurar por gerações, as empresas de petróleo que operam em águas brasileiras não relataram acidentes com derramamento de óleo, sendo que ainda não foram esclarecidos questionamentos sobre a quantidade de petróleo liberada, sua origem, quando, onde e como ocorreu o derramamento (LAWAND *et al.*, 2021) (LOURENÇO *et al.*, 2020). No Maranhão, o derramamento de óleo afetou várias cidades, inclusive municípios, como Tutóia e Travosa, onde alguns organismos marinhos foram contaminados pelo óleo, entre eles o robalo ou camurim *C. undecimalis* (BLOCH, 1792) que é a espécie-alvo abordada nesta tese.

Os robalos são encontrados em águas marinhas, estuarinas e, em menor abundância, em água doce. O uso desses ambientes está relacionado ao seu ciclo de vida, principalmente às fases de crescimento (CERQUEIRA, 2005) (BRAME *et al.*, 2014) (VIEIRA, 2017), de modo que essa espécie é considerada anádroma, ou seja, um peixe que migra entre água doce e salgada durante parte de seu ciclo (RIEDE, 2004) (SILVANO *et al.*, 2006) (FORTES *et al.*, 2014).

C. undecimalis são peixes de alto valor comercial, capturados pela pesca artesanal, industrial e em pescarias recreativas (MOTTA *et al.*, 2016). Esta espécie tem uma grande relação com o ambiente estuarino, visto que necessita dele para sua alimentação e a maturidade sexual, o que inclui o processo de hermafroditismo protândrico em que os machos, em determinado momento do seu desenvolvimento, sofrem transição sexual e se transformam em fêmeas (SOUZA, 2011) (VIDAL LOPES *et al.*, 2019).

O estudo da biologia reprodutiva proporciona uma análise mais segura sobre o potencial pesqueiro de um ambiente, embora seja necessário o conhecimento de vários outros fatores que influenciam no comportamento das espécies (SANTOS *et al.*, 2003) (SILVA *et al.*, 2021). Além disso, a importância comercial de uma espécie gera exploração em excesso desse recurso pesqueiro (GARRONE-NETO *et al.*, 2018). Este aspecto precisa ser avaliado em *C. undecimalis*, visto que as fêmeas do robalo, geralmente, possuem maior ganho de peso que os machos e podem ficar mais suscetíveis à captura, o que pode impactar na manutenção do ciclo reprodutivo dessa espécie. Segundo Cardoso *et al.* (2018), os resultados desse tipo de abordagem servirão de base para o uso de estratégias de conservação da espécie, um fator de extrema necessidade para que haja exploração racional e determinação de medidas protetivas à manutenção dos estoques pesqueiros. Como esses estudos geram muitos resultados, atualmente tem se utilizado *software*s bancos de dados computacionais para auxiliar na organização e na disponibilização das informações para os gestores ambientais (CARVALHO NETA, 2010). Sendo assim, o uso da bioinformática ganha força, pois cria um novo cenário tecnológico para a coleta e o tratamento de dados necessários à realização de pesquisas (GALAN; VERNETTE, 2000) (SCHONLAU, 2001). Nesse contexto, a nossa hipótese na presente tese de doutorado é a seguinte: uma abordagem capaz de integrar a bioinformática e os estudos tradicionais de biologia reprodutiva pode apontar o período do defeso de *C. Undecimalis* de forma automatizada, indicando as possibilidades de cultivo da espécie e indicação de possíveis alterações em órgãos dos peixes que sejam oriundas de contaminação por óleo cru (oriundo de acidente com vazamento de petróleo na costa do Brasil em 2019).

1.1 Objetivo geral

Analisar indicadores da bioecologia alimentar e reprodutiva de *C. undecimalis* oriundo da costa norte do Brasil, reunindo as informações de modo integrado em um software que facilite a análise de dados biológicos, bem como identificando a presença de elementos-traço no músculo dos peixes.

1.2 Objetivos específicos

- a) Identificar dados bibliográficos sobre a bioecologia alimentar e reprodutiva do robalo no Brasil para subsidiar estratégias de cultivo da espécie;
- b) Quantificar os indicadores de biologia reprodutiva do robalo no Maranhão, gerando recomendações mais seguras para o ordenamento pesqueiro da espécie;
- c) Analisar a presença de elementos-traço no músculo do *C. undecimalis* após o vazamento de óleo ocorrido em 2019 na costa brasileira;
- d) Elaborar o protótipo de um software com o uso da bioinformática para análise de atributos ecológicos e reprodutivos dos peixes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 As potencialidades do robalo *C. undecimalis* como recurso pesqueiro

Os robalos (Figura 1), pertencentes à família Centropomidae, são peixes bastante procurados por pescadores esportivos e profissionais devido à emoção da captura e ao alto valor de sua carne (DA SILVEIRA MENEZES, 2012) (BARRELLA *et al.*, 2016) (MOTTA *et al.*, 2016) (MOLITZAS *et al.*, 2019).

Figura 0-1 – Vista lateral de *C. undecimalis*



Fonte: Pereira *et al.* (2020)

As espécies do gênero *Centropomus* habitam águas costeiras rasas, estuários e lagunas costeiras, algumas vezes penetrando a água doce (BARLETTA; CORRÊA, 1992) (FAO, 2002) (RABELO *et al.*, 2009), de modo que o uso desses ambientes está relacionado ao seu ciclo de vida, principalmente às fases de crescimento (CERQUEIRA, 2005) (BRAME *et al.*, 2014) (VIEIRA, 2017). Estes peixes possuem distribuição desde os Estados Unidos até o sul do Brasil; além disso, possuem alto valor comercial e grande aceitação no mercado, com importância para a pesca artesanal e a pesca amadora (figura 2), e são utilizados na aquicultura (RIVAS, 1986) (FIGUEIREDO-FILHO *et al.*, 2021).

Figura 0-2 – Potencialidades do *C. undecimalis* (A) Seleção do Peixe para envio a São Paulo e Brasília; (B) Comercialização do robalo no Porto; (C) Pesca esportiva do robalo. Imagens obtidas em Tutóia-MA



Fontes: (A e B) Nascimento; Coelho (2019) e (C) Nascimento (2021)

Centropomus undecimalis tem capacidade de sobrevivência em águas com baixa salinidade, sendo propício ao seu desenvolvimento tanto em água doce como em água salobra e com baixo índice de oxigenação (AGER *et al.*, 1976) (PETERSON; GILMORE, 1991) (PEREIRA *et al.*, 2015 e 2020). Essa flexibilidade de adaptação a diferentes variações de salinidade é que tem permitido a criação de estratégias para o cultivo do robalo que podem favorecer a disponibilidade desse recurso pesqueiro para a comercialização, tendo em vista que se trata de uma espécie de alto valor comercial (LIEBL *et al.*, 2016) (NASCIMENTO *et al.*, 2021).

Os robalos são predadores que ocupam altos níveis na trama trófica (FIGUEIREDO; MENEZES, 1980) e, segundo Marshall (1958), Rivas (1962), Chavéz (1963), Rabelo *et al.* (2009) e Souza *et al.* (2021), o *C. undecimalis* possui preferência por peixes e crustáceos. Estudos de Vasconcelos-Filho, Azevedo e Alves (1980), Vasconcelos-Filho e Galiza (1980) e Mendonça (2004) confirmaram esses resultados tanto em ambiente natural quanto em ambiente de cultivo.

Em geral, o recurso pesqueiro brasileiro tem potencial para atrair pescadores do mundo todo, principalmente nas águas continentais, estuarinas e costeiras que abrigam muitas espécies de peixes considerados esportivos, o que proporciona inúmeras oportunidades para a atividade (BRASIL, 2011). No entanto, em virtude da ausência de dados sobre estatística pesqueira há mais de uma década e da falta de fiscalização das atividades de pesca e desembarques para promover monitoramento dos estoques (FREIRE *et al.*, 2021), torna-se difícil mensurar todas as oportunidades que a atividade de pesca pôde trazer para o Brasil.

Os diversos estudos realizados com o *C. undecimalis* no Brasil e no mundo mostram que este recurso pesqueiro tem potencialidades para a pesca comercial, a pesca esportiva e para o cultivo em cativeiro. Entretanto, a pesca esportiva tem recebido, atualmente, uma atenção maior, pois gera trabalho e renda para as famílias de pescadores de pequenas comunidades que aplicam seus conhecimentos sobre os recursos pesqueiros nessa nova prática (BARCELLINI *et al.*, 2013) (LAURELLI *et al.*, 2021). Além disso, é uma das atividades de turismo e lazer mais praticadas em todo o mundo, envolvendo uma série de serviços como transporte, alimentação e hospedagem adquiridos pelos pescadores esportivos (BARCELLINI *et al.*, 2013).

No entanto, essas duas modalidades de pesca requerem organização e planejamento para prevenir impactos negativos sobre o estoque pesqueiro e o ambiente (RAMIRES; MOLINA, 2004). A produção em cativeiro, embora seja também uma potencialidade do *C. undecimalis*, que visa aumentar a produtividade e promover estratégias para a conservação da espécie, é um ramo que ainda carece de estudos mais amplos quanto ao custo-benefício de seu cultivo, seu ciclo reprodutivo e as taxas de natalidade e mortalidade em cativeiro.

2.2 Bioecologia de peixes

À medida que avançam os conhecimentos científicos e as técnicas de estudos biológicos vão evoluindo, ocorre um esclarecimento maior sobre as relações entre as espécies. Nesse contexto, a bioecologia é um estudo que contribui para aprimorar os conhecimentos sobre a biologia e a ecologia de diversos seres vivos (SZPILMAN, 2000) (NASCIMENTO *et al.*, 2021).

Os peixes exercem importante papel ecológico na ciclagem de nutrientes, no controle de insetos vetores, na manutenção da cadeia trófica, ou ainda, na disseminação de sementes (HOLMLUND; HAMMER, 1999) (SILVA *et al.*, 2021). Os peixes ósseos possuem fecundação externa e podem apresentar desova total ou múltipla (parcelada). Além disso, segundo Selman e Wallace (1989) e Vazzoler (1996), os ovócitos podem ser eliminados de forma sincrônica, possuindo um, dois ou acima de dois lotes de ovócitos maduros dentro dos ovários, para serem liberados sincronicamente ou de forma assincrônica, na qual não formam lotes dentro dos ovários, possuem ovócitos em todas as fases de desenvolvimento e são liberados assim que atingem a maturação. Nas fêmeas e machos dos teleósteos, a gametogênese tem início no epitélio germinativo (epitélio das lamelas ovarianas ou epitélio dos túbulos seminíferos, respectivamente) a partir das oogônias ou espermatogônias (GRIER, 2002).

O processo de reprodução dos peixes se desenvolve conforme o ciclo de maturação sexual dos adultos. De acordo com Ciechomski (1981) e com Nunes e Piorski (2011), o aparecimento dos ovos e larvas (ictioplâncton) de espécies distintas de peixes no mar está intimamente relacionado com o ciclo anual de maturação sexual dos adultos.

A maioria dos teleósteos marinhos libera um grande número de ovos transparentes, pequenos e flutuantes na água. Esses ovos são fertilizados externamente, desenvolvem-se e eclodem à deriva no mar. As larvas também são pequenas e, geralmente, possuem uma pequena reserva de vitelo com os nutrientes necessários ao seu desenvolvimento nas primeiras horas ou nos primeiros dias após eclodirem (POUGH *et al.*, 2003) (SENAR, 2017).

A reprodução é uma atividade sazonal, em que as etapas acontecem geralmente no mesmo período (LAGLER *et al.*, 1962) cujo processo depende das interações entre fatores bióticos e abióticos, resultando em um determinado comportamento fisiológico dos peixes (CANTANHÊDE *et al.*, 2016). Segundo Carvalho *et al.* (2021), por terem compartimento reprodutivo cíclico com períodos mais ou menos regulares, a desova dos peixes normalmente coincide com a estação favorável para que os jovens possam crescer e sobreviver.

Tais informações foram também constatas por Bazzoli (2003):

A reprodução dos peixes é cíclica, correspondendo a um período de repouso intercalado por períodos de atividade sexual, os quais finalizam com o surgimento de nova prole. No período de repouso, as gônadas estão com tamanho reduzido, contendo apenas células gametogênicas em fases iniciais de desenvolvimento. Com o progresso do ciclo, elas acumulam espermatozoides ou ovócitos vitelogênicos até alcançarem o pico no momento da reprodução. Em razão do acúmulo dessas células, as gônadas sofrem mudanças radicais em sua constituição, alterando sua aparência e peso. O ciclo reprodutivo dos peixes está vinculado às variações de temperatura e ao regime de chuvas (BAZZOLI, 2003).

Com base nessa informação, percebe-se que o estudo da biologia reprodutiva agrega descobertas que permitem aos pesquisadores a criação de estratégias para o uso sustentável das espécies ícticas. Esse conhecimento é essencial para preservação, manutenção e manejo de estoques pesqueiros (VAZZOLER, 1996) (LOPES, 2009) (SANTOS, 2014).

Segundo Souza *et al.* (2007), conhecer as informações sobre o desenvolvimento gonadal, o período e o ambiente de desova, além dos dados biométricos em que os indivíduos iniciam o processo reprodutivo, faz parte dos estudos sobre reprodução. Para Santos *et al.* (2003), além dos atributos acima mencionados, é preciso levar em consideração os fatores abióticos que também podem influenciar no comportamento das espécies durante seu ciclo reprodutivo. Dessa forma, o processo reprodutivo indica não somente a dinâmica reprodutiva de determinada espécie, mas também demonstra as condições em que está o ambiente,

representando um importante instrumento de ordenamento pesqueiro (CANTANHÊDE *et al.*, 2016) (SILVA *et al.*, 2021).

Na costa norte do Brasil, mais especificamente na região que vai da Costa Amazônica Maranhense (Litoral Ocidental) até o Litoral Oriental maranhense (Litoral Setentrional), registra-se uma ampla produtividade pesqueira. Para que haja a conservação dos estoques de peixes nessa região, são necessárias informações relacionadas a biologia, ecologia e, em especial, às análises dos parâmetros reprodutivos dos peixes, os quais são importantes de serem investigadas haja vista que podem subsidiar programas que possibilitem a exploração racional (SANTOS *et al.*, 2003) (BARBIERI, 2010) (DINIZ *et al.*, 2020).

Outro fator importante ao desenvolvimento dos peixes é a sua nutrição, que deve ser adequada para cada estágio de vida dos peixes. Dessa forma, garantimos a presença de descendentes viáveis e saudáveis no ambiente (SENAR, 2017). Antes de um ciclo reprodutivo, os peixes se alimentam para obter reservas de energia que serão gastas na reprodução; sendo assim, pode-se dizer que o conhecimento sobre a dieta alimentar de peixes é fundamental para fornecer dados sobre habitat, disponibilidade de alimento no ambiente e mesmo sobre alguns aspectos do comportamento da espécie (SOUZA *et al.*, 2021).

A ecologia alimentar de uma determinada espécie faz parte e interfere diretamente na dinâmica de sua população, sendo primordial para a conservação do ecossistema como um todo (VIRTULE; ARANHA, 2002). Portanto, conhecer a alimentação natural dos peixes é fundamental para entender melhor assuntos como a ecologia trófica das comunidades, transferência de energia dentro e entre ecossistemas, que também é uma poderosa ferramenta para a ecologia de conservação e gestão (ZAVALA-CAMIN, 1996) (LIMA *et al.*, 2016), bem como para verificar se os itens de sua dieta foram afetados por eventos ambientais.

No caso da ocorrência de contaminação do ambiente, é importante ressaltar que os metais pesados liberados de fontes naturais e antropogênicas podem atingir o ambiente marinho, passar por vários ciclos biogeoquímicos e serem bioacumulados e biomagnificados ao longo da cadeia alimentar (ATWELL *et al.*, 1998), afetando alimentos consumidos pelos peixes e, conseqüentemente, em razão da sua persistência, sua meia-vida biológica longa e sua toxicidade potencial representarem um sério risco para os seres humanos pela exposição à ingestão periódica de alimentos (BORTEY-SAM *et al.*, 2015).

2.3 O vazamento de óleo cru no litoral nordeste brasileiro e seus efeitos em peixes

O Brasil concentra as maiores redes hidrográficas dos neotrópicos, que apresentam alta biodiversidade aquática, compreendendo cerca de 20% de todas as espécies de peixes de água doce do mundo (BUCKUP *et al.*, 2007). Sob a ótica conservacionista, o Brasil pode ser considerado um berçário para essa biodiversidade aquática (REIS *et al.*, 2003). No entanto, o país tem sofrido graves impactos e os ambientes naturais vêm sofrendo uma rápida destruição, tanto no Brasil quanto no mundo, principalmente derivada de ações antrópicas (BROOK *et al.*, 2006) (LAURENCE, 2007) (COSTA *et al.*, 2012).

Em agosto de 2019, a população do litoral do Nordeste e do Sudeste brasileiro foi surpreendida com o aparecimento de diversas manchas escuras de óleo no mar e em suas praias (RICHETTI; MILARÉ, 2021). Segundo informações da Marinha do Brasil, as manchas de óleo atingiram mais de 4 mil quilômetros de extensão da costa, mais de 800 localidades e, desde então, mais de 5 mil toneladas de resíduos oleosos foram retiradas dessas regiões litorâneas (MARINHA DO BRASIL, 2019a).

De acordo com informações da Marinha do Brasil (2019b), tratou-se de um acontecimento “sem precedentes na história do combate à poluição no mar” no país, devido à sua extensão e ao tempo de espalhamento.

O derramamento de óleo na costa do Brasil, que atingiu especialmente o Nordeste, no ano de 2019, ficou conhecido como o maior desastre dessa natureza na história do país. Acidentes deste tipo não são inéditos; no entanto, esse episódio apresentou enorme proporção onde 11 estados, 130 municípios e mais de 1000 localidades foram atingidas por manchas ou resíduos de óleo. Considerando a extensão desse desastre ambiental, associado às peculiaridades da biodiversidade brasileira, calcula-se um inestimável prejuízo à fauna e às áreas de proteção (DISNER; TORRES, 2020).

Na perspectiva de tentar conter os efeitos deixados pela contaminação com óleo cru, muitos voluntários se sensibilizaram e organizaram mutirões de limpeza para a remoção do material. Além disso, conforme Richetti e Milaré (2021), o desastre ambiental mobilizou também comunidades locais, cientistas, universidades, organizações não-governamentais e órgãos do governo, como a Marinha do Brasil, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

O óleo cru é uma mistura rica de diversos elementos químicos que podem ser tóxicos para os seres vivos (HARR *et al.*, 2018). Sua presença no meio ambiente é uma ameaça, muitas vezes com ação em longo prazo, em algumas ocasiões remediáveis (PENNINGTS *et al.*, 2014). Devido aos episódios de vazamentos e seus impactos, os acidentes relacionados ao óleo cru em regiões marítimas se constituem com uma das fontes mais conhecidas de poluição (HARR *et*

al., 2018). A exposição do ecossistema marinho ao óleo cru abrange efeitos cascata, afetando a biodiversidade (FILHO, 2020).

A contaminação por óleo está entre os principais impactos descritos para a fauna de peixes, especialmente nas áreas protegidas do Brasil. Os efeitos negativos deixados pelo desastre no ano de 2019 afetaram milhares de pescadores artesanais e prejudicaram o turismo e os empreendimentos pequenos e médios, tais como restaurantes, em toda região atingida (RICHETTI; MILARÉ, 2021).

Os impactos ao ecossistema são incalculáveis. Além das praias, também foram atingidos manguezais, recifes e áreas de proteção ambiental. Entre os animais oleados encontrados e registrados pelo IBAMA, estão peixes, répteis, aves e, principalmente, tartarugas marinhas. Estas últimas são encontradas em dez dos doze estados litorâneos do Nordeste e do Sudeste (IBAMA, 2020).

Vale ressaltar que os componentes tóxicos que acometem os peixes podem bioacumular ou biomagnificar nos seres humanos por meio do seu consumo, gerando problemas graves de saúde no futuro. O petróleo bruto é composto por uma mistura complexa, rica em toxinas, incluindo metais pesados (PENA *et al.*, 2019). Em um ambiente contaminado por petróleo bruto e/ou seus derivados, metais como Cr, Mn, Cu, Ni, V e Pb são capazes de causar sérios problemas, a exemplo lesões renais, neurotoxicidade, carcinogenicidade e imunotoxicidade, conforme especifica a Agency for Toxic Substances and Disease - USA (2009).

Portanto, estudos que identifiquem a qualidade dos peixes para consumo humano após o vazamento são de extrema relevância para a saúde coletiva. Nesse contexto, torna-se urgente o incentivo a pesquisas científicas em áreas afetadas por vazamentos e sob risco de contaminação, a fim de monitorar em curto, médio e longo prazos as possíveis alterações da interação do óleo cru no ecossistema aquático (FILHO, 2020).

2.4 A biologia computacional integrada ao conhecimento científico

Nas últimas duas décadas, a bioinformática se tornou intrínseca à pesquisa em ciências da vida no mundo todo (ATTWOOD *et al.*, 2019). Nesse período, o uso de tutoriais e demonstrações da aplicação de alguns pacotes de *software* baseados em *web* têm se estabelecido e evoluído como uma estratégia para ampliar o uso da bioinformática (ZYLBERGELD *et al.*, 2020). A bioinformática é um campo da biologia relacionada à computação e está experimentando um rápido desenvolvimento devido à necessidade de manipular-se grandes

quantidades de informações provenientes do trabalho de professores e pesquisadores (KLEIN, 2014).

Isto se deve ao crescimento acelerado e ao aumento maciço de base de dados de diferentes tamanhos e conteúdos, à proliferação de pesquisas altamente específicas e ferramentas de modelagem, ao avanço de algoritmos, à definição de novos domínios/motivos biológicos e à melhoria de gráficos interativos (DAVIES *et al.*, 2019).

Segundo Pevzner; Shamir (2011), a bioinformática se tornou parte essencial da biologia moderna, principalmente quando se realizam pesquisas biológicas. As ferramentas de biologia computacional têm sido usadas por biólogos moleculares, bioquímicos, ecólogos, ambientalistas, cientistas da computação, médicos, entre outros (KLEIN, 2014).

Atualmente a bioinformática é imprescindível para a manipulação dos dados biológicos. Ela pode ser definida como uma modalidade que abrange todos os aspectos de aquisição, processamento, armazenamento, distribuição, análise e interpretação da informação biológica (SANTOS; ORTEGA, 2014).

Com o constante avanço da ciência e das tecnologias, percebe-se a necessidade de elaboração de estratégias que facilitem e acelerem a análise dos dados por estudantes, professores, pesquisadores e gestores ambientais que utilizam essas informações de forma integrada. Nesse sentido, elas têm emergido na tentativa de superar os desafios impostos pela acelerada produção de informações e conhecimentos, tornando-se uma aliada em diferentes áreas das Ciências Biológicas (ATTWOOD *et al.*, 2019) (BROWN, 2016) (DAVIES *et al.*, 2019) (ZYLBERGELD *et al.*, 2020). Nesse cenário, são necessários estudos que visem usar dados tradicionais sobre a biologia reprodutiva de peixes com a abordagem da bioinformática. A criação de protótipos tem importância fundamental para os estudos da ictiofauna visto que não existem no mercado softwares com esse formato e originalidade. Além disso, as informações a serem disponibilizadas servirão como base para que gestores ambientais e pesquisadores possam se embasar na tomada de decisões.

CAPÍTULO I – BIOECOLOGIA ALIMENTAR E REPRODUTIVA COMO SUBSÍDIO PARA O CULTIVO DO PEIXE *Centropomus undecimalis* (TELEOSTEI: CENTROPOMIDAE) NO BRASIL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Food and reproductive bioecology as a subsidy for the cultivation of the fish *Centropomus undecimalis* (Teleostei: Centropomidae) in Brazil: a systematic review.

Bioecología alimentaria y reproductiva como subvención para el cultivo del pez *Centropomus undecimalis* (Teleostei: Centropomidae) en Brasil: una revisión sistemática.

Revista: Research, Society and Development
Status: Publicado

Recebido: 25/11/2021 | Revisado: 04/12/2021 | Aceito: 11/12/2021 | Publicado: 19/12/2021.

Isa Rosete Mendes Araújo Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0170-765X>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Brasil

E-mail: isabio@ifma.edu.br

Jadson Pinheiro Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7521-8835>

Universidade Estadual do Maranhão, Brasil

E-mail: jadsonsantos@professor.uema.br

Jéssica Pereira Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6917-8531>

Universidade Estadual do Maranhão, Brasil

E-mail: jessicapires1002@gmail.com

Raimunda Nonata Fortes Carvalho-Neta

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3519-5237>

Universidade Estadual do Maranhão, Brasil

E-mail: raifortes@gmail.com

Zafira da Silva Almeida

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8295-5040>

Universidade Estadual do Maranhão, Brasil

E-mail: zafiraalmeida@gmail.com

Resumo

Diversos estudos têm sido realizados no Brasil com diferentes enfoques para as avaliações bioecológicas do *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792), peixe conhecido vulgarmente como robalo ou camurim. Esses estudos discorrem sobre a dinâmica populacional da espécie a partir de dados como peso, idade/crescimento, dieta alimentar e reprodução. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi realizar uma revisão de literatura sobre a bioecologia alimentar e reprodutiva como subsídio para o cultivo do *C. undecimalis* no Brasil. Tal revisão foi realizada de forma sistemática, tendo como suporte a biblioteca digital da Scielo (Scientific Electronic Library Online), o Google Scholar e a ResearchGate, contendo os seguintes descritores em português: “*Centropomus undecimalis*”, “robalo”, “camurim”, “robalo-flecha”, “bioecologia”, “hábito alimentar”, “dieta”, “reprodução”, “biologia

reprodutiva” e “aspectos reprodutivos”, com o auxílio dos operadores booleanos “and”, “or” e “and not”, no período compreendido entre 2006 e 2021. Foram identificados 728 artigos relacionados a diferentes aspectos da bioecologia do *C. undecimalis*, dentre os quais foram selecionados 24 artigos, identificados como elegíveis para esta revisão sistemática, em razão de estarem publicados em revistas nacionais. Os resultados mostram que o robalo é um peixe carnívoro com tendência piscívora, o que fornece uma ampla compreensão e exigência nutricional da espécie para a elaboração de rações balanceadas. Além disso, os resultados da pesquisa revelam que no Brasil, os estudos que descrevem e caracterizam a reprodução, além dos sistemas de cultivo para os robalos, ainda são escassos.

Palavras-chave: alimentação; ecologia de peixes; recurso pesqueiro; reprodução; robalo.

Abstract

Several studies have been carried out in Brazil with different approaches for the bioecological evaluations of *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792), a fish commonly known as common snook or sea bass. These studies discuss the population dynamics of the species based on data such as weight, age/growth, diet and reproduction. In this context, the aim of this study was to carry out a literature review on food and reproductive bioecology as a subsidy for the cultivation of *C. undecimalis* in Brazil. This review was carried out systematically, with support from the *Scielo digital library (Scientific Electronic Library Online)*, *Google Scholar* and *ResearchGate*, containing the following descriptors in portuguese: “*Centropomus undecimalis*”, “sea bass”, “camurim”, “common snook”, “bioecology”; “eating habits”, “diet”, “reproduction”, “reproductive biology” and “reproductive aspects”, with the help of Boolean operators “and”, “or” and “and not”, in the period between 2006 and 2021. A total of 728 articles related to different aspects of *C. undecimalis*, among which only 24 articles were selected, identified as eligible for this systematic review, as they were published in national and international journals. The results show that sea bass is a carnivorous fish with a piscivorous tendency, which provides a broad understanding and nutritional requirement of the species for the preparation of balanced rations. Furthermore, they reveal that, in Brazil, studies that describe and characterize reproduction, in addition to the cultivation systems for common snook, are still scarce.

Keywords: feeding; fish ecology; fishery resource; reproduction; common snook.

Resumen

En Brasil se han realizado varios estudios con diferentes enfoques para las evaluaciones bioecológicas de *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792), un pez comúnmente conocido como róbalo o lubina. Estos estudios discuten la dinámica poblacional de la especie basándose en datos como peso, edad / crecimiento, dieta y reproducción. En este contexto, el objetivo de este estudio fue realizar una revisión de la literatura sobre bioecología alimentaria y reproductiva como un subsidio para el cultivo de *C. undecimalis* en Brasil. Esta revisión se llevó a cabo de manera sistemática, con el apoyo de la biblioteca digital *Scielo (Scientific Electronic Library Online)*, *Google Scholar* y *ResearchGate*, que contiene los siguientes descriptores en portugués: “*Centropomus undecimalis*”, “sea bass”, “camurim”, “róbalo flecha”, “bbioecología”, “hábitos alimenticios”, “dieta”, “reproducción”, “biología reproductiva” y “aspectos reproductivos”, con la ayuda de operadores booleanos “y”, “o” y “y no”, en el período comprendido entre 2006 y

2021. Se identificaron un total de 728 artículos relacionados con diferentes aspectos de *C. undecimalis*, de los cuales solo se seleccionaron 24 artículos, identificados como elegibles para esta revisión sistemática, ya que fueron publicados en revistas nacionales e internacionales. Los resultados muestran que lo róbalo es un pez carnívoro con tendencia piscívora, lo que proporciona un amplio conocimiento y requerimiento nutricional de la especie para la elaboración de raciones balanceadas. Además, revelan que, en Brasil, aún son escasos los estudios que describen y caracterizan la reproducción, además de los sistemas de cultivo de lo róbalo.

Palabras clave: alimentación; ecología de peces; recurso pesquero; reproducción; róbalos.

1 Introdução

O levantamento de dados e a análise dos aspectos bioecológicos dos peixes aprimoram estudos voltados ao conhecimento de sua biologia populacional, alimentação, crescimento, reprodução, recrutamento e mortalidade (Vaz-Do-Santos *et al.*, 2007) (Pereira *et al.*, 2015). Aliados à caracterização dos *habitats* que compõem o ecossistema, esses estudos se tornam fundamentais aos planos de manejo das espécies, bem como para o desenvolvimento de pacotes tecnológicos para o cultivo em cativeiro, em especial para o *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792), espécie que possui grande valor comercial a partir da exploração pela pesca artesanal, industrial e em pescarias recreativas (Motta *et al.*, 2016).

Conhecer a alimentação natural dos peixes é fundamental para a melhor compreensão de assuntos como a ecologia trófica das comunidades e a transferência de energia dentro e entre ecossistemas, sendo estas uma poderosa ferramenta ecológica para a biologia da conservação, para a gestão pesqueira (Zavala-Camin, 1996) (Lima *et al.*, 2016) (Barros *et al.*, 2021) e para a elaboração de rações nutricionalmente balanceadas. Em paralelo, os estudos sobre a biologia reprodutiva fornecem dados de grande relevância para que se possa pensar em ordenamentos pesqueiros e gestão adequada da ictiofauna (Almeida *et al.*, 2010), possibilitando ainda a produção de formas jovens em cativeiro.

C. undecimalis é a espécie mais amplamente distribuída do gênero, ocorrendo desde a Carolina do Norte (EUA), Golfo do México e Antilhas até Santa Catarina, ocasionalmente atingindo o Rio Grande do Sul, no Brasil (Figueiredo-Filho *et al.*, 2021). Conhecida popularmente no Maranhão como camurim (ou camorim), robalo-flexa (ou flecha) ou robalo preto, e nos países de língua inglesa como *common snook* (MPA, 2012), essa espécie apresenta hábito alimentar carnívoro e diversas características que a qualificam para a piscicultura, com bom ajuste ao cativeiro e facilidade na aceitação de alimentos, com boa taxa de conversão alimentar, e para a pesca esportiva pela voracidade com que atacam as iscas; característica

marcante em espécies de peixes carnívoros (Alvarez-Lajonchère; Tsuzuki, 2008) (Cerqueira; Tsuzuki, 2009).

Normalmente, os indivíduos de *C. undecimalis* habitam ambientes estuarinos e toleram uma ampla variedade de salinidade, o que torna a espécie classificada como eurialina, por se aclimatar bem tanto no mar quanto em águas continentais (Santos, 2014). É exatamente essa flexibilidade de adaptação a diferentes variações de salinidade que tem permitido a criação de estratégias para o cultivo do robalo, as quais podem favorecer a disponibilidade desse recurso pesqueiro para a comercialização, haja vista que se trata de uma espécie de alto valor comercial (Liebl *et al.*, 2016).

Diante da importância do *C. undecimalis* em toda a zona costeira brasileira, objetivou-se com esta revisão de literatura levantar e comparar aspectos básicos sobre a bioecologia alimentar e reprodutiva enquanto subsídio ao cultivo dessa espécie no Brasil, visto que o conhecimento sobre suas características bioecológicas são de suma importância para que se possa estabelecer um ordenamento pesqueiro e uma gestão adequada do recurso, visando garantir a conservação da espécie.

2 Metodologia

2.1 Estratégia de busca e critérios de elegibilidade

A revisão bibliográfica foi realizada de forma sistemática mediante o uso da biblioteca digital da *Scientific Electronic Library Online (Scielo)*, *Google Scholar* e *ResearchGate*, contendo os seguintes descritores em português: “*Centropomus undecimalis*”, “robalo”, “camurim”, “robalo-flecha”, “bioecologia”, “hábito alimentar”, “dieta”, “reprodução”, “biologia reprodutiva” e “aspectos reprodutivos”. Para auxiliar a pesquisa, foram utilizados os operadores booleanos, “and”, “or” e “and not”, além do filtro “ano de publicação” delimitando somente os trabalhos publicados nos anos de 2006 a 2021, a fim de que fosse estabelecida uma análise comparativa criteriosa entre os autores ao longo dos últimos 15 anos.

Seguindo esse parâmetro, foram identificados 728 artigos relacionados a diferentes aspectos da bioecologia do *C. undecimalis*, mas foram selecionados apenas 24 artigos, os quais foram identificados como elegíveis para esta revisão sistemática, uma vez que foram publicados em revistas nacionais e internacionais. Ademais, vale destacar que foram excluídos do critério adotado teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso.

Primeiramente, os artigos foram filtrados pela leitura dos títulos e, em seguida, pelos resumos. Após as triagens, os artigos que atenderam aos critérios de busca passaram pela etapa de análise de conteúdo com a leitura completa, sendo posteriormente organizados em tabela em ordem cronológica contendo os principais tipos de estudo, o estado brasileiro onde a pesquisa foi realizada e os principais resultados em cada artigo. Este estudo se trata de uma pesquisa qualitativa e quantitativa segundo metodologias descritas por Ludke e Andre (2013) e Estrela (2018).

3 Resultados e Discussão

Na tabela 1, a seguir, são mostrados os artigos com as características de cada estudo, abrangendo os autores e o ano de publicação, o estado do Brasil, os tipos de estudos bioecológicos, a base de dados e o resultado principal da pesquisa. De modo geral, observou-se um aumento no número de publicações sobre o tema a partir de 2012, representando cerca de 75% dos artigos analisados, com destaques mais recentes para a possibilidade de produção do robalo em cativeiro visando a conservação da espécie.

Tabela 1 - Lista de artigos analisados e selecionados

Autor(es)/Ano	Estado	Base de dados	Tipo de estudo realizado	Resultado principal
Vaz-dos-Santos (2007)	SP	Google Scholar	Bioecologia e Gestão da Pesca	O Brasil carece de uma gestão pesqueira mais competente.
Barroso <i>et al.</i> (2007)	SC	Google Scholar	Alimentação de peixes de cultivo	Alevinos de Tilápia para peixes de cultivo.
Anni e Pinheiro (2009)	SC	Google Scholar	Hábito Alimentar	Peixes, crustáceos e insetos dependendo do tamanho.
Rabelo <i>et al.</i> (2009)	PE	Google Scholar	Hábito Alimentar	Peixes, insetos e vegetais.
Nascimento <i>et al.</i> (2010)	RN	Google Scholar	Bioecologia	Peixes e crustáceos.
Araújo <i>et al.</i> (2011)	PE	Scielo	Aparato Bucal e Gastrintestinal	Pequenos copépodos e diferentes decápodos.
Nora <i>et al.</i> (2012)	RJ	ResearchGate	Ecologia e Alimentação	Peixes de diferentes espécies.
Pereira <i>et al.</i> (2012)	SP	Google Scholar	Perspectivas para Pisciculturas Marinhas com robalos	O Brasil tem grande potencial para piscicultura de espécies marinhas.
Ferraz <i>et al.</i> (2013)	SC	Google Scholar	Cruzamentos Reprodutivos	Cruzamento Híbrido em Cultivo de Peva e Flecha.
Costa-Filho <i>et al.</i> (2013)	SP	Google Scholar	Cultivo dos robalos	Destaca a importância do cultivo do robalo, porém descreve que ainda há lacunas sobre o conhecimento da biologia reprodutiva dessa espécie.
Pereira <i>et al.</i> (2015)	PA	Google Scholar	Bioecologia alimentar e reprodutiva	Alimentação: peixes e crustáceos; Reprodução: alometria negativa e fator de condição ideal no mês de maio.
Costa Filho e Mello (2015)	CE	Google Scholar	Biometria, Crescimento e Alometria do robalo criado em cativeiro	Crescimento alométrico positivo e correlações positivas em juvenis de robalo-peva cultivados.
Herrera <i>et al.</i> (2016)	SP	Scielo	Crescimento e Alimentação	Ingerem Peixes Teleósteos.
Garcia e Vendel (2016)	PB	Google Scholar	Sobreposição Alimentar	Peixes, crustáceos e poliquetas.
Farias <i>et al.</i> (2017)	PE	Google Scholar	Bioecologia Reprodutiva	Não obteve sucesso com a produção experimental de híbridos de robalo-peva e flecha.
Lira <i>et al.</i> (2017)	PE	Google Scholar	Ecologia alimentar	Peixes Teleósteos e Crustáceos decápodes.
Pinto <i>et al.</i> (2018)	SE	Google Scholar	Espacialidades de capturas e aspectos da biologia dos robalos	Alometria positiva para as espécies estudadas e fator de condição no período seco para <i>C. undecimalis</i> .
Herrera <i>et al.</i> (2019)	SP	Scielo	Frequência alimentar em cultivo	Precisam se alimentar a cada duas horas.
Teixeira <i>et al.</i> (2019)	SP	Google Scholar	Aspectos Reprodutivos	Período reprodutivo de novembro a janeiro.
Souza e Souza (2019)	AM	Google Scholar	Produção de alevinos de <i>C. undecimalis</i> em cativeiro com alta salinidade	Possibilidades de produção em cativeiro visando conservação da espécie.
Silva <i>et al.</i> (2019)	SP	Google Scholar	Reprodução do robalo segundo etnoconhecimento de pescadores.	Período reprodutivo de novembro a maio.
Pereira <i>et al.</i> (2020)	PA	Google Scholar	Bioecologia	Peixes, crustáceos e insetos.
Fonseca <i>et al.</i> (2021)	PI	ResearchGate	Ecologia Alimentar	Carnívoro com dieta variada.
Souza <i>et al.</i> (2021)	MA	Google Scholar	Ecologia Alimentar	Peixes e crustáceos.

Fonte: Autores (2021)

3.1 Bioecologia alimentar do *Centropomus undecimalis* no Brasil

Dentre os 24 artigos descritos (tabela 1), 50% deles (12 artigos) versavam sobre a bioecologia da alimentação do *C. undecimalis*, sendo que os demais apresentaram uma mesclagem das discussões a partir de resultados acerca dos aspectos biométricos, reprodutivos e alimentares e da produção em cativeiro. A bioecologia alimentar de uma determinada espécie,

insta asseverar, influencia diretamente na sua dinâmica populacional, sendo indispensável para a conservação dos ecossistemas (Pereira *et al.*, 2015).

O autor Vaz-dos-Santos (2007) destaca que a bioecologia é um estudo das integrações obrigatórias entre os aspectos biológicos das espécies e suas relações com o ambiente. As análises realizadas por Rabelo *et al.* (2009), por sua vez, indicaram os peixes teleósteos como sendo os itens alimentares de maior importância em ocorrência (69,2%), seguidos de itens como insetos (7,7%) e vegetais (7,7%). Já Anni e Pinheiro (2009) constataram que espécimes de *C. undecimalis* menores que 35 cm apresentaram grande parte dos itens alimentares compostos por crustáceos, além de peixes e insetos, enquanto exemplares maiores que 40 cm se alimentam preferencialmente de peixes seguidos por crustáceos.

Nascimento *et al.* (2010) realizaram seus estudos com *C. undecimalis* no estuário do Potengi, em Natal (RN), e verificaram que a espécie se apresentou carnívora com tendência a piscívora, revelando uma dieta composta essencialmente por peixes (74%) e camarões (22%). Segundo os autores, esses peixes também apresentam grande potencial para criação em cultivo, pois possuem crescimento satisfatório, adaptação a ambientes salinos, carne de ótima qualidade e boa aceitação no comércio.

Nesse sentido, observa-se que o hábito alimentar do peixe é um importante indicador das relações ecológicas entre os organismos, podendo determinar as estratégias de coexistência de espécies afins. Araújo *et al.* (2011), no intuito de compararem o aparato bucal e o trato gastrintestinal de fases iniciais de desenvolvimento de *C. undecimalis* relacionando-os com a dieta alimentar, identificaram em seus resultados que as larvas (CP<10 mm) se alimentam de pequenos copépodos, enquanto os jovens (CP=11,1 a 64,7 mm) ingerem larvas de diferentes espécies de decápodos, evidenciando uma dieta diferenciada entre as duas fases iniciais de desenvolvimento. Enquanto isso, Nora *et al.* (2012) encontraram nos estômagos de juvenis de *C. undecimalis* analisados apenas peixes de diferentes espécies.

Estudos relacionados à bioecologia desse peixe também foram destacados por Pereira *et al.* (2015) e Garcia e Vendel (2016), indicando que o *C. undecimalis* — de um modo geral — tem preferência por peixes e crustáceos. Segundo Pereira *et al.* (2015), o robalo é também uma espécie oportunista, pois consome outros alimentos quando há escassez de seus itens preferenciais. Por sua vez, Lira *et al.* (2017) destacaram em seus estudos sobre a ecologia alimentar dos centropomídeos em dois estuários de Pernambuco e a dieta do *C. undecimalis*, em ambas as regiões, foi formada por peixes teleósteos e crustáceos (decápodes); neste caso, mostraram-se como carnívoros com tendência piscívora para as duas áreas de estudo.

Pereira *et al.* (2020), também estudando o robalo no estado do Pará, observaram que este se alimenta de peixes (81%), crustáceos (12%) e insetos (7%). Nos estudos de conteúdo alimentar com essa espécie, além dos itens mencionados na presente pesquisa, foram citados também moluscos como categoria alimentar adicional, apesar de ainda ter se observado a preferência por peixes. Estudos feitos por Souza *et al.* (2021) sobre a ecologia alimentar do *C. undecimalis* no Maranhão mostraram resultados semelhantes, sendo 79% de peixes e 21% de crustáceos.

Nesse sentido, fica ainda mais evidente a necessidade de se conhecer e compreender as características ecológicas locais, como a disponibilidade de alimentos (Caselle *et al.*, 2011), em decorrência da particularidade encontrada em cada uma das regiões, sendo de fundamental importância o monitoramento das características ecológicas associadas ao ambiente de estudo na tentativa de se evitar sobre-exploração dos estoques pesqueiros, de modo a contribuir mais eficazmente na implantação e na manutenção de estratégias de gestão dos recursos naturais, mesmo para espécies com *status* de *Leas Consern* (LC), caracterizadas como menos preocupantes na avaliação feita pela IUCN (2019).

De qualquer modo, o estabelecimento de pacotes tecnológicos para o cultivo da espécie depende do conhecimento sobre a bioecologia alimentar, como sugerido por Barroso *et al.* (2007) após descreverem um possível declínio do estoque do *C. undecimalis* na região do baixo Rio Doce/ES.

É possível notar (tabela 1) que o item “peixe” foi o alimento preferido dos robalos em diferentes estados brasileiros. Nesse contexto, o conhecimento da bioecologia do *C. undecimalis* se torna uma estratégia importante para o monitoramento do *status* populacional da espécie, auxiliando políticas públicas que visem evitar a depleção dos estoques pesqueiros nas diferentes regiões do Brasil, visto que favorece o manejo adequado da ictiofauna e um ordenamento da pesca do robalo.

3.2 Bioecologia reprodutiva do *Centropomus undecimalis* no Brasil

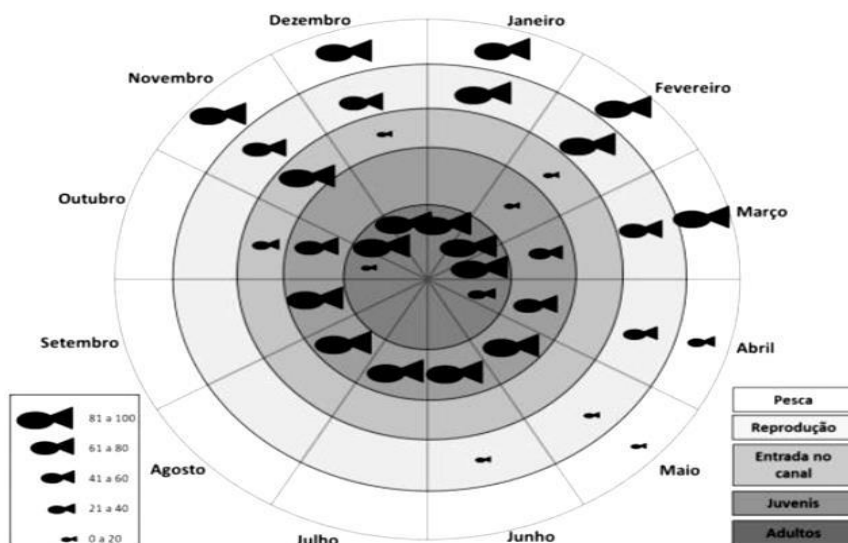
A bioecologia reprodutiva compreende aspectos que são de grande relevância desde o surgimento dos primeiros seres vivos na Terra, por permitirem o entendimento da importância dos processos reprodutivos como estratégia natural de geração de descendentes viáveis à perpetuação das espécies (Vazzoler, 1996) (Lowerre-Barbieri *et al.*, 2011). Além disso, os padrões de reprodução mudam de acordo com cada espécie e podem ser favorecidos ou prejudicados de acordo com as características ambientais.

A partir das buscas sistematizadas foi possível constatar que existem poucos trabalhos no Brasil que exploram a biologia do robalo *C. undecimalis*, contabilizando apenas 33,33% dos artigos selecionados. Possivelmente, o fato de ser uma espécie de alto valor comercial acaba inibindo a realização de pesquisas por elevar significativamente o custo para o estudo de sua biologia reprodutiva. Assim, a maioria dos trabalhos que envolvem estudos de biologia reprodutiva do *C. undecimalis* foram realizados na Flórida, no México, na Venezuela, na Colômbia, na Costa Rica e no Caribe, sendo analisados em ambientes marinhos, dulcícolas ou estuarinos dessas regiões; destacando-se também que o robalo é um peixe hermafrodita protândrico que pode reproduzir o ano todo, pois tem desova fracionada com um pico reprodutivo no mês de junho (Taylor *et al.*, 2000) (Caballero-Chávez, 2011) (Andrade *et al.*, 2013) (Gassman *et al.*, 2017). Já os estudos feitos no Brasil mostram diferença no pico reprodutivo dessa espécie (Silva *et al.*, 2019) (Nascimento *et al.*, 2021, no prelo).

Teixeira (2019) também realizou trabalhos com as espécies *C. parallelus*, *C. undecimalis* e *C. pectinatus*, com o objetivo de analisar aspectos da reprodução dessas espécies com base no conhecimento ecológico local dos pescadores esportivos da Reserva de Desenvolvimento Sustentável da Barra do Una (Peruíbe/SP), e verificou que apenas parte das informações obtidas dos pescadores em relação aos conhecimentos reprodutivos das espécies estudadas foi semelhante às da literatura. O autor observou, inclusive, que os pescadores tiveram mais dúvidas em relação aos peixes maiores, como o *C. undecimalis*, tendo em vista que 55% dos entrevistados afirmaram não saber distinguir machos e fêmeas, pois é complicado, segundo eles, descrever com precisão o sexo desse animal e a única maneira de comprovar essa informação é abrindo o peixe e extraíndo as ovas. Apesar das dificuldades relatadas, os pescadores informaram ainda que, normalmente, as fêmeas são sempre maiores e mais volumosas que os machos, e que o robalo-flecha tem seu período reprodutivo de novembro a janeiro.

Outra pesquisa etnobiológica com robalos desenvolvida por Silva *et al.* (2019) mostrou que a visão dos pescadores amadores em relação ao período reprodutivo do robalo-flecha indica que a espécie reproduz entre os meses de novembro e maio, com picos reprodutivos entre janeiro e fevereiro (figura 1), o que corrobora os dados da pesquisa de Nascimento *et al.* (2021, no prelo) sobre a biologia reprodutiva de *C. undecimalis* na costa amazônica maranhense. De modo geral, os pescadores amadores e profissionais conseguiram descrever os períodos biológicos das duas espécies de robalo (flecha e peva), demonstrando conhecimento ecológico que, em grande parte, coadunou com a literatura científica.

Figura 0-1 - Períodos reprodutivos do robalo-flecha *Centropomus undecimalis* segundo a percepção de pescadores amadores do estado de São Paulo



Fonte: Silva *et al.* (2019)

Pesquisas realizadas por Nascimento *et al.* (2010), no estuário do Rio Potengi/RN, indicaram que a população de robalo-flecha da região era composta na época principalmente por indivíduos machos e jovens imaturos. Ademais, foi verificado que como a espécie apresenta a protandria, ou seja, o indivíduo amadurece primeiro as gônadas masculinas e depois deixa de produzir espermatozoides e amadurece as gônadas femininas, este fator poderia contribuir mais precocemente para o processo reprodutivo e para a perpetuação da espécie. Nas populações da Flórida, a transição de macho para fêmea ocorre quando o peixe atinge 51 cm e 3,4 anos (Taylor *et al.*, 2000). No Brasil, essa informação ainda não foi confirmada em nenhum dos estudos realizados até o momento, talvez devido à dificuldade de captura do peixe no momento exato de sua transição.

Estudos feitos por Pereira *et al.* (2015), na Lagoa Salina, no Pará, indicaram que esse ambiente tem função de berçário no ciclo de vida do robalo-flecha, revelando uma grande importância enquanto função ecológica e econômica desse ambiente para o recrutamento do *C. undecimalis* na costa norte brasileira, área de grande produção pesqueira. Os autores também identificaram nessa região que a proporção sexual foi assimétrica devido à presença predominante de machos juvenis (imaturos), com destaque para a relação peso-comprimento do robalo-flecha que apresentou alometria do tipo negativa, ou seja, o incremento em comprimento foi inferior ao verificado em peso. Quando avaliados os valores mensais do fator de condição relativo (Kn), observou-se uma variação de 0,8972 a 1,1137, sendo os maiores valores registrados em maio e os menores em outubro, indicando assim que os robalos-flecha

capturados em maio apresentaram melhores condições fisiológicas que aqueles capturados em outubro.

É importante ressaltar ainda que, durante o ciclo de vida dos robalos, é preciso um tempo de reclusão, geralmente em estuários, para ganho de peso e preparação para reprodução (Sousa *et al.*, 2021). Nesse sentido, os estudos da bioecologia reprodutiva associada à alimentação desse animal fornecem dados importantes para o desenvolvimento de pacotes tecnológicos para o cultivo da espécie, pois revelam dados acerca do fator de condição da espécie no ambiente de estudo.

Sabendo-se que a reprodução é um processo pelo qual uma espécie se perpetua transmitindo a seus descendentes as mudanças ocorridas em seu genoma, o sucesso obtido por qualquer espécie é determinado, em última instância, pela capacidade de seus integrantes se reproduzirem em ambientes variáveis, mantendo populações viáveis (Vazzoler, 1996) (Lowerre-Barbieri *et al.*, 2011), sendo este um fator essencial para a disponibilização de formas jovens de modo eficiente a serem trabalhadas em sistemas de cultivo.

3.3 A importância da bioecologia como subsídio para o cultivo do *C. undecimalis* no Brasil

Os conhecimentos bioecológicos sobre o *C. undecimalis* abrem uma possibilidade para a elaboração de estratégias que favoreçam a manutenção de seus estoques e o aprimoramento das pesquisas científicas sobre esse recurso, sendo a criação do animal em tanques de cultivo uma dessas possibilidades.

Ferraz e colaboradores (2013) conduziram um experimento com uso de sêmen fresco e sêmen criopreservado, a partir de tecnologia especialmente desenvolvida para uma tentativa viável de produção de híbridos de centropomídeos, cruzando o robalo-peva (*Centropomus parallelus*) e o robalo-flecha (*Centropomus undecimalis*). Porém, os resultados mostraram que houve baixas taxas de fertilização e sobrevivência das larvas, o que impossibilitou a obtenção de alevinos dos híbridos pretendidos. Segundo Andrade *et al.* (2013), a eficiência reprodutiva de diferentes espécies de peixes depende de diversos fatores que atuam em conjunto para que a reprodução seja efetiva e produza grande número de larvas saudáveis. Entre esses fatores, estão o cuidado com o manejo e a manutenção dos reprodutores no período pré-reprodução, como alimentação e qualidade da água, até cuidados relacionados com os ovos pós-fertilização, além de cruzamentos interespecíficos viáveis.

Filho e Mello (2015), analisando a biometria, o crescimento e a alometria do *C. undecimalis* em ambientes de cultivos, encontraram respostas indicando que os robalos no

ambiente de cultivo estudado mostraram correlações positivas e crescimento alométrico positivo, cujas informações são importantes para ampliar o entendimento na avaliação do crescimento dessa espécie em cativeiro. Os dados desses pesquisadores corroboram com os achados de Pinto *et al.* (2018) que, realizando um estudo sobre as especialidades de capturas de três espécies de robalos, como o *Centropomus parallelus* (Poey, 1860), o *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792) e o *Centropomus pectinatus* (Poey, 1860), no estuário do Rio Sergipe, encontraram alometria positiva para todos e maiores valores de K para o *C. undecimalis* no período seco, o que indica maior armazenamento energético corporal nesse período. Os autores concluíram, ainda, que o resultado alcançado pode ter relação com os eventos reprodutivos da espécie.

Sobre a possibilidade do cultivo de robalo-flecha em cativeiro, como estratégia de conservação da espécie, sabe-se que o *C. undecimalis* é um peixe marinho de grande potencialidade para a piscicultura, principalmente em razão ao seu alto valor comercial e à grande procura no mercado por se tratar de um peixe nobre (Sanches *et al.*, 2014) (Liebl *et al.*, 2016). Vale asseverar que o estado de Santa Catarina foi um dos pioneiros no desenvolvimento de pacotes tecnológicos de espécies marinhas mediante o cultivo de robalo-flecha (*C. undecimalis*) e robalo-peva (*C. parallelus*). Informações sobre reprodução artificial, larvicultura, crescimento e engorda já são de domínio público (Cerqueira, 2004) (Pereira *et al.*, 2012).

De mais a mais, é importante pontuar que as tecnologias que envolvem a produção de juvenis dessa espécie em laboratório estão razoavelmente bem desenvolvidas. Estudos feitos por Farias *et al.* (2017), por exemplo, mostram que os juvenis de *C. undecimalis* apresentaram alta capacidade adaptativa frente à salinidade. Já o ciclo de vida dos robalos do gênero *Centropomus* compreende a reprodução e o início do desenvolvimento larval em áreas costeiras. Os juvenis, por sua vez, são encontrados em manguezais, estuários e lagunas, onde se abrigam e se alimentam, mas também costumam penetrar nos rios e, ocasionalmente, em lagoas hipersalinas.

Por seu turno, Souza e Souza (2019) desenvolveram estudos com objetivo de observar o desempenho dos juvenis de *C. undecimalis* em laboratório criado em águas estuarinas amazônicas, com grande variação de salinidade e riqueza de sedimentos. Os indivíduos obtidos por meio de desova induzida apresentaram peso médio inicial de 1,3 g e comprimento total de 4,7 cm, com crescimento dos alevinos no laboratório ao longo dos seis meses acontecendo de forma lenta e heterogênea, o que preliminarmente deixa indícios que, na Amazônia, o ciclo de cultivo do *C. undecimalis* é possível, embora seja mais demorado. Os mesmos autores

concluíram também que as águas estuarinas do Rio Muriá, em Curuçá/PA, foram favoráveis para cultivo de juvenis de robalo-flecha em laboratório, relatando ainda que mesmo com grande amplitude da salinidade justificada pelos períodos de estiagem e chuva impostos pelo clima amazônico, a taxa de mortalidade dos juvenis de *C. undecimalis* foi extremamente baixa, comprovando seu grande poder de adaptação a ambientes com diferentes salinidades. Estudos feitos por Herrera *et al.* (2019) mostraram que os robalos, em ambiente de cultivo, precisam se alimentar em uma frequência de duas em duas horas para garantirem sua sobrevivência.

Logo, tanto nos processos reprodutivos naturais quanto nos artificiais, percebe-se que ainda são necessárias mais informações sobre as estratégias reprodutivas do robalo, a fim de que se possa garantir a manutenção dos estoques pesqueiros desta espécie em diferentes ambientes e por bastante tempo, mesmo já tendo sido descritas algumas tecnologias de cultivo para a espécie, visto seu alto valor comercial e a contínua exploração. Outrossim, em virtude de a piscicultura ser uma estratégia possível para conservação do *C. undecimalis*, torna-se imprescindível conhecer mais detalhes das taxas de sobrevivência e mortalidade desses indivíduos em viveiros, bem como os pontos-chave do ciclo reprodutivo que favoreçam a maturidade sexual no período adequado e a perpetuação da espécie em todos os ambientes que ela conseguir se adaptar.

4 Conclusão

De acordo com os dados levantados para esta revisão, observa-se que ainda existem lacunas a serem preenchidas acerca dos estudos com a espécie *Centropomus undecimalis* no Brasil, especialmente sobre sua reprodução que gera informações relevantes sobre o desenvolvimento do ciclo gonadal, época e local de desova, bem como o comprimento e a idade média em que os indivíduos iniciam o processo reprodutivo. Necessita-se, também, que os estudos já realizados por pesquisadores sejam publicados em artigos científicos e avaliados por pares para a divulgação de informações mais precisas sobre a espécie, visto que os estudos bioecológicos de alimentação e reprodução são subsídios necessários e importantes na regulamentação da pesca dentro de um programa de manejo, o que permite a tomada de medidas para a preservação dos estoques.

Sugere-se, então, que novos estudos sejam realizados com robalo-flecha em diferentes classes de comprimento, de modo que se possa descrever melhor a relação estabelecida com biologia reprodutiva, alimentação, dinâmica populacional e biogeografia, a fim de contribuir

para a sustentabilidade deste recurso, além de subsidiar o desenvolvimento da piscicultura marinha no Brasil enquanto estratégia para a conservação da espécie.

Agradecimentos

Agradeço às professoras Zafira da Silva de Almeida e Raimunda Nonata Fortes Carvalho Neta, pela orientação e pelo apoio a esta publicação. Agradeço, ainda, aos parceiros Jadson P. Santos e Jéssica P. Souza, pelo auxílio na redação deste artigo e ao Programa de Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede Bionorte, pelo incentivo à publicação deste artigo.

Referências

- Almeida, Z. S.; Isaac Nahum, V. J.; Santos, N. B.; Paz, A. C. *Diagnóstico dos sistemas de produção pesqueiro artesanais do litoral do Maranhão*. São Luís: Ed. UEMA, 2010.
- Alvarez-Lajanchère, L. S.; Tsuzuki, M. Y. A review of methods for *Centropomus* spp. (snooks) aquaculture and recommendations for the establishment of their culture in Latin America. *Aquaculture Research*, v. 39, p. 684-700, 2008.
- Andrade, H.; Santos, J.; Taylor, R. Life-history traits of the common snook *Centropomus undecimalis* in a Caribbean estuary and large-scale biogeographic patterns relevant to management. *Journal of Fish Biology*, 82(6): 1951-1974, 2013.
- Anni, I. S. A.; Pinheiro, P. C. Hábito alimentar das espécies de robalo *Centropomus parallelus* (Poey, 1986) e *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792) no litoral norte de Santa Catarina e sul do Paraná, Brasil. In: Anais do III Congresso Latino Americano de Ecologia, 2009.
- Araújo, I. M. S.; Silva-Falcão, E. C.; Severi, W. Buccal apparatus and gastrointestinal tract dimensions associated to the diet of early life stages of *Centropomus undecimalis* (Centropomidae, Actinopterygii) Iheringia, *Série Zoologia*, Porto Alegre, 101(1-2):85-92, 2011.
- Barros *et al.* Food ecology of *Hassar affinis* (Actinopterygii: Doradidae) in two lakes of a wet zone of international importance in Northeast Brazil. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 8, 2021.
- Barroso *et al.* Estratégias de conservação das populações de robalos *Centropomus* spp. na foz do Rio Doce, Linhares, Espírito Santo, Brasil. I *Revista Brasileira de Agroecologia*, 2 (2), 1465-1468, 2007.
- Brasil/MPA - Ministério da Pesca e Aquicultura. *Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura* (2012), Brasília, DF, 2011.

Caballero-Chávez, V. Reproducción y fecundidad del robalo blanco (*Centropomus undecimalis*) en el suroeste de Campeche. *Ciencia Pesquera*, 19(1):35–45, 2011.

Caselle *et al.* Geographic variation in density, demography, and life history traits of a harvested, sex-changing, temperate reef fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 68(2): 288-303, 2011.

Cavalli, R. O.; Hamilton, S. Piscicultura marinha no Brasil: Afinal, quais as espécies boas para cultivar? *Revista Panorama da Aquicultura*, v. 17, p. 50-55, 2007.

Carvalho-Filho *et al.* New species of snook, *Centropomus* (Teleostei: Centropomidae), from northern South America, with notes on the geographic distribution of other species of the genus. *Zootaxa*, 4671(1): 081–092, 2019. DOI: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4671.1.6>.

Cerqueira, V. R.; Tsuzuki, M. Y. A review of spawning induction, larviculture, and juvenile rearing of the fat snook, *Centropomus parallelus*. *Fish Physiology and Biochemistry*, v. 35, p. 17–28, 2009.

Cerqueira, V. R. Cultivo de peixes marinhos. In: Poli, C. R., Poli, A. T. B., Andreatta, E. R. & Beltrame, E. (Eds.). *Aqüicultura: experiências Brasileiras*. Florianópolis: Multitarefa Editora, 2004. p.369-406.

Costa Filho, J.; Mello, G.L. Crescimento alométrico positivo entre características biométricas de juvenis de robalo-flecha (*Centropomus undecimalis* Bloch, 1972) cultivados. *Arquivo Ciência Veterinária e Zoologia - UNIPAR*, Umuarama, v. 18, n. 1, p. 21-26, 2015.

Estrela, C. *Metodologia Científica: Ciência, Ensino, Pesquisa*. Editora Artes Médicas, 2018.

Farias *et al.* Tolerância e crescimento de juvenis do robalo-flecha (*Centropomus undecimalis*) expostos a diferentes salinidades. *Acta Fish*, 5(3): 54-60, 2017. Disponível em: [10.2312/ActaFish.2017.5.3.5460](https://doi.org/10.2312/ActaFish.2017.5.3.5460).

Ferraz *et al.* Híbridos Recíprocos Obtidos por Cruzamentos Entre os Robalos *Centropomus parallelus* e *Centropomus undecimalis*. *Boletim do Instituto de Pesca*, São Paulo, 39(1): 53-61, 2013.

Figueiredo-Filho *et al.* Taxonomy of *Centropomus* Lacépède, 1802 (Perciformes: Centropomidae), with focus on the Atlantic species of the genus. *Zootaxa*, (3)4942, 2021. DOI: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4942.3.1>.

Figueiredo, J. L.; Menezes, N. A. *Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil: teleostei* (2). São Paulo: Museu de Zoologia da USP, 1980.

FishBase. *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792). 2019. DOI: <https://www.fishbase.se/summary/345>.

Fricke, R.; Eschmeyer, W. N.; Van der Laan, R. Eschmeyer's Catalog of fishes: genera, species, references. 2019. DOI: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>.

Fujimoto *et al.* Hematologia e parasitas metazoários de camurim (*Centropomus undecimalis*, Bloch, 1792) na região Bragantina, Bragança-Pará. *Boletim do Instituto de Pesca*, 35(3): 441-450, 2009.

Garcia, A. F. S.; Vendel, A. L. Dietary overlap and food resource partitioning among fish species of a tropical estuary in northeastern Brazil. *Gaia Scientia*, 10(4): 86-97, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.21707/gaia.v10.n04a06>.

Gassman J.; Rojas H. L.; Padrón D. Reproducción de los robalos *Centropomus undecimalis* y *C. ensiferus* (Perciformes: centropomidae) en una laguna costera tropical. *Revista de Biología Tropical*, 65(1):181–194, 2017.

Herrera, L. A.; Kuhnen, V. V.; Sanches, E. G. Does intensive feeding frequency affect growth performance of common snook *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792)? *Brazilian Journal of Biology*, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.186394>.

IUCN. Mendonça *et al.* *Centropomus undecimalis*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2019, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T191835A82665184>.

Julião, A. Unidos pelo robalo. *Unespciência*, 2018. Edição n.100, 2019. Disponível em: <http://unespciencia.com.br/2018/09/24robalo100>.

Lowerre-Barbieri *et al.* Reproductive timing in marine fishes: variability, temporal scales, and methods. *Marine and Coastal Fisheries*, v. 3, n.1, p.71–97, 2011.

Liebl *et al.* Desempenho de juvenis de robalo-flecha e robalo-peva submetidos a diferentes densidades de estocagem em água doce. *Boletim do Instituto de Pesca*, 42(1): 145-155, 2016.

Lima *et al.* Feeding ecology of *Rhinodoras dorbignyi* (Kner, 1855) (Siluriformes: Doradidae) in the Paranapanema River, SP, Brazil. *Revista Biotemas*, 1(29), 67-73, 2016.

Lira *et al.* Feeding ecology of *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792) and *Centropomus parallelus* (Poey, 1860) in two tropical estuaries in Northeastern Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 12(2), 123-135, 2017. DOI: [https://panamjas.org/pdf_artigos/PANAMJAS_12\(2\)_123-135.pdf](https://panamjas.org/pdf_artigos/PANAMJAS_12(2)_123-135.pdf).

Ludke, M.; Andre, M. E. D. A. *Pesquisas em educação: uma abordagem qualitativa*. E.P.U, 2013.

Motta, F. S.; Mendonça, J. T.; Moro, P. S. Collaborative assessment of recreational fishing in a subtropical estuarine system: a case study with fishing guides from south-eastern Brazil. *Fisheries Management and Ecology*, 23, 291–302, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/fme.12172>.

Nascimento *et al.* Biologia populacional do robalo-flexa, *Centropomus undecimalis* (Osteichthyes: Centropomidae) do estuário de rio Potengi, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Cultural e Científica*, 8(3): 65–78, 2010.

Nascimento *et al.* Reproductive biology of the common snook *Centropomus undecimalis* (Centropomidae: Teleostei) from the northern coast of the Brazilian Amazon. (no prelo), 2021.

Nora *et al.* Aspectos Ecológicos e Etnoecológicos Sobre a Composição Alimentar de *Centropomus undecimalis*, BLOCH, 1792 (Centropomidae) (robalo) em Paraty, RJ. Unisanta BioScience, 1(1), 22-27, 2012.

Pereira *et al.* Bioecologia do robalo-flecha, *Centropomus undecimalis*, em lagoa costeira tropical no norte do BRASIL. *Boletim do Instituto de Pesca*, São Paulo, 41(3): 457 – 469, 2015.

Pereira *et al.* Contribuição dos atores da pesca para a bioecologia do Camurim *Centropomus undecimalis* (CENTROPOMIDAE – PERCIFORMES) capturado no litoral Amazônico brasileiro. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 10, e4119108691, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8691>.

Pinto *et al.* Especialização das capturas de robalo (*Centropomus spp*) (Centropomidae – Perciformes) no estuário do Rio Sergipe. *Arquivos de Ciências do Mar*, 51 (2), 72–83, 2018. DOI: 10.32360/acmar.v51i2.33177.

Rabelo *et al.* Observações preliminares sobre o hábito alimentar do robalo-flecha *Centropomus undecimalis* (BLOCH, 1792) e robalo-peba *Centropomus parallelus* POEY, 1860, no Estuário de Caravelas (Bahia, Brasil). *Boletim Técnico Científico Cepene*, (1)17, 89–96, 2009.

Sanches, E. G.; Silva, F. C.; Ramos, A. P. F. A. Viabilidade econômica do cultivo do robalo-flecha em empreendimentos de carcinicultura no Nordeste do Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, vol. 40, no. 4, pp. 577-588, 2014.

Santos, V. L. M. *Biologia reprodutiva e transição sexual do robalo peva: aspectos relevantes para conservação da espécie*. 2014. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

Silva *et al.* Calendário Etnobiológico do robalo, segundo os pescadores especialistas das áreas estuarinas da Baixada Santista (SP). *Atas CIAIQ - Investigação qualitativa em ciências sociais*, v. 3, 2019.

Souto *et al.* Visão geral sobre reprodução de eixes teleósteos: da anatomia à sinalização molecular. *Pubvet*, v. 11, n.11, p.1175-1187, 2017.

Souza *et al.* Ecologia alimentar do robalo *Centropomus undecimalis* Bloch 1792 (Teleostei, Centropomidae) na região costeira do Maranhão. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 9, e52010918194, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i9.18194>.

Souza, A.S.L.; Souza, RAL. Desenvolvimento de Juvenis de *Centropomus undecimalis* (BLOCH, 1792) em Laboratório na Amazônia Oriental. *Anais do Congresso Brasileiro de Pesca – XXI CONBEP*, Manaus –AM, 2019.

Teixeira *et al.* Aspectos da reprodução dos robalos e o conhecimento ecológico local dos pescadores esportivos da Reserva de Desenvolvimento Sustentável da Barra do Una (Peruíbe/SP). Unisanta, *Anais do Encontro Nacional de Pós-Graduação – VIII ENPG*, v. .3, 2019.

Taylor *et al.* Age, growth, maturation, and protandric sex reversal in the common snook, *Centropomus undecimalis*, from South Florida waters. *Fishery Bulletin*, 98(3): 612–624, 2000.

Vaz-dos-Santos, A. M.; Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B.; Figueiredo, J. L. Recursos pesqueiros compartilhados: bioecologia, manejo e aspectos aplicados no Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 33(2): 273-292, 2007.

Vazzoler, A. E. A. M. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. São Paulo: SBI/EDUEM, 1996. 169p.

Zavala-Camin, L. A. *Introdução aos estudos sobre alimentação natural em peixes*. Maringá: EUDEM, 1996. 129p.

CAPÍTULO II – QUANTITATIVE INDICATORS OF THE REPRODUCTIVE BIOLOGY OF ADULT SPECIMENS OF *Centropomus undecimalis* (TELEÓSTEO: CENTROPOMIDAE) OBTAINED FROM COMMERCIAL FISHERMEN IN THE PARNAÍBA DELTA ENVIRONMENTAL PROTECTION AREA, NORTH COAST OF BRAZIL

Revista: Boletim do Instituto de Pesca
Status: Publicado

Autores: Isa Rosete Mendes Araújo Nascimento^{1,2,3}, Ana Luísa Caldas Diniz³, Yanna Leidy Ketley Fernandes Cruz⁴, Alexandre Santana Azevedo⁵, Rosana Sousa de Oliveira Pinho Azevedo⁵, Débora Batista Pinheiro Sousa⁶, Thais Jadna Cutrim Silva³, Zafira da Silva de Almeida^{3,6}, Raimunda Nonata Fortes Carvalho Neta⁶.

Abstract: *Centropomus undecimalis* (popularly known as common snook) is a very important resource for commercial and recreational fishing. This study aimed to evaluate quantitative indicators of reproductive biology of *C. undecimalis* in the Parnaíba Delta Environmental Protection Area (Brazil). The parameters were analyzed at the different stages of the reproductive cycle of 155 specimens, 135 (87.10%) males and 20 (12.90%) females. The results showed a positive allometric growth for females and negative allometric growth for males. The sex ratio was 1:6.75 (females: males). The first maturation (L50) estimated was 57.21 for females and 54.55 cm for males. The species spawning is multiple with oocytes maturing in batches, being eliminated at intervals. According to the results of this study, it was possible to notice that reproductive peaks occurred in February, May and November, so it is recommended that the capture of this species be avoided during these months.

Keywords: biometrics; reproductive biology; fisheries planning.

Resumo: *Centropomus undecimalis* (conhecido popularmente como robalo) é um recurso pesqueiro muito importante para a pesca comercial e recreativa. No presente estudo objetivou-se avaliar indicadores quantitativos da biologia reprodutiva de *C. undecimalis* na Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba (Brasil). Os parâmetros foram analisados nos diferentes estádios do ciclo reprodutivo de 155 exemplares, sendo 135 (87,10%) machos e 20 (12,90%) fêmeas. Os resultados mostraram um crescimento alométrico positivo para fêmeas e alométrico negativo para machos. A proporção sexual foi de 1:6,75 (fêmeas: machos). A primeira maturação (L50) estimada foi de 57,21 para fêmeas e 54,55 cm para machos. A desova da espécie é do tipo múltipla (ou parcelada) com ovócitos maturando em lotes, sendo eliminados a intervalos. De acordo com os resultados deste estudo, foi possível perceber que os picos reprodutivos ocorreram em fevereiro, maio e novembro, portanto recomenda-se que a captura desta espécie seja evitada durante os referidos meses.

Palavras-chave: biometria; biologia reprodutiva; ordenamento pesqueiro.

Introduction

Brazil has one of the largest coastal zones on the planet, approximately 8,500 km long, of which 2,975 km are part of the Brazilian Amazon Coast (BAC), made up of the states of Amapá, Pará and Maranhão (Pereira *et al.*, 2009) (Brazil, 2018). This region is one of the most important fishing centers in the country due to its high productivity (Stride *et al.* 1992) (Lessa *et al.* 1999) (Marceniuk *et al.* 2019) (Coelho *et al.* 2021). The Maranhão coast accounts for 8.7% of the Brazilian coast and is the second largest in extension in all of Brazil. There are 640 km of coastline, second only to the Bahian coast, which has 932 km (IBGE, 2021). The richness of aquatic organisms found in this region is invaluable with a variety of fish and crustacean species important for commercialization, and this coast is one of the most diverse in Brazil (Silva *et al.*, 2021).

The common snook of the species *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792) are fish of high commercial value caught by artisanal, industrial and recreational fisheries (Motta *et al.* 2016). In recent years, the demand for fish has been increasing, driven mainly by population growth and the global trend in search of healthy foods. This demand has increased the capture of a larger number of fish, thus affecting the balance of populations (FAO, 2018).

In order to contain the decline of populations of natural environments, the protection areas were established as one of the alternatives found to enable the exploitation of the environment, ensuring the durability of renewable environmental resources and ecological processes (WWF, 2021), as is the case of the Tutóia region, located on the eastern coast of Maranhão, which belongs to the Parnaíba Delta Environmental Protection Area (EPA), a conservation unit established in 1996 (ICMBio, 2017), where fishing is an activity of great economic importance for the population.

The Environmental Protection Area of the Parnaíba Delta has an extension of 307,590.51 acres and is considered the only open sea delta in the Americas, located between the states of Maranhão and Piauí (Pinheiro *et al.*, 2020). Because it is a Sustainable Use Conservation Unit, it allows the extraction of its resources (ICMBio, 2017). In this context, studies on reproductive biology of fish are important because they allow environmental managers to create standards so that fishing resources can be extracted in an orderly manner (Nascimento *et al.*, 2021) avoiding the depletion of stocks.

In Brazil, studies on the reproductive biology of sea bass have already been developed by Ferraz *et al.*, 2013 in Santa Catarina, Costa-Filho and Melo, 2015 in Ceará and Farias *et al.*, 2017 in Pernambuco, but in these states the research was focused on captive breeding and

dihybrid crosses. In the states of São Paulo and Pará, Silva *et al.*, 2019 and Pereira *et al.*, 2020, respectively, conducted studies with reproductive biology of *C. undecimalis* through the ethnoknowledge of fishermen. In the state of Sergipe, a research developed by Pinto *et al.*, 2018 obtained allometric data similar to those of this study. For Maranhão, this study is of great relevance because the state does not have a period of established for sea bass and disordered catches can compromise its reproductive cycle.

C. undecimalis is found in marine and estuarine waters, and, to a lesser extent, in fresh water. The use of these environments is related to the different phases of the life cycle of the species (Cerqueira, 2005) (Brame *et al.*, 2014) (Vieira, 2017). Thus, studies on the reproductive biology of fish aggregate relevant information for the elaboration of fishing regulations, regarding the time, place and capture size of individuals within a management program, providing necessary subsidies for rational exploration (King, 1995) (Prestes *et al.*, 2010) (Cardoso *et al.*, 2018). Thus, this study aimed to evaluate quantitative indicators of reproductive biology of *C. undecimalis* in the Parnaíba Delta Environmental Protection Area (Brazil). Biometric data, sexual proportion, first sexual maturity, reproductive peaks, spawning types are highlighted, aiming at recommending strategies for fishing planning and conservation of the species.

Methodology

Area description

This study was carried out in the municipality of Tutóia, which is located in the Parnaíba Delta Environmental Protection Area - EPA, created in 1996 and which has an extension of 307,590.51 hectares and covers 3 states in the Northeast: Piauí, Maranhão, Ceará (ICMBIO, 2017). The city of Tutoia (2°45'44" S; 42°16'28 " W) is located in this EPA and has a high fishing productivity. The relief is moderate, except for the coast where there are dunes (figure 1). Due to its geographical location near the equator, temperatures remain high throughout the year, ranging from 21-38 °C. The climate supports a rainfall index of 87 mm with two characteristic seasons: the rainy season from January to June and the dry season from July to December, while the ENE winds have speeds of approximately 10 to 28 km/h (Climatempo, 2021). In addition, the tidal current speed in the region varies annually from 0.51 to 1.53 m/s (Galdino *et al.* 2018) (Brasil, 2019).

Figura 0-1 - Red dots and lines indicate the city of Tutóia (where the capture and commercialization of common snook of the species and the Environmental Protection Area of the Parnaíba Delta with their demarcation



Authorship: Costa (2022)

Ethical Comission

All methodological procedures for fish management were approved by the Ethics Committee of the State University of Maranhão - UEMA (no. 4.476.902/2020). The common snook (*C. undecimalis*) were acquired monthly through commercial purchases in the city of Tutóia, Maranhão, from January 2019 to February 2020.

Laboratory Analysis

The samples were analyzed at the Laboratory of Fisheries and Aquatic Ecology -UEMA, where they were previously identified. Total length (1 cm accuracy), total weight, gutted weight, gonad weight in grams (0.01 g accuracy), sex and stage of sexual maturation were recorded. The stages of sexual maturation and sex were determined by macro and microscopic analyses adapted by Brown-Peterson *et al.* (2011).

In each individual, a ventro-longitudinal section was performed to remove the gonads and identify at macroscopic level, taking into account some external characteristics such as: color, vascularization, volume in relation to the abdominal cavity, blood irrigation, visibility of oocytes, presence of sperm and its consistency. A previously established maturation scale was

used to classify the gonads into the following categories: IS = immature stage, DS= development stage, SCS = spawning capable stage, RS = regression stage; RGS = regeneration stage (Brown-Peterson *et al.*, 2011). Then, the total weight (TW) was recorded on a precision scale of 0.01g.

When the determination of the stages of sexual maturation at the macroscopic level was impracticable, the gonads underwent microscopic analysis, following the usual histological techniques, where they were fixed in Bouin, with inclusion in paraffin and staining with hematoxylin-eosin.

Data analysis

Data analyses were performed in statistical software SPSS v. 19 and Statistica 7.0 free version, with a significance level of 5%. The sex ratio between males and females was calculated by Chi-square and Fisher's Exact Test in relation to the ratio of 1: 1. The analyses were performed by total period, by month of collection, by length classes, by collection period (dry and rainy) and by maturation stage of the specimens. The means of biometric indices per collection period were analyzed according to one-way ANOVA, respecting the assumptions of homogeneity of variances (Levene test) and data normality (Shapiro-Wilk test). For comparisons of biometric means as a function of gender, we used the Student's t-test.

The allometric ratio total length x total weight was calculated according to Pearson's Linear Correlation. The equation of the line used was $y = B + aX$, where the dependent variable (y) was represented by the total length, while the independent variable (X) was represented by the total weight. From this relationship, negative allometric growth was classified as $B < 3$; positive allometric growth as $B > 3$; and isometric growth, $B = 3$. Data on correlation residues for males and females were compared according to student's t-test.

The type of spawning was defined by observing the frequency of oocytes in each diameter interval. The pattern found was compared with the gonadosomatic index, condition factor and frequency of maturational stages (Cantanhêde *et al.*, 2016) and classified as: synchronous in one group, synchronous in two groups, synchronous in more than two groups or asynchronous (Vazzoler, 1996). For the analysis of the size of the first sexual maturation (L50), the maturation stages were grouped into immature (IS) and mature (DS+SCS+RS+RGS), following Vazzoler (1996) and Ortiz-Ordóñez *et al.* (2007). The percentage of matures per length class was calculated and considered as dependent variable (Y) and the total length as independent variable (X). Subsequently, these values were adjusted to a

logistic curve, according to the formula: $P = 1/(1 + \exp[-r(TL - L50)])$, where: P = proportion of mature individuals, r = slope of the curve, TL = Total length, L50 = average length of sexual maturity.

The reproductive period was defined based on the bimonthly frequency of maturity and the assessment of the values of the gonadosomatic relationship (ΔGSR) and the condition factor (ΔK). The means of the gonadosomatic relationship (ΔGSR) between the months of collection were compared by means of unilateral ANOVA, applying the post-techniques of Games Howell to unassumed variances and the Tukey test for assumed variances. The biometric data of each individual were calculated based on the following indexes: gonadosomatic index ($GSI = Wg / Wt \times 100$), hepatosomatic index ($HSI = Pf / Wt \times 100$) and viscerosomatic index ($VSI = Pv / Wt \times 100$), where: Wg = weight of the gonad; Wt = total weight of the individual; PC = Wt-Wg (length weight ratio).

Obtaining the results of the GSI, HSI and VSI indexes, the average and standard deviations were calculated, dividing the sum of each data by the total number of samples, using the Statistica 7.0 program. These data were also obtained in relation to gender, season and month.

The condition factor (ΔK) is the difference between the two models K 1 and K 2 (allometric condition factor indices), given according to the formulas: $K 1 = Wt/TL^b$ and $K 2 = PC/TL^b$. Where: K 1 = total condition factor; K 2 = somatic condition factor; Wt = total weight of the individual; TL = total length of the individual; b = angular coefficient of the weight/length ratio (WL); WL= Wt - Wg, in which: Wg= weight of the gonad.

The determination of the periodicity of the reproductive process was based on the variation of the mean values of the gonadosomatic index (GSI) and on the monthly frequency of maturation stages. For each specimen of adult males and females (development phase, spawning capacity phase, regression phase and regeneration phase), the gonadosomatic index (GSI) was calculated, defining the percentage that the gonad represents of the total weight of the animal as indicative of variations in gonadal development during the year. The reproductive period was delimited by the highest ΔGSI values, which corresponds to the difference between GSI_1 and GSI_2 , obtained monthly for the male and female specimens (Silva *et al.*, 2021).

Results

The quantitative indicators of reproductive biology of *C. undecimalis* in the Parnaíba Delta Environmental Protection Area (Brazil), analyzed at the different stages of the

reproductive cycle of 155 specimens (87.10% males and 12.90% females), indicated a higher presence of males during the months of January, March, April, July and August. In relation to females, the highest number of catches occurred in February. There was no capture of specimens of both sexes in June and September. Table 1 shows a summary of biometric data and Gonadosomatic index - GSI, Hepatosomatic Index - HSI and Viscerosomatic Index - VSI obtained in the present study.

Tabela 2 - Analysis of the biometrics of common snook fish sampled in the municipality of Tutoia - MA according to sex

Variable	Sex				p-value ^(a)
	♂		♀		
	Mean ± SD	Min. – Max.	Mean ± SD	Min. – Max.	
TL (cm)	66.39 ± 4.33	57.20 – 78.50	70.52 ± 7.83	57.50 – 81.70	0.016*
SL (cm)	54.65 ± 3.78	46.50 – 66.50	58.81 ± 5.25	49.00 – 67.00	0.002*
FL (cm)	61.18 ± 4.06	51.50 – 74.00	65.47 ± 6.35	53.00 – 75.50	0.008*
TW (kg)	2.63 ± 0.58	1.71 – 5.50	3.50 ± 1.40	1.74 – 6.36	0.012*
W liver (g)	15.30 ± 5.56	5.82 – 31.26	29.04 ± 17.93	7.54 – 64.38	0.003*
W viscera (g)	2.44 ± 0.55	1.28 – 5.30	3.09 ± 1.11	1.57 – 5.85	0.019*
W stomach (g)	24.62 ± 11.88	9.30 – 97.60	44.12 ± 29.39	15.34 – 107	0.008*
W gonad (g)	16.49 ± 7.60	0.60 – 38.05	62.65 ± 55.33	0.75 – 204.50	0.001*
GSI	0.63 ± 0.28	0.03 – 1.57	1.58 ± 1.14	0.04 – 3.93	0.001*
HSI	0.59 ± 0.18	0.29 – 1.10	0.79 ± 0.28	0.21 – 1.24	0.006*
VSI	0.09 ± 0.01	0.06 – 0.14	0.09 ± 0.01	0.07 – 0.10	0.050

a) Student's t-Test / * Significant difference, $p < 0,05$

Table 2 presents a summary of the results of sexual proportion, first sexual maturity, length classes, weight-length ratio of *C. undecimalis* obtained in this research. Where: TL = Total Length; SL = Standard Length; FL = Furcal Length; TW = Total Weight; W = Weight; GSI = Gonadosomatic Index; HSI = Hepatosomatic index; VSI = Viscerosomatic index.

Tabela 3 - Summary of reproductive data of *C. undecimalis* captured in Tutoia-MA

Sexual Proportion	It was evaluated in 1:6.75 i.e., 1 female to 6.75 males, with a statistically significant difference in the proportion between genders ($X^2 = 48.75$; G. L. = 1; $p = 0.000$). Confirming that males were generally predominant in this study.
First Sexual Maturity (L50)	Females (♀) reached the first sexual maturity with L50 = 57.21cm and males (♂) with L50 = 54.55 cm.
Weight vs. Length Ratio	Females have positive allometric with $y = (0.781 \times 10^{-7}) \times 4.12653$, i.e., they grow more in weight than in length and males have negative allometric growth with $y = 0.0000158 \times 2.8629$ i.e. they grow more in length than they in weight.
Length Classes	Length classes ranged from 57.50 to 78.50 cm for males (66.39 ± 4.33) and from 57.50 to 81.70 cm for females (70.52 ± 7.83).

Reproductive Period	The months of the reproductive period were February, May and November, where there were more ovated females in our samples.
Seasonality	It is noticed that the months of reproductive period have a relationship with the rainy season, although the fish has the ability of multiple spawning throughout the year.
Spawning Type	It was defined by observing the frequency of oocytes in each diameter interval. Histological analyses of gonads revealed the simultaneous occurrence of oocytes at different stages of development, indicating multiple spawning

Source: Nascimento, 2021

Regarding the seasonality of the region and the presence of the sexes, we noticed that there was no significant difference between the frequency of males and females for the dry and rainy seasons. There were a little more males in the rainy season, but these data were not statistically significant. Therefore, there was no predominance of sex in relation to seasonality.

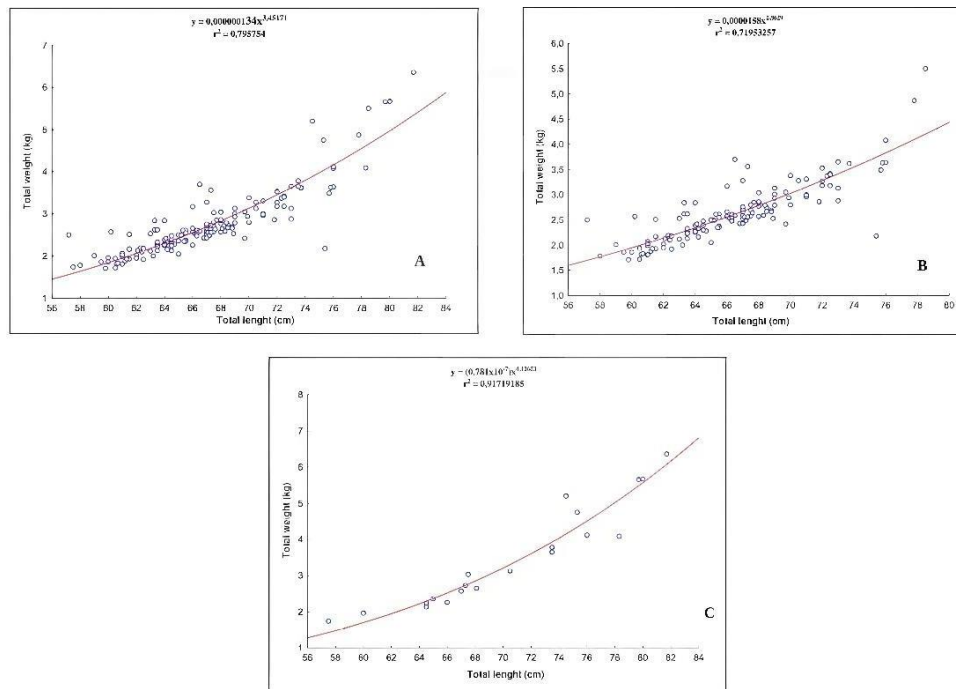
Length/weight ratio

The total length/weight ratio was generally characterized by equation $y = 0.00000134x^{3.45171}$. The inclination (b) was greater than 3, indicating positive allometric growth, in which the total weight increased at a greater rate than the total length (figure 2A).

For males, this relationship was obtained with equation $y = 0.0000158x^{2.8629}$, presenting negative allometric growth, with a tendency to increase the total length in relation to total weight (figure 2B).

Regarding females, the relationship was characterized by $y = (0.781 \times 10^{-7}) \times 4.12653$, where we observed positive allometric growth, with a tendency to increase the total weight in relation to total length (figure 2C).

Figura 0-2 - (A) Correlation between total weight and total length. (B) Correlation between total weight and total length for males. (C) Correlation between total weight and total length for females



Source: Authors, 2020.

Macroscopic analysis of gonads

100% of the gonads were macroscopically evaluated. It was possible to observe four stages of gonadal maturation, with predominance in the spawning capacity stage (SCS) for both sexes. The volume, color, thickness and blood supply of the ovaries of *C. undecimalis* samples varied according to the maturation stage. For the female samples, in the immature stage (IS), the gonads presented a filiform aspect and pink coloration, without the presence of apparent oocytes and without signs of vascularization. In the development stage (DS), the ovaries were more developed, yellowish/orange in color, with oocytes becoming visible and turgid, but without evident signs of vascularization. In the SCS, the ovaries presented intense yellow coloration, with prominent oocytes and vascularization. In the final spawning or in the regression stage (RS), the fish gonads were usually hemorrhagic and flaccid, of intense red color. However, in this study, it was not possible to record any female specimens in the RS (regression) or RGS (regeneration) stages.

For male specimens, the gonads in the IS were filiform and did not present apparent spermatocytes. In DS, the male gonads were slightly more developed, with pink coloration and slightly visible spermatic fluid. In the SCS, the gonads already capable of spawning presented yellowish/whitish coloration with very evident spermatic fluid. In the RS, the gonads were

flaccid and well vascularized, with the presence of some lateral fringes in some samples. The RGS (regeneration) was not observed in any of the male specimens.

Stages of common snook maturation

We found statistically significant differences among maturation stages over the months of collection (Table 3). The later analysis indicated a higher frequency of individuals in the SCS for the month of February, lower frequency of the DS for the month of July and higher frequency of the DS for the month of August.

Tabela 4 - Frequency analysis of the maturation stage as a function of the months of collection of the common snook sampled in the municipality of Tutoia – MA

Months N (%)	Maturation stage				p-value
	IS (n = 14; 9.03%)	DS (n = 70; 45.16%)	SCS (n = 56; 36.13%)	RS (n = 15; 9.8%)	
Jan/2019	2 (15.38)	11 (84.62)	0 (0.0)	0 (0.00)	0,0009*
Feb/2019	0 (0.0)	6 (24.00)	19 (76.00)	0 (0.0)	
Mar/2019	0 (0.0)	4 (30.77)	9 (69.23)	0 (0.0)	
Apr/2019	2 (11.11)	6 (33.33)	9 (50.00)	1 (5.56)	
May/2019	0 (0.0)	10 (66.67)	5 (33.33)	0 (0.0)	
Jun/2019	-	-	-	-	
Jul/2019	2 (20.00)	0 (0.0)	8 (80.00)	0 (0.0)	
Aug/2019	0 (0.0)	13 (86.67)	2 (13.33)	0 (0.0)	
Sep/2019	-	-	-	-	
Oct/2019	3 (50.00)	3 (50.00)	0 (0.0)	0 (0.0)	
Nov/2019	3 (37.50)	5 (62.50)	0 (0.0)	0 (0.0)	
Dec/2019	0 (0.0)	3 (50.00)	0 (0.0)	3 (50.00)	
Feb/2020	0 (0.0)	8 (33.33)	10 (41.67)	6 (25.00)	

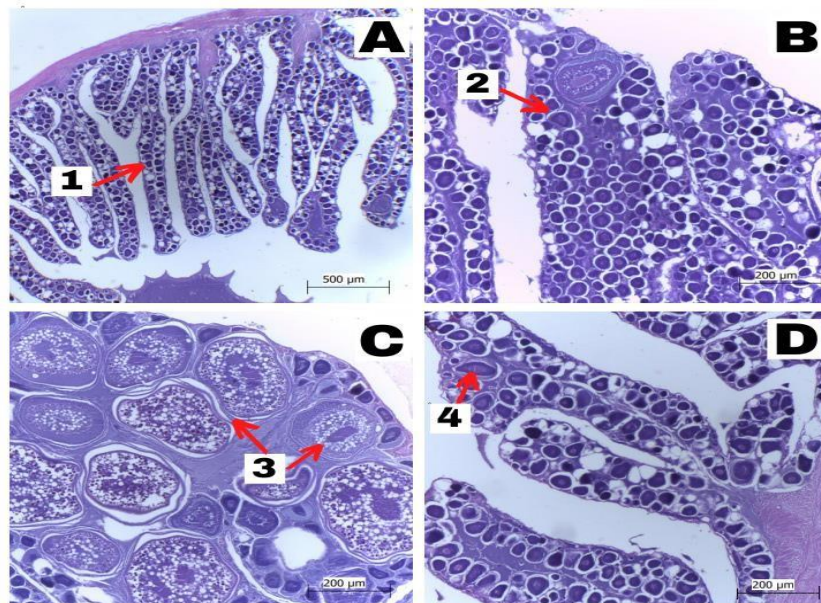
Legend: IS = immature stage; DS = development stage; SCS= spawning capable stage; RS = regression stage(a)
Fisher's exact test ; *Significant difference, $p < 0.05$

Histological analysis

For microscopic analysis or gonadal histology, 32.26% of the total gonads were evaluated. Figure 3 shows a histological comparison of the gonads of *C. undecimalis* females. In Figure 3A, we can observe ovigerous lamellae filled with immature oocytes (IS). Figure 3B

shows the presence of larger oocytes, with a slightly whitish center, which indicates the presence of young oocytes in the DS with a large number of initial and final perinuclear oocytes and cortico-alveolar oocytes. In Figure 3C, the presence of large oocytes, with lipid vitellogenesis in different phases, indicates SCS maturation stage. In Figure 3D it is possible to identify the presence of oocytes in "atresia", a process resulting from the loss of cellular turgidity that leads to degeneration by rupture of the vitelline membrane. According to Vazzoler (1996), this type of follicle usually occurs in mature or emptied ovaries, where even at different stages of maturation, there are oocytes at different stages of development, which shows that the species has a multiple spawning process.

Figura 0-3 - Gonadal histology of *Centropomus undecimalis* females. A - Ovigerous lamellae with immature oocytes (1); B - Oocytes at stage DS of maturation (2); C - Mature oocytes with spawning capacity (3); D - Atresic follicle (4)

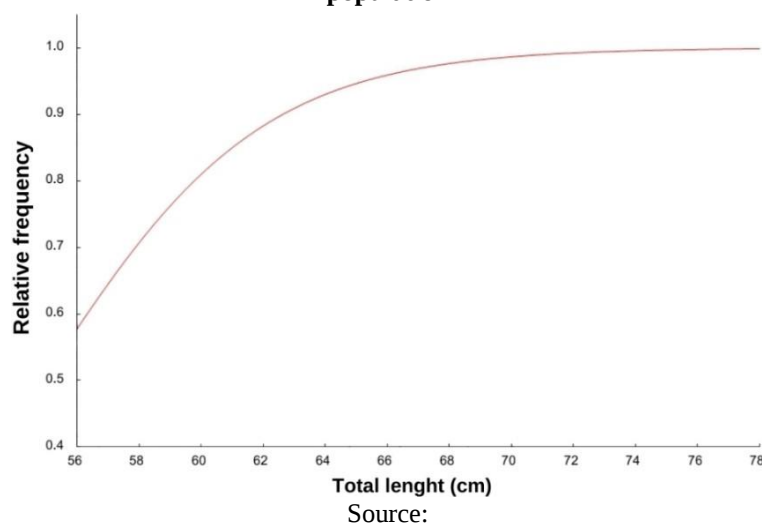


Source: Authors, 2020.

First sexual maturity

To calculate the mean duration of the first sexual maturity, the following equation was generated: $y = 1 / (1 + \exp(-(0.284108) * (x - (54.9028))))$, where L50 was 54.91 cm for the grouped sexes of the species (figure 4).

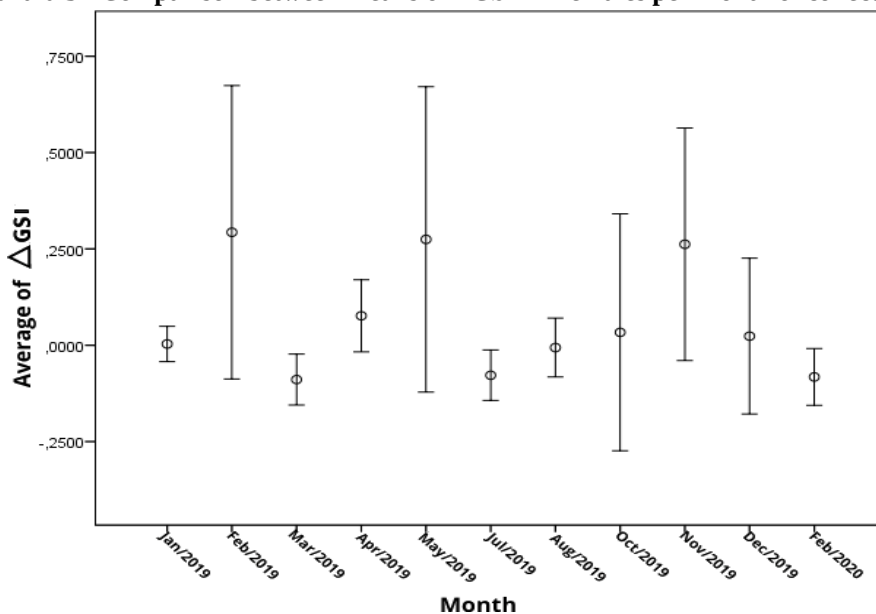
Figura 0-4 - Estimated mean duration of the first sexual maturation (L50) of the common snook population



Reproductive Period (ΔGSI) and Condition Factor (ΔK)

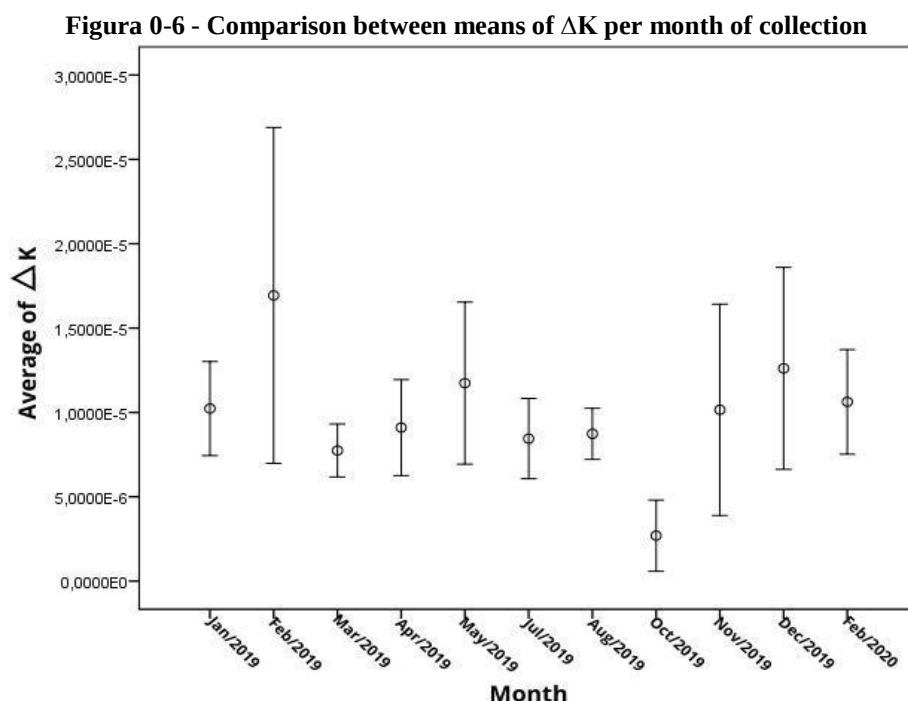
Comparative analyses of the graphs for ΔGSI and ΔK indicate that there was a difference only in months for ΔK , and there was no difference for ΔGSI (figure 5 and 6).

Figura 0-5 - Comparison between means of ΔGSR in females per month of collection



We observed, however, a tendency to a possible reproductive period of *C. undecimalis* with peaks in February and May, as well as in November. The Post-Technique of ANOVA detected statistically significant differences for the month of October when compared to the months of January 2019 ($p = 0.004$), March 2019 ($p = 0.015$), April 2019 ($p = 0.019$), May

2019 ($p = 0.041$), July 2019 ($p = 0.019$), August 2019 ($p = 0.003$) and February 2020 ($p = 0.006$).



Source: Authors, 2020

Thus, the month of October presented the lowest average of ΔK in relation to the mentioned months. This may have happened because we did not have the presence of females and the “n” sample was small or because these samples were impacted by the oil spill that occurred in September 2019 on the Brazilian coast, which may even have reduced the number of captures.

Biometric data indexes

In the analysis of biometric indices, differences were observed among the months of collection, sex and maturation stage (table 4).

Tabela 5 - Analysis of biometric indices of the common snook sampled in the city of Tutóia, Maranhão.
Where: GSI = gonadosomatic index; HSI = hepatosomatic index; VSI = vicerosomatic index

Variable	GSI	HSI	VSI
Period	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD
Dry	0.70 $\pm$ 0.56	0.63 $\pm$ 0.21	0.09 $\pm$ 0.003
Rainy	0.79 $\pm$ 0.58	0.60 $\pm$ 0.20	0.09 $\pm$ 0.01

p-value ^(a)	0.321	0.300	0.817
Months	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
Jan/2019	0.75 ± 0.38	0.59 ± 0.19	0.09 ± 0.02
Feb/2019	1.06 ± 1.04	0.56 ± 0.27	0.08 ± 0.01
Mar/2019	0.59 ± 0.21	0.58 ± 0.16	0.10 ± 0.00
Apr/2019	0.70 ± 0.45	0.53 ± 0.19	0.10 ± 0.00
May/2019	0.89 ± 0.65	0.77 ± 0.19	0.09 ± 0.00
Jun/2019	-	-	-
Jul/2019	0.63 ± 0.29	0.74 ± 0.12	0.09 ± 0.00
Aug/2019	0.69 ± 0.20	0.61 ± 0.20	0.09 ± 0.00
Sep/2019	-	-	-
Oct/2019	0.20 ± 0.16	0.43 ± 0.08	0.09 ± 0.00
Nov/2019	0.71 ± 0.73	0.65 ± 0.25	0.09 ± 0.00
Dec/2019	1.02 ± 0.78	0.62 ± 0.24	0.09 ± 0.01
Feb/2020	0.83 ± 0.38	0.57 ± 0.10	0.10 ± 0.00
p-value ^(a)	0.09	0.002*	0.000*
Sex	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
♂	0.63 ± 0.28	0.59 ± 0.18	0.09 ± 0.01
♀	1.58 ± 1.14	0.79 ± 0.28	0.09 ± 0.01
p-value ^(a)	0.000*	0.000*	0.05
Maturation stage	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
IS	0.22 ± 0.19	0.65 ± 0.21	0.09 ± 0.01
DS	0.62 ± 0.28	0.58 ± 0.19	0.0943 ± 0.0068
SCS	1.08 ± 0.77	0.64 ± 0.24	0.0905 ± 0.0077
RS	0.66 ± 0.21	0.62 ± 0.15	0.09 ± 0.001
p-value ^(a)	0.000*	0.431	0.018*

Caption: IS = immature stage; DS = developmental stage; SCS = spawning capacity stage; RS = regression; stage; SD = standard deviation. ^(a) one-way ANOVA test/*Significant difference, $p < 0.05$ GSI = gonadosomatic index; HSI = hepatosomatic index; VSI = viceriosomatic index

The mean GSI was significantly higher in females ($p = 0.001$) and in stage SCS in relation to stages IS ($p = 0.000$) and DS ($p = 0.000$); however, there were no differences among the sampling months ($p > 0.05$). For the HSI, the highest averages were obtained in May/2019 in relation to April/2019 ($p = 0.024$) and October/2019 ($p = 0.041$), as well as in females ($p = 0.006$); no significant differences were obtained for the maturation stage ($p > 0.05$). In relation to VSI, February/2019 recorded a lower average compared to January/2019 ($p=0.004$), March/2019 ($p=0.000$), April/2019 ($p=0.000$), May/2019 ($p = 0.004$), July/2019 ($p = 0.0003$), August/2019 ($p = 0.001$), November/2019 ($p = 0.015$) and February/2020 ($p = 0.001$). Also, there was a higher mean in individuals in the development stage (DS) in relation to the SCS ($p = 0.018$). There was no statistical relationship for sex in relation to VSI ($p > 0.05$).

The results of this study show quantitative indicators of the reproductive biology of *C. undecimalis* in the Parnaíba Delta Environmental Protection Area important as a support for the elaboration of future strategies of fishing planning and conservation of this species.

Discussion

The analysis of the length/weight ratio for separate sexes of *C. undecimalis* indicated negative allometric growth for males (growing longer than in weight) and positive allometric growth for females, suggesting that females grow more in weight than in length. Martinelli (2010) also found similar data in relation to allometry of *C. undecimalis* in Ponta Negra, Natal, Rio Grande do Norte and Gassman *et al.* (2017) found similar data in their studies with this species in Venezuela. Positive allometry of females can be attributed to the availability of food resources in the study environment, to the fact that females need more energy for reproduction, the food ecology strategies of the common snook described by Souza *et al.* (2021) and Nascimento *et al.* (2021) in the Tutóia region - MA, as well as the fact that the study area is inserted in the Parnaíba Delta Environmental Protection Area (EPA), a sustainable use conservation unit administered by IBAMA, created by decree S/nº of 08/28/1996, at the request of environmentalists, in order to protect the coastal ecosystem formed by mangroves and dunes located in the states of Maranhão and Piauí (MMA/ZEE, 2002) (Silva *et al.*, 2018).

In terms of sex ratio of males and females of common snook (*C. undecimalis*), this research reveals the predominance of males of this species throughout the year. Studies by Caballero-Chávez (2011), Perera-García *et al.* (2011); Hernández *et al.* (2014) and Gassman *et al.* (2017) also reported similar data on the sex ratio of this species. These data have already been described in the literature, which may be related to the fact that this species presents protandric hermaphroditic behavior; that is, males, at a certain point in their reproductive biology, undergo modification of their gonadal structure and stop producing sperm, starting to produce female gametes.

Understanding the sexual pattern of a hermaphrodite species, such as the one presented here, is essential for an interpretation of its reproductive and ecological biology (Sadovy of Mitcheson and Liu 2008). Furthermore, this understanding is necessary for the management of the species (Erisman *et al.* 2008) and for the replacement of their population stocks. This study also observed that the sexual transition occurred out of the spawning season, since the female gonads found in the immature stage, when submitted to histological analysis, presented only female gametes.

In addition, it is important to note that the sexual transition after a period of spawning has been documented in several species of hermaphrodite fish (Alonso-Fernandez *et al.* 2011) (Bentivegna; Berica Rasotto, 1983) (Guiguen *et al.* 1994). However, the probability of collecting individuals in a transition state is low (Bentivegna; Berica Rasotto, 1983) (Villegas-Ríos *et al.* 2013), because this transition occurs rapidly, in less than a day for some species (Warner; Swearer 1991). In this study, none of the samples collected presented gonads in transition.

Regarding the condition factor, the statistical tests showed a difference in ANOVA, and the statistical post-technique indicated October as the peak of the condition factor. If we take into account that the reports of fishermen reveal that there are periods of the year when the common snook disappears or is almost not caught, as we saw in September 2019, when this fish has run out, it can be a hypothesis that this temporary isolation may be a preparation for the peak of the condition factor. Usually, during the reproductive period of the species, the rates of the condition factor decrease due to the energy allocated for reproduction. Generally, reduced feeding during spawning contributes to weight loss or reduced growth. Gassman *et al.* (2017) described that the condition factor may vary monthly according to food availability, sex, seasonality and gonadal degree of development.

Another environmental factor that may influence the decrease or "disappearance" of fish in September/October may be the speed of winds in the region that become stronger during the summer and the scarcity of rains that can interfere with the fish distribution process. Also, these events of scarcity of rainfall and higher incidence of winds over the Northeast may also occur alongside phenomena such as El Niño (which occurred in 2019) changing the temperature of the water environment (Silva *et al.*, 2018) and influencing its dynamics.

According to Mendonça *et al.* (2004), the reproductive period of *C. undecimalis* may interfere in the abundance of the species, that is, mature individuals from rivers and lakes may return to the sea to spawn (catadroms); after spawning, they remain for a season at sea to return to the estuarine environment soon after. Mature individuals (in the spawning phase), sampled in the present study, were predominant in both sexes.

Reproductive cycles represent the gonadal development necessary for mature fish to spawn at the appropriate time (Lowerre Barbieri, 2011). In our study, we estimated the lengths of the first sexual maturity (L50; ♀ = 57.21 and ♂ = 54.55 cm), with males dominating the smallest sizes and females dominating the largest, a typical pattern seen among species with protandric hermaphroditism (Shapiro, 1984).

Over the reproductive period, this research describes that the months of February, May and November were the ones with the highest incidence of females in spawning capacity (SCS). Caballero-Chávez (2011) identified the reproductive season of *C. undecimalis* from March to September, with a peak in July in the southwest of Campeche; however, these results may have occurred differently due to the environmental conditions of each country, such as temperature variation, food availability, salinity, winds and sea currents.

In relation to maturation stages, IS, DS and SCS were found for females and IS, DS, SCS and RS for males; the stage "RGS" (regeneration), however, was not found in any of the samples. Histological analyses confirmed the description of each oocytic stage, besides evidencing that they may contain different stages of oocyte development within the gonads, regardless of their maturation stage, which confirms their type of spawning as "multiple". The co-occurrence of different stages of oocytic development was similar to those described for *Centropomus parallelus* (Costa e Silva *et al.*, 2021), *C. pectinatus* (Freitas; Abilhoa, 2017) (Daros, 2016). We also visualized follicles suffering atresia in the common snook samples we analyzed for this study. According to Vazzoler (1996), atretic follicles are those that may not have been eliminated for physiological reasons and, therefore, will end up undergoing degeneration, disintegration and absorption. The author also points out that these atretic follicles are found in mature ovaries or in completely or partially emptied ovaries.

It is noticed that the reproductive behavior of many fish is cyclical, with a more or less regular period, in which the spawning period usually coincides with the favorable season so that young fish can grow and survive (Carvalho *et al.*, 2021). Since external stimuli trigger hormonal adjustment that culminates in spawning, the environment should provide food in the necessary amount, protection against predators, favorable abiotic conditions, as well as conservation measures, from the anthropic point of view, that are adequate (Munro *et al.*, 1990) (Hilborn *et al.*, 2020).

According to local fishermen, in the specific case of populations of *C. undecimalis* on the coast of Maranhão, data is urgently needed, because the fishing fleet from other states such as Ceará, Piauí, Sergipe and Pará is expanding, often with larger vessels than those of Maranhão, capturing excessively and indiscriminately the fishing resources of the Tutóia region. Meanwhile, management policies are still being formulated. If fishing is not managed in a manner consistent with the introduction of a closed season and greater protection of breeding sites, the farm will soon exceed the support capacity of the fish community (Cardoso *et al.*, 2018).

Therefore, the data of this study indicate as a suggestion for fishing planning purposes, that common snook fishing (*C. undecimalis*) is avoided in February, May and November, when the probability of capturing females in spawning capacity is higher and consequently impacts the reproductive cycle of the species and its conservation.

Acknowledgments

We especially thank the Laboratório de Pesca e Ecologia Aquática (UEMA) and Laboratório de Biomarcadores em Organismos Aquáticos (UEMA) for their logistic support in the field and laboratory analyses, respectively. The professionals Ana Lúcia Abreu Silva and Sandra Alves Araújo, from the Laboratórios Multiusuários em Pesquisa de Pós-Graduação – LAMP/UEMA, for the aid provided with photo microscopy of histological slides. We also thank Bicho Nativo. Empresa de Consultoria em Bioestatística e Treinamentos Ambientais, for support in the statistical analysis. We thank the staff of the Maranhão State Research Foundation—FAPEMA for financial support.

Funding

This work was supported by the Maranhão State Research Foundation - FAPEMA (grant number: 00627/2017).

Declaration of interest statement

The authors declare that they have no competing interests.

References

- Ab'Saber, AN. Fundamentos da geomorfologia costeira do Brasil atlântico iter e subtropical. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2000. 1:27-43.
- Adams AJ, Wolfe RK, Layman CA. 2009. Preliminary examination of how human-driven freshwater flow alteration affects trophic ecology of juvenile Snook (*Centropomus undecimalis*) in estuarine creeks. *Estuar Coasts*, 32(4): 819–828. DOI: 10.1007/s12237-009-9156-x.
- Assis DASD, Nobre DM, de Freitas, MC, Moraes LE, Santos ACDA. 2019. Reproductive biology of the protandric hermaphrodite fat snook *Centropomus parallelus* Poey 1860 in a

tropical estuary, northeastern Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 54(3), 225-235.

Almeida ZS, Santos NB, Sousa HL, Carvalho-Neta RNF, Andrade TSOM. 2016. Biologia reprodutiva da pescada amarela (*Cynoscion acoupa*) capturada na baía de São Marcos, Maranhão, Brasil, *Biota Amazônia*. v.6, n.1, p. 46-54. DOI: <http://doi.org/1018561/2179-5746>.

Alonso-Fernandez A, Alós J, Grau A, Domínguez-Petit R, Saboridorey F. 2011. The use of histological techniques to study the reproductive biology of the hermaphroditic Mediterranean fishes *Coris julis*, *Serranus scriba*, and *Diplodus annularis*. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, 3(1): 145–159.

Araújo AS, Chellappa S. 2002. Estratégia reprodutiva do peixe voador, *Hirundichthys affinis* Günther (Osteichthyes, Exocoetidae). *Rev. Bras. Zool.*, v. 19, n. 3, p. 691-703.

Barbieri G. 1994. Dinâmica da reprodução do cascudo, *Rineloricaria latirostris* Boulenger (Siluriformes, Loricariidae) do rio Passa Cinco, Ipeúna, São Paulo. *Rev. Bras. Zool.*, 11(4): 605-615.

Bentivegna F, Berica Rasotto M. 1983. Anatomical features of sex inversion in the rainbow wrasse, *Coris julis*. *Bollettino di zoologia*, 50(1): 73–78.

Brame AB, Mcivor CC, Peebles EB, Hollander DJ. 2014. Site fidelity and condition metrics suggest sequential habitat use by juvenile common snook. *Marine Ecology Progress Series*, 509(1): 255– 269. DOI: 10.3354/meps10902.

Brasil. *Diretoria de Hidrografia e Navegação*. Atlas de Carta Piloto. 2019.

Brennan, NP, Walters CJ, & Leber KM. (2008). Manipulations of stocking magnitude: Addressing density-dependence in a juvenile cohort of common snook (*Centropomus undecimalis*). *Reviews in Fisheries Science*, 16(1-3), 215-227. DOI: <https://doi.org/10.1080/10641260701689022>.

Brown-Peterson NJ, Wyanski DM, Saborido-Rey F, Macewicz BJ, Lowerre-Barbieri SK. 2011. A standardized terminology for describing reproductive development in fishes. *Mar Coast Fish*, v. 3, n. 1, p. 52-70.

Caballero-Chávez V. 2011. Reproducción y fecundidad del robalo blanco (*Centropomus undecimalis*) en el suroeste de Campeche. *Cienc. Pesq.*, 19(1):35–45.

Costa-Filho J & Mello GL. (2015). Crescimento alométrico positivo entre características biométricas de juvenis de robalo-flecha (*Centropomus undecimalis* Bloch, 1972) cultivados. *Arquivo Ciência Veterinária e Zoologia*. UNIPAR, Umuarama, 18(1), 21-26.

Costa e Silva GH, Freitas MO, Abilhoa V. 2021. Reproductive biology of the fat snook *Centropomus parallelus* Poey, 1860 (Teleostei, Centropomidae) and implications for its management in the Southern Atlantic Ocean. *Journal of Fish Biology*. Brief Communication. DOI: 10.1111/jfb.14718.

Cantanhêde B. *Conheça Tutóia...* Gráfica e Editora Tema, São Luís, 2005.

Cardoso AS, Santos NB, Almeida ZS, Carvalho-Neta RNF, Cantanhêde LG. Reproductive biology of king weakfish, *Macrodon ancylodon* (Perciformes, Sciaenidae) from the northeastern coast of Brazil. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, v. 53, n.1, p. 95-104, 2018.

Carvalho IFS, Cantanhêde LG, Diniz ALC, Carvalho-Neta RNF, Almeida, ZS. Reproductive biology of seven fish species of commercial interest at the Ramsar site in the Baixada Maranhense, Legal Amazon, Brazil. *Neotropical Ichthyology*, v. 19, n.2, e200067, 2021.

Cerqueira VR. 2005. Cultivo do robalo-peva, *Centropomus parallelus*. In: Baldisserotto B, Gomes, LC. (Eds.). *Espécies Nativas para Piscicultura no Brasil*. Santa Maria: Editora da UFSM. p. 403-431.

Coelho, K.K.F., Lima, F.S., Wosnick, N., Nunes, A.R.O.P., Silva, A.P.C., Gava, T.T., Brito, R.M.S., Ferreira, L.J.S., Duailibe, I.C.F.S., Dias, H.N., Almeida, Z.S., Nunes, J.L.S. Research trends on elasmobranchs from the Brazilian Amazon Coast: a four-decade review. *Biota Neotropica*, 21(4): e20211218. DOI: <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2021-1218>.

Climatempo 2021 *Previsões do tempo em Tutóia – MA*. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/previsao-do-tempo/cidade/1070/tutoia-ma>. Acesso em: 20 jun. 2021.

Dantas, DV & Barletta, M. 2016. Habitat use by *Centropomus undecimalis* in a rocky area of estuarine beach in north-east Brazil. *J Fish Biol*, 89(1): 794-803. DOI: 10.1111/jfb.130001.

Dias, MS. *et al.* Anthropogenic stressors and riverine fish extinctions. *Ecological Indicators*, v.79, p. 37–46, 2017.

Diniz ALC, Carvalho IFS, Silva APC, Almeida DS, Ferreira LJS. Cantanhêde, LG. 2020. Parâmetros da reprodução de *Mugil curema* (Mugilidae, Teleostei) capturados em uma área da costa amazônica maranhense, Brasil. *Braz. J. Dev.*, v. 6, n. 3, p. 11277-11289. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-119>.

Daros FA, Spach HL, Correia AT. 2016. Habitat residency and movement patterns of *Centropomus parallelus* juveniles in a subtropical estuarine complex. *Journal of Fish Biology* 88:1796-1810. DOI: 10.1111/jfb.12944.

Erisman BE, Rosales-Casián JA & Hastings PA. 2008. Evidence of gonochorism in a grouper, *Mycteroperca rosacea*, from the Gulf of California, Mexico. *Environ Biol Fishes*, 82(1): 23–33.

Espírito-Santo RV, Isaac VJ. 2012. Desembarques da pesca de pequena escala no município de Bragança – PA, Brasil: esforço e produção. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, 25(1): 31-48.

FAO. *The State of World Fisheries and Aquaculture* 2018. Rome: FAO, 2018.

FAO. *The State of World Fisheries and Aquaculture* 2021. Sustainability in action. Rome: FAO, 2021. 244 p.

Farias JL, Zarar CA, Silva-Neto NG, Silva FS, Silva-Junior RF & Cavalli, RO. (2017). Tolerância e crescimento de juvenis do robalo-flecha (*Centropomus undecimalis*) expostos a diferentes salinidades. *Acta Fish* 5 (3): 54-60. DOI: 10.2312/ActaFish.2017.5.3.5460.

Ferraz EM, Petersen L, Passini G & Cerqueira R. (2013). Híbridos Recíprocos Obtidos por Cruzamentos Entre os Robalos *Centropomus parallelus* e *Centropomus undecimalis*. *Boletim do Instituto de Pesca*, 39(1): 53 – 61.

Freitas MO, Abilhoa V. 2017. Reproductive biology of the tarpon snook *Centropomus pectinatus* (Perciformes, Centropomidae) in estuarine waters in the South-western Atlantic. *Journal of Fish Biology* 91:686-694. DOI: 10.1111/jfb.13367.

Galdino MA, Vieira, LSR, Cardoso BR. Prospecção sobre o aproveitamento das correntes marinhas para geração de energia elétrica no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, 7., p.1-10, 2018.

Gassman J. Rojas HL, Padrón D. 2017. Reproducción de los róbalos *Centropomus undecimalis* y *C. ensiferus* (Perciformes: centropomidae) en una laguna costera tropical. *Rev Biol Trop*. 65(1):181–194.

Guiguen Y, Cauty, C, Fostier, A, Fuchs, J, & Jalabert, B. 1994. Reproductive cycle and sex inversion of the seabass, Lates calcarifer, reared in sea cages in French Polynesia: histological and morphometric description. *Environ Biol Fishes*, 39(3): 231–247.

Hernández U, Chiappa X, & Contreras W. (2014). Reproductive variability of the common snook, *Centropomus undecimalis*, in environments of contrasting salinities interconnected by the Grijalva–Usumacinta fluvial system. *Cienc. Mar.*, 40, 173-185.

Hilborn *et al.* 2020. Effective fisheries management instrumental in improving fish stock status. *Proceedings of the National Academy of Sciences Jan 2020*, 117 (4) 2218-2224. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1909726116>.

ICMBIO (2017). *Informações Sobre Visitação - APA Delta do Parnaíba*. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/apa-delta-do-parnaiba/informacoes-sobre-visitacao-apa-delta-do-parnaiba>. Acesso em: 29 ago. 2021.

IUCN (2018). *Brazil on the verge of changing marine conservation history in the South Atlantic*. DOI: <https://www.iucn.org/news/protectedareas/201802/brazil-vergechanging-marine-conservation-history-south-atlantic>. Acesso em: 16 ago. 2018.

Lessa, RP, Santana, F, Menni, R. & Almeida, Z. 1999. Population structure and reproductive biology of the smalltail shark (*Carcharhinus porosus*) off Maranhão (Brazil). *Mar. Freshw. Res.*, 50(5):383-388. DOI: <http://dx.doi.org/10.1071/MF98127>.

Londoño S, Alejandro L, Leal-Flórez J, Blanco-Libreros JF. 2020. Linking mangroves and fish catch: a correlational study in the southern Caribbean Sea (Colombia). *Bull. Mar. Sci.*, 96(3), 415-430. DOI: 10.5343/bms.2019.0022.

Lowerre-Barbieri SK, Ganas K, Saborido-Rey F, Murua H, Hunter JR. 2011. Reproductive timing in marine fishes: variability, temporal scales, and methods. *Mar. Coast. Fish.* v. 3, n.1, p.71–97.

Marceniuk AP, Caires RA, Wosiacki WB, Didario F. 2013. Conhecimento e conservação dos peixes marinhos e estuarinos (Chondrichthyes e Teleostei) da costa norte do Brasil. *Biota Neotrop.* 13(4): 251-259. Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v13n4/pt/abstract?inventory+bn02613042013>.

Marceniuk, AP, Barthem, RB, Wosiacki, WB, Klautau, AGCM., Junior, TV, Rotundo, MM., Cordeiro, APB, Romão-Junior, JG, Santos, WCR, Reis, TS, Muniz, MR, Cardoso, GS & Viana, STFL. 2019. Sharks and batoids (Subclass Elasmobranchii) caught in the industrial fisheries off the Brazilian North coast. *Rev. Nordest. Biol.*, 27(1):120-142. DOI: <http://dx.doi.org/10.22478/ufpb.2236-1480.2019v27n1.47112>.

Martinelli CM. 2010. *Etnobiologia das famílias Centropomidae, Serranidae e Pomatomidae em Ponta Negra, Natal, Rio Grande do Norte*. [Dissertação de Mestrado] Ecologia Humana. Universidade de Campinas.

Mendonça MCFB. 2004. Autoecologia do camorim, *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792), (Perciformes: Centropomidae) em ambiente hipersalino em Galinhos, RN, Brasil. [Tese], Universidade de São Carlos.

Mendonça JT, Chao L, Albieri RJ, Giarrizzo T, Silva FMS, Castro MG, Brick Peres M, Villwock de Miranda L, Vieira JP. 2019. *Centropomus undecimalis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T191835A82665184. DOI: 10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T191835A82665184.en.

Munro AD, Scott AP, LAM TJ. *Reproductive seasonality in teleosts: environmental influences*. Boca Raton, FL: CRC Press, 1990. 254 p.

Nascimento IRMA, Santos JP, Souza JP, Carvalho-Neta RNF, ALMEIDA, ZS. Bioecologia Alimentar e Reprodutiva como subsídio ao cultivo do peixe *Centropomus undecimalis* (Teleostei: Centropomidae) no Brasil: Uma Revisão Sistemática. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 10, n. 16, e592101623893, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i16.23893>.

Nikolsky GV. 1963. *The ecology of fishes*. London: Academic Press.

Nunes ZMP, Pereira MEGS, Da Silva BB, Da Rocha RM, Aspneto NE, Da Silva CS. 2015. Bioecologia do robalo-flexa, *Centropomus undecimalis*, em lagoa costeira tropical do norte do Brasil. *Bol. Inst. Pesca*, v. 41, n.3, p. 457-469.

Orrell TM, Carpenter KE. 2002. Centropomidae (Snooks). *The living marine resources of the Western Central Atlantic*, v.2, p. 1286-93.

Perera-García M, Mendoza M, Contreras W, Huerta M, Pérez E. 2011. Reproductive biology of common snook *Centropomus undecimalis* (Perciformes: Centropomidae) in two tropical habitats. *Rev. Biol. Trop.*, 59: 669-681.

Perera-García M, Mendoza M, Contreras W, Ferrara A, Huerta, M, Hernández, R. 2013. Comparative age and growth of common snook *Centropomus undecimalis* (Pisces: Centropomidae) from coastal and riverine areas in Southern Mexico. *Rev. Biol. Trop.*, v. 61, n. 2, p. 807-819.

Pereira MEGS. De S, Santos FJ da S, Holanda FC, Miranda J, Lutz IA de F, Barboza RSL, Evangelista-Gomes G. 2020. The fishing of the Common Snook *Centropomus undecimalis* (Centropomidae - Perciformes) in the Brazilian Amazon coast: contribution of the fishing actors to fisheries management. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 9, n. 10, p. e6189108945. DOI: 10.33448/rsd-v9i10.8945.

Pinheiro, C., Carvalho, D. de L., Leite, J. C. L., Amorim, T. de L., & Álvares, W. L. F. (2020). Tutoia pelo olhar do turismólogo Nathan Oliveira Cardoso. *Revista Turismo & Amp; Cidades*, 2(3), 187–194. Disponível em: <http://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/turismoecidades/article/view/14077>.

Pinto, J. R. S., Araújo, M. L. G., Rosa, R. A., Santos, J. P., Araújo, A. R. R., & Barbosa, J. M. (2018). Especialização das capturas de robalo (*Centropomus spp*) (Centropomidae – Perciformes) no estuário do Rio Sergipe. *Arquivos de Ciências do Mar*. 51 (2), 72–83. DOI: 10.32360/acmar.v51i2.33177.

Previate I. 2016. *Uso de habitat e padrão de movimento de Centropomus parallelus (N.V. Robalo-peva) no complexo estuarino de Paranaguá*. [Dissertação], Universidade Federal do Paraná. Estado do Paraná, Brasil.

Rodrigues RP, Pereira-Junior, JÁ, Brabo MF, Santos FJS, Aranha TV, Santos MAS. 2020. A pesca esportiva marinha no município de São Caetano de Odivelas, Estado do Pará, Amazônia, Brasil. *Research, Society and Development*, 9(7): 1-23. DOI: 10.33448/rsd-v9i7.470.

Sadovy de Mitcheson Y, & Liu, M. 2008. Functional hermaphroditism in teleosts. *Fish and Fisheries*, 9(1): 1-43.

Santos VLM. 2014. *Biologia reprodutiva e transição sexual do robalo-peva (Centropomus parallelus): aspectos relevantes para a conservação da espécie*. [Dissertação]. Rio de Janeiro: UFRJ.

Schreck CB. 2010. Stress and fish reproduction: The roles of allostasis and hormesis. *General and Comparative Endocrinology*, v. 165, n. 3, p. 549–556.

Silva APC, Diniz ALC, Sousa DB, Carvalho IFS, Nascimento IRMA, Nunes KB, Cantanhêde LG, Espínola NBS, Carvalho-Neta RNF, Almeida ZS (2021). *Biologia reprodutiva de recursos pesqueiros como instrumento de gestão compartilhada em áreas protegidas no estado do Maranhão*. [recurso eletrônico] São Luís: EDUEMA, 2021.

Silva LEO, Silva KCA, Cintra IHA. 2014. Sobre a pesca industrial para peixes diversos na plataforma continental Amazônica. *Rev Bras Eng Pesca*, 7(2), 34-53. DOI: 10.18817/repesca.v7i2.1068.

Silva LMC, Machado, IC, Tutui, LS, & Tomás ARG. (2019). Calendário Etnobiológico do robalo, segundo os pescadores especialistas das áreas estuarinas da Baixada Santista (SP). Investigação qualitativa em ciências sociais. 3Atlas CIAIQ, 2019.

Silva, PSM. (2018). *Dinâmica Costeira do Litoral De Tutóia (MA), a partir da Análise Multitemporal de Imagens de Satélite e do Uso de Geoprocessamento*. [Dissertação de Mestrado], Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Souza JP, Nascimento IRMA, Barros MFS, Carvalho A, da S, Brito PS, Silva, APC, Almeida ZS. (2021). Ecologia alimentar do robalo *Centropomus undecimalis* Bloch 1792 (Teleostei, Centropomidae) na região costeira do Maranhão. *Research, Society and Development*, v. 10, e52010918194. DOI: 10.33448/rsd-v10i9.18194.

Shapiro DY. 1984. Sex reversal and sociodemographic process in coral reef fishes. In: Fish reproduction, strategies and tactics. G. W. Potts and R. J. Wootton (Eds). *Academic Press*, London, p. 103-118.

Stride, RK. (1992). *Diagnóstico de pesca artesanal marinha do Estado do Maranhão*. São Luís: CORSUP/EDUFMA, 205 p.

Taylor RG, Whittington JA, Grier HJ, Crabtree RE. 2000. Age, growth, maturation, and protandric sex reversal in common snook, *Centropomus undecimalis*, from the east and west coasts of South Florida. *Fishery Bulletin*, v. 98, n. 3, p. 612-612.

Taylor, MD, Brennan NP, Lorenzen K, & Leber KM. 2013. Generalized Predatory Impact Model: a numerical approach for assessing trophic limits to hatchery releases and controlling related ecological risks. *Reviews in Fisheries Science*, 21(3-4), 341-353. DOI: 10.1080/10641262.2013.796815.

Vaslet A, Bouchon-Navaro Y, Harmelin-Vivien M, Lepoint G, Louis M, Bouchon C. 2015. Foraging habits of reef fishes associated with mangroves and seagrass beds in a Caribbean lagoon: A stable isotope approach. *Ciências Marinas*, 41(3): 217–232. DOI: 10.7773/cm.v41i3.2494.

Vazzoler AEAM. 1996. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. Maringá: EDUEM, p. 169.

Vieira MC. 2017. *Etnoecologia de robalos na reserva de desenvolvimento sustentável da Barra do Una, Peruíbe/SP*. [Dissertação], Universidade Santa Cecília, Santos, São Paulo. Disponível em: https://unisanta.br/arquivos/mestrado/ecologia/dissertacoes/Dissertacao_Mariana.pdf.

Villegas-Ríos D, Alonso-Fernández A, Domínguez-Petit R, Saboridorey F. 2013. Intraspecific variability in reproductive patterns in the temperate hermaphrodite fish, *Labrus bergylta*. *Marine and Freshwater Research*, 64(12): 1156–1168.

WWF. Áreas protegidas. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/areas_prioritarias/amazonia1/nossas_solucoes_na_amazonia/areas_protegidas_na_amazonia/. Acesso em: 10 ago. 2021.

Warner RR. 1975. The adaptive significance of sequential hermaphroditism in animals. *The American Naturalist*, v. 109, n. 965, p. 61-82.

Warner RR, Swearer, SE. 1991. Social control of sex change in the bluehead wrasse, *Thalassoma bifasciatum* (Pisces: Labridae). *The Biological Bulletin*, 181(2): 199–204.

Winner BL, Blewett, DA, Mcmichael JRRH, Guenther CB. 2010. Relative abundance and distribution of common snook along shoreline habitats of Florida estuaries. *Transactions of the American Fisheries Society*, 139 (1): 62-79. DOI: 10.1577/T08-215.1.

Young JM, Yeiser BG, Whittington JA, Dutka-Gianelli, J. 2020. Maturation of female common snook *Centropomus undecimalis*: implications for managing protandrous fishes. *Journal of Fish Biology*, 97(5): 1317-1331. DOI:10.1111/jfb.14475.

CAPÍTULO III - TRACE ELEMENTS IN THE MUSCLES OF THE *Centropomus undecimalis* CAPTURED IN DELTA OF THE AMERICAS AFTER OIL SPILL IN BRAZIL

Revista: Scientific Report
Status: Revisão Submetida

Autores: Isa Rosete Mendes Araújo Nascimento^{a,b}, Ádila Patrícia Chaves Silva^c, Adriana Silva do Nascimento^{b,d}, Yanna Leidy Ketley Fernandes Cruz^e, Alexandre Santana Azevedo^f, Rosana Sousa de Oliveira Pinho Azevedo^f, Zafira da Silva de Almeida^g, Raimunda Nonata Fortes Carvalho Neta^g

^a Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia – Rede Bionorte, Universidade Federal do Maranhão, CEP 65080-805 São Luís, MA, Brazil.

^bInstituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus Centro Histórico, CEP 65010-030 São Luís, MA, Brazil.

^cPrograma de Pós-Graduação em Recursos Aquáticos e Pesca - Universidade Estadual do Maranhão, CEP 65055-310 São Luís, MA, Brazil.

^dPrograma de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

^ePrograma de Pós- Graduação em em Engenharia de Computação e Sistema, Universidade Estadual do Maranhão, CEP 65055-310 São Luís, MA, Brazil.

^fBicho Nativo, Empresa de Consultoria em Bioestatística e Treinamentos Ambientais, CEP 65074-115 São Luís, MA, Brazil.

^gDepartamento de Biologia, Universidade Estadual do Maranhão, São Cristovão, CEP 65055-310 São Luís, MA, Brazil.

***corresponding author:** Isa Rosete Mendes Araújo Nascimento^{a,b}, E-mail: isarosete@gmail.com, Telephone: +55 98 98182-1217

Abstract

This study analyzed the levels of trace elements in the muscles of *Centropomus undecimalis* in the city of Tutoia, an area partially affected by the oil spill that occurred in Brazil in 2019. The following elements were analyzed in the fish muscle samples: Al, Ba, B, Cd, Ca, Pb, Co, Cu, Cr, Sn, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, K, Ag, Si, Na, V, Zn, Hg, As, Sb, and Se. The analyses showed that the levels of trace elements present in *C. undecimalis* were mostly within the standards established by international legislation. However, the levels of nonessential and toxic trace elements such as Al, Sn, Pb, and Ba were above the standard limit. The limits for essential trace elements such as B, Cu, Cr, Fe, Mo, Ni, V, and Zn also increased. These findings indicate that the periodic intake of these species can cause health problems.

Keywords: Fish, Common Snook, Bioaccumulation, Consumption, Toxicity

1 Introduction

Oil discharges have a high potential for causing environmental concerns ¹ and have been a reality for many countries throughout history. For example, in Brazil, between 1974 and 2019, roughly ten large-scale catastrophes involving oil spills were identified in various areas ². More recently, in August 2019, oil residues impacted the coastlines of 11 states in the Northeast and Southeast regions of Brazil were affected by oil residues, creating social, human health, and environmental disruptions ^{3,4}. This accident affected 3,600 km of the coastline, and more than 980 beaches resulting in the removal of more than 5,000 tons of oily waste from the marine and land regions ^{5,6,2}. Furthermore, it has had severe consequences as a result of its influence on varied ecosystems, such as coral reefs and mangroves, which are essential for the life cycles of many species.

Among the affected regions is the Delta do Parnaíba Environmental Protection Area, a Federal Conservation Unit, which constitutes the largest deltaic formation in the Americas, with dynamic and productive systems of enormous ecological importance, encompassing unique and biologically diverse wetland habitats ^{7,8}. The Parnaíba River, which separates the states of Maranhão and Piauí, forms the only open sea delta in the Americas and splits into five distinct “branches”. It is important to emphasize that Tutóia Bay, the focus of this research, is located on the shore of the fifth and last bay that forms the Parnaíba River Delta ⁹ in the state of Maranhão. This coastal region is under increasing pressure from a variety of stressors, including oil spills from vessels and land freshwater discharges, which can contain considerable amounts of sediments, nutrients, and contaminants of anthropic origin ^{10,11}, including trace elements.

The immediate repercussions of crude oil include the decline and perhaps even extinction of some biota populations, which can produce an imbalance in the food web. The presence of trace elements in the affected water exacerbates the issue, since crude oil, in addition to being rich in hydrocarbons, contains a low percentage of metals ^{12,13}. However, despite the low concentrations of metals and semi-metals, trace levels of water resources can have a magnified effect across the food chain ¹⁴.

Trace elements found in aquatic environments, such as Cd, Cr, Hg, and Pb, can be physiologically absorbed and accumulated biologically along the food chain ^{15,16} and can be biomagnified in marine organisms, such as fish. According to the Agency for Toxic Substances and Disease, USA ¹⁷ the human consumption of contaminated fish can induce food poisoning

and serious neurological disorders. Studies on the presence of trace elements in fish muscle can provide important information. Studies on the existence of trace elements in fish muscle can give valuable information regarding possible hazards to human health in this context.

Centropomus undecimalis, known as common snook or Camurim (Bloch, 1792) is a noble fish that is commercially valuable throughout the Brazilian coast ¹⁸ and is widely consumed globally. This fish is often found in the Atlantic and Pacific oceans of the Americas, as well as the tropics and subtropics ¹⁹. The dietary habits of the common snook show that it is a top predator ²⁰ capable of bioaccumulating trace elements in its muscles. In this study, we aimed to determine the presence and amounts of trace elements in the muscles of *C. undecimalis* obtained after the 2019 oil spill in Tutóia Bay, MA, and to highlight the consequences of this contamination for human consumption.

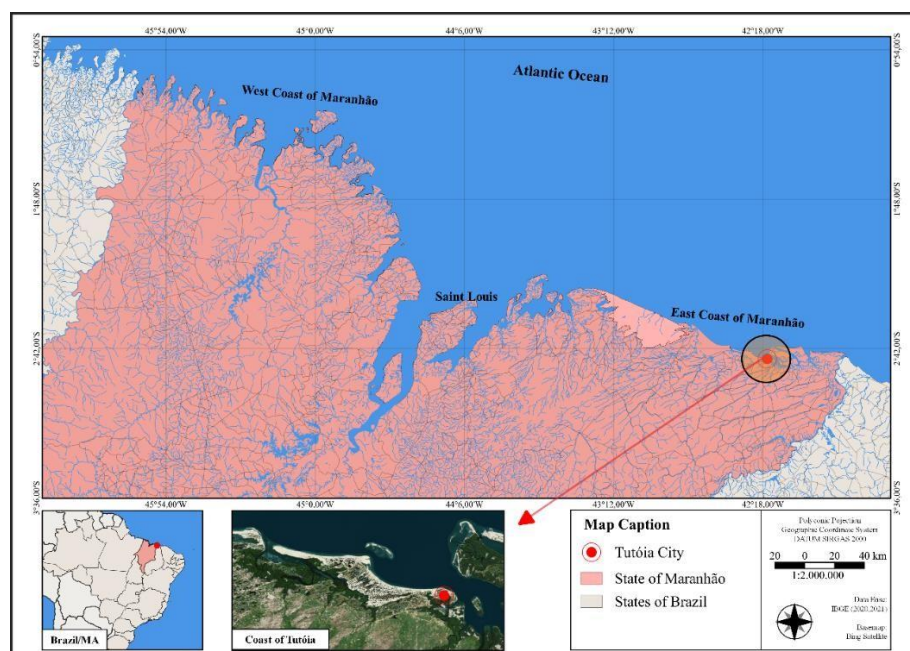
2 Methods

2.1 Study area

The selected study area was located on the northern coast of Brazil. It includes the Amazon Coast of Maranhão, covering regions of the West Coast, Golfão Maranhense, and a portion of the east coast between the Lençóis Maranhenses and the Parnaíba Delta on the border with the state of Piauí.

The city of Tutóia, Maranhão, is located between the geographic coordinates 2°45'44" Lat. South and 42°16'28" Long. West (Figure 1) according to the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) data ²¹. This area has an estimated population of 59,398 inhabitants and is approximately 226 km from the island of São Luís, with a population density of 31.96 inhabitants/ km². This region had extensive productive fisheries, however, there were no species protection initiatives. Fishermen collected and sold fish along the northern shore at the Tutóia markets

Figura 0-1 - Maranhão's coast map, northern coast of Brazil, with emphasis on the city of Tutóia, MA



Authorship: Costa, 2022. Developed with Quantum GIS software, version 3.10 available in <https://qgisbrasil.org/i-encontro-brasileiro-de-usuarios-qgis/download/>

2.2 *Centropomus undecimalis* Sampling

This study we analyzed the concentration of trace elements in fish muscle *Centropomus undecimalis* purchased commercially in the city of Tutóia which was partially affected by the 2019 oil spill accident. Fish muscle samples were directed to the Laboratory of Fisheries and Aquatic Ecology-LabPEA of the State University of Maranhão/UEMA, packed in styrofoam with ice, between October to December, 2019. Sterile scalpels were used to make 50 g cuts of each of the fish samples ($n = 10$), which were then weighed on precision scales and packed in individually labeled plastic bags. The samples were subsequently stored in an ultra-freezer at an average temperature of -18°C .

2.3 Sample analysis

The presence of trace elements was determined in ten muscle samples of *C. undecimalis*. The glassware was decontaminated in a 30% nitric acid ($\text{HNO}_3 \geq 65\% \text{ vv-1}$) bath before being rinsed with ultrapure Milli-Q water for trace element identification and quantification. The reagents used for digestion were of analytical grade: hydrochloric acid ($\text{HCl} \geq 37\%$), nitric acid, and hydrogen peroxide (H_2O_2 30% vv-1), as determined by Viñas²³. The

concentrations of Hg, As, and Se conformed to the EPA 3050 B method (1996)²⁴, EPA 7062 method (1994)²⁵, EPA method 7742 (1994)²⁶, and EPA method 7471 B (2007)²⁷. Absorption spectroscopy using a graphite furnace (AAS/GF) was performed for these analyses. EPA 3050 B (1996)²⁴ and EPA method 7041 (1986)²⁸ were used in a graphite furnace model GBC Avanta to calculate the Sb concentrations.

To determine the concentrations of other trace elements such as Al, Ba, B, Cd, Ca, Pb, Co, Cu, Cr, Sn, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, K, Ag, Si, Na, V, and Zn, (ICP/OES 6300) Thermo Scientific - iCAP 6300 - ICP-OES CID Spectrometer equipment (inductively coupled atomic emission spectrometry) was used according to the reference Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22st Edition²⁹ (method 3030 e method 3111 B), atomic absorption. After data collection, statistical analyses were performed to compare the obtained values with the reference values.

2.4 Data analysis

SPSS v. 26 was used for data analysis, with a significance level of 0.01. The Student's t-test was performed to compare the reference values of each metal to the averages measured in the samples. The possible correlations between the condition factor³⁰ of each individual and the values of the detected metals were determined using Pearson's linear correlation coefficient. Cook's distance was measured to determine whether the observations influenced the slope of the straight line in the linear model. Correlation analyses were repeated excluding the samples with values greater than one. All comparisons were made with metals/semimetals that showed variations in their measurement values.

3 Results

After the 2019 oil spill that partially impacted the Maranhão coast, one of the common nook varieties of the species *C. undecimalis* caught between the months of October and December exhibited oiled skin, as seen in Figure 2. Other specimens also presented dark-colored muscles, opaque scales, and endoparasites in the viscera, raising concerns about the quality of the fish.

Figura 0-2 - Oiled fish caught off the coast of Maranhão in October 2019. Female of *Centropomus undecimalis* measuring 60cm in Total Length.



Owing to the presence of oil in the scales and the appearance of the common Snook samples, it was important to assess the muscle quality of this species for human consumption. In this study, trace elements were investigated due to the numerous consequences on the food chain.

The limits of quantification, detection and concentrations of the essential and non-essential elements found in the muscles of *C. undecimalis* are listed in **Tables 1, Table 2 and Table 3**. The averages of metals and their respective reference values were compared to international environmental references, and significant differences were observed in the averages for total aluminum ($t = 3.362$; $p = 0.008$), copper ($t = -198322.64$; $p = 0.000$), chromium ($t = -905.783$; $p = 0.000$), iron ($t = -28.032$; $p = 0.000$), nickel ($t = -163.286$; $p = 0.000$), and zinc ($t = -101.119$; $p = 0.0000$). Only aluminum exceeded the mandated reference value, according to these findings.

Table 1: Correlation between the condition factor and the total concentration of trace elements in common snook muscle samples in the city of Tutóia, MA, after an oil spill accident.

Trace elements	r^2	R	p -value ^(a)
Aluminum	0.002	0.046	0.906
Barium	0.035	0.187	0.605
Boron	0.068	0.261	0.467
Calcium	0.011	0.326	0.392
Lead	0.000	-0.019	0.959
Copper	0.146	0.382	0.275
Chromium	0.232	0.482	0.158

Tin	0.046	0.214	0.553
Iron	0.057	0.239	0.506
Magnesium	0.010	0.102	0.778
Nickel	0.020	0.142	0.696
Potassium	0.069	-0.263	0.464
Silicon	0.007	-0.086	0.814
Sodium	0.029	-0.170	0.639
Zinc	0.369	0.607	0.063

(a) Pearson's linear correlation test

Table 2: Average total concentrations (mg/kg) of essential trace elements detected in Common Snook muscle samples collected in the city of Tutóia, MA.

Essential elements	Mean $\pm$ SD	Range	DT	LQ	Reference dose (RfD)	regulatory Agency
Boron (B)	0.58 $\pm$ 0.22	0.10–0.76	0.03	0.10	0.2*	US EPA (2013)
Calcium (Ca)	137.05 $\pm$ 23.19	104.18–187.08	0.16	0.50	NF	-
Cobalt (Co)	<0.10	<0.10	0.03	0.10	0.0003*	US EPA (2018)
Copper (Cu)	1.27 $\pm$ 0.11	1.06–1.38	0.06	0.20	0.04 *	US EPA (2013)
Chromium (Cr)	0.28 $\pm$ 0.16	0.20–0.67	0.06	0.20	0.003*	US EPA (2013)
Iron (Fe)	8.88 $\pm$ 2.91	6.20–14.18	0.01	0.05	0.7*	US EPA (2013)
Manganese (Mn)	<0.05	<0.05	0.01	0.05	0.14*	US EPA (2013)
Magnesium (Mg)	225.20 $\pm$ 33.54	177.02–283.05	0.03	0.10	NF	-
Molybdenum (Mo)	<7.00	<7.00	2.33	7.00	0.005*	US EPA (2018)
Nickel (Ni)	0.24 $\pm$ 0.02	0.22–0.26	0.03	0.10	0.02*	US EPA (2013)
Potassium (K)	2746.62 $\pm$ 293.26	2428.39–3286.59	0.03	0.10	NF	-
Selenium (Se)	<0.01	<0.01	0.003	0.01	0.005*	US EPA (2018)

Silicon (Si)	507.98 ± 357.72	0.50–834.17	0.16	0.50	NF	-
Sodium (Na)	1050.36 ± 232.16	606.56–1384.87	0.03	0.10	NF	-
Vanadium (V)	<0.30	<0.30	0.10	0.30	0.005*	US EPA (2013)
Zinc (Zn)	5.38 ± 0.57	4.81–6.51	0.03	0.01	0.3*	US EPA (2013)

*Quality standards allowed for fish muscle tissue. LQ: limit of quantification. DT: Detection threshold. NF: No Found. NOTE: Trace element values above the acceptable level and their respective reference doses (RfD) defined by regulatory agencies are in bold.

Table 3: Average total concentrations (mg/kg) of non-essential trace elements detected in Common Snook muscle samples in the city of Tutóia, MA.

Non-essential trace elements	Mean ± SD	Range	DT	LQ	Reference Dose (rfd)	Regulatory Agency
Aluminum (Al)	4.96 ± 2.78	3.10–12.51	0.03	0.10	1*	US EPA (2013)
Antimony (Sb)	<0.10	<0.10	0.03	0.1	0.004*	US EPA (2013)
Arsenic (As)	<0.10	<0.10	0.03	0.1	0.0003*	US EPA (2013)
Barium (Ba)	0.57 ± 1.46	0.10–4.73	0.03	0.10	0.2*	US EPA (2013)
Cadmium (Cd)	<0.10	<0.10	0.03	0.100	0.003*	US EPA (2013)
Lead (Pb)	0.99 ± 0.05	0.91–1.04	0.03	0.10	0.3*	CODEX (2010)
Tin (Sn)	3.11 ± 0.86	2.11–4.71	0.03	0.10	0.6*	US EPA (2013)
Mercury (Hg)	<0.05	<0.05	0.01	0.05	1*	CODEX (2010)
Silver (Ag)	<0.10	<0.10	0.03	0.10	0.005*	US EPA (2013)

*Quality standards allowed for fish muscle tissue. LQ: limit of quantification; DT: Detection threshold. NOTE: Trace element values above the acceptable level and their respective reference doses (RfD) defined by regulatory agencies are in bold.

Based on the correlations between fish condition factors and metal concentrations, significant relationships were found between total aluminum ($r^2 = 0.576$; $r = 0.759$; $p = 0.011$) and calcium ($r^2 = 0.529$; $r = 0.727$; $p = 0.017$). When Cook's distance was calculated to determine if the observations altered the slope of the straight line of the linear model, one of the samples had a total aluminum distance of 4.637 and a total calcium of 1.769. These values

greater than 1 suggest that this sample acts as an outlier and should thus be excluded from the analyses. When analyses were performed without this sample, no significant relationship was found ($p > 0.05$).

The average concentrations of essential and non-essential trace elements in common nook muscle samples were determined in this study. The outcomes are shown in Table 2 and Table 3, respectively.

4 Discussion

Fish Contamination

Many populations rely on fish as a protein source. However, the high incidence of toxicity in aquatic organisms, particularly by trace elements, has caused widespread concern globally. Once available in the water, these elements can accumulate in the liver and muscle of fish ^{31,32}. According to the Pan American Health Organization (PAHO), the commercialization of fish contaminated by chemical substances of anthropogenic origin is unfortunately a global reality and causes the deaths of approximately 420 thousand people per year ^{33,34}.

Oil spills, among other environmental impacts, inflict irremediable damage to many aquatic species and the ecosystem. Furthermore, organisms such as fish may absorb toxic trace elements in their tissues from environmental contamination at any concentration, rendering them vulnerable and affecting the entire food chain. Consumption of this fish contaminated with oil poses a major health risk to humans ². Crude oil is a complex mixture of toxins that include trace metals³. Trace elements are found as organic salts associated with the aqueous phase or as complex organometallics and metals linked to ligands ^{35,36}. Thus, food control authorities are responsible for the regulatory management of potentially hazardous chemical compounds present in foods, such as fish.

The mean concentrations of trace elements found in the *Centropomus undecimalis* muscle were quite variable in this study, therefore, the data presented in tables 2 and 3 were compared to the values of the international reference doses (RfD) of the US-EPA (United States-Environmental Protection Agency) and CODEX Alimentarius to detect elements with values over the legal limits. Our understanding enables us to link the amounts of non-essential

and essential trace elements in this study to their potential consequences on health and the environment.

Non-essential trace elements

Non-essential elements can harm organisms and cause mortality^{14,37}. Non-essential metals are resistant to decomposition in nature and tend to bioaccumulate in microorganisms, flora, and fauna, as well as biomagnify in some cases^{38,39,40}. Therefore, monitoring seafood, particularly fish, is essential since exposure to toxic components may compromise the entire food chain. The amount of pollutants in the water body reflects the quality of fish, and bioaccumulation is evaluated from the amounts of contaminants in tissues. Trace elements, including Hg, Pb, Cd, and As, are among the top ten most toxic compounds to humans^{41,42}

The average amounts of non-essential or toxic elements found in the muscles of *C. undecimalis* revealed that the levels of Al, Sn, Pb and Ba changed the most in the samples studied following the oil spill accident in August 2019. Al was the non-essential element with the highest values above the expected limit, with a mean of 4.90 ± 2.78 mg/kg, while the US EPA⁴³ permissible dose was 1 mg/kg. The consequences of Al consumption in humans, according to Verstraeten et al.⁴⁴ and Medeiros⁴⁵, are mainly related to neurotoxicity and the development of neurodegenerative disorders. It is worth noticing that the development of these diseases is dependent on the frequency by which they are consumed by a humans. Sn, like other non-essential elements, has no biological function and can cause negative consequences even at low concentrations in the body⁴⁶. Sn enters the human body through ingestion, inhalation, or direct contact. However, it is poorly absorbed and retained by humans; though, and large quantities of inorganic tin can cause stomach discomfort, anemia, and liver and kidney disorders⁴⁷. In this study, the mean value for tin was 3.11 ± 0.86 mg/kg, which is higher than the US EPA⁴³ reference dose.

The concentration of Pb identified in this study was 0.99 ± 0.05 mg/kg, which is three times the tolerable amount for fish muscle tissue, i.e. 0.3 mg/kg⁴⁸. However, Pb is not an essential metal. The most toxic form of Pb is the soluble inorganic phase⁴². Lee et al.⁴⁹ reported that exposure to low Pb concentrations can be fatal to aquatic animals. Furthermore, several studies have linked the prevalence of various disorders with Pb exposure through seafood consumption, especially fish. These disorders include kidney problems, reproductive disorders,

changes in the cognitive development of growing children, and muscular and cardiovascular problems⁵⁰. The bioaccumulation levels of Pb in fish have been extensively investigated due to widespread concern about ingestion and harmful consequences on the species⁵¹ as well as its capacity to biomagnify. Once bioaccumulated, it affects the neurological system, gastrointestinal tract, cardiovascular system, and kidneys. Even at low concentrations, exposure to Pb has already caused approximately 0.6% of global mortality in developing countries, mainly children, where effects due to Pb exposure are irreversible⁴². Excess Pb in humans can interfere with calcium concentration, as it inhibits or mimics the action of calcium on proteins, forms stable complexes, and interferes with the functioning of cell membranes and enzymes^{52,53}.

Water pollution sources are largely responsible for the exposure of aquatic organisms to trace metals, which have negative repercussions on consumer health⁵⁴. Among the main sources, oil spills resulting from oil activities are prominent. Metals such as Cr, Mn, Cu, Ni, V, and Pb can cause kidney damage, neurotoxicity, carcinogenicity, and immunotoxicity in an environment contaminated with crude oil and/or its derivatives, according to the Agency for Toxic Substances and Disease Registry, USA⁵⁵. According⁵⁶, high concentrations of Pb and Hg have already been identified in wild sea bass as a result of seawater pollution caused by industrial discharges. It should be noted that the tolerable limit of Hg in fish muscle, 1.0 mg/kg is generally allowed for predatory species, according to⁵⁷. The Hg profile reported in sea bass samples was less than 0.05 mg/kg, therefore it is within the standards required by world legislation⁵⁷.

Ba has a wide range of applications, notably in petroleum activities such as barite (BaSO_4)⁴⁴. In this study, the Ba concentration in the muscle of sea bass was 0.57 ± 1.46 mg/kg, which is higher than the US EPA⁴³ permitted quality standard for fish muscle tissue of 0.2 mg/kg. The high intake of this element can cause poisoning in humans since its ingestion in the form of carbonate is easily dissolved in stomach acid³. The periodic consumption of Ba can cause bioaccumulation and/or biomagnification in fish which can subsequently cause tremors, fibrillation, paralysis of the muscles of the face and neck, nausea, vomiting, diarrhea, abdominal pain, agitation, anxiety, seizures, coma in humans.

It is also noteworthy that among the non-essential trace elements analyzed in this study, the levels of Sb, As, Cd, and Ag were found to be less than 0.10 mg/kg. However, because of the detection limit of the equipment used in this study, it was not possible to confirm whether the values of the aforementioned elements were above or below the US EPA reference dose⁴³.

Essential trace elements

The concentrations of elements considered essential and with important biological functions found in the muscle of sea bass were also examined following international regulatory agencies. We noted that the levels of B, Cr, Mo, Fe, Ni, Se, V, and Zn showed changes in concentrations over time.

The total B content found in this study was 0.58 ± 0.22 mg/kg, that is, it was over the reference dose, according to the US EPA⁴³. B concentrations up to 0.2 mg/kg are not harmful to the human body since B is a metal that does not bioaccumulate or biomagnify in fish and maybe detoxified^{58,59}. The detoxification process is a natural defense mechanism in fish that prevents bioaccumulation⁶⁰. However, in cases of high concentrations due to periodic ingestion of B, reproductive toxicity can occur in animals; and in humans, it can cause diarrhea, vomiting, sore throat, skin irritation, and nausea (US EPA, 1989).

Despite being an essential metal, Cr attained an average concentration of 0.28 ± 0.16 mg/kg in the muscles of sea bass, which is higher than the value permitted by the US EPA⁴³ of 0.03 mg/kg, indicating the high bioavailability of this metal in the diet. Toxicity from Cr is concerning because, in its hexavalent state, free radicals are created in the cellular environment, especially when they undergo reduction. Subsequently, these free radicals induce oxidative damage to proteins and genetic material, causing carcinogenesis⁶¹.

The concentration of Mo was less than 7.00 mg/kg, higher than the acceptable value of this element for ingestion according to the US EPA⁶² of 0.005 mg/kg. Excessive ingestion of Mo can cause an increase in uric acid levels in the blood, joint pain, and problems in the stomach, liver, and kidneys US EPA⁶³.

The concentration of essential elements V and Ni present in *C. undecimalis* were less than 0.30 mg/kg and 0.24 ± 0.02 mg/kg, respectively, but above permissible limits. The US EPA⁴³ indicates as reference doses 0.005 mg/kg for V and 0.02 mg/kg for Ni. It is important to

highlight that V and Ni are the most abundant elements in petroleum, reaching concentrations of up to 1400 ppm, in the form of organometallic complexes⁶⁴

According to the US EPA (2013), the reference doses of Zn and Cu are 0.3 mg/kg and 0.04 mg/kg, respectively. However, the values found in this study with sea bass were 5.38 ± 0.57 mg/kg for Zn and 1.27 ± 0.11 mg/kg for Cu, therefore, the doses for both elements were above that allowed by the regulatory agencies. Trace elements, such as Zn and Cu, are important in raw fish meat to meet the daily human intake requirements^{65,66} Although they are essential elements for nutritional maintenance, in very high concentrations they can have adverse effects on consumer health.

Elements such as Fe participate in various metabolic processes, and its deficiencies can cause serious dysfunctions in the body⁴⁶. In this study with *C. undecimalis*, the average doses of iron found were 8.88 ± 2.91 mg/kg, thus being well above the value defined by the US EPA⁴³ for Fe standards in the muscles of fish. It should be noted that Fe deficiency leads to anemia, and excess nutrients cause hemochromatosis, a disease characterized by the accumulation of iron in the form of ferritin (a protein that stores the nutrient) in the muscles, liver, pancreas, joints, and heart, causing organ and tissue damage⁶⁷

The concentration of Si in the sea bass sample was 507.98 ± 357.72 mg/kg, which is substantially higher than the value obtained by Nuurtamo et al.⁶⁸ (30 mg/kg). In Belgium, the Si content in fish and mussels was reported to range between 1.7 and 84.19 mg/kg⁶⁹. However, experts argue that there is no maximum or minimum dosage of Si consumption. Therefore, the concentration of Si identified in *C. undecimalis* in this study could not be compared to a reference dose established by an international regulatory agency. Similarly, other essential elements such as Ca, Mg, K, and Na were analyzed. However, the reference doses of these elements in fish have not been defined in international legislation. However, according to Brazilian legislation⁷⁰, the limit doses allowed for muscle in fish are 134 mg/kg for Na and 502 mg/kg for K. The values obtained in this study for both these elements, 1050.36 ± 232.16 mg/kg for Na and 2746.62 ± 293.26 mg/kg for K, were above the recommended levels by Brazilian legislation and may lead to renal dysfunction and/or cardiovascular alterations in humans.

Both, Co and Se had average values less than 0.10 mg/kg, however, the reference doses of the US EPA⁶² for these elements in fish muscle are 0.0003 mg/ kg and 0.005 mg/kg, respectively. However, the detection limitations of the equipment employed in this study, could not confirm whether the Co and Se readings were higher or lower than the reference dosages. In this study, the Hg values were within the standards. It is important to highlight that Se exerts a significant protective effect in the process of reducing mercury toxicity^{66,71,72} by sequestering the metal, thereby reducing its biological availability and toxicity⁷³. The daily intake recommended by US EPA⁴³ for Mn is 0.14 mg/kg and the concentration found in the muscles of sea bass was less than 0.05 mg/kg, being within the standards required.

Excessive interaction of a certain substance with living beings can be toxic^{74,75}. Therefore, the results of this research indicate that the toxicity of the trace elements studied depends on the amount and frequency of ingestion since even essential elements can become hazardous if consumed at sufficiently high levels or for sufficiently long periods. Because of this evidence, further studies are recommended to continue this work, to monitor new samples of *C. undecimalis* muscles, deepening the analyses of the trace elements in this species and evaluating the residence time of these elements in the environment. It is also recommended that a survey of the periodicity and average per capita consumption of this fish in the study region was conducted to assess the risks of eating the muscle of this fish by consumers.

The data from this study contribute to advances in the knowledge of the effects of fish contamination by trace elements from oil spills and their damage to human health. In addition, it helps to carry out future research with environmental monitoring.

Acknowledgement

We thank the teachers, Raimunda Nonata Fortes Carvalho Neta and Zafira da Silva de Almeida, for their guidance and the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001, the Foundation for Research Support in the State of Maranhão – FAPEMA and PROAP/PPGRAP-UEMA for providing financial support for this analysis. We also thank the organization Bicho Nativo for carrying out the data analysis and all direct and indirect collaborators who made this work possible.

Ethics approval and consent to participate

All methodological procedures for fish management were approved by the Ethics Committee of the State University of Maranhão - UEMA (no. 4.476.902/2020).

Consent for publication

The authors declare consent this publication.

Availability of data and materials

The datasets used and analysed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

References

1. Singh A, Asmathb H, Cheec CL, Darsand J. (2015) Risco potencial de derramamento de óleo do transporte marítimo e as implicações para a gestão no Mar do Caribe. *Mar. Pollut. Bull.* Volume 93, edições 1–2 , 217-227.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.01.013>
2. Melo PTS, Torres JPM, Ramos LRV, Fogaça, FHS, Massone CG, Carreira RS. PAHs impacts on aquatic organisms: contamination and risk assessment of seafood following an oil spill accident. *Annals of the Brazilian Academy of Science* (2022) 94(Suppl. 2): e20211215 DOI 10.1590/0001-3765202220211215
3. Pena, P. G. L., Northcross, A. L., Lima, M. A. G. de, & Rêgo, R. de C. F. (2020). *Derramamento de óleo bruto na costa brasileira em 2019: emergência em saúde pública em questão. Cadernos de Saúde Pública*, 36(2). doi:10.1590/0102- 311x00231019
4. Lourenço, R. A., Combi, T., da Rosa Alexandre, M., Sasaki, S. T., Zanardi-Lamardo, E., & Yogui, G. T. 2020. Mysterious oil spill along Brazil's northeast and southeast seaboard (2019–2020): Trying to find answers and filling data gaps. *Marine pollution bulletin*, 156, 111219. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111219>.
5. BRASIL. 2019. Marinha, Exército, Corpo de Bombeiros e Ibama atuam no combate às manchas de óleo no Nordeste. Ibama, 05 de nov. de 2019. Available in: <https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/noticias/ultimasnoticias/marinha-exercito-corpode-bombeiros-eibama-atuam-no-combate-as-manchas-de-oleo-nonordeste>.
6. Soares MO, Teixeira, CE. P.; Bezerra, L.E.A.; Paiva, S.V.; Tavares, T.C.L.; Garcia,T. M.; Araújo, J. T.; Campos, C. C.; Ferreira, S.M.C.; Matthews-Cascon, H.; Frota, A.; Mont'alverne, T. C. F., Silva, S. T., Rabelo. E. F., Barroso, C. X., Freitas, J. E. P., Junior, M.M.; Campelo R.P.S.; Cavalcante, R. M. 2020. Oil spill in South Atlantic (Brazil):

- environmental and governmental disaster. *Marine Policy*, 115, 103879.
7. Giosan, L., Syvitski, J., Constantinescu, S. & Day, J. Climate change: protect the world's deltas. *Nature News* 516(7529), 31 (2014).
 8. Guimarães-Costa, A.J., Machado, F.S., Oliveira, R.R.S. *et al.* Fish diversity of the largest deltaic formation in the Americas - a description of the fish fauna of the Parnaíba Delta using DNA Barcoding. *Sci Rep* 9, 7530 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43930-z>
 9. Pinheiro, C., Carvalho, D. de L., Leite, J. C. L., Amorim, T. de L., & Álvares, W. L. F. (2020). Tutóia pelo olhar do turismólogo Nathan Oliveira Cardoso. *Revista Turismo & Cidades*, 2(3), 187–194. Recuperado de <http://periodicoeletronicos.ufma.br/index.php/turismoecidades/article/view/14077>
 10. Kroon, F.J., Thorburn, P., Schaffelke, B., Whitten, S., 2016. Towards protecting the Great Barrier Reef from land-based pollution. *Global Change Biol.* 22, 1985. <https://doi.org/10.1111/gcb.13262> , 2002.
 11. Nkwoji, J.A., Ugbana, S.I., Ina-Salwany, M.Y., 2020. Journal Pre-proof. Impacts of landbased pollutants on water chemistry and benthic macroinvertebrates community in a coastal lagoon, Lagos, Nigeria. *Impacts Land-Based Pollut. Water Chem. Benthic Macroinvertebrates Commun. Coast. Lagoon* 7, e00220. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00220>
 12. ASTM. International Helping our World work better (1996). Committee D20 Subcommittees Available in: <https://www.astm.org/get-involved/technical-committees/committee-d20/subcommittee-d20>
 13. Mello, P. A., Pereira, J. S. F., Mesko, M. F., Barin, J. S., & Flores, E. M. M. (2012). Sample preparation methods for subsequent determination of metals and non-metals in crude oil—A review. *Analytica Chimica Acta*, 746, 15–36. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2012.08.009>
 14. Lima, V. F.; Merçon, F. Metais pesados no ensino de química. *Química nova na escola*. Vol. 33, no . 4, p. 199-202, 2011.
 15. . Gu, Y. G., Wang, Z. H., Lu, S. H., Jiang, S. J., Mu, D. H., & Shu, Y. H. 2012. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify source of anthropogenic impacts on metallic elements in sediments from the mid Guangdong coasts, China. *Environmental pollution*, 163, 248-255. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.041>.
 16. Lima, G. M. D. 2020. Estanho: um metal estratégico ontem e hoje. *Química Nova*, 42, 1189-1198. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170444>.

17. ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2009). Minimal Risk Levels (MRLs). Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/minimalrisklevels/index.html>
18. Eduardo, N., & Frédou, T. 2017. Feeding ecology of *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792) and *Centropomus parallelus* (Poey, 1860) in two tropical estuaries in Northeastern Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 12(2), 123-135.
19. . Froese R, Pauly D (2021) FishBase. www.fishbase.org. Acessado em 12 de janeiro de 2021.
20. Machado, M. R. F.; de Oliveira Souza, H.; de Souza, V. L.; de Azevedo, A.; Goitein, R.; Nobre, A. D. 2013. Morphological and anatomical characterization of the digestive tract of *Centropomus parallelus* and *Centropomus undecimalis*. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 35(4), 467-474. <https://doi.org/10.4025/actasciobiolsci.v35i4.14352>.
21. IBGE. Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). 2020. Panorama of the Municipality of Tutoia-MA. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/tutoia/panorama>.
22. Costa G. (2022) Coastal Region of the State of Maranhão. Available in: https://www.researchgate.net/publication/365698785_Coastal_Region_of_the_State_of_Maranhao?_sgl0=24u25pBkTvg9LW7KLXjpiCUIYrSBtBoQxFW0mtimSUF06Cfa2wbmRt3NA3Pw9CdJk1rfFDPNMD4-2ld_RcnZZP62B-aQ8ACuLmLHX3ba.RbGsshB9ZwOb9F0iFjKGrooj3taBerlTVIYYP4IcksXW57tP8o6LpMKxOvEDICP-ulzPbmw-wfLhhMVeYwJNw
23. Viñas, P. Pardo-Martinez, M., Hernandez-Cordoba, M., 2000. Determination of copper, cobalt, nickel, and manganese in baby food slurries using electrothermal atomic absorption spectrometry. *J Agricult f chemist* 48, 5789e5794.
24. US EPA - United State Environmental Protection Agency; USEPA 3050B, Method 3050B. Acid Digestion of Sediments, Sludges and Soils, 1996. <http://www.epa.gov/waste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3050b.pdf>, accessed
25. US EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). Method 7062 - antimony and arsenic (atomic absorption, borohydride reduction). 1994.
26. EPA Methods, 7742, Selenium (Atomic Absorption, Borohydride Reduction). In: Status tables for SW-846, third edition. U.S. Environmental Protection Agency. 1994. Disponível em: [Method 7742: Selenium \(Atomic Absorption, Borohydride Reduction\), part of Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods \(pdf\)](#)
27. US EPA. Method 7471B – Mercury in solid or semisolid waste (manual cold-vapor technique), February 2007, rev.02, 11 p. Available at www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/7471b.pdf
28. EPA Methods, 7041, Test Methods for Evaluating Solid Waste: Physical/Chemical Methods. SW-846, Third Edition, November 1986, with updates I, II, IIA, IIB and III.

Office of Solid Waste and Emergency Response, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 20460.

29. US EPA (2012) Drinking Water Standards and Health Advisories. EPA 822-S-12-001
30. Nascimento IRMA, Diniz ALC, Cruz YLF, Azevedo AS, Azevedo RSOPA, Sousa DBP, Almeida, ZS, Carvalho Neta RNF. Quantitative indicators of the reproductive biology of adult specimens of *Centropomus undecimalis* (Teleost: Centropomidae) obtained from commercial fishermen in the Parnaíba Delta Environmental Protection Area, north coast of Brazil. *Bol. Inst. Pesca* 2022, 48: e726 DOI:[10.20950/1678-2305/bip.2022.48.e726](https://doi.org/10.20950/1678-2305/bip.2022.48.e726)
31. Squadrone S, Prearo M, Brizio P, Gavinelli S, Pellegrino M, Scanzio T, Guarise S, Benedetto A, Abete MC (2013) Heavy metals distribution in muscle, liver, kidney and gill of European catfish (*Silurus glanis*) from Italian Rivers. *Chemosphere* 90:358–365
32. Squadrone, S., Brizio, P., Stella, C.; Mantia, M., Favaro, L., Biancani, B., Gridelli, S., Da Rugna, C., Abete, M. C. (2019). Differential Bioaccumulation of Trace Elements and Rare Earth Elements in the Muscle, Kidneys, and Liver of the Invasive Indo-Pacific Lionfish (*Pterois* spp.) from Cuba. *Biological Trace Element Research*, – . doi:10.1007/s12011-019-01918-w
33. PAHO/OMS BRASIL. Segurança dos alimentos é responsabilidade de todos. Disponível em: https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5960:seguranca-dos-alimentos-e-responsabilidade-de-todos&Itemid=875 . Acesso em: 4 out. 2019.
34. Maciel O.; Hauser-Davis, RA (2021) Segurança do alimento no caso de metais e metalóides em pescado: normas e legislações. Disponível em: <https://portalefood.com.br/artigos/seguranca-do-alimento-no-caso-de-metais-e-metaloides-em-pescado-normas-e-legislacoes/>
35. Speight, James G.; Speight, J. G. Handbook of petroleum analysis. New York, NY, USA: Wiley-Interscience, 2001.
36. Fetter, N., Blichert-Toft, J., Télouk, P., & Albarède, F. (2019). *Extraction of Pb and Zn from crude oil for high-precision isotopic analysis by MC-ICP-MS. Chemical Geology.* doi:10.1016/j.chemgeo.2019.02.021
37. Silva, S. A., Bonemann, D. H., Silva, J. D. S. D., Timm, J. G., Ribeiro, A. S., & Vieira, M. A. 2019. Determinação de metais em peixes e camarão-rosa (*Farfantepenaeus paulensis*) do estuário da Lagoa dos Patos (Pelotas-RS, Brasil) por MIP OES. *Brazilian Journal of Food Technology*, 22. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.04918>

38. Che, R.B.; Meagher, C.L.; Rugh, T.; Kim, A.C.P.; Heaton, S.A. Merkle Expressão de liase organomercurial em Eastern Cottonwood aumenta a resistência a organomercúrio Vitro Cell Dev. Biol. Plant, 42 (2006) , pp . 228-234
39. . Milošković, A.; Branković, S.; Simić, V.; Kovačević, S.; Cirković, M.; Manojlović, D. (2013) A acumulação e distribuição de metais na água, sedimentos, macrófitas aquáticas e peixes deo reservatório de Gruža. Sérvia. *Bull Environ Contam Toxicol* 90:563–569 (7) (PDF) *Avaliação de risco ecológico de metais e metalóides em sedimentos de fundo de reservatório de água localizado na área antropogênica de “hot spot” (Polônia).* Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/331452209_Ecological_risk_assessment_of_metals_and_metalloids_in_bottom_sediments_of_water_reservoir_located_in_the_key_anthropogenic_hot_spot_area_Poland
40. Djikanović, V., Skorić, S., Spasić, S., Naunovic, Z., & Lenhardt, M. 2018. Ecological risk assessment for different macrophytes and fish species in reservoirs using biota-sediment accumulation factors as a useful tool. *Environmental Pollution*, 241, 1167-1174. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.054>
41. WHO. World Health Organization. 2010. Ten chemicals of major public health concern. [www Document]. URL. http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/chemicals_phc/en/.
42. Vieira, T. C., Rodrigues, A. P. de C., Amaral, P. M. G., de Oliveira, D. F. C., Gonçalves, R. A., Rodrigues E Silva, C., Bidone, E. D. (2020). Evaluation of the bioaccumulation kinetics of toxic metals in fish (*A. brasiliensis*) and its application on monitoring of coastal ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 110830. doi:10.1016/j.marpolbul.2019.110830
43. US EPA (U. S. Environmental Protection Agency). 2013. Integrated Risk Information System (IRIS). United States Environmental Protection Agency, Environmental Criteria and Assessment Office, Cincinnati, OH
44. Verstraeten SV, Aimo, L. & Oteiza P. I. Aluminum and lead: molecular mechanisms of brain toxicity. *Archives of Toxicology*, n. 82, p. 789-802. 2008
45. Medeiros RJ. Avaliação de elementos inorgânicos e bifenilas policloradas no pescado comercializado no município de Niterói, Rio de Janeiro, Brasil. / Renata Jurema Medeiros, Rio de Janeiro: INCQS/FIOCRUZ, 2011
46. Bosch AC. et al. Heavy metals in marine fish meat and consumer health: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 96, n. 1, p. 32–48, 2015.
47. CETESB (2020). Ficha de Informação Toxicológica do Estanho. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2020/10/Estanho.pdf>

48. Codex Alimentarius International Food Standards FAO/OMS. 2010 Disponível em: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/meetings/archives/en/?y=2010>
49. Lee, J. W., Choi, H., Hwang, U. K., Kang, J. C., Kang, Y. J., Kim, K. I., & Kim, J. H. 2019. Toxic effects of lead exposure on bioaccumulation, oxidative stress, neurotoxicity, and immune responses in fish: A review. *Environmental toxicology and pharmacology*, 68, 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.010>.
50. Esilaba, F., Moturi, W. N., Mokua, M., & Mwanyika, T. (2020). Human Health Risk Assessment of Trace Metals in the Commonly Consumed Fish Species in Nakuru Town, Kenya. *Environmental Health Insights*, 14, 1178630220917128. <https://doi.org/10.1177/1178630220917128>
51. Ali, Hazrat; Khan, Ezzat (2018). Bioaccumulation of Cr, Ni, Cd and Pb in the Economically Important Freshwater Fish *Schizothorax plagiostomus* from Three Rivers of Malakand Division, Pakistan: Risk Assessment for Human Health. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, -. doi:10.1007/s00128-018-2500-8
52. Saryan La, Z. C. 1994, Lead and its compounds. In: Zenz OC, Dickerson B, Horvath EP, eds. Occupational medicine. 3^a ed. St. Louis: Mosby-Year Book. 506–541.
53. Moreira, F. R., & Moreira, J. C. 2004. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 15, 119-129.
54. Castro-González, M. I., & Méndez-Armenta, M. 2008. Heavy metals: Implications associated to fish consumption. *Environmental toxicology and pharmacology*, 26(3), 263-271. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2008.06.001>
55. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2012. Toxicological profile for vanadium (draft for public comment). Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp58.pdf>.
56. Monti, G., De Napoli, L., Mainolfi, P., Barone, R., Guida, M., Marino, G., et al. (2005). Monitoring food quality by microfluidic electrophoresis, gas chromatography, and mass spectrometry techniques: effects of aquaculture on the common snook (*Dicentrarchus labrax*). *Anal. Chem.* 77, 2587–2594. doi: 10.1021/ac048337x
57. Codex Alimentarius. International Food Standards. FAO/OMS. 1995 Disponível em: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/1_CXS_193e.pdf.
58. Saiki, M. K., Jennings, M. R., & Brumbaugh, W. G. 1993. Boron, molybdenum, and selenium in aquatic food chains from the lower San Joaquin River and its tributaries, California. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 24(3), 307-319. <https://doi.org/10.1007/BF01128729>.
59. Uysal, K., Köse, E., Bülbül, M., Dönmez, M., Erdoğan, Y., Koyun, M., & Özmal, F. (2009). The comparison of heavy metal accumulation ratios of some fish species in Enne Dame Lake (Kütahya/Turkey). *Environmental monitoring and assessment*, 157(1), 355-362. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0540-y>.

60. Siscar, R., Torreblanca, A., Palanques, A., & Solé, M. 2013. Metal concentrations and detoxification mechanisms in *Solea solea* and *Solea senegalensis* from NW Mediterranean fishing grounds. *Marine pollution bulletin*, 77(1-2), 90-99. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.10.026>.
61. Tamás MJ, Sharma SK, Ibstedt S, Jacobson T, Christen P. Heavy Metals and Metalloids as a Cause for Protein Misfolding and Aggregation. *Biomol* 4: 252-267, 2014.
62. US EPA (U. S. Environmental Protection Agency). 2018. Integrated Risk Information System online database, USEPA, Available at: <http://www.epa.gov/iris/subst/index.html>; Washington, DC, USA
63. US EPA (1989) United State Environmental Protection Agency.
64. Clark, R. C.; Brown, D. W. 1977. Petroleum: properties and analyses in biotic and abiotic systems. In: Malins Alins, D. C. (Ed). Effects of petroleum on arctic and subarctic marine environment and organisms. New York: Academic Press, 1, 1-90.
65. Lall, S. *Structural adjustment and African industry*. World Development. Vol. 23, N. 12, 2019-2031p. Editora: Elsevier Science, 1995. 0305-750x/95.
66. . Ruiter, 1995. A. Contaminants in fish. In: _____. Fish and fishery products: composition, nutritive properties and stability. Wallingford: CAB International, 9, 261-285.
67. SPDM (2014). Associação Paulista para o desenvolvimento da Medicina. Acúmulo de ferro no corpo pode provocar danos aos órgãos. Disponível em: <https://spdm.org.br/noticias/mais-noticias/acumulo-de-ferro-no-corpo-pode-provocar-danos-aos-orgaos/>
68. Nuurtamo, M., Varo, P., Saari, E., and Koivistoinen, P., 1980, Mineral element composition of Finnish foods. VI. Fish and fish products. *Acta Agricultura e Scandinavica Supplementum*, 22, 77-87.
69. Robberecht, H., Van Cauwenbergh, R., Van Vlaslaer, V., & Hermans, N. (2009). *Dietary silicon intake in Belgium: Sources, availability from foods, and human serum levels*. *Science of The Total Environment*, 407(16), 4777–4782. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.05.019. 10.1016/j.scitotenv.2009.05.019
70. MAPA (2017). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa: 21/2017. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade - RTIQ. Available in: <https://www.aquaculturebrasil.com/artigo/158/rtiq-do-peixe-congelado:-um-pesadelo-para-industrias-e-importadores>
71. Peakall, D.; Burger, J. 2003. Methodologies for assessing exposure to metals: speciation, bioavailability of metals, and ecological host factors. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 56(1), 110-121.

72. Tenuta Filho, A., Macedo, L. F. L., & Favaro, D. I. T. (2010). Concentração e retenção do selênio em peixes marinhos. *Food Science and Technology*, 30, 210-214. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000500032>.
73. Sormo, E. G., Ciesielski, T. M., Overjordet, I. B., Lierhagen, S., Eggen, G. S., Berg, T., & Jenssen, B. M. (2011). *Selenium Moderates Mercury Toxicity in Free-Ranging Freshwater Fish. Environmental Science & Technology*, 45(15), 6561– 6566. doi:10.1021/es200478b
74. Alves H. L., Rosa, V. D. Exposição ocupacional ao cobalto: aspectos toxicológicos Atecla Nunciata. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences* vol. 39, n. 2, abr./jun., 2003. <https://www.scielo.br/j/rbcf/a/GLnqGsyCrbb5jcWTgktJFsh/?format=pdf&lang=t>.
75. Sprada, E. (2013). Toxicologia. Instituto Federal do Paraná. Rede e-tec Brasil. Disponível em: <http://www.efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/1438/Toxicologia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
76. Verbruggen, E.M.J.; Smit, C. E.; van Vlaardingen, P. L. A. Environmental quality standards for barium in surface water. Nacional Institute for Public Health and the Environment. Ministry of Health, Welfare and Sport. RIVM Letter report 2020- 0024. 2020.

Statements & Declarations

Funding

This study was funded by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001, the Foundation for Research Support in the State of Maranhão – FAPEMA and PROAP/PPGRAP – UEMA.

Declaration of competing interest

We declare that there is no conflict of interest regarding this article.

Declaration of Methods

The authors declare that all methods were carried out in accordance with relevant guidelines and regulations.

Declaration ARRIVE guidelines

The authors declare that all methods are reported in accordance with ARRIVE guidelines

Author Contributions

IRMAN: Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Investigation, Writing – Original Draft, Project administration, Funding acquisition. **APCS:** Investigation, Writing – Original Draft, Funding acquisition. **ASN:** Investigation, Methodology, Formal analysis, Writing – Original Draft. **YLFKFC:** Design, Graphics, Writing –Original Draft. **ASA:** Statistical Treatment, Writing-Original Draft, Funding acquisition. **RSOPA:** Statistical Treatment, Writing – Original Draft, Funding acquisition. **ZSA:** Conceptualization, Methodology, Resources, Supervision, Writing – Original Draft, Funding acquisition. **RNFCN:** Conceptualization, Methodology, Resources, Supervision, Writing – Original Draft, Funding acquisition.

CAPÍTULO IV - USO DA BIOINFORMÁTICA PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO “ICTIODADOS” COMO FERRAMENTA FACILITADORA PARA ANÁLISES BIOMÉTRICAS E REPRODUTIVAS EM PEIXES

Revista: A definir
Status: Em edição para submissão

Autores: Isa Rosete Mendes Araújo Nascimento¹, Yanna Leidy Ketley Fernandes Cruz², Raimunda Nonata Fortes Carvalho Neta³

RESUMO

A bioinformática vem ganhando espaço na tarefa de aquisição, armazenamento, análise e difusão de dados biológicos, logo, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um protótipo denominado *Ictiodados* para facilitar as análises biométricas dos peixes, gerando informações sobre sua biologia reprodutiva. Neste estudo, a espécie utilizada como modelo foi o *Centropomus undecimalis*, conhecido vulgarmente como Camurim ou Robalo. Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi realizada a obtenção de amostras biológicas, procedimentos laboratoriais, registros histológicos e análise dos indicadores biométricos; por fim, esses dados foram organizados em um sistema desenvolvido sobre a plataforma *web figma*. O protótipo do software *Ictiodados* foi criado e organizado conforme a necessidade dos pesquisadores da área, sendo este composto por cinco módulos: localização geográfica, histologia, cadastro do peixe, biologia da espécie e indicadores biométricos. O *Ictiodados* proporciona um mecanismo de acesso e registro de informações acerca da biologia reprodutiva de peixes.

Palavras-chave: Biologia Computacional, Prototipagem, Ictiofauna, Dados reprodutivos Biometria.

1 INTRODUÇÃO

O atual modelo de aquisição de dados, em conjunto com a necessidade e a busca das informações relevantes, tem gerado um grande desafio na área da biologia reprodutiva que, por sua vez, exige estratégias de captação, armazenagem e utilização do conhecimento gerado na tomada de decisão. No campo da biologia reprodutiva, o cotidiano no processo de trabalho gera, a todo momento, dados desestruturados (LIMA; SANTOS, 2015), sendo que grande parte destes são obtidos em decorrência de atividades de coleta e manipulação do animal.

Dados advindos da biologia reprodutiva em peixes são relativamente volumosos em comparação aos provenientes de outras áreas, dada a sua diversidade e a sua aquisição. Como consequência, quando não tratado adequadamente, seu crescimento se torna uma tarefa custosa

para os especialistas. Ademais, Carvalho-Neta (2010) já destacava a importância da organização de dados biológicos visando disponibilizá-los aos gestores ambientais.

Neste aspecto, a bioinformática vem ganhando espaço na tarefa de aquisição, armazenamento, análise e difusão de dados biológicos, pois, segundo Lesk (2008), é definida como sendo o estudo da aplicação de técnicas computacionais e matemáticas para a geração e o gerenciamento de bioinformação. Os dados gerados pela bioinformática podem ser considerados como uma alternativa na busca de informações sobre os seres vivos de forma mais detalhada, e não seria exagero afirmar que é uma das peças-chave para o sucesso na análise de dados científicos (ARAÚJO *et al.*, 2008).

Vários softwares de bioinformática foram projetados com o objetivo de tratar, analisar e compartilhar dados de informações biológicas. A partir do advento dos projetos genomas, biólogos moleculares passaram a empregar ferramentas computacionais capazes de analisar grandes quantidades de dados biológicos, prever funções dos genes e demonstrar relações entre genes e proteínas na área da biologia molecular e genômica (LIBÓRIO; RESENDE, 2021). Trabalhos como o de Nascimento *et al.* (2021), os quais criaram um protótipo para o ensino hematológico no curso de Medicina durante o isolamento físico, ocasionado pela pandemia da Covid-19, e o de Lima e Santos (2015), que criaram um protótipo de um software para registros de enfermagem em unidades de terapia intensiva, são exemplos de contribuições do uso da bioinformática para o conhecimento científico. No entanto, destaca-se que trabalhos que fazem uso da bioinformática para a biologia reprodutiva, até o momento, não foram amplamente explorados.

Genericamente, projetar um software é uma tarefa que visa criar um produto ou um serviço específico que envolva analisar a viabilidade de seu desenvolvimento (MARTINS, 2010). Tal projeto necessita de uma representação visual que seja possível interagir e testar com usuários reais, sendo esta especificada através de um modelo funcional ou um protótipo. Ademais, a principal função de um protótipo é identificar problemas e oportunidades de melhorias muito antes de começar a implementação ocasionando, assim, redução de tempo e custo (ENGHOLM, 2010). Um software capaz de detectar automaticamente o estágio de maturação gonadal de um exemplar de peixe é importante para o processo de decisão técnica sobre período de defeso da espécie em análise.

Diante disso, o presente estudo tem o objetivo de desenvolver um protótipo para a análise da biologia reprodutiva de peixes, intitulado *Ictiodados*. Essa ferramenta disponibilizará informações necessárias para a regulamentação da pesca visando a preservação dos estoques, bem como auxiliar a comunidade científica na tomada de decisão para estratégias de conservação. O protótipo pode receber informações referentes a dados biométricos, índices reprodutivos, análises

estatísticas e elaboração de gráficos, tendo como objeto de estudo a espécie *C. undecimalis*, no entanto, pode ser aplicável às demais espécies de peixe.

2 METODOLOGIA

2.1 Descrição da área

A área de estudo está localizada no Litoral Oriental, a qual faz parte da Mesorregião do Norte Maranhense e da Microrregião dos Lençóis Maranhenses. Limita-se, ao Norte, com o Oceano Atlântico; ao Oeste, com o município de Paulino Neves e ao Leste, com a Água Doce do Maranhão (figura 1).

Tutóia foi criada em 1996, com extensão de 307.590,51 hectares. Encontra-se situada nas seguintes coordenadas geográficas: Norte $-02^{\circ}40'00''$ de latitude e $-42^{\circ}13'40''$ de longitude, Oeste $-42^{\circ}40'48''$ de longitude e $-03^{\circ}03'33''$ de latitude, Sul $-03^{\circ}05'31''$ de latitude e $-42^{\circ}18'32''$ de longitude e Leste $-42^{\circ}06'56''$ de longitude e $-02^{\circ}45'05''$ de latitude (IMESC, 2020).

Figura 0-1 - Mapa da área de estudo destacando com pontos de localização a faixa de captura das amostras (de Travosa ao Delta do Parnaíba) e com um círculo vermelho o município de Tutóia, local de compra dos exemplares de robalo *C. undecimalis* na costa norte do Brasil.



Fonte: Costa (2021)

2.2 Obtenção das amostras biológicas

Os espécimes de *Centropomus undecimalis* utilizados nesta pesquisa foram capturados por pescadores artesanais ao longo da faixa costeira, que vai do Delta do Parnaíba até o Município de Travosa, no Maranhão, sob autorização do pelo Sistema de Autorização e Informação sobre Biodiversidade (SISBIO) nº 34.683/2017 e todos os procedimentos metodológicos para o manejo de peixes foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estadual do Maranhão (CEP/UEMA) nº 4.476. 902/2020. Os peixes foram obtidos por meio da compra direta no Mercantil do Peixe, no Município de Tutóia. As amostras foram adquiridas bimestralmente durante o período de janeiro de 2019 a dezembro de 2021.

Após a compra, os exemplares foram armazenados em isopor com gelo e encaminhados em veículos para o Laboratório de Pesca e Ecologia Aquática da Universidade Estadual do Maranhão, onde foram transferidos e acondicionados em um freezer para obtenção dos dados biométricos.

2.3 Procedimentos laboratoriais

Cada exemplar de robalo *C. undecimalis* foi numerado mensalmente de 1 a 15 (n=15 por mês); em seguida, foram mensurados para cada exemplar: Comprimento Total (CT), Comprimento Padrão (CP), Comprimento Furcal (CF), Peso Total (PT), Peso Evicerado (P Evic.), Peso do Fígado (P Fíg), Peso da Gônada (PG) e Peso do Estômago (PE), além do Sexo e Estágio Maturacional. Os dados foram anotados em planilhas físicas para, posteriormente, serem inseridos e organizados no programa Excel. Foram contabilizados um total de 155 espécimes, sendo estas divididas entre 20 amostras de fêmeas e 135 amostras de machos.

2.4 Registros histológicos

Para a aquisição das lâminas histológicas das gônadas e suas respectivas imagens, realizaram-se os procedimentos descritos por Vazzoler (1996) para seccionar os ovários. As secções foram coradas com Hamatoxilina e Eosina (HE) e, em seguida, as imagens foram capturadas por um microscópio LEICA DM 500 com uma ampliação de x200. Uma câmera digital LEICA EC4 foi usada diretamente conectada ao microscópio, além do software de aquisição de imagens LEICA LAS EZ, compatível com o equipamento e um monitor Sony para visualização. Cada imagem adquirida é um arquivo no formato JPEG, com composição colorida RGB apresentando 16 bits por pixel e resolução de 1.024 x 768 pixels.

2.5 Indicadores biométricos

Os dados biométricos obtidos através das análises laboratoriais foram primeiramente organizados em planilhas do Excel. Estes dados são importantes para se conhecer os padrões de crescimento e ganho de peso dos peixes para relacioná-los com as fases de maturidade de suas gônadas. A obtenção destas informações serão pontos indispensáveis pois objetivam o conhecimento do ciclo reprodutivo de cada espécie de peixe.

Quadro 1 – Indicadores utilizados na pesquisa

INDICADORES DA BIOLOGIA REPRODUTIVA	FÓRMULA	DESCRIÇÃO
RELAÇÃO PESO-COMPRIMENTO	$PT = a . CT^b$	Analisa os padrões de crescimento alométrico do peixe (podendo ser negativo, positivo ou isométrico). Onde: PT = relação peso-comprimento a = coeficiente linear de regressão CT = comprimento Total b = coeficiente linear de regressão
CRESCIMENTO ALOMETRICO	$y = B + aX$	Identifica o tipo de crescimento alométrico dos indivíduos machos e fêmeas. Onde: Alométrico positivo: $B < 3$ Alométrico negativo: $B > 3$ Crescimento Isométrico: $B=3$ Alométrico positivo aumenta mais em peso do que em comprimento; Alométrico negativo aumenta mais em comprimento do que em peso; Isométrico aumenta tanto em peso quanto em comprimento.
FECUNDIDADE	$FR = a . Ctb$ $FR = a . Ptb$	Analisa a frequência relativa ao peso e a frequência relativa ao comprimento dos ovócitos. Onde: FR = Fecundidade Relativa a = coeficiente linear de regressão CT = Comprimento Total b = coeficiente angular de

		regressão Pt = Peso total
TIPO DE DESOVA	Determinada através da análise histológica	O tipo de desova de um peixe é determinado pela interação entre dinâmica do desenvolvimento ovocitário, frequências de desovas dentro de um período de reprodução e do número desses períodos durante sua vida. É o modo como as fêmeas liberam ovócitos maduros dentro de um período reprodutivo (ARAÚJO, 2009).
ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO	Determinada através da análise macroscópica e histológica	É dividido em fases: FI = Fase Imatura FD = Fase de Desenvolvimento FCD = Fase de Capacidade de Desova FR = Fase de Regressão FRG = Fase de Regeneração (LOWERRE-BARBIERI, 2011).
PERÍODO REPRODUTIVO	Determinada através da análise da frequência mensal do indivíduo em capacidade em desova (FCD)	A determinação da periodicidade do processo reprodutivo foi baseada na variação dos valores médios do índice gonadossomático (IGS), pela frequência mensal dos estágios de maturação e do fator de condição (ΔK). O período reprodutivo foi delimitado pelos valores mais altos de ΔIGS (VAZZOLER, 1996).
FATOR DE CONDIÇÃO (ΔK)	$K_1 = Pt/CT^3$ $K_2 = Pt/CT^b$	Diferença entre os dois modelos K_1 e K_2 (índices do fator de condição alométrico). Onde: K_1 = fator de condição total K_2 = fator de condição somática Pt = Peso total CT = Comprimento Total b = coeficiente angular da relação peso/comprimento
COMPRIMENTO MÉDIO DA PRIMEIRA MATURAÇÃO SEXUAL (L_{50})	$P = 1/(1 + \exp [-r (CT - L_{50})])$	Corresponde à identificação do comprimento em que 50% dos indivíduos iniciam seu ciclo reprodutivo. Pode variar de acordo com o sexo, o comprimento ou o estágio de maturidade de cada indivíduo. Onde:

		P= proporção de indivíduos maduros r = inclinação da curva CT = comprimento total L50 = comprimento médio da maturação sexual
ÍNDICE GONADOSSOMÁTICO (IGS)	$IGS = (Pg/Pt) \times 100$	Relação entre o peso total e o peso das gônadas do peixe. Com esse índice, pode-se observar graficamente a variação cíclica da atividade reprodutiva de cada espécie. Onde: IGS = índice gonadossomático Pg = Peso da gônada Pt = Peso total
ÍNDICE HEPATOSSOMÁTICO (IHS)	$IHS = (Pf/Pt) \times 100$	Relação entre o peso total e o peso do fígado. Esse índice serve para indicar o bem-estar do peixe no ambiente natural e tem relação com suas reservas energéticas. Onde: IHS = índice hepatossomático pf = peso do fígado pt = peso total
ÍNDICE VISCEROSSOMÁTICO (IVS)	$IVS = (Pv/Pt) \times 100$	Relação entre o peso total e o peso das vísceras, também é usado para mensurar o bem-estar animal no ambiente. Onde: IVS = índice viscerossomático Pv = Peso das vísceras Pt = Peso total

Fonte: Autoras (2022)

2.6 Ambiente para os experimentos

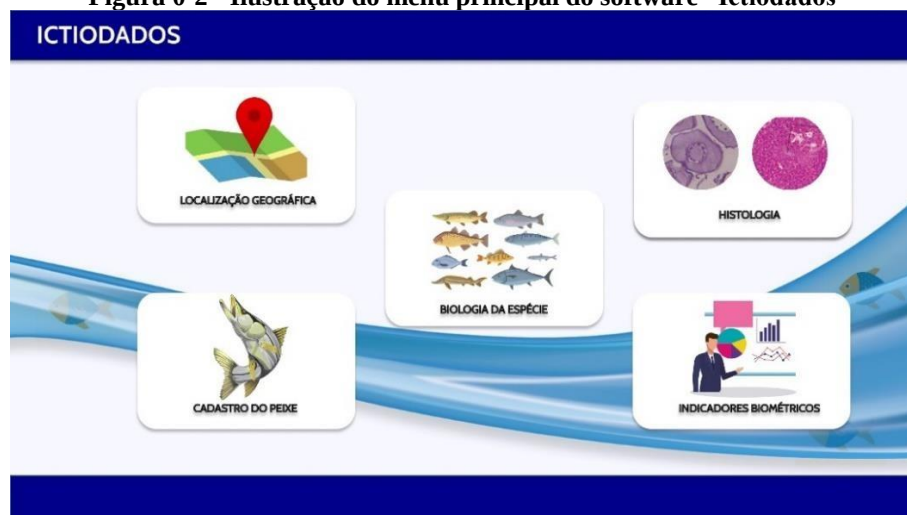
O protótipo foi desenvolvido utilizando a plataforma *web Figma*. Este foi escolhido em razão da plataforma permitir seu desenvolvimento e o teste colaborativo em tempo real com outros usuários, além de possibilitar a construção de aplicações em diferentes ambientes, tais como *desktop*, *mobile* e *WEB* (GONZALEZ, 2017).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O *Ictiodados* é um protótipo de software para automatizar dados desestruturados provenientes de aquisições laboratoriais. Tais dados são analisados, transformados e utilizados na solução de problemas, bem como no auxílio da comunidade científica, proporcionando o acesso às informações indispensáveis para a tomada de decisão no que se refere aos indicadores biométricos e reprodutivos da espécie *C. undecimalis*. A escolha por desenvolver o protótipo se deu pela análise da viabilidade, visto que é possível validar as funcionalidades nesta concepção, realizar testes e possibilitar melhorias para adequar ao modelo ideal.

No desenvolvimento do *Ictiodados*, fez-se necessário o levantamento de requisitos funcionais, pois, segundo Azevedo Jr. e Campos (2008), estes permitem identificar, modelar e detalhar comportamentos, resultados esperados e regras de negócio que devem ser cumpridos pelo software ou sistema. Para esta tarefa, foram realizadas entrevistas com especialistas da área com a finalidade de entender os processos laboratoriais e, assim, obter os requisitos para a concepção do protótipo. O protótipo foi desenvolvido por meio da ferramenta *Figma* e está organizado em cinco módulos: Localização geográfica, Histologia, Cadastro do peixe, Biologia da espécie e Indicadores biométricos; ilustrados na figura 2.

Figura 0-2 - Ilustração do menu principal do software “Ictiodados”



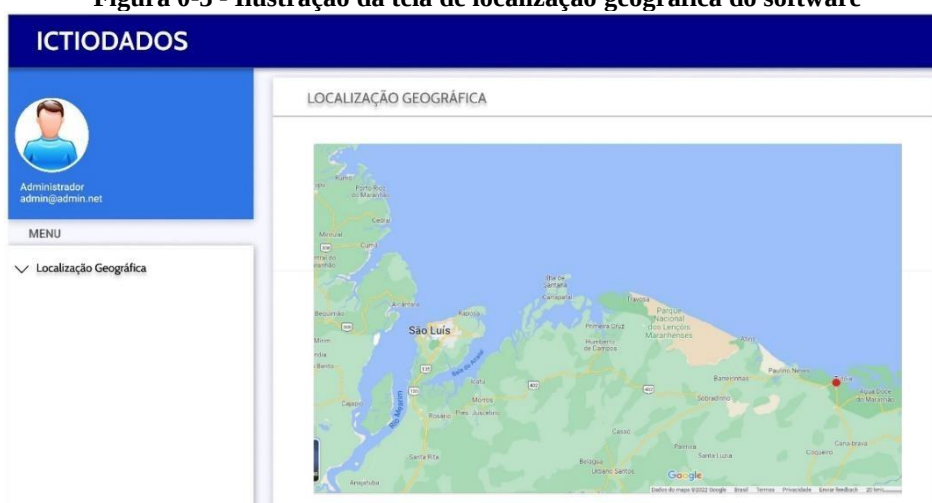
Fonte: Elaborado pelas autoras (2022)

A interação do usuário é inicializada pelo menu principal, pelo qual poderá acessar os cinco módulos do protótipo.

3.1 Localização geográfica

O módulo Localização geográfica foi desenvolvido para designar a localização de uma determinada área/lugar de obtenção das amostras de espécimes do peixe. A tela desse módulo consiste em identificar o local exato de captura da amostra em um mapa do *Google* inserido na ferramenta *Ictiodados*. Para gerar essa localização, os pontos de latitude e longitude devem ser inseridos e como resultado é apresentado um ícone de localização, em vermelho, no mapa, como mostra a figura 3.

Figura 0-3 - Ilustração da tela de localização geográfica do software

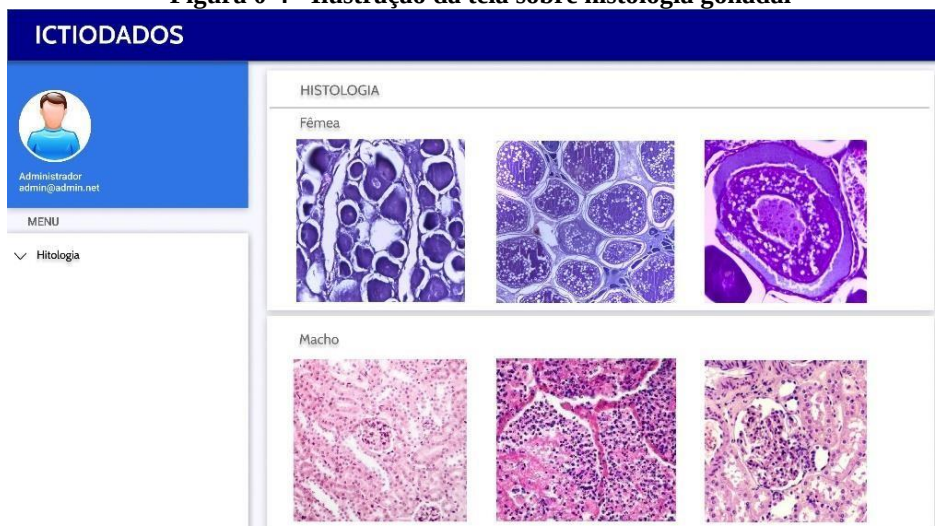


Fonte: Elaborado pelas autoras (2022)

3.2 Histologia

O módulo Histologia (Figura 4) é direcionado para documentar, de maneira organizada e didática, amostras de tecido de gônadas dos sexos masculino e feminino da espécie *C. Undecimalis*. Este acervo visa propiciar um ambiente para o estudo da Histologia para áreas que se baseiam na análise e na interpretação de imagens de tecidos e órgãos de peixes, observadas no microscópio, pois, segundo Andrade e Ferrari (2014), o conhecimento de Histologia se junta a um universo de outros conhecimentos que, não menos importantes, vão se somando e contribuindo de forma muito rápida para o desenvolvimento científico.

Figura 0-4 - Ilustração da tela sobre histologia gonadal



Fonte: Elaborado pelas autoras (2022)

As imagens inseridas no software devem pertencer ao banco de dados que o especialista tem interesse em disponibilizar publicamente para que possam ficar acessíveis aos gestores e pesquisadores.

3.3 Cadastro do peixe

O módulo Cadastro de peixe permite ao especialista informar dados como: Código Único no Sistema, Comprimento Total (CT), Comprimento Padrão (CP), Comprimento Furcal (CF), Peso Total (PT), Peso Eviscerado (P Evisc.), Peso do Fígado (P Fig.), Peso da Gônada (PG) e Peso do Estômago (PE), Sexo e Estágio Maturacional, para serem armazenados ao sistema (Figura 5). Posteriormente, estes dados serão processados para a obtenção dos indicadores biométricos, pois através destes são observadas as alterações ou os padrões presentes nas amostras obtidas.

Figura 0-5 - Ilustração da tela de cadastro do peixe

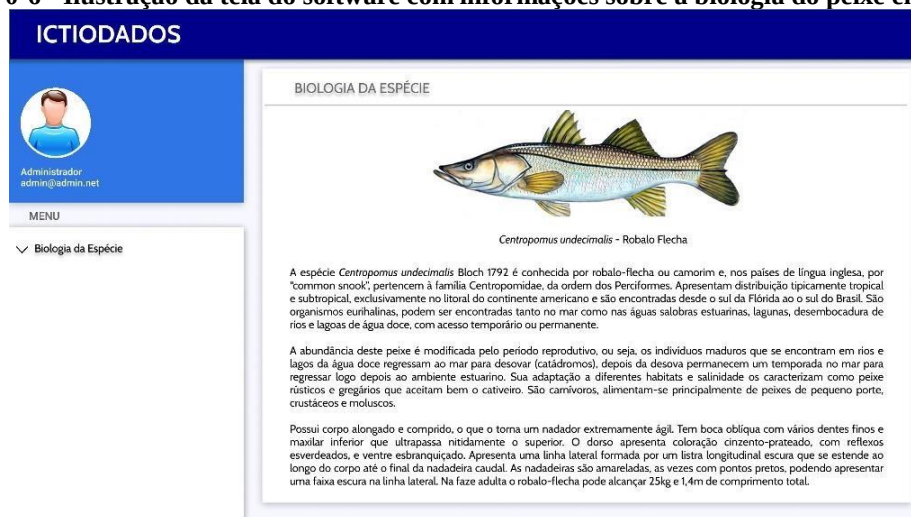
Fonte: Elaborado pelas autoras (2022)

Os dados obtidos permitirão que o pesquisador adquira informações sobre a biologia reprodutiva de distintas espécies de peixes, propiciando disponibilizar com mais agilidade as informações encontradas para que os gestores ambientais possam tomar decisões sobre o estabelecimento do período de defeso adequado a cada espécie, garantindo a reposição dos estoques naturais e a conservação dos recursos pesqueiros.

3.4 Biologia da espécie

O módulo Biologia da espécie (Figura 6) tem por objetivo fornecer informações relevantes como: Potencial econômico, importância ecológica, ciclo de vida, alimentação, habitat e etc. Estas informações garantem aos pesquisadores e gestores uma identificação básica da espécie em estudo.

Figura 0-6 - Ilustração da tela do software com informações sobre a biologia do peixe em estudo



Fonte: Elaborado pelas autoras (2022)

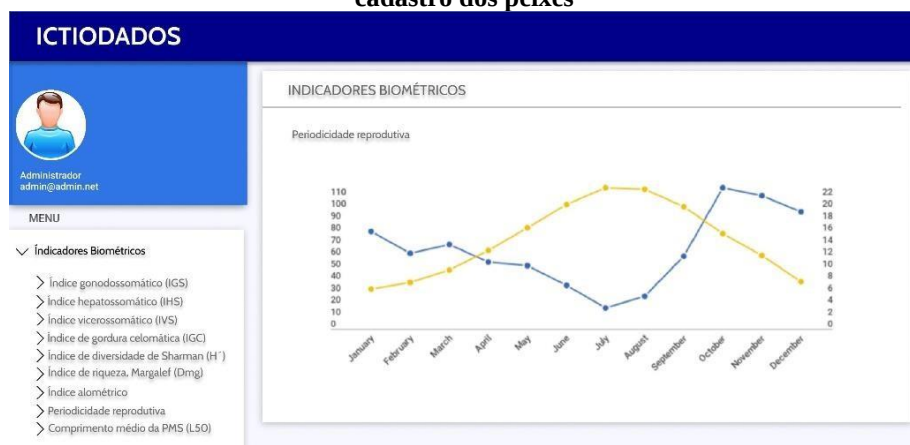
Ressalta-se que as informações inseridas podem ser atualizadas pelos especialistas, de acordo com as necessidades de aprimoramento do dados.

3.5 Indicadores biométricos

A observação das características presentes nas amostras permite avaliar a sanidade, o crescimento e a reprodução da espécie; sendo assim, o módulo Indicadores biométricos (figura 7) apresenta gráficos dinâmicos que visam elucidar o comportamento biológico da espécie em questão. Estes indicadores são calculados através dos dados fornecidos ao sistema pelo especialista ao cadastrar um peixe. Em seguida, são fornecidos gráficos e relatórios para cada índice cadastrado ao sistema, sendo estes: Índice Gonadossomático (IGS), Índice

Hepatosomático (IHS), Índice Vicerossomático (IVS), Periodicidade reprodutiva e Comprimento médio da primeira maturação sexual (L_{50}).

Figura 0-7 - Tela indicadores biométricos, onde serão gerados os gráficos com as informações descritas no cadastro dos peixes



Fonte: Elaborado pelas autoras (2022)

Neste protótipo inserimos também alguns dados ecológicos para mostrar que o especialista pode, de acordo com sua necessidade, acrescentar novos índices para ter uma gama maior de informações.

4 CONCLUSÃO

O protótipo de software *Ictiodados*, vem subsidiar uma solução aos problemas de acesso às informações acerca da biologia reprodutiva dos peixes por se tratar de um instrumento importante para a pesquisa e para o armazenamento de dados a serem disponibilizados para toda comunidade científica e aos gestores ambientais, favorecendo, desse modo, a popularização da ciência e a tomada de decisões visando a elaboração de normas para a conservação dos recursos pesqueiros.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F. G. D.; FERRARI, O. *Atlas digital de histologia básica*. Londrina: UEL, 2014.
- ARAÚJO, N. D; FARIAS, R. P.; PEREIRA, P. B.; FIGUEIREDO, F. M; MORAIS, A. B; SALDANHA, L. C. *et al.* A era da bioinformática: seu potencial e suas implicações para as ciências da saúde. *Estud. Biol.*, v. 30, n. 70-71-72, p. 143-148, jan/dez. 2008.
- AZEVEDO JR. D.; CAMPOS, R. Definição de requisitos de software baseada numa arquitetura de modelagem de negócios. *Produção*, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 26-48, jan-abr 2008.

CASSANEGO, S. R. *O que é Bioinformática?*. Pet Sistemas e informação: UFSM, 2020. Disponível em: <https://www.ufsm.br/pet/sistemas-de-informacao/2020/12/03/o-que-e-a-bioinformatica/>. Acesso em: 11 jun. 2022.

CLIMATEMPO. *Previsões do tempo em Tutóia – MA*. 2021. Disponível em <https://www.climatempo.com.br/previsao-do-tempo/cidade/1070/tutoia-ma>. Acesso em: 20 jun. 2022.

COSTA, G. C. Mapa. 2021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/366226672_Coast_East_MA?_sg\[0\]=3NBSS5MTQ0qiD0nZfnroA2aWHaLcAa92j-P_3zpQ5p2yE4Prt4oovewM0RCI09TXXSrHfoiHE5FYUKyYCpJIRx1cTlc_btIGVgdrk9n.p9WnHcG8Q24CD97sIrFq-rbY2wu7DvErS_aRGmY_gfLzOevXjY0yMh-w2laDE7SRWDFmJggGENQc1vjaI6T3Yg](https://www.researchgate.net/publication/366226672_Coast_East_MA?_sg[0]=3NBSS5MTQ0qiD0nZfnroA2aWHaLcAa92j-P_3zpQ5p2yE4Prt4oovewM0RCI09TXXSrHfoiHE5FYUKyYCpJIRx1cTlc_btIGVgdrk9n.p9WnHcG8Q24CD97sIrFq-rbY2wu7DvErS_aRGmY_gfLzOevXjY0yMh-w2laDE7SRWDFmJggGENQc1vjaI6T3Yg)

ENGHOLM JR., H. *Engenharia de software na prática*. São Paulo: Novatec Editora, 2010.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *The State of World Fisheries and Aquaculture, 2021*. Sustainability in action. Rome: FAO, 2021.

FAO. Food and Agriculture Organization of The United Nations. *The State of World Fisheries and Aquaculture - Contributing to food security and nutrition for all*. Roma: FAO, 2016.

GONZALES, R. Figma Wants Designers to Collaborate Google-Docs Style. *WIRED*. 2017. Disponível em: <https://www.wired.com/story/figma-updates/>. Acesso em: 01 abr. 2022.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. *Informações Sobre Visitação - APA Delta do Parnaíba*. Ministério do Meio Ambiente: ICMBIO, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/apa-delta-do-parnaiba/informacoes-sobre-visitacao-apa-delta-do-parnaiba> . Acesso em: 29 ago. 2022.

IMESC. Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. *Unidades de Conservação Estaduais*. São Luís: IMESC, 2020. Disponível em: <https://imesc.ma.gov.br/src/upload/publicacoes/382564664c4eb6e9b71374f5eda9fa1896.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2022.

LIBÓRIO, L.; RESENDE, V. H. Introdução aos bancos de dados biológicos. *BIOINFO - Revista Brasileira de Bioinformática*, 1 ed., jul. 2021. DOI: 10.51780/978-6-599-275326-16.

LIMA, L. M.; SANTOS, S. R. Protótipo de um software para registro de enfermagem em unidade de terapia intensiva neonatal. *Aquichan*, v. 15, n. 1, p. 31-43, 2015.

NASCIMENTO, K. A. S.; FIALHO, L. M. F.; CASTRO NETO, D. N. O.; DUARTE, B. A.; CORDEIRO, L. P. G. Design colaborativo na prototipação de um aplicativo móvel para o ensino na saúde. *Revista Holos*, v. 2, p. 1-14, 2021. DOI: 10.15628/holos.2021.11990.

NERY, C. Biologia Reprodutiva dos Peixes é foco de pesquisa. *Ciência e Cultura*, 2011. Disponível em: <http://www.cienciaecultura.ufba.br/agenciadenoticias/noticias/destaques/biologia-reprodutiva-dos-peixes-e-foco-de-pesquisa/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

MARTINS, J. C. C. Gerenciando Projetos de Desenvolvimento de Software com PMI, RUP e UML. *Brasport*, 2010.

SILVA *et al.* *Biologia reprodutiva de recursos pesqueiros como instrumento de gestão compartilhada em áreas protegidas no estado do Maranhão*. São Luís: EDUEMA, 2021.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os dados obtidos nesta pesquisa, observa-se que ainda existem lacunas a se preencher acerca dos estudos com a espécie *Centropomus undecimalis* no Brasil, especialmente sobre sua reprodução, as quais gerarão informações relevantes sobre o desenvolvimento gonadal, a época e o local de desova, o comprimento total e a idade média em que os indivíduos iniciam o processo reprodutivo.

Necessita-se, também, que os estudos já realizados por pesquisadores, sejam publicados em artigos científicos para a divulgação de informações mais precisas sobre a espécie, visto que os estudos bioecológicos de alimentação e reprodução são subsídios necessários e importantes na regulamentação da pesca dentro de um programa de manejo, o que permite a tomada de medidas para a preservação dos estoques.

Sugere-se, ainda, que novos estudos sejam realizados com o robalo-flecha em diferentes classes de comprimento para que se possa descrever melhor a relação estabelecida com biologia reprodutiva, alimentação, dinâmica populacional e biogeografia, a fim de contribuir para a sustentabilidade desse recurso, além de subsidiar o desenvolvimento da piscicultura marinha no Brasil enquanto estratégia para a conservação da espécie.

Na pesquisa sobre os indicadores quantitativos de biologia reprodutiva do robalo, foi possível perceber que os meses ideais para o defeso da espécie no Estado do Maranhão são fevereiro, maio e novembro; porém, no Maranhão, não existe na legislação um período que determine o defeso para esta espécie. Nesse sentido, o conhecimento sobre o ciclo reprodutivo do robalo contribui de forma significativa para o ordenamento pesqueiro da espécie no Maranhão, visto que essa região ainda carece de políticas públicas voltadas para o setor pesqueiro, buscando evitar a exploração desordenada dos recursos e os impactos negativos para as comunidades de pescadores e para o ambiente.

Com base nos achados do presente estudo sobre os elementos-traço no músculo dos peixes analisados (*C. undecimalis*), as concentrações dos elementos não essenciais Al, Sn, Pb, and Ba, apresentaram níveis acima do estabelecidos pelas legislações internacionais (US EPA, 2013), (US EPA, 2018) e (CODEX, 2010). Além disso, alguns dos elementos não essenciais analisados também apresentaram níveis elevados. Esses fatores podem causar efeitos danosos para humanos e organismos marinhos que consomem esse tecido muscular periodicamente.

Um dos fatores que podem ter contribuído para o resultado descrito foi o derramamento de óleo, de origem desconhecida, que se espalhou pelo litoral brasileiro em 2019, atingindo várias cidades do Maranhão, incluindo Tutóia. Futuras pesquisas devem ser realizadas para avaliar novas amostras, pois, a menos que os efeitos da contaminação por metais e semimetais sejam mitigados ao longo do tempo, a saúde da população humana que se alimenta de robalo pode estar em risco.

Diante de todo cenário das pesquisas desenvolvidas com o *C. undecimalis* nesta tese, conclui-se que o uso da bioinformática para a organização de dados biológicos se torna cada vez mais relevante e a criação de protótipos, como o software *Ictiodados*, vem subsidiar uma solução aos problemas de acesso às informações podendo ser eficiente para sanar diversas lacunas científicas acerca dos estudos com a ictiofauna visto que o protótipo com o tempo poderá ser gradativamente aprimorado para se adequar às demandas técnicas dos gestores ambientais e pesquisadores da área.

REFERÊNCIAS

AGAH, H.; LEERMAKERS, M.; ELSKENS, M.; FATEMI, S. M. R.; BAEYENS, W. Accumulation of trace metals in the muscle and liver tissues of five fish species from the Persian Gulf. **Environmental monitoring and assessment**, v. 157, n. 1-4, p. 499-514, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0551-8>.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATSDR. **Toxicological profile for vanadium (draft for public comment)**. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services, 2009.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY - ATSDR. **Toxicological profile for vanadium (draft for public comment)**. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services, 2021. Disponível em <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp58.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2022.

AGER, L. A.; HAMMOND, D. E.; WARE, F. Artificial spawning of snook, *Centropomus undecimalis*. In: **Annual Conference of The Southeastern Association of Fish And Wild Life Commissioners**, 10., Hamburg, Proceedings of the National Academy of Sciences, p. 158-166, 1976.

ALI, H.; KHAN, E. Bioaccumulation of Cr, Ni, Cd and Pb in the Economically Important Freshwater Fish *Schizothorax plagiostomus* from Three Rivers of Malakand Division, Pakistan: Risk Assessment for Human Health. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 102, p. 77-83, 2018. DOI: 10.1007/s00128-018-2500-8.

ALMEIDA, Z. S.; ISAAC NAHUM, V. J.; SANTOS, N. B.; PAZ, A. C. **Diagnóstico dos sistemas de produção pesqueiro artesanais do litoral do Maranhão**. São Luís: Ed. UEMA, 2010.

ALONSO-FERNANDEZ, A.; ALÓS, J.; GRAU, A.; DOMÍNGUEZ-PETIT, R.; SABORIDOREY, F. The use of histological techniques to study the reproductive biology of the hermaphroditic Mediterranean fishes *Coris julis*, *Serranus scriba*, and *Diplodus annularis*. Marine and Coastal Fisheries: **Dynamics, Management, and Ecosystem Science**, v. 3, n. 1, p. 145–159, 2011.

ALVAREZ-LAJANCHÈRE, L. S.; TSUZUKI, M. Y. A review of methods for *Centropomus spp.* (snooks) aquaculture and recommendations for the establishment of their culture in Latin America. **Aquaculture Research**, v. 39, p. 684-700, 2008.

ANDERSON, J. J.; KLEMMER, P. J. Risk of high dietary calcium for arterial calcification in older adults. **Nutrients**, v. 5, n. 10, p. 3964-3974, 2013. DOI <https://doi.org/10.3390/nu5103964>.

ANDRADE, H.; SANTOS, J.; TAYLOR, R. Life-history traits of the common snook *Centropomus undecimalis* in a Caribbean estuary and large-scale biogeographic patterns relevant to management. **Journal of Fish Biology**, v. 82, n. 6, p. 1951-1974, 2013.

ANVISA. **Justifications for the minimum and maximum limits of nutrients, bioactive substances and enzymes in the regulatory proposal for food supplements.** General Food Management. 2018. Disponível em: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/3898888/Justificativa_Limites_Suplementos+-+CP+457-2017/ac372a4a-43ba-4721-bf3c-bd3c1ce60f81. Acesso em: 13 set. 2022.

APHA. Standardized methods for the analysis of drinking and waste water. American Public Health. **Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation**, Madrid, v. 17, n. 5-6, 1992.

ATTWOOD, T. K.; BLACKFORD, S.; BRAZAS, M. D.; DAVIES, A.; SCHNEIDER, M. V. A global perspective on evolving bioinformatics and data science training needs. **Briefings in Bioinformatics**, v. 20, n. 2, p. 398–404, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1093/bib/bbx100>.

ATWELL, L.; HOBSON, K. A.; WELCH, H. E. Biomagnificação e bioacumulação de mercúrio em uma teia alimentar marinha ártica: insights da análise de isótopos de nitrogênio estável. **Lata. J. Peixe. Água. Sci.**, v. 55, n. 1998, p. 1114-1121, 2019.

BARBIERI, G. Dinâmica da reprodução de cascudo, *Rineloricaria Latirostris* Boulenger (Siluriformes, Locariidae) do Rio Passa Cinco, Ipeúna, São Paulo. **Rev. Bras. Zool.**, São Paulo, v. 11, n. 4, 2010.

BARCELLINI, V. C.; MOTTA F. S.; MARTINS, A. M.; MORO, P. S. Recreational anglers and fishing guides from an estuarine protected area in southeastern Brazil: Socioeconomic characteristics and views on fisheries management. **Ocean e Coastal Management**, v. 76, p. 23–29, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.02.012>.

BARLETTA, M.; CORRÊA, M. F. M. **Guia de Identificação para Peixes da Costa do Brasil.** Curitiba: UFPR, 1992.

BARRELLA, W.; CACHOLA, N.; RAMIRES, M.; ROTUNDO, M. M. Aspectos biológicos e socioeconômicos da pesca esportiva no “deck do pescador” de Santos (SP, Brasil). **Braz. J. Aquat. Sci. Technol**, v. 20, n. 1, 2016. eISSN 1983-9057. DOI: 10.14210/bjast.v20n1.

BARROS, M. F. S.; ALMEIDA, Z. S.; FIGUEIREDO, M. B.; NUNES, J. L. S.; CARVALHO-NETA, R. N. F. Food ecology of *Hassar affinis* (Actinopterygii: Doradidae) in two lakes of a wet zone of international importance in Northeast Brazil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, 2021. e10110816973, ISSN 2525-3409. DOI: 10.33448/rsd-v10i8.16973.

BARROSO, M. V.; SOUZA, G. A. P.; THOMÉ, J. C. A.; LEITE JÚNIOR, N. O.; MOREIRA, L. M. P.; SANGALIA, C. *et al.* Estratégias de conservação das populações de robalos *Centropomus* spp. na foz do Rio Doce, Linhares, Espírito Santo, Brasil. **I Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 1465-1468, 2007.

BAZZOLI, N. Parâmetros reprodutivos de peixes de interesse comercial na região de Pirapora. In: GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. (Org.). **Águas, peixes e pescadores do São Francisco da Minas Gerais.** Belo Horizonte: PUC Minas, 2003. p. 291-306.

BENTIVEGNA F.; BERICA RASOTTO, M. Anatomical features of sex inversion in the rainbow wrasse, *Coris julis*. **Bollettino di zoologia**, v. 50, n. 1, p. 73–78, 1983.

BISINOTI, M. C.; JARDIM, W. F. O comportamento do metilmercúrio (metilHg) no ambiente. **Química Nova**, v. 27, n. 4, p. 593-600, 2004.

BORTEY-SAM, N.; NAKAYAMA, S. M. M.; IKENAKA, Y.; AKOTO, O.; BAIDOO, E.; YOHANNES, Y. B. *et al.* Riscos para a saúde humana de metais e metalóides através do consumo de alimentos animais perto de minas de ouro em Tarkwa, Gana: estimativa das ingestões diárias e quocientes de perigo alvo (THQs). **Ecotoxicol. Ambiente. Saf.**, v. 111, p. 160-167, 2015.

BRAME, A. B.; MCIVOR, C. C.; PEEBLES, E. B.; HOLLANDER, D. J. Site fidelity and condition 349 metrics suggest sequential habitat use by juvenile common snook. **Marine Ecology Progress Series**, 350, v. 509, n. 1, p. 255– 269, 2014. DOI: 10.3354/meps10902.

BRASIL. **Diretoria de Hidrografia e Navegação**. Atlas de Carta Piloto. Brasília, DF, 2019.

BRASIL. MPA - Ministério da Pesca e Aquicultura. Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura (2012). Brasília, DF, 2011.

BRAZIL. **Normative Instruction SDA**. 13 of July 15, 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animal/plano-de-nacional-de-controle-de-residuos-e-contaminantes/documentos-da-pncrc/pncrc-2015.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2022.

BRAZIL. **Which has the technical regulation on cellulosic materials, packaging and equipment intended to come into contact with food and makes other provisions**. RDC n. 88 of June 29, 2016.

BRAZIL. Ministério do Meio Ambiente. **Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura**. Brasília, DF, 2011. 60p.

BRAZIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Nacional para Conservação da Linha de Costa – PROCOSTA**. Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Territorial. Brasília, DF: MMA, 2018. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/publicacoes/gestao-territorial/category/197-gest%C3%A3o-costeira-procosta.html>. Acesso em: 13 ago. 2022.

BRAZIL. Ministério do Meio Ambiente. **Zoneamento Ecológico Econômico 2002**. Brasília, DF: MMA, 2018.

BRAZIL. The Health Surveillance Secretariat of the Ministry of Health. Ordinance No. 685 of 1998. **Official Gazette of the Federative Republic of Brazil**, Section 1, No. 60, Executive Branch, Brasília, DF, 30 mar. 1998.

BROWN, J. A. L. Evaluating the Effectiveness of a Practical Inquiry-Based Learning Bioinformatics Module on Undergraduate Student Engagement and Applied Skills. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, v. 44, n. 3, p. 304–313, 2016. DOI: 10.1002/bmb.20954.

BROWN-PETERSON, N. J.; WYANSKI, D. M.; SABORIDO-REY, F.; MACEWICZ, B. J.; LOWERRE-BARBIERI, S. K. A standardized terminology for describing reproductive development in fishes. **Marine and Coastal Fisheries**, v. 3, p. 52–70, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1080/19425120.2011.555724>.

BUCKUP, P. A.; MENEZES, N. A.; GHAZZI, M. S. **Catálogo das espécies de peixes de água doce do Brasil**. Museu Nacional: Rio de Janeiro, 2007.

CABALLERO-CHÁVEZ, V. Reproducción y fecundidad del robalo blanco (*Centropomus undecimalis*) en el suroeste de Campeche. **Cienc. Pesq.**, v. 19, n. 1, p. 35–45, 2011.

CANLIBROOK, B. W.; BRADSHAW, C. J. A. Momentum Drives the Crash: Mass Extinction in the Tropics. **Biotropica**, v. 38, n. 3, p. 302–305, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7429.2006.00141.x>.

CANTANHÊDE, L. G. *et al.* Biologia reprodutiva do *Hassar affinis* (Pisces: Siluriformes, Doradidae), Lago de Viana, Baixada Maranhense, Maranhão, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 46, n. 2, p. 219 – 226, 2016.

CARDOSO, A. S.; SANTOS, N. B.; ALMEIDA, Z. S.; CARVALHO-NETA, R. N. F.; CANTANHÊDE, L. G. Reproductive biology of king weakfish, *Macrodon ancylodon* (Perciformes, Sciaenidae) from the northeastern coast of Brazil. **Revista de Biología Marina y Oceanografía**, v. 53, n. 1, p. 95-104, 2018.

CARVALHO-NETA, R. N. F. Biomarcadores e inteligência artificial para monitoramento ambiental do complexo portuário da ilha de São Luís-Maranhão. 2010. 66 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Renorbio, Universidade Estadual do Ceará, Ceará, 2010.

CARVALHO, I. F. S.; CANTANHÊDE, L. G.; DINIZ, A. L. C.; CARVALHO-NETA, R. N. F.; ALMEIDA, Z. S. Reproductive biology of seven fish species of commercial interest at the Ramsar site in the Baixada Maranhense, Legal Amazon, Brazil. **Neotropical Ichthyology**, v. 19, n. 2, e200067, 2021.

CASELLE, J. E.; HAMILTON, S. L.; SCHROEDER, D. M.; MILTON, S. L.; STANDISH, J. D.; ROSALES-CASIAN, J. A. *et al.* Geographic variation in density, demography, and life history traits of a harvested, sex-changing, temperate reef fish. Canadian. **Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 68, n. 2, p. 288-303, 2011.

CASTRO-GONZÁLEZ, M. I.; MÉNDEZ-ARMENTA, M. Heavy metals: Implications associated to fish consumption. **Environmental toxicology and pharmacology**, v. 26, n. 3, p. 263-271, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2008.06.001>.

CERQUEIRA, V. R. Cultivo do robalo-peva, *Centropomus parallelus*. In: BALDISSEROTTO, B.; GOMES, L. C. (Eds.). *Espécies Nativas para Piscicultura no Brasil*. Santa Maria: Editora da UFSM, 2005. p. 403-431.

CERQUEIRA, V. R. Cultivo de peixes marinhos. In: POLI, C. R.; POLI, A. T. B.; ANDREATTA, E. R.; BELTRAME, E. (Eds.). **Aqüicultura: experiências Brasileiras**. Florianópolis: Multitarefa Editora, 2004. p. 369-406.

CERQUEIRA, V. R.; TSUZUKI, M. Y. A review of spawning induction, larviculture, and juvenile rearing of the fat snook, *Centropomus parallelus*. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 35, p. 17–28, 2009.

CHAVÉZ, H. Contribución al conocimiento de la biología de los robalos chucumite y Constantino (*Centropomus spp.*) del estado de Veracruz (Pisc. Centrop.). **Ciência**, México, v. 22, p. 141-161, 1963.

CHE, R. B.; MEAGHER, C. L.; RUGH, T.; KIM, A. C. P.; HEATON, S. A. Merkle Expressão de liase organomercurial em Eastern Cottonwood aumenta a resistência a organomercúrio Vitro Cell. **Dev. Biol. Plant**, v. 42, p. 228-234, 2006.

CIECHOMSKI, J. D. Ictioplâncton. In: BOLTOVSKOY, D. (Ed.). **Atlas del zooplankton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con zooplancton marino**. Mar del Plata: INIDEP, 1981. p. 829-860.

CLARK, R. C.; BROWN, D. W. Petroleum: properties and analyses in biotic and abiotic systems. In: MALINS ALINS, D. C. (Ed.). **Effects of petroleum on arctic and subarctic marine environment and organisms**. New York: Academic Press, 1977. p. 1-90.

CLIMATEMPO. **Previsões do tempo em Tutóia – MA**. 2021. Disponível em <https://www.climatempo.com.br/previsao-do-tempo/cidade/1070/tutoia-ma>. Acesso em: 20 jun. 2022.

COELHO, K. K. F.; LIMA, F. S.; WOSNICK, N.; NUNES, A. R. O. P.; SILVA, A. P. C.; GAVA, T. T. *et al.* Research trends on elasmobranchs from the Brazilian Amazon Coast: a four-decade review. **Biota Neotropica**, v. 21, n. 4, 2021. e20211218. DOI: <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2021-1218>.

COLLINGS, S. E.; JOHNSON, M. S.; LEAH, R. T. Metal contamination of angler-caught fish from the Mersey Estuary. **Marine Environmental Research**, v. 41, p. 281–297, 1996.

COSTA E SILVA G. H.; FREITAS, M. O.; ABILHOA, V. Reproductive biology of the fat snook *Centropomus parallelus* Poey, 1860 (Teleostei, Centropomidae) and implications for its management in the Southern Atlantic Ocean. **Journal of Fish Biology**, 2021. DOI: 10.1111/jfb.14718.

COSTA FILHO, J.; MELLO, G. L. Crescimento alométrico positivo entre características biométricas de juvenis de robalo-flecha (*Centropomus undecimalis* Bloch, 1972) cultivados. **Arquivo Ciência Veterinária e Zoologia - UNIPAR**, Umuarama, v. 18, n. 1, p. 21-26, 2015.

COSTA, W. J. E. M.; AMORIM, P. F.; MATTOS, J. L. O. Species delimitation in annual killifishes from the Brazilian Caatinga, the *Hypsolebias flavicaudatus* complex (Cyprinodontiformes: Rivulidae): implications for taxonomy and conservation. **Syst. Biodivers.** v. 10, n. 1, p. 71-91, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/14772000.2012.664177>.

CSUROS, M.; CSUROS, C. **Environmental Sampling and Analysis for Metals**. 1st ed. CRC Press, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420032345>.

DA SILVEIRA MENEZES, A. A.; LIN, C. F.; SILVA, C.; DOS SANTOS, R. A. Aspectos socioeconômicos relacionados à pesca amadora de robalo (*Centropomus undecimalis* e *C. parallelus*) na Baía da Babitonga, Santa Catarina, Brasil. **RevistaCEPSUL-Biodiversidade e Conservação Marinha**, v. 3, n. 1, p. 22-44, 2012.

DAROS, F. A.; SPACH, H. L.; CORREIA, A. T. Habitat residency and movement patterns of *Centropomus parallelus* juveniles in a subtropical estuarine complex. **Journal of Fish Biology**, v. 88, p. 1796-1810, 2016. DOI: 10.1111/jfb.12944.

DAVIES, A. C.; HARRIS, D.; BANKS-GATENBY, A.; BRASS, A. Problem-based learning in clinical bioinformatics education: Does it help to create communities of practice?. **PLoS Comput Biol**, v. 15, n. 6, 2019. e1006746. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1006746.

DIAS, M. S. *et al.* Anthropogenic stressors and riverine fish extinctions. **Ecological Indicators**, v. 79, p. 37–46, 2017.

DINIZ, A. L. C.; CARVALHO, I. F. S.; SILVA, A. P. C.; ALMEIDA, D. S.; FERREIRA, L. J. S.; CANTANHÊDE, L. G. Parâmetros da reprodução de Mugil curema (Mugilidae, Teleostei) capturado em uma área da costa amazônica maranhense, Brasil. **Brasilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 11277-11289, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-119>.

DISNER, G. R.; TORRES, M. The environmental impacts of 2019 oil spill on the Brazilian coast: Overview. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 15, p. 241-255, 2020. ISSN 2359-1412. DOI: [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2020\)071518](https://doi.org/10.21438/rbgas(2020)071518).

DJIKANOVIĆ, V.; SKORIĆ, S.; SPASIĆ, S.; NAUNOVIC, Z.; LENHARDT, M. Ecological risk assessment for different macrophytes and fish species in reservoirs using biota-sediment accumulation factors as a useful tool. **Environmental Pollution**, v. 241, p. 1167-1174, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.054>.

EDUARDO, N.; FRÉDOU, T. Feeding ecology of *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792) and *Centropomus parallelus* (Poey, 1860) in two tropical estuaries in Northeastern Brazil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 12, n. 2, p. 123-135, 2017.

ERISMAN, B. E.; ROSALES-CASIÁN, J. A.; HASTINGS, P. A. Evidence of gonochorism in a grouper, *Mycteroperca rosacea*, from the Gulf of California, Mexico. **Environ Biol. Fishes**, v. 82, n. 1, p. 23–33, 2008.

ESILABA, F.; MOTURI, W. N.; MOKUA, M.; MWANYIKA, T. Human Health Risk Assessment of Trace Metals in the Commonly Consumed Fish Species in Nakuru Town, Kenya. **Environmental Health Insights**, v. 14, 2020. 1178630220917128. DOI: <https://doi.org/10.1177/1178630220917128>.

ESTRELA, C. **Metodologia Científica: ciência, ensino, pesquisa**. São Paulo: Editora Artes Médicas, 2018.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Rome: FAO, 2018.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The living marine resources of the Central Western Atlantic**. v. 2, Bony fishes part1 (Acipenseridae to Grammatidae). Roma: FAO, 2002.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of World Fisheries and Aquaculture, 2021**: Sustainability in action. Rome: FAO, 2021.

FARIAS, J. L.; ZARAR, C. A.; SILVA-NETO, N. G.; SILVA, F. S.; SILVA-JUNIOR, R. F.; CAVALLI, R. O. Tolerância e crescimento de juvenis do robalo-flecha (*Centropomus undecimalis*) expostos a diferentes salinidades. **Acta Fish**, v. 5, n. 3, p. 54-60, 2017. DOI: 10.2312/ActaFish.2017.5.3.5460.

FERRAZ, E. M.; PETERSEN, L.; PASSINI, G.; CERQUEIRA, R. Híbridos recíprocos obtidos por cruzamentos entre os robalos *Centropomus parallelus* e *Centropomus undecimalis*. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 53 – 61, 2013.

FETTER, N.; BLICHERT-TOFT, J.; TÉLOUK, P.; ALBARÈDE, F. Extraction of Pb and Zn from crude oil for high-precision isotopic analysis by MC-ICP-MS. **Chemical Geology**, 2019. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2019.02.021.

FIGUEIREDO, J. L.; MENEZES, N. A. **Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil: teleostei** (2). São Paulo: Museu de Zoologia da USP, 1980.

FIGUEIREDO-FILHO, J. M.; MARCENIUK, A. P.; FEIJÓ, A.; SICCHA-RAMIREZ, R.; RIBEIRO, G.S.; LIVEIRA, C. *et al.* Taxonomy of *Centropomus* Lacépède, 1802 (Perciformes: Centropomidae), with focus on the Atlantic species of the genus. **Zootaxa**. n. 3, p. 4942, 2021. DOI: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4942.3.1>.

FILHO, E. A. S. Os impactos do óleo cru sobre organismos marinhos: uma revisão integrativa. [Trabalho de Conclusão de Curso], Bacharelado em Farmácia. Coordenação de Farmácia, CCS/UFPB, João Pessoa, 2020.

FLIK, G.; FENWICK, J. C.; KOLAR, Z.; MAYER-GOSTAN, N.; WENDELAABONGA, S. E. Effects of low ambient calcium levels on wholebody Ca²⁺ flux rates and internal calcium pools in the freshwater cichlid teleost, *Oreochromis mossambicus*. **Journal of experimental biology**, v. 120, n. 1, p. 249-264, 1986. DOI: <https://doi.org/10.1242/jeb.120.1.249>.

FORTES, W. L. S.; PEDRO, H.; ALMEIDA-SILVA, P. H.; PRESTRELO, L.; MONTEIRO-NETO, C. Patterns of fish and crustacean community structure in a coastal lagoon system, Rio de Janeiro, Brazil. **Marine Biology Research**, v. 2, p. 111–122, 2014.

FREITAS, M. O.; ABILHOA, V. Reproductive biology of the tarpon snook *Centropomus pectinatus* (Perciformes, Centropomidae) in estuarine waters in the South-western Atlantic. **Journal of Fish Biology**, n. 91, p. 686-694, 2017. DOI: 10.1111/jfb.13367.

GALAN, J. P.; VERNETTE, E. Vers une 4ème génération: les études de marché On-line. **França: Revue Décisions Marketing**, n. 19, p.39-52, jan-abr. 2000.

GALDINO, M. A.; VIEIRA, L. S. R.; CARDOSO, B. R. Prospecção sobre o aproveitamento das correntes marinhas para geração de energia elétrica no Brasil. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR*, 7., Gramado, p. 1-10, 2018.

GARCIA, A. F. S.; VENDEL, A. L. Dietary overlap and food resource partitioning among fish species of atropical estuary in northeastern Brazil. **Gaia Scientia**, v. 10, n. 4, p. 86-97, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.21707/gaia.v10.n04a06>.

GARRONE-NETO, D. *et al.* Using the same fish with different rules: A science-based approach for improving management of recreational fisheries in a biodiversity hotspot of the Western South Atlantic. **Fisheries Management and Ecology**, v. 25, n. 4, p. 253-260, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/176603>. Acesso em: 13 jun. 2022.

GASSMAN, J.; ROJAS, H. L.; PADRÓN, D. Reproducción de los róbalo *Centropomus undecimalis* y *C. ensiferus* (Perciformes: centropomidae) en una laguna costera tropical. **Rev Biol Trop.**, v. 6, n. 1, p. 181–194, 2017.

GONZALEZ, R. J.; GRIPPO, R. S.; DUNSON, W. A. The disruption of sodium balance in brookchar, *Salvelinus fontinalis* (Mitchell), by manganese and iron. **J Fish Biol.**, v. 37, n. 1, p. 765-74, 1990.

GU, Y. G.; WANG, Z. H.; LU, S. H.; JIANG, S. J.; MU, D. H.; SHU, Y. H. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify source of anthropogenic impacts on metallic elements in sediments from the mid Guangdong coasts, China. **Environmental pollution**, v. 163, p 248-255, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.041>.

GUIGUEN, Y.; CAUTY, C.; FOSTIER, A.; FUCHS, J.; JALABERT, B. Reproductive cycle and sex inversion of the seabass, *Lates calcarifer*, reared in sea cages in French Polynesia: histological and morphometric description. **Environ Biol. Fishes**, v. 39, n. 3, p. 231–247, 1994.

GRIER, H.J. The germinal epithelium: Its dual role in establishing male reproductive classes and understanding the basis for indeterminate egg production in female fishes. In: Creswell RL (Ed.). Proceedings of the Fifty-third Annual Gulf and Caribbean Fisheries Institute, 2000, Biloxi, Mississippi. Fort Pierce, FL: **Gulf and Caribbean Fisheries Institute**, 2002. p.537-552.

HARR, K. E.; DEAK, K.; MURAWSKI, S. A.; REAVILL, D. R.; TAKESHITA, R. A. Generation of red drum (*Sciaenops ocellatus*) hematology reference intervals with a focus on identified outliers. **Veterinary clinical pathology**, v. 47, n. 1, p. 22-28, 2018.

HERNÁNDEZ, U.; CHIAPPA, X.; CONTRERAS W. Reproductive variability of the common snook, *Centropomus undecimalis*, in environments of contrasting salinities interconnected by the Grijalva–Usumacinta fluvial system. **Cienc. Mar.**, v. 40, p. 173-185, 2014.

HERRERA, L. A.; KUHNEN, V. V.; SANCHES, E. G. Does intensive feeding frequency affect growth performance of common snook *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792). **Brazilian Journal of Biology**, v. 79, n. 3, jul.-sep. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.186394>.

HILBORN, R. *et al.* Effective fisheries management instrumental in improving fish stock status. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 4, p. 2218-2224, 2020.

HOLMLUND, C. M.; HAMMER, M. Ecosystem services generated by fish populations. **Ecological Economics**, v. 29, p. 253–268, 1999.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Boletim Fauna**. 2020. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/phocadownload/emergenciasambientais/2020/manchasdeoleo/2020-02-12-ibama-manchasdeoleoboletim-fauna.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama of the Municipality of Tutoia-MA**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/tutoia/panorama>. Acesso em: 13 ago. 2022.

ICMBIO. Centro Nacional de Pesquisa e Conservação do Cerrado. **Informações Sobre Visitação - APA Delta do Parnaíba**. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/apa-delta-do-parnaiba/informacoes-sobre-visitacao-apa-delta-do-parnaiba>. Acesso em: 29 ago. 2022.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). 1991. **Monograph sonthe evaluation of carcinogenic risks to humans**. Chlorinated drinking-water; chlorination by-products; some other halogenated compounds; cobalt and cobalt compounds. IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risks Humans, 52.

ITALIA MINISTERO DELLA SALUTE. Decreto 22 dicembre 2011. **Attuazione de la direttiva 98/83/CE, relativa al la qualità del leacque destinate al consumo umano**. Modifica del valore parametrico per il Vanadio. (11A16893). Gazzetta Ufficiale - Serie Generale n. 4, 5 gennaio, 2012.

IUCN. União Nacional de Conservação da Natureza. **Brazil on the verge of changing marine conservation history in the South Atlantic**. 2018. Disponível em: <https://www.iucn.org/news/protectedareas/201802/brazil-vergechanging-marine-conservation-history-south-atlantic>. Acesso em: 16 ago. 2022.

KLEIN, S. A. **Ferramentas educativas para algoritmos de alinhamento em biologia computacional**. 2014. [TCC] Graduação em Ciências da Computação - Universidade Feevale, Nova Hamburgo, 2014.

LAGLER, K. F.; BARDACH, J. E.; MILLER, R. R. **Ichthyology**. New York: John Wiley & Sons, 1962.

LALL, S. Structural adjustment and African industry. **World Development**, v. 23, n. 12, p. 2019-2031. 1995.

LAURELLI, A. R.; RAMIRES, M.; BARRELLA, W. Report on snook fishing in the Bertioga Canal during the COVID-19 Pandemic. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 6, p. e27010615805, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i6.15805.

LAURENCE, W. F. Have we overstated the tropical biodiversity crisis?. **Trends Ecology and Evolution**, v. 22, n. 2, p. 65-70, 2007. DOI: 10.1016/j.tree.2006.09.014.

LAWAND, A.; DE ALMEIDA SILVA, C. D.; DE OLIVEIRA, L. P. F. Derramamento de óleo no nordeste brasileiro: Responsabilização e desdobramentos. **Revista de Direito e Negócios Internacionais da Maritime Law Academy-International Law and Business Review**, v. 1, n. 1, p. 84-113, 2021.

LEE, J. W.; CHOI, H.; HWANG, U. K.; KANG, J. C.; KANG, Y. J.; KIM, K. I. *et al.* Toxic effects of lead exposure on bioaccumulation, oxidative stress, neurotoxicity, and immune responses in fish: A review. **Environmental toxicology and pharmacology**, v. 68, p. 101-108, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.010>.

LESSA, R. P.; SANTANA, F.; MENNI, R.; ALMEIDA, Z. Population structure and reproductive biology of the smalltail shark (*Carcharhinus porosus*) off Maranhão (Brazil). **Mar. Freshw. Res.**, v. 50, n. 5, p. 383-388, 1999. DOI: <http://dx.doi.org/10.1071/MF98127>.

LIEBL, F.; AMARAL-JUNIOR, H.; GARCIA, S.; SOUTO, L.I.M.; CARVALHO, C.V.A.; CERQUEIRA, V.R. Desempenho de juvenis de robalo-flecha e robalo-peva submetidos a diferentes densidades de estocagem em água doce. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 42, n. 1, p. 145-155, 2016.

LIMA, F. P.; NOBILE, A. B.; SOUZA-FREITAS, D.; CARVALHO, E. D.; VIDOTTO-MAGNONI, A. P. Feeding ecology of *Rhinodoras dorbignyi* (Kner, 1855) (Siluriformes: Doradidae) in the Paranapanema River, SP, Brazil. **Revista Biotemas**, v. 1, n. 29, p. 67-73, 2016.

LIMA, G. M. D. Estanho: um metal estratégico ontem e hoje. **Química Nova**, v. 42, p. 1189-1198, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170444>.

LIMA, V. F.; MERÇON, F. Metais Pesados no Ensino de Química. **Conceitos científicos em destaque – Química Nova na Escola**, v. 33, n. 4, 2011. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc33_4/199-CCD-7510.pdf. Acesso em: 8 jul. 2022.

LINDÉN, O.; PÅLSSON, J. Oil contamination in ogoniland, Niger Delta. **Ambio**, v. 42, n. 6, p. 685-701, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-013-0412-8>.

LIRA, A. Z.; FRÉDOU, F. L.; VIANA, A. P.; EDUARDO, L. N.; FRÉDOU, T. Feeding ecology of *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792) and *Centropomus parallelus* (Poey, 1860) in two tropical estuaries in Northeastern Brazil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 12, n. 2, p. 123-135, 2017. Disponível em: [https://panamjas.org/pdf_artigos/PANAMJAS_12\(2\)_123-135.pdf](https://panamjas.org/pdf_artigos/PANAMJAS_12(2)_123-135.pdf). Acesso em: 13 jun. 2022.

LOURENÇO, R. A.; COMBI, T.; DA ROSA ALEXANDRE, M.; SASAKI, S. T.; ZANARDI-LAMARDO, E.; YOGUI, G. T. Mysterious oil spill along Brazil's northeast and southeast seaboard (2019–2020): Trying to find answers and filling data gaps. **Marine pollution bulletin**, v. 156, p. 111219, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111219>.

LOWERRE-BARBIERI, S. K.; GANIAS, K.; SABORIDO-REY, F.; MURUA, H.; HUNTER, J. R. Reproductive timing in marine fishes: variability, temporal scales, and methods. **Mar. Coast. Fish.**, v. 3, n. 1, p. 71–97, 2011.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisas em educação: uma abordagem qualitativa.** Temas Básicos de Educação e Ensino: E.P.U., 2013.

MACHADO, M. R. F.; DE OLIVEIRA SOUZA, H.; DE SOUZA, V. L.; DE AZEVEDO, A.; GOITEIN, R.; NOBRE, A. D. Morphological and anatomical characterization of the digestive tract of *Centropomus parallelus* and *Centropomus undecimalis*. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 35, n. 4, p. 467-474, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciobiolsci.v35i4.14352>.

MARCENIUK A.P.; CAIRES R.A.; WOSIACKI W.B.; DIDARIO, F. Conhecimento e conservação dos peixes marinhos e estuarinos (Chondrichthyes e Teleostei) da costa norte do Brasil. **Biota Neotropica**, v. 13, n. 4, p. 251-259, 2013. Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v13n4/pt/abstract?inventory+bn02613042013>. Acesso em: 13 ago. 2022.

MARINHA DO BRASIL. **Combate ao óleo.** 2019a. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/combate-aooleo>. Acesso em: 13 set. 2022.

MARINHA DO BRASIL. **Nota à imprensa.** 2019b. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/sites/default/files/nota_a_imprensa_09dez_comunidade_cientifica.pdf. Acesso em: 13 set. 2022.

MÁRQUEZ, A.; SENIOR, W.; FERMÍN, I.; MARTÍNEZ, G.; CASTAÑEDA, J.; GONZÁLEZ, Á. Cuantificación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces y crustáceos de la Laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela. **Revista científica**, v. 18, n. 1, p. 73-86, 2008.

MARSHALL, A. R. A survey of the snook fishery of Florida, with studies of the principal species, *Centropomus undecimalis* (Bloch). Florida Board of Conservation. **Marine Research Laboratory Technical Series**, Miami, n. 22, 1958.

MARTINELLI, C.M. **Etnobiologia das famílias Centropomidae, Serranidae e Pomatomidae em Ponta Negra, Natal, Rio Grande do Norte.** 2010. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Humana) – Universidade de Campinas, Instituto de Biologia, Campinas, 2010.

MENDONÇA, J. T.; CHAO, L.; ALBIERI, R. J.; GIARRIZZO, T.; SILVA, F. M. S.; CASTRO, M. G. *et al.* *Centropomus undecimalis*. **The IUCN Red List of Threatened Species**, 2019: e.T191835A82665184. DOI: 10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T191835A82665184.en.

MENDONÇA, M. C. F. B. **Autoecologia do camorim, *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792), (Perciformes: Centropomidae) em ambiente hipersalino em Galinhos, RN, Brasil.** 2004. 145 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/1883>. Acesso em: 13 jun. 2022.

- MILOŠKOVIĆ, A.; BRANKOVIĆ, S.; SIMIĆ, V.; KOVAČEVIĆ, S.; CIRKOVIĆ, M.; MANOJLOVIĆ, D. A acumulação e distribuição de metais na água, sedimentos, macrófitas aquáticas e peixes deo reservatório de Gruža. Sérvia. **Bull Environ Contam Toxicol.**, v. 90, n. 7, p. 563–569, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/331452209_Ecological_risk_assessment_of_metals_and_metalloid_in_bottom_sediments_of_water_reservoir_located_in_the_key_anthropogenic_hot_spot_area_Poland. Acesso em: 13 jun. 2022.
- MOLITZAS, R.; SOUZA, U. P.; ROTUNDO, M. M.; SANCHES, R. A.; BARRELLA, W.; RAMIRES, M. Avaliação temporal dos sistemas pesqueiros na Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Barra do Una (Peruíbe/SP). **Revista GeoInterações**, v. 3, n. 1, p. 3-25, 2019.
- MONTI, G.; DE NAPOLI, L.; MAINOLFI, P.; BARONE, R.; GUIDA, M.; MARINO, G. *et al.* Monitoring food quality by microfluidic electrophoresis, gas chromatography, and mass spectrometry techniques: effects of aquaculture on the common snook (*Dicentrarchus labrax*). **Anal. Chem.**, v. 77, p. 2587–2594, 2005. DOI: 10.1021/ac048337x.
- MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 15, p. 119-129, 2004.
- MOTTA, F. S., MENDONÇA, J. T.; MORO, P. S. Collaborative assessment of recreational fishing in a subtropical estuarine system: a case study with fishing guides from south-eastern Brazil. **Fisheries Management and Ecology**, v. 23, p. 291–302, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/fme.12172>.
- MUNRO, A. D.; SCOTT, A. P.; LAM, T. J. **Reproductive seasonality in teleosts: environmental influences**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1990.
- NASCIMENTO, I. R. M. A.; DINIZ, A. L. C.; CRUZ, Y. L. K. F.; AZEVEDO, A. S.; AZEVEDO, R. S. O. P.; PINHEIRO-SOUSA, D. B. *et al.* Reproductive biology of the common snook *Centropomus undecimalis* (Centropomidae: Teleostei) from the northern coast of the Brazilian Amazon (no Prelo). 2021.
- NASCIMENTO, R. F. D.; GAVRON, A. B.; BOWLES, S.; CHAVES, E. S.; BORTOLOZO, E. A. F. Q. Determinação dos teores de sódio e potássio em refeições servidas em um restaurante universitário da região sul do Brasil. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.16716>.
- NASCIMENTO, W. S.; GURGEL, L. L.; PANSARD, K. C. A.; NASCIMENTO, R. S. S.; GURGEL, H. C. B.; CHELLAPPA, S. Biologia populacional do robalo-flexa, *Centropomus undecimalis* (Osteichthyes: Centropomidae) do estuário de rio Potengi, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Cultural e Científica**, v. 8, n. 3, p. 65–78, 2010.
- NUNES, J. L. S.; PIORSKI, N. M. (Eds). **Peixes marinhos e estuarinos do Maranhão**. São Luís: Editora Café e Lápis, 2011. p. 37-94.
- NUNES, Z. M. P.; PEREIRA, M. E. G. S.; DA SILVA, B. B.; DA ROCHA, R. M.; ASPNETO, N. E.; DA SILVA, C. S. Bioecologia do robalo-flexa, *Centropomus undecimalis*, em lagoa costeira tropical do norte do Brasil. **Bol. Inst. Pesca**, v. 41, n. 3, p. 457-469, 2015.

NUURTAMO, M.; VARO, P.; SAARI, E.; AND KOIVISTOINEN, P. Mineral elemento composition of Finnish foods. VI. Fish and fish products. **Acta Agricultura e Scandinavica Supplementum**, v. 22, p. 77-87, 1980.

ORTIZ-ORDÓÑEZ, E. *et al.* Reproductive cycle by histological characterization of the ovary in the butterfly goodeid *Ameca splendens* from the upper Rio Ameca Basin, México. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 23, n. 1, p. 40-45, 2007.

PEAKALL, D.; BURGER, J. Methodologies for assessing exposure to metals: speciation, bioavailability of metals, and ecological host factors. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 56. n. 1, p. 110-121, 2003.

PENA, P. G. L.; NORTHCROSS, A. L.; LIMA, M. A. G.; RÊGO, R. C. F. Derramamento de óleo bruto na costa brasileira em 2019: emergência em saúde pública em questão. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, n. 2, 2020. DOI: 10.1590/0102-311x00231019.

PENNINGS, S. C.; MCCALL, B. D.; HOOPER-BUI, L. Effects of oil spills on terrestrial arthropods in coastal wetlands. **BioScience**, v. 64. n. 9, p. 789-795, 2014.

PEREIRA, G. A.; GENARO, P. S.; PINHEIRO, M. M.; SZEJNFELD, V. L.; MARTINI, L. A. Cálculo dietético: estratégias para otimizar o consumo. **Revista brasileira de reumatologia**, v. 49, p. 164-171, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0482-50042009000200008>.

PEREIRA, L. C. C.; DIAS, J. A.; ANTUNES DO CARMO, J.; POLETTE, M. A Zona Costeira Amazônica Brasileira. **Rev. Gest. Cost. Integ.**, v. 9, n. 2, p. 3-7, 2009. DOI: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=388340126001> (last access in 06/01/2021).

PEREIRA, M. E. G. S. S.; SANTOS, F. J. D. A. S.; HOLANDA, F. C.; MIRANDA J.; LUTZIA, F.; BARBOZA, R. S. L. *et al.* The fishing of the Common Snook *Centropomus undecimalis* (Centropomidae - Perciformes) in the Brazilian Amazon coast: contribution of the fishing actors to fisheries management. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 10, 2020. e6189108945. DOI: 10.33448/rsd-v9i10.8945.

PEREIRA, M. E. G. S.; CAÑETE, V. R.; PALHETA, M. K. S.; SANTOS, F. J. S.; SILVA, B. B.; BARBOSA, R. S. L. *et al.* Contribuição dos atores da pesca para a bioecologia do Camurim *Centropomus undecimalis* (Centropomidae – Perciformes) capturado no litoral Amazônico brasileiro. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, e4119108691, 2020. ISSN 2525-3409. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8691>.

PEREIRA, M. E. G. S.; SILVA, B. B.; ROCHA, R. M.; ASP-NETO, N. E.; SILVA, C.S.; NUNES, Z. M. P. Bioecologia do robalo-flexa, *Centropomus undecimalis*, em lagoa costeira tropical no norte do BRASIL. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 41, n. 3, p. 457 – 469, 2015.

PERERA-GARCÍA, M.; MENDOZA, M.; CONTRERAS, W.; FERRARA, A.; HUERTA, M.; HERNÁNDEZ, R. Comparative age and growth of common snook *Centropomus undecimalis* (Pisces: Centropomidae) from coastal and riverine areas in Southern Mexico. **Rev. Biol. Trop.** v. 61, n. 2, p. 807-819, 2013.

PERERA-GARCÍA, M.; MENDOZA, M.; CONTRERAS, W.; HUERTA, M.; PÉREZ, E. Reproductive biology of common snook *Centropomus undecimalis* (Perciformes: Centropomidae) in two tropical habitats. **Rev. Biol. Trop.**, v. 59, p. 669-681, 2011.

PETERSON, M. S.; GILMORE, R. G. Jr. Eco-physiology of juvenile snook *Centropomus undecimalis* (Bloc): life-history implications. **Bulletin of Marine Science**, v. 48, n. 1, p. 46–57, 1991.

PEVZNER, P.; SHAMIR, R. **Bioinformatics for Biologists**. Cambridge UK: University Press, 2011.

PINTO, J. R. S.; ARAÚJO, M. L. G.; ROSA, R. A.; SANTOS, J. P.; ARAÚJO, A. R. R.; BARBOSA, J. M. Especialização das capturas de robalo (*Centropomus spp*) (Centropomidae – Perciformes) no estuário do Rio Sergipe. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 51, n. 2, p. 72–83, 2018. DOI: 10.32360/acmar.v51i2.33177.

PORTO, L. C. S.; ETHUR, E. M. Trace elements in water and viscera of fish from butuí-icamaquã basin, Rio Grande do Sul, Brazil. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2512-2518, 2009.

POUGH, F. H.; JANIS, C. M.; MESER, J. B. **A vida dos vertebrados**. São Paulo: Editora Atheneu, 2003.

RABELO, L. B.; MUTO, E. Y.; SATIKO, L.; SOARES, H. Observações preliminares sobre o hábito alimentar do robalo-flecha *Centropomus undecimalis* (BLOCH, 1792) e robalo-peba *Centropomus parallelus* POEY, 1860, no Estuário de Caravelas (Bahia, Brasil). **Boletim Técnico Científico Cepene**, v. 17, n. 1, p. 89–96, 2009.

RAMIRES, M.; MOLINA, S. M. G. Influências da pesca esportiva no modo de vida dos pescadores caiçaras do Vale do Ribeira. In: ENCONTRO LATINOAMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 4., São José dos Campos, 2004. **Anais...**, 2004. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2004/trabalhos/epg/pdf/EPG2-1.pdf. Acesso em: 13 jun. 2022.

REGULATION (EC) No. 1881/2006, of the Council, of December 19, 2006, which sets the maximum levels of certain contaminants present in foodstuffs. **Official Journal of the European Communities**, 2006. Disponível em: <https://eurlex.europa.eu/homepage.html>. Acesso em: 13 jun. 2022.

REGULATION COMMISSION (EU) No. 1275/2013 of 6 December 2013 amending Annex I of Directive 2002/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to the maximum limits of arsenic, cadmium, lead, nitrite, volatile mustard essence and harmful botanical impurities (Text with EEA relevance). **Official Journal of the European Union**. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R1275&from=EN>. Acesso em: 13 set. 2022.

REIS, R. E.; KULLANDER, S. O.; FERRARIS JR., C. J. **Check list of the freshwater fishes of South and Central America**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2003.

RICHETTI, G. P.; MILARÉ, T. O Óleo no Nordeste Brasileiro: Aspectos da (an)alfabetização Científica e Tecnológica. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 21, jan.-dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2021u11871215>.

RIEDE, K. **Global Register of Migratory Species**: From Global to Regional Scales. Bonn: Federal Agency for Nature Conservation, 2004.

RÍOS, G. S. E.; RAMÍREZ, C. M.; LÓPEZ, B. E.; MACÍAS, S. M., LEAL, J.; VELÁSQUEZ, C. M. Evaluation of Mercury, Lead, Arsenic, and Cadmium in Some Species of Fish in the Atrato River Delta, Gulf of Urabá, Colombian Caribbean. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 229, n. 8, 2018. DOI:10.1007/s11270-018-3933-8.

RIVAS, L. R. The Florida fishes of the genus *Centropomus* commonly know as snook. **Quarterly J. of the Florida Acad. Sciences**, Orlando, p. 53-64, 1962.

RIVAS, L. R. Systematic review of the perciform fishes of the genus *Centropomus*. **Copeia**, v. 3, p. 579-611, 1986.

RUITER, A. Contaminants in fish. In: Fish and fishery products: composition, nutritive propertie sand stability. **Wallingford: CAB International**, v. 9, p. 261-285, 1995.

SADOVY, D. E.; MITCHESON, Y.; LIU, M. Functional hermaphroditism in teleosts. **Fish and Fisheries**, v. 9. n. 1, p. 1-43, 2008.

SAIKI, M. K.; JENNINGS, M. R.; BRUMBAUGH, W. G. Boron, molybdenum, and selenium in aquatic food chains from the lower San Joaquin River and its tributaries, California. **Archives of environmental contamination and toxicology**, v. 24, n. 3, p. 307-319, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01128729>.

SANCHES, E. G.; SILVA, F. C.; RAMOS, A. P. F. A. Viabilidade econômica do cultivo do robalo-flecha em empreendimentos de carcinicultura no Nordeste do Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 40, n. 4, p. 577-588, 2014.

SANTOS, F.; ORTEGA, J. M. **Bioinformática aplicada a genômica**. Belo Horizonte: UFMG, 2003. Disponível em: <http://www.icb.ufmg.br/lbem/aulas/grad/tge/bioinfo/bioinfo genomica.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2022.

SANTOS, S. B. A. F.; SILVA, A. C.; VIANA, M. S. R. Aspectos reprodutivos da pescada-dopiauí, *Plagioscion squamosissimus* (HECKEL, 1840), capturada no Açude Pereira Miranda (Pentecoste – Ceará). **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n. 1, p. 5–10, 2003.

SANTOS, V. L. M. **Biologia reprodutiva e transição sexual do robalo peva (*Centropomus parallelus*)**: aspectos relevantes para conservação da espécie. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Conservação) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Conservação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

SARWAR, N.; MALHI, S. S.; ZIA, M. H.; NAEEM, A.; BIBI, S.; FARID, G. Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90. n. 6, p. 925-937, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3916>.

SARYAN LA, Z. C. Lead and its compounds. *In*: ZENZ, O. C.; DICKERSON, B.; HORVATH, E. P. (Eds.). **Occupational medicine**. 3. ed. St. Louis: Mosby-Year Book, 1994. p. 506–541.

SCHONLAU, M.; FRICKER, R.; ELLIOT, M. Conducting Research Surveys via E-mail and the Web. Santa Monica: Rand, 2001.

SELMAN, K.; WALLACE, R.A. Cellular Aspects of Oocyte Growth in Teleosts. *Zoological science* Vol. 6, p.211-231, Tokyo, Japan. 1989. Available in: <https://www.biodiversitylibrary.org/part/71695>

SENAR. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Piscicultura**: reprodução, larvicultura e alevinagem de peixes nativos. Brasília: SENAR, 2017.

SHAPIRO, D. Y. Sex reversal and sociodemographic process in coral reef fishes. *In*: POTTS, G. W.; WOOTTON, R. J. (Eds.). **Fish reproduction, strategies and tactics**. London: Academic Press, 1984. p. 103-118.

SILVA, L. E. O; SILVA, K. C. A; CINTRA, I. H. A. Sobre a pesca industrial para peixes diversos na plataforma continental Amazônica. **Rev Bras Eng Pesca**, v. 7. n. 2, p. 34-53, 2014. DOI: 10.18817/repesca.v7i2.1068.

SILVA, A. P. C.; DINIZ, A. L. C.; SOUSA, D. B.; CARVALHO, I. F. S.; NASCIMENTO, I. R. M. A.; NUNES, K. B. *et al.* **Biologia reprodutiva de recursos pesqueiros como instrumento de gestão compartilhada em áreas protegidas no estado do Maranhão**. [recurso eletrônico]. São Luís: EDUEMA, 2021. ISBN: 978-65-89821-51-9.

SILVA, C. A.; OLIVEIRA, S. S. Avaliação do potencial risco à saúde humana de metais pesados em peixes marinhos consumidos em Aracajú, Maceió e Salvador, Brasil. Embrapa Tabuleiros Costeiros. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, v. 126. n. 21, p. 1-24, 2016.

SILVA, P. S. M. **Dinâmica costeira do litoral de Tutóia (MA), a partir da análise multitemporal de imagens de satélite e do uso de geoprocessamento**. 2018. 112 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

SILVA, S. A.; BONEMANN, D. H.; SILVA, J. D. S. D.; TIMM, J. G.; RIBEIRO, A. S.; VIEIRA, M. A. Determinação de metais em peixes e camarão-rosa (*Farfantepenaeus paulensis*) do estuário da Lagoa dos Patos (Pelotas-RS, Brasil) por MIP OES. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.04918>.

SILVANO, R.; MACCORD, P.; LIMA, R.; BEGOSSI, A. When does this fish spawn? Fishermen's local knowledge of migration and reproduction of Brazilian coastal fishes. **Environmental Biology of Fishes**, v. 76, p. 371–386, 2006.

SINGH, A.; ASMATH, H.; CHEE, C. L.; DARSAN, J. Potential oil spill risk from shipping and the implications for management in the Caribbean Sea. **Marine pollution bulletin**, v. 93, n. 1-2, p. 217-227, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.01.013>.

SISCAR, R.; TORREBLANCA, A.; PALANQUES, A.; SOLÉ, M. Metal concentrations and detoxification mechanisms in *Solea solea* and *Solea senegalensis* from NW Mediterranean fishing grounds. **Marine pollution bulletin**, v. 77, n. 1-2, p. 90-99, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.10.026>.

SOARES, M. O.; TEIXEIRA, C. E. P.; BEZERRA, L. E. A.; PAIVA, S. V.; TAVARES, T. C. L.; GARCIA, T. M. *et al.* Oil spill in South Atlantic (Brazil): environmental and governmental disaster. **Marine Policy**, v. 115, p. 103879, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103879>.

SORMO, E. G.; CIESIELSKI, T. M.; OVERJORDET, I. B.; LIERHAGEN, S.; EGGEN, G.S.; BERG, T. *et al.* Selenium Moderates Mercury Toxicity in Free-Ranging Freshwater Fish. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n. 15, p. 6561–6566, 2011. DOI: 10.1021/es200478b

SOUZA, A. S. L.; SOUZA, R. A. L. Desenvolvimento de Juvenis de *Centropomus undecimalis* (BLOCH, 1792) em Laboratório na Amazônia Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESCA, 21., Manaus, 2019. **Anais...**, Manaus: CONBEP, 2019.

SOUZA, I. C. **Avaliação integrada da poluição em dois estuários do Espírito Santo, Brasil por meio de biomarcadores e análises químicas no ambiente em *Centropomus parallelus* poey, 1860.** 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/2054>. Acesso em: 28 ago. 2022.

SOUZA, J. P.; NASCIMENTO, I. R. M. A.; BARROS, M. F.S.; CARVALHO, A. S.; BRITO, P. S.; SILVA, A. P. C. *et al.* Ecologia alimentar do robalo *Centropomus undecimalis* Bloch 1792 (Teleostei, Centropomidae) na região costeira do Maranhão. **Research, Society and Development**, v. 10, p. e52010918194, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i9.18194.

SOUZA, L. L. G.; CHELLAPPA, S.; GURGEL, H. C. B. Biologia reprodutiva do peixe-donzela, *Stegastes fuscus* Cuvier, em arrecifes rochosos no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 24, n. 2, p. 419–425, 2007.

SPEIGHT, J. G.; SPEIGHT, J. G. **Handbook of petroleum analysis**. New York, NY, USA: Wiley-Interscience, 2001.

SQUADRONE, S.; BRIZIO, P.; STELLA, C.; MANTIA, M.; FAVARO, L.; BIANCANI, B. *et al.* Differential Bioaccumulation of Trace Elements and Rare Earth Elements in the Muscle, Kidneys, and Liver of the Invasive Indo-Pacific Lionfish (*Pterois* spp.) from Cuba. **Biological Trace Element Research**, 2019. DOI: 10.1007/s12011-019-01918-w.

SQUADRONE, S.; BRIZIO, P.; STELLA, C.; PREARO, M.; PASTORINO, P.; SERRACCA, L. *et al.* Presence of trace metals in aquaculture marine ecosystems of the northwestern Mediterranean Sea (Italy). **Environ Pollut**, v. 215, p. 77–83, 2016.

SQUADRONE, S.; PREARO, M.; BRIZIO, P.; GAVINELLI, S.; PELLEGRINO, M.; SCANZIO, T. *et al.* Heavy metals distribution in muscle, liver, kidney and gill of European catfish (*Silurus glanis*) from Italian Rivers. **Chemosphere**, v. 90, p. 358–365, 2013.

STIGTER, J. B.; HAAN, H. P. M. D. E.; GUICHERIT, R.; DEKKERS, C. P. A.; DAANE, M. L. Determination of cadmium, zinc, copper, chromium and arsenic in crude oil cargoes. **Environ. Pollut.**, v. 107, p. 451–464, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00123-2](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00123-2).

STRIDE, R. K. **Diagnóstico de pesca artesanal marinha do Estado do Maranhão**. São Luís: CORSUP/EDUFMA, 1992.

SZPILMAN, M. **Peixes marinhos do Brasil: guia prático de identificação**. Rio de Janeiro: Editora Mauad Ltda., 2000.

TAYLOR, M. D.; BRENNAN, N. P.; LORENZEN, K.; LEBER, K. M. Generalized Predatory Impact Model: a numerical approach for assessing trophic limits to hatchery releases and controlling related ecological risks. **Reviews in Fisheries Science**, v. 21, n. 3-4, p. 341-353, 2013. DOI: 10.1080/10641262.2013.796815.

TAYLOR, R. G.; WHITTINGTON, J. A.; GRIER, H. J.; CRABTREE, R. E. Age, growth, maturation, and protandric sex reversal in common snook, *Centropomus undecimalis*, from the east and west coasts of South Florida. **Fishery Bulletin**, v. 98, n. 3, p. 612-612, 2000.

TEIXEIRA, L. D.; OLIVEIRA, P.; SOUZA, U. P.; RAMIRES, M. Aspectos da reprodução dos robalos e o conhecimento ecológico local dos pescadores esportivos da Reserva de Desenvolvimento Sustentável da Barra do Una (Peruíbe/SP). In: ENCONTRO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO, 8., v. 3, 2019, Santa Cecília. **Anais...**, Santa Cecília: ENPG, 2019.

TENUTA FILHO, A.; MACEDO, L. F. L.; FAVARO, D. I. T. Concentração e retenção do selênio em peixes marinhos. **Food Science and Technology**, v. 30, p. 210-214, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000500032>.

TUZUKI, B. L. L.; DELUNARDO, F. A. C.; RIBEIRO, L. N.; MELO, C. P. D.; GOMES, L. C.; CHIPPARI-GOMES, A. R. Effects of manganese on fat snook *Centropomus parallelus* (Carangaria: Centropomidae) exposed to different temperatures. **Neotropical Ichthyology**, v. 15., 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20170054>.

TWARDOWSKA, I.; ALLEN, H. E.; HÄGGBLOM, L. S. P. **Macro and trace elements in fish and shellfish**. In: Ruiter, A. (Ed.). Fish and fishery products: composition, nutritive properties and stability. Wallingford: CAB International, 187-213. Lall, S. P. 1995. Macro and trace elements in fish and shellfish. In: Ruiter, A. (Ed.). Fish and fishery products: composition, nutritive properties and stability. Wallingford: CAB International, 187-213, 1995.

UYSAL, K.; KÖSE, E.; BÜLBÜL, M.; DÖNMEZ, M.; ERDOĞAN, Y.; KOYUN, M.; ÖZMAL, F. The comparison of heavy metal accumulation ratios of some fish species in Enne Dame Lake (Kütahya/Turkey). **Environmental monitoring and assessment**, v. 157, n. 1, p. 355-362, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0540-y>.

VASCONCELOS-FILHO, A. L.; AZEVEDO, S. B.; ALVES, M. L. C. Regime alimentar dos camorins *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792) e *Centropomus parallelus* Poey, 1860 do canal de Santa Cruz (Pernambuco-Brasil). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 1., 1978, Recife. **Anais ...** Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1980. p. 175-184.

VASCONCELOS-FILHO, A. L.; GALIZA, E. M. B. Hábitos alimentares dos peixes estuarinos cultivados na região do Itamaracá – PE. **Rev. Nordestina de Biologia**, João Pessoa, n. 13, p. 11-122, Número Especial, 1980.

VAZ-DOS-SANTOS, A. M.; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B.; FIGUEIREDO, J. L. Recursos pesqueiros compartilhados: bioecologia, manejo e aspectos aplicados no Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 33, n. 2, p. 273-292, 2007.

VAZZOLER, A. E. A. M. **Biologia da reprodução de peixes teleósteos**: teoria e prática. 1. ed. Maringá: EDUEM/ São Paulo: SBI, 1996.

VIDAL-LOPEZ, J. M. *et al* . Functional feminization of the Mexican snook (*Centropomus poeyi*) using 17 β -estradiol in the diet. **Lat. Am. J. Aquat. Res.**, Valparaíso, v. 47, n. 2, p. 240-250, mayo 2019. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-560X2019000200240&lng=es&nrm=iso. Acesso en: 28 ago. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.3856/vol47-issue2-fulltext-4>.

VIEIRA, M. C. Etnoecologia de robalos na reserva de desenvolvimento sustentável da Barra do Una, Peruíbe/SP. 2017. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Programa de pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas Costeiros e Marinhos, Universidade Santa Cecília, Santos, 2017. Disponível em: https://unisanta.br/arquivos/mestrado/ecologia/dissertacoes/Dissertacao_Mariana.pdf. Acesso em: 13 jun. 2022.

VIEIRA, T. C.; RODRIGUES, A. P. C.; AMARAL, P. M. G.; DE OLIVEIRA, D. F. C.; GONÇALVES, R. A.; RODRIGUES E SILVA, C. *et al*. Evaluation of the bioaccumulation kinetics of toxic metals in fish (*A. brasiliensis*) and its application on monitoring of coastal ecosystems. **Marine Pollution Bulletin**, v. 151, p. 110830, 2020. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.110830

VILLEGAS-RÍOS, D.; ALONSO-FERNÁNDEZ, A.; DOMÍNGUEZ-PETIT, R.; SABORIDOREY, F. Intraspecific variability in reproductive patterns in the temperate hermaphrodite fish, *Labrus bergylta*. **Marine and Freshwater Research**, v. 64, n. 12, p. 1156–1168, 2013.

VIRTULE, J. R. S.; ARANHA, J. R. M. Ecologia alimentar do Lambari, *Deutweodon langei* Travassos, 1957 (Characidae, Tetragonopterinae), de diferentes tamanhos em um riacho da floresta Atlântica, Paraná (Brasil). **Acta Biológica**, Curitiba, n. 31, p. 137-150, 2002.

WARNER, R. R.; SWEARER, S. E. Social control of sex change in the bluehead wrasse, *Thalassoma bifasciatum* (Pisces: Labridae). **The Biological Bulletin**, v. 181, n. 2, p. 199–204, 1991.

WEI, Y.; ZHANG, J.; ZHANG, D.; TU, T.; LUO, L. Metal concentrations in various fish organs of different fish species from Poyang Lake, China. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 104, p. 182–188, 2014. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2014.03.001.

WHO. World Health Organization. **Guideline:** Sodium intake for adults and children. World Health Organization. 2012. Disponível em: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/77985/9789241504836_eng.pdf. Acesso em: 13 jun. 2022.

WHO. World Health Organization. **Ten chemicals of major public health concern.** 2010. Disponível em: http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/chemicals_phc/en/. Acesso em: 13 jun. 2022.

WWF. World Wide Fund for Nature. **Áreas protegidas.** Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/areas_prioritarias/amazonia1/nossas_solucoes_na_amazonia/areas_protegidas_na_amazonia/. Acesso em: 10 ago. 2022.

YANG, C.; ZHANG, Z.; LIU, Y.; SHAN, B.; YU, W.; LI, H.; SUN, D. Heavy metal pollution and stable isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) in marine organisms from the Northern Beibu Gulf, South China Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 166, p. 112230, 2021. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112230.

ZAVALA-CAMIN, L. A. **Introdução aos estudos sobre alimentação natural em peixes.** 1. ed. Universidade Estadual de Maringá: EUEM, 1996.

ZYLBERGELD, L.; PALOMINO, P.; GOMES, A. Aprendizagem colaborativa com suporte computacional no ensino-aprendizagem de bioinformática clínica: relato de experiência. In: TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO, v. 1, Universidade de São Paulo. **Anais...**, São Paulo: Pós-Graduação em Computação Aplicada à Educação Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, 2020.

APÊNDICES

Artigos, livros ou capítulos de livros publicados

APÊNDICE A – ARTIGO PUBLICADO EM REVISTA

Research, Society and Development, v. 10, n. 16, e592101623893, 2021
 (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i16.23893>

Bioecologia alimentar e reprodutiva como subsídio para o cultivo do peixe *Centropomus undecimalis* (Teleostei: Centropomidae) no Brasil: Uma Revisão Sistemática.

Food and Reproductive Bioecology as a subsidy for the cultivation of the fish *Centropomus undecimalis* (Teleostei: Centropomidae) in Brazil: A Systematic Review.

Bioecología alimentaria y reproductiva como subvención para el cultivo del pez *Centropomus undecimalis* (Teleostei: Centropomidae) en Brasil: una revisión sistemática.

Recebido: 25/11/2021 | Revisado: 04/12/2021 | Aceito: 11/12/2021 | Publicado: 19/12/2021.

Isa Rosete Mendes Araújo Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0170-765X>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Brasil

E-mail: isabio@ifma.edu.br

Jadson Pinheiro Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7521-8835>

Universidade Estadual do Maranhão, Brasil

E-mail: jadsonsantos@professor.uema.br

Jéssica Pereira Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6917-8531>

Universidade Estadual do Maranhão, Brasil

E-mail: jessicapires1002@gmail.com

Raimunda Nonata Fortes Carvalho-Neta

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3519-5237>

Universidade Estadual do Maranhão, Brasil

E-mail: raifortes@gmail.com

Zafira da Silva Almeida

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8295-5040>

Universidade Estadual do Maranhão, Brasil

E-mail: zafiraalmeida@gmail.com

Resumo

Diversos estudos têm sido realizados no Brasil com diferentes enfoques para as avaliações bioecológicas do *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792), peixe conhecido vulgarmente como robalo ou camurim. Esses estudos discorrem sobre a dinâmica populacional da espécie a partir de dados como peso, idade/crescimento, dieta alimentar e reprodução. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi realizar uma revisão de literatura sobre a bioecologia alimentar e reprodutiva como subsídio para o cultivo do *C. undecimalis* no Brasil. Tal revisão foi realizada de forma sistemática, tendo como suporte a biblioteca digital da Scielo (*Scientific Electronic Library Online*), o Google Scholar e a ResearchGate, contendo os seguintes descritores em português: “*Centropomus undecimalis*”, “robalo”, “camurim”; “robalo-flecha”; “bioecologia”; “hábito alimentar”, “dieta”, “reprodução”; “biologia reprodutiva” e “aspectos reprodutivos”, com o auxílio dos operadores Booleanos “and”, “or” e “and not”, no período compreendido entre 2006 e 2021. Foram identificados 728 artigos relacionados a diferentes aspectos da bioecologia do *C. undecimalis*, dentre os quais foram

selecionados apenas 24 artigos, identificados como elegíveis para esta revisão sistemática, em razão de estarem publicados em revistas nacionais e internacionais. Os resultados mostram que o robalo é um peixe carnívoro com tendência piscívora, o que fornece uma ampla compreensão e exigência nutricional da espécie para a elaboração de rações balanceadas. Além disso, revelam que, no Brasil, os estudos que descrevem e caracterizam a reprodução, além dos sistemas de cultivo para os robalos, ainda são escassos.

Palavras-Chave: Alimentação; Ecologia de peixes; Recurso pesqueiro; Reprodução; Robalo.

Abstract

Several studies have been carried out in Brazil with different approaches for the bioecological evaluations of *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792), a fish commonly known as common snook or sea bass. These studies discuss the population dynamics of the species based on data such as weight, age/growth, diet and reproduction. In this context, the aim of this study was to carry out a literature review on food and reproductive bioecology as a subsidy for the cultivation of *C. undecimalis* in Brazil. This review was carried out systematically, with support from the *Scielo digital library (Scientific Electronic Library Online)*, *Google Scholar* and *ResearchGate*, containing the following descriptors in Portuguese: “*Centropomus undecimalis*”, “sea bass”, “camurim”; “common snook”; “bioecology”; “eating habits”, “diet”, “reproduction”; “reproductive biology” and “reproductive aspects”, with the help of Boolean operators “and”, “or” and “and not”, in the period between 2006 and 2021. A total of 728 articles related to different aspects of *C. undecimalis*, among which only 24 articles were selected, identified as eligible for this systematic review, as they were published in national and international journals. The results show that sea bass is a carnivorous fish with a piscivorous tendency, which provides a broad understanding and nutritional requirement of the species for the preparation of balanced rations. Furthermore, they reveal that, in Brazil, studies that describe and characterize reproduction, in addition to the cultivation systems for common snook, are still scarce.

Keywords: Feeding; Fish ecology; Fishery resource; Reproduction; Common snook.

Resumen

En Brasil se han realizado varios estudios con diferentes enfoques para las evaluaciones bioecológicas de *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792), un pez comúnmente conocido como róbalo o lubina. Estos estudios discuten la dinámica poblacional de la especie basándose en datos como peso, edad / crecimiento, dieta y reproducción. En este contexto, el objetivo de este estudio fue realizar una revisión de la literatura sobre bioecología alimentaria y reproductiva como un subsidio para el cultivo de *C. undecimalis* en Brasil. Esta revisión se llevó a cabo de manera sistemática, con el apoyo de la biblioteca digital *Scielo (Scientific Electronic Library Online)*, *Google Scholar* y *ResearchGate*, que contiene los siguientes descriptores en portugués: “*Centropomus undecimalis*”, “sea bass”, “camurim”; “Róbalo flecha”; “Bioecología”; “Hábitos alimenticios”, “dieta”, “reproducción”; “Biología reproductiva” y “aspectos reproductivos”, con la ayuda de operadores booleanos “y”, “o” y “y no”, en el período comprendido entre 2006 y 2021. Se identificaron un total de 728 artículos relacionados con diferentes aspectos de *C. undecimalis*, de los cuales solo se seleccionaron 24 artículos, identificados como elegibles para esta revisión sistemática, ya que fueron publicados en revistas nacionales e internacionales. Los resultados muestran que lo róbalo es un pez carnívoro con tendencia piscívora, lo que proporciona un amplio conocimiento y requerimiento nutricional de la especie para la elaboración de raciones balanceadas. Además, revelan que, en Brasil, aún son escasos los estudios que describen y caracterizan la reproducción, además de los sistemas de cultivo de lo róbalo.

Palabras clave: Alimentación; Ecología de peces; Recurso pesquero; Reproducción; Róbalos.

APÊNDICE B – ARTIGO PUBLICADO EM REVISTA



BOLETIM DO INSTITUTO DE PESCA

ISSN 1678-2305 online version

Scientific Article



Quantitative indicators of the reproductive biology of adult specimens of *Centropomus undecimalis* (Teleost: Centropomidae) obtained from commercial fishermen in the Parnaíba Delta Environmental Protection Area, north coast of Brazil

Isa Rosete Mendes Araújo Nascimento^{1,2*}Ana Luiza Caldas Diniz³Yanna Leidy Ketley Fernandes Cruz⁴Alexandre Santana Azevedo⁵Rosana Sousa de Oliveira Pinho Azevedo⁵Débora Batista Pinheiro Sousa⁶Zafira da Silva de Almeida^{1,3}Raimunda Nonata Fortes Carvalho Neta^{1,3}

ABSTRACT

Centropomus undecimalis (popularly known as common snook) is a very important resource for commercial and recreational fishing. This study aimed to evaluate quantitative indicators of the reproductive biology of *C. undecimalis* in the Parnaíba Delta Environmental Protection Area (Brazil). The parameters were analyzed at the different stages of the reproductive cycle of 155 specimens, 135 (87.10%) males and 20 (12.90%) females. The results showed positive allometric growth for females and negative allometric growth for males. The sex ratio was 1:6.75 (females: males). The first estimated maturation (L50) was 57.21 cm for females and 54.55 cm for males. The species spawns multiple times, with oocytes maturing in batches, being released at intervals. According to the results of this study, it was possible to notice that reproductive peaks occurred in February, May, and November. Therefore, it is recommended that the capture of this species be avoided during these months.

Keywords: biometrics; reproductive biology; fisheries planning.

Indicadores quantitativos da biologia reprodutiva de espécimes adultos de *Centropomus undecimalis* (Teleosteo: Centropomidae) obtidos de pescadores comerciais na Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba, costa norte do Brasil

RESUMO

Centropomus undecimalis (conhecido popularmente como robalo) é um recurso pesqueiro muito importante para a pesca comercial e recreativa. No presente estudo, objetivou-se avaliar indicadores quantitativos da biologia reprodutiva de *C. undecimalis* na Área de Proteção Ambiental do Delta do Parnaíba (Brasil). Os parâmetros foram analisados nos diferentes estágios do ciclo reprodutivo de 155 exemplares, sendo 135 (87,10%) machos e 20 (12,90%) fêmeas. Os resultados mostraram crescimento alométrico positivo para fêmeas e negativo para machos. A proporção sexual foi de 1:6,75 (fêmeas: machos). A primeira maturação (L50) estimada foi de 57,21 para fêmeas e 54,55 cm para machos. A desova da espécie é do tipo múltipla (ou parcelada), com ovócitos maturando em lotes, eliminados a intervalos. De acordo com os resultados deste estudo, foi possível perceber que os picos reprodutivos ocorreram em fevereiro, maio e novembro. Portanto, recomenda-se que a captura desta espécie seja evitada durante os referidos meses.

Palavras-chave: biometria biologia; reprodutiva; ordenamento pesqueiro.

INTRODUCTION

Brazil has one of the largest coastal zones on the planet, approximately 8,500 km long, of which 2,975 km are part of the Brazilian Amazon Coast (BAC), made up of the states of Amapá, Pará, and Maranhão (Pereira et al., 2009; Brasil, 2018). This region is one of the most important fishing centers in the country due to its high productivity (Stride et al., 1992; Lessa et al., 1999; Marceniuk et al., 2019; Coelho et al., 2021). The Maranhão coast accounts for 8.7% of the Brazilian coast and is the second largest in extension in all of Brazil. The state's coastline is 640 km long, second only to the coastline of the state of Bahia, which is 932 km long (IBGE,

¹Universidade Estadual do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede Bionorte, Centro de Ciências Biológicas – São Luís (MA), Brazil.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Departamento de Ensino – São Luís (MA), Brazil.

³Universidade Estadual do Maranhão, Centro de Ciências Biológicas – São Luís (MA), Brazil.

⁴Bicho Nativo Empresa de Consultoria em Bioestatística e Treinamentos Ambientais – São Luís (MA), Brazil.

⁵Universidade Estadual do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação e Sistema, Centro de Ciências Tecnológicas – São Luís (MA), Brazil.

⁶Universidades Federal do Maranhão, Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental – Balsas (MA), Brazil.

*Corresponding author: Isa Rosete Mendes Araújo Nascimento, Universidade Estadual do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede Bionorte, Centro de Ciências Biológicas, Av. Lourenço Vieira da Silva, s/n, Cidade Universitária Paulo VI, São Cristóvão, CEP: 06055-310 – São Luís (MA), Brazil. E-mail: isabio@ifma.edu.br

2021). The wealth of aquatic organisms found in this region is invaluable, with a variety of fish and crustacean species important for commercialization, and this coast is one of the most diverse in Brazil (Silva et al., 2021).

The common snook of the species *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792) is a fish species of high commercial value caught by artisanal, industrial, and recreational fishing (Motta et al., 2016). In recent years, the demand for fish has been increasing, driven mainly by population growth and a global trend towards healthy foods. This demand has increased the capture of a larger number of fish, thus affecting the balance of populations (FAO, 2018).

In order to contain the decline of populations in natural environments, protection areas were established as one of the alternatives to enable environmental exploitation, ensuring the durability of renewable environmental resources and ecological processes (WWF, 2021). This is the case in the Tutóia region, located on the eastern coast of Maranhão, which belongs to the Parnaíba Delta Environmental Protection Area (EPA), a conservation unit established in 1996 (ICMBio, 2017), where fishing is an activity of great economic importance for the population.

The Environmental Protection Area of the Parnaíba Delta has an extension of 307,590.51 acres and is considered the only open sea delta in the Americas, located between the states of Maranhão and Piauí (Pinheiro et al., 2020). Because it is a Sustainable Use Conservation Unit, it allows the extraction of its resources (ICMBio, 2017). In this context, studies on the reproductive biology of fish are important because they allow environmental managers to create standards so that fishing resources can be extracted in an orderly manner (Nascimento et al., 2021) avoiding the depletion of stocks.

In Brazil, studies on the reproductive biology of sea bass have already been developed by Ferraz et al. (2013), in Santa Catarina, Costa-Filho and Mello (2015), in Ceará, and Farias et al. (2017), in Pernambuco. Nevertheless, in these states, the research was focused on captive breeding and dihybrid crosses. In the states of São Paulo and Pará, Silva et al. (2019) and Pereira et al. (2020), respectively, conducted studies on the reproductive biology of *C. undecimalis* through the ethnoknowledge of fishermen. In the state of Sergipe, a research study developed by Pinto et al. (2018), obtained allometric data similar to those obtained in this study. For Maranhão, this study is of great relevance because the state does not have a period established for sea bass and disordered catches can compromise its reproductive cycle.

C. undecimalis is found in marine and estuarine waters, and, to a lesser extent, in freshwater. The species uses these environments depending on the different phases of its life cycle (Cerqueira, 2005; Brame et al., 2014; Vieira, 2017). Thus, studies on the reproductive biology of fish provide relevant information for formulating fishing regulations, regarding the time, place, and capture size of individuals within a management program, providing necessary subsidies for rational exploration (King,

1995; Prestes et al., 2010; Cardoso et al., 2018). Thus, this study aimed to evaluate quantitative indicators of the reproductive biology of *C. undecimalis* in the Parnaíba Delta Environmental Protection Area (Brazil). Biometric data, sex ratio, first sexual maturity, reproductive peaks, and spawning types are highlighted for the recommendation of fishing planning and species conservation strategies.

METHODOLOGY

Area description

This study was carried out in the municipality of Tutóia, which is located in the Parnaíba Delta Environmental Protection Area (EPA), created in 1996, and which has an extension of 307,590.51 hectares and covers three states in the Northeast: Piauí, Maranhão, and Ceará (ICMBio, 2017). The city of Tutóia (2°45'44" S; 42°16'28" W) is located in this EPA and has high fishing productivity. The relief is moderate, except for the coast where there are dunes (Figure 1). Due to its geographical location near the Equator Line, temperatures remain high throughout the year, ranging from 21 to 38°C. The climate supports a rainfall index of 87 mm with two characteristic seasons: the rainy season from January to June and the dry season from July to December, while the ENE winds have speeds of approximately 10 to 28 km/h (Climatempo, 2021). In addition, the tidal current speed in the region varies annually from 0.51 to 1.53 m/s (Galdino et al., 2018; Brasil, 2019).

Ethics Committee

All methodological procedures for fish management were approved by the Ethics Committee of the Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) (no. 4.476.902/2020). The common snook (*C. undecimalis*) were acquired monthly through commercial purchases in the city of Tutóia, Maranhão, from January 2019 to February 2020.

Laboratory analysis

The samples were analyzed at the Laboratory of Fisheries and Aquatic Ecology, UEMA, where they were previously identified. Total length (1 cm accuracy), total weight, gutted weight, gonad weight in grams (0.01 g accuracy), sex, and stage of sexual maturation were recorded. The stages of sexual maturation and sex were determined by macro and microscopic analyses adapted by Brown-Peterson et al. (2011).

In each individual, a ventro-longitudinal section was performed to remove the gonads for identification at the macroscopic level, taking into account some external characteristics such as color, vascularization, volume compared to the abdominal cavity, blood irrigation, visibility of oocytes,



Source: Costa (2022).

Figure 1. Map of the North Coast of Brazil. The red pin icons and lines indicate the city of Tutóia (where the capture and commercialization of common snook of the species *Centropomus undecimalis* occur) and the Environmental Protection Area of the Parnaíba Delta, with its demarcation.

and presence of sperm and its consistency. A previously established maturation scale was used to classify the gonads into the following categories:

- IS: immature stage;
- DS: developmental stage;
- SCS: spawning capacity stage;
- RS: regression stage;
- RGS: regeneration stage (Brown-Peterson et al., 2011).

Then, the total weight (TW) was recorded on a precision scale of 0.01g.

When the determination of the stages of sexual maturation at the macroscopic level was impracticable, the gonads underwent microscopic analysis, following the usual histological techniques, where they were fixed in Bouin's fixative, with inclusion in paraffin and staining with hematoxylin-eosin.

Data analysis

Data analyses were performed in statistical software SPSS v. 19 and Statistica 7.0, the free version, with a significance level of 5%. The sex ratio between males and females was calculated by Chi-square and Fisher's Exact Test concerning the ratio of 1:1. The analyses were performed by total period, by month of collection, by length classes, by collection period (dry and rainy seasons), and by the maturation stage of the specimens. The means of biometric indices per collection period were analyzed according to one-way ANOVA, respecting the assumptions of homogeneity of variances (Levene test) and data normality (Shapiro-Wilk test). To compare biometric means as a function of gender, we used the Student's t-test.

The total length x total weight allometric ratio was calculated according to Pearson's Linear Correlation. The equation of the line used was Equation 1:

$$y = B + aX \quad (1)$$

where the dependent variable (y) was represented by the total length, while the independent variable (X) was represented by the total weight. From this relationship, negative allometric growth was classified as $B < 3$; positive allometric growth as $B > 3$; and isometric growth as $B = 3$. Data on correlation residues for males and females were compared according to Student's t-test.

The type of spawning was defined by observing the frequency of oocytes in each diameter interval. The pattern found was compared with the gonadosomatic index, condition factor, and frequency of maturational stages (Cantanhêde et al., 2016) and classified as: synchronous in one group, synchronous in two groups, synchronous in more than two groups, or asynchronous (Vazzoler, 1996). For the analysis of the size of the first sexual maturation (L50), the maturation stages were grouped into immature (IS) and mature (DS+SCS+RS+RGS), following Vazzoler (1996) and Ortiz-Ordóñez et al. (2007). The percentage of mature stages per length class was calculated and considered as a dependent variable (Y) and the total length as an independent variable (X). Subsequently, these values were adjusted to a logistic curve, according to the Equation 2:

$$P = 1/(1 + \exp[-r(TL - L50)]) \quad (2)$$

Where:

P = proportion of mature individuals;

r = slope of the curve;

TL = Total length;

L50 = average length of sexual maturity.

The reproductive period was defined based on the bimonthly frequency of maturity and the assessment of the values of the gonadosomatic index (Δ GSI) and the condition factor (Δ K). The means of the Δ GSI between the months of collection were compared through unilateral ANOVA, applying the post-techniques of Games Howell for unassumed variances and Tukey's test for assumed variances. The biometric data of each individual were calculated based on the following indexes (Equations 3, 4 and 5):

$$\text{gonadosomatic index (GSI} = Wg / Wt \times 100) \quad (3)$$

$$\text{hepatosomatic index (HSI} = Pf / Wt \times 100) \quad (4)$$

$$\text{viscerosomatic index (VSI} = Pv / Wt \times 100) \quad (5)$$

Where:

Wg = weight of the gonad;

Wt = total weight of the individual;

PC = Wt-Wg (length weight ratio).

Once the GSI, HSI, and VSI results were obtained, the average and the standard deviations were calculated, dividing the sum

of each piece of data by the total number of samples, using the Statistica 7.0 software. These data were also obtained in relation to gender, season, and month.

The Δ K is the difference between the two models K 1 and K 2 (allometric condition factor indices), given according to the Equation 6:

$$K\ 1 = Wt/LTb \text{ and } K\ 2 = PC/LTb \quad (6)$$

Where:

K 1 = total condition factor;

K 2 = somatic condition factor;

Wt = total weight of the individual;

TL = total length of the individual;

b = angular coefficient of the weight/length ratio (WL);

WL = Wt - Wg, in which: Wg= weight of the gonad.

The determination of the periodicity of the reproductive process was based on the variation of the mean values of the gonadosomatic index and on the monthly frequency of maturation stages. For each specimen of adult male and female (development phase, spawning capacity phase, regression phase, and regeneration phase), the gonadosomatic index was calculated, defining the percentage represented by the gonad compared to the total weight of the animal, as an indication of variations in gonadal development throughout the year. The reproductive period was delimited by the highest Δ GSI values, which correspond to the difference between GSI1 and GSI2, obtained monthly for the male and female specimens (Silva et al., 2021).

RESULTS

The quantitative indicators of the reproductive biology of *C. undecimalis* in the Parnaíba Delta Environmental Protection Area (Brazil), analyzed at the different stages of the reproductive cycle of 155 specimens (87.10% males and 12.90% females), indicated a higher presence of males during the months of January, March, April, July, and August. As for the females, the highest number of catches occurred in February. There was no capture of specimens of both sexes in June and September. Table 1 shows a summary of biometric data and GSI, HSI, and VSI data obtained in the present study.

Table 2 presents a summary of the results for sex ratio, first sexual maturity, length classes, and weight-length ratio of *C. undecimalis* obtained in this research.

Regarding the seasonality of the region and the presence of the sexes, we noticed that there was no significant difference between the frequency of males and females for the dry and rainy seasons. There were a few more males in the rainy season, but these data were not statistically significant. Therefore, there was no predominance of sex in relation to seasonality.

Quantitative indicators of the reproductive biology of adult specimens of *Centropomus undecimalis* (Teleost: Centropomidae) obtained from commercial fishermen in the Parnaíba Delta Environmental Protection Area, north coast of Brazil

Table 1. Analysis of the biometrics of common snook fish sampled in the municipality of Tutóia, state of Maranhão, according to sex.

Variable	Sex				p-value ^(a)
	♂		♀		
	Mean ± SD	Min. – Max.	Mean ± SD	Min. – Max.	
TL (cm)	66.39 ± 4.33	57.20 – 78.50	70.52 ± 7.83	57.50 – 81.70	0.016*
SL (cm)	54.65 ± 3.78	46.50 – 66.50	58.81 ± 5.25	49.00 – 67.00	0.002*
FL (cm)	61.18 ± 4.06	51.50 – 74.00	65.47 ± 6.35	53.00 – 75.50	0.008*
TW (kg)	2.63 ± 0.58	1.71 – 5.50	3.50 ± 1.40	1.74 – 6.36	0.012*
W liver (g)	15.30 ± 5.56	5.82 – 31.26	29.04 ± 17.93	7.54 – 64.38	0.003*
W viscera (g)	2.44 ± 0.55	1.28 – 5.30	3.09 ± 1.11	1.57 – 5.85	0.019*
W stomach (g)	24.62 ± 11.88	9.30 – 97.60	44.12 ± 29.39	15.34 – 107	0.008*
W gonad (g)	16.49 ± 7.60	0.60 – 38.05	62.65 ± 55.33	0.75 – 204.50	0.001*
GSI	0.63 ± 0.28	0.03 – 1.57	1.58 ± 1.14	0.04 – 3.93	0.001*
HSI	0.59 ± 0.18	0.29 – 1.10	0.79 ± 0.28	0.21 – 1.24	0.006*
VSI	0.09 ± 0.01	0.06 – 0.14	0.09 ± 0.01	0.07 – 0.10	0.050

^(a)Student's t-Test; *significant difference, $p < 0.05$.

TL: Total Length; SL: Standard Length; FL: Furcal Length; TW: Total Weight; W: Weight; GSI: Gonadosomatic index; HSI: Hepatosomatic index; VSI: Viscerosomatic index.

Table 2. Summary of reproductive data of *C. undecimalis* captured in Tutóia, state of Maranhão.

Sex Ratio	The result was 1:6.75 i.e., 1 female for every 6.75 males, with a statistically significant difference in the proportion between genders ($X^2 = 48.75$; G. L. = 1; $p = 0.000$). Confirming that males were generally predominant in this study.
First Sexual Maturity (L50)	Females (♀) reached the first sexual maturity with L50 = 57.21cm and males (♂) with L50 = 54.55 cm.
Weight vs. Length Ratio	Females have positive allometric growth, with $y = (0.781x^{10-7}) \times 4.12653$, i.e. they grow more in weight than in length. Males have negative allometric growth, with $y = 0.0000158 \times 2.8629$, i.e. they grow more in length than they in weight.
Length Classes	Length classes ranged from 57.50 to 78.50 cm for males (66.39 ± 4.33) and from 57.50 to 81.70 cm for females (70.52 ± 7.83).
Reproductive Period	The months of reproduction were February, May, and November, when a larger number of females with eggs were found in our samples.
Seasonality	It is noticed that the months of reproduction have a relationship with the rainy season, although this species can spawn multiple times throughout the year.
Spawning Type	It was defined by observing the frequency of oocytes in each diameter interval. Histological analyses of gonads revealed the simultaneous occurrence of oocytes at different stages of development, indicating multiple spawning

Source: Nascimento et al. (2021).

Length/weight ratio

The total length/weight ratio was generally characterized by the Equation 7:

$$y = 0.00000134x^{3.45171}$$

(7)

The inclination (b) was greater than three, indicating positive allometric growth, in which the total weight increased at a greater rate than the total length (Figure 2A).

For males, this relationship was obtained with the Equation 8:

$$y = 0.0000158x^{2.8629}$$

(8)

Quantitative indicators of the reproductive biology of adult specimens of *Centropomus undecimalis* (Teleost: Centropomidae) obtained from commercial fishermen in the Parnaíba Delta Environmental Protection Area, north coast of Brazil

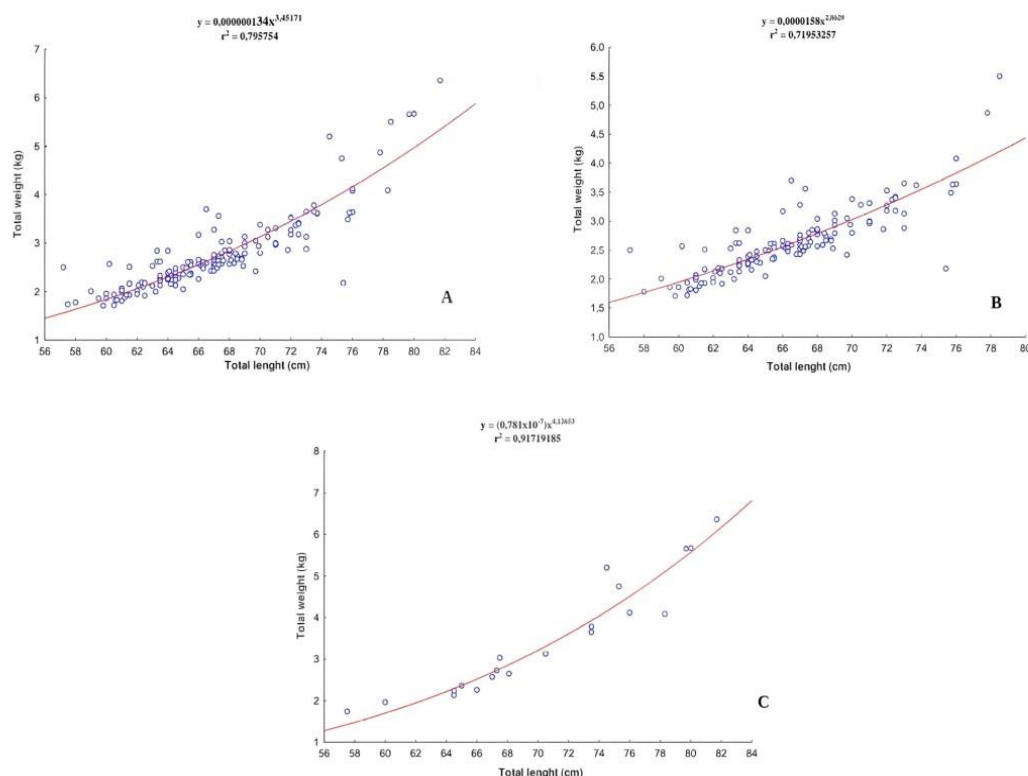


Figure 2. (A) Correlation between total weight and total length. (B) Correlation between total weight and total length for males. (C) Correlation between total weight and total length for females.

Presenting negative allometric growth, with a tendency to increase the total length compared to the total weight (Figure 2B).

Regarding females, the relationship was characterized by Equation 9:

$$y = (0.781 \times 10^{-7}) x^{4.12653} \quad (9)$$

Where we observed positive allometric growth, with a tendency to increase the total weight compared to the total length (Figure 2C).

Macroscopic analysis of the gonads

All of the gonads removed were evaluated macroscopically. It was possible to observe four stages of gonadal maturation, with a predominance of the SCS for both sexes. The volume, color, thickness, and blood supply of the samples of ovaries of *C. undecimalis* varied according to the maturation stage. For the

female samples, in the IS, the gonads showed a filiform aspect and pink coloration, without the presence of apparent oocytes and without signs of vascularization. In the DS, the ovaries were more developed, yellowish/orange in color, with oocytes becoming visible and turgid, but without evident signs of vascularization. In the SCS, the ovaries had an intense yellow coloration, with prominent oocytes and vascularization. In the final spawning or the RS, the fish gonads were usually hemorrhagic and flaccid, of intense red color. However, in this study, it was not possible to record any female specimens in the RS or RGS.

For the male specimens, the gonads in the IS were filiform and did not show apparent spermatocytes. In the DS, the male gonads were slightly more developed, with a pink coloration and slightly visible spermatocytic fluid. In the SCS, the gonads already capable of spawning showed a yellowish/whitish coloration with very evident spermatocytic fluid. In the RS, the gonads were flaccid and well vascularized, with the presence of some lateral fringes in some samples. The RGS was not observed in any of the male specimens.

Stages of maturation in the common snook

We found statistically significant differences among the maturation stages over the months of collection (Table 3). The last analysis indicated a higher frequency of individuals in the SCS for the month of February, a lower frequency of the DS for the month of July, and a higher frequency of the DS for the month of August.

Histological analysis

Formicroscopic analysis or gonadal histology, 32.26% of the total gonads were evaluated. Figure 3 shows a histological comparison of the gonads of *C. undecimalis* females. In Figure 3A, we can observe ovigerous lamellae filled with immature oocytes (IS). Figure 3B shows the presence of larger oocytes, with a slightly whitish center, which indicates the presence of young oocytes in the DS with a large number of initial and final perinuclear oocytes and cortico-alveolar oocytes. In Figure 3C, the presence of large oocytes, with lipid vitellogenesis in different phases, indicates the SCS maturation stage. In Figure 3D, it is possible to identify the presence of oocytes in "atresia", a process resulting from the loss of cellular turgidity that leads to degeneration by rupture of the vitelline membrane. According to Vazzoler (1996), this type of follicle usually occurs in mature or emptied ovaries, where even at different stages of maturation, there are oocytes at different stages of development, which shows that the species can spawn multiple times.

First sexual maturity

To calculate the mean duration of the first sexual maturity, the following equation was generated (Equation 10):

$$y = 1/(1+\exp(-(0.284108)*(x-(54.9028)))) \quad (10)$$

Where L50 was 54.91 cm for the grouped sexes of the species (Figure 4).

Reproductive period (Δ GSI) and condition factor (Δ K)

Comparative analyses of the Δ GSI and Δ K charts indicate that there was a difference in terms of months only for Δ K, and there was no difference for Δ GSI (Figures 5 and 6).

During the reproductive period of *C. undecimalis*, we observed, however, a tendency towards peaks in February and May, as well as in November. The Post-Technique of ANOVA detected statistically significant differences for the month of October when compared to the months of January 2019 ($p = 0.004$), March 2019 ($p = 0.015$), April 2019 ($p = 0.019$), May 2019 ($p = 0.041$), July 2019 ($p = 0.019$), August 2019 ($p = 0.003$), and February 2020 ($p = 0.006$).

Thus, the month of October had the lowest average of Δ K compared to the other months mentioned. This may have happened because we did not have the presence of females and the "n" sample was small or because these samples were

Table 3. Frequency analysis of the maturation stage as a function of the months of collection of the common snook sampled in the municipality of Tutóia, state of Maranhão.

Months N (%)	Maturation stage				p-value
	IS (n = 14; 9.03%)	DS (n = 70; 45.16%)	SCS (n = 56; 36.13%)	RS (n = 15; 9.8%)	
Jan/2019	2 (15.38)	11 (84.62)	0 (0.0)	0 (0.00)	
Feb/2019	0 (0.0)	6 (24.00)	19 (76.00)	0 (0.0)	
Mar/2019	0 (0.0)	4 (30.77)	9 (69.23)	0 (0.0)	
Apr/2019	2 (11.11)	6 (33.33)	9 (50.00)	1 (5.56)	
May/2019	0 (0.0)	10 (66.67)	5 (33.33)	0 (0.0)	
Jun/2019	-	-	-	-	
Jul/2019	2 (20.00)	0 (0.0)	8 (80.00)	0 (0.0)	0.0009*
Aug/2019	0 (0.0)	13 (86.67)	2 (13.33)	0 (0.0)	
Sep/2019	-	-	-	-	
Oct/2019	3 (50.00)	3 (50.00)	0 (0.0)	0 (0.0)	
Nov/2019	3 (37.50)	5 (62.50)	0 (0.0)	0 (0.0)	
Dec/2019	0 (0.0)	3 (50.00)	0 (0.0)	3 (50.00)	
Feb/2020	0 (0.0)	8 (33.33)	10 (41.67)	6 (25.00)	

IS: immature stage; DS: development stage; SCS: spawning capacity stage; RS: regression stage; *Fisher's exact test; *significant difference, $p < 0.05$

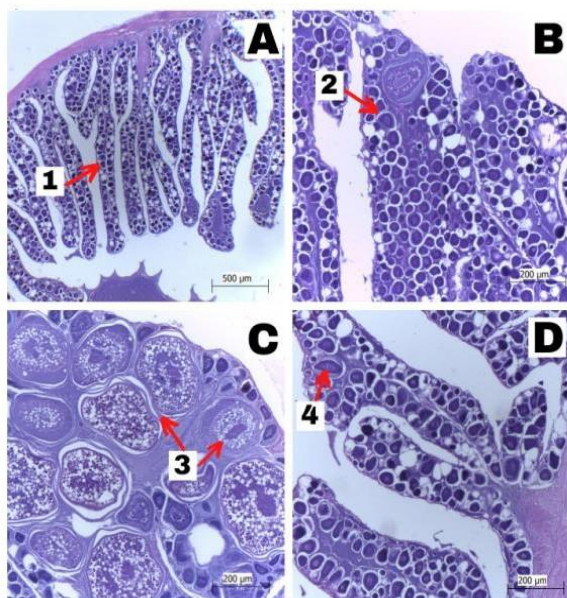


Figure 3. Gonadal histology of *Centropomus undecimalis* females. (A) Ovigerous lamellae with immature oocytes (1); (B) Oocytes at DS of maturation (2); (C) Mature oocytes with spawning capacity (3); (D) Atresic follicle (4).

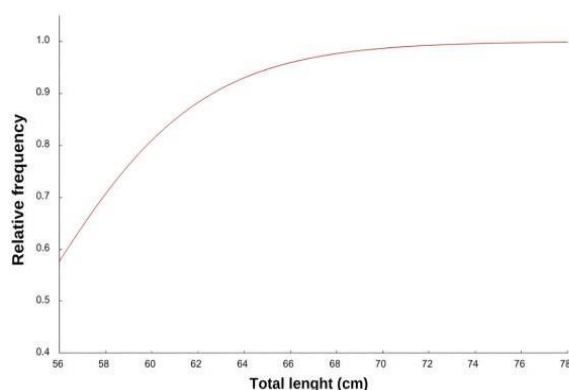


Figure 4. Estimated mean duration of the first sexual maturation (L50) of the common snook population.

impacted by the oil spill that occurred in September 2019 on the Brazilian coast, which may even have reduced the number of captures.

Biometric data indexes

In the analysis of biometric indices, differences were observed among the months of collection, sex, and maturation stage (Table 4).

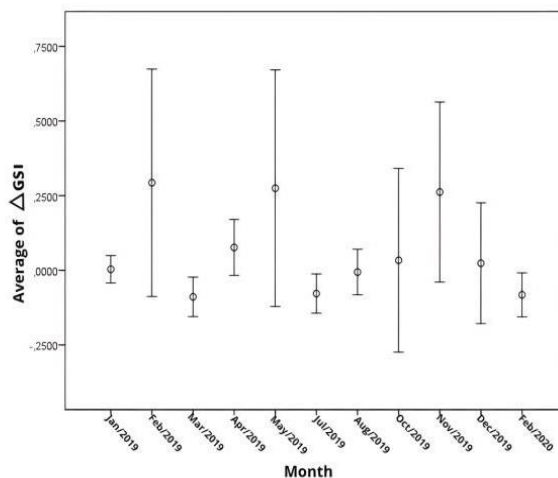


Figure 5. Comparison between the means of the ΔGSI in females per month of collection.

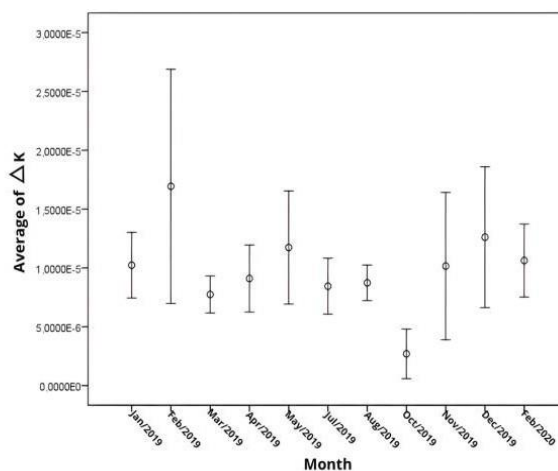


Figure 6. Comparison between the means of the ΔK per month of collection.

The mean GSI was significantly higher in females ($p = 0.001$) and in the SCS compared to the IS ($p = 0.000$) and the DS ($p = 0.000$); however, there were no differences among the sampling months ($p > 0.05$). For the HSI, the highest averages were obtained in May/2019 compared to April/2019 ($p = 0.024$) and October/2019 ($p = 0.041$), as well as in females ($p = 0.006$); no significant differences were obtained for the maturation stage ($p > 0.05$). Concerning the VSI, February/2019 recorded a lower average compared to January/2019 ($p = 0.004$), March/2019 ($p = 0.000$), April/2019 ($p = 0.000$), May/2019 ($p = 0.004$), July/2019 ($p = 0.0003$), August/2019 ($p = 0.001$),

Quantitative indicators of the reproductive biology of adult specimens of *Centropomus undecimalis* (Teleost: Centropomidae) obtained from commercial fishermen in the Parnaíba Delta Environmental Protection Area, north coast of Brazil

Table 4. Analysis of biometric indices of the common snook sampled in the city of Tutóia, Maranhão.

Variable	GSI	HSI	VSI
Period	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
Dry	0.70 ± 0.56	0.63 ± 0.21	0.09 ± 0.003
Rainy	0.79 ± 0.58	0.60 ± 0.20	0.09 ± 0.01
p-value ^(a)	0.321	0.300	0.817
Months	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
Jan/2019	0.75 ± 0.38	0.59 ± 0.19	0.09 ± 0.02
Feb/2019	1.06 ± 1.04	0.56 ± 0.27	0.08 ± 0.01
Mar/2019	0.59 ± 0.21	0.58 ± 0.16	0.10 ± 0.00
Apr/2019	0.70 ± 0.45	0.53 ± 0.19	0.10 ± 0.00
May/2019	0.89 ± 0.65	0.77 ± 0.19	0.09 ± 0.00
Jun/2019	-	-	-
Jul/2019	0.63 ± 0.29	0.74 ± 0.12	0.09 ± 0.00
Aug/2019	0.69 ± 0.20	0.61 ± 0.20	0.09 ± 0.00
Sep/2019	-	-	-
Oct/2019	0.20 ± 0.16	0.43 ± 0.08	0.09 ± 0.00
Nov/2019	0.71 ± 0.73	0.65 ± 0.25	0.09 ± 0.00
Dec/2019	1.02 ± 0.78	0.62 ± 0.24	0.09 ± 0.01
Feb/2020	0.83 ± 0.38	0.57 ± 0.10	0.10 ± 0.00
p-value ^(a)	0.09	0.002*	0.000*
Sex	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
♂	0.63 ± 0.28	0.59 ± 0.18	0.09 ± 0.01
♀	1.58 ± 1.14	0.79 ± 0.28	0.09 ± 0.01
p-value ^(a)	0.000*	0.000*	0.05
Maturation stage	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
IS	0.22 ± 0.19	0.65 ± 0.21	0.09 ± 0.01
DS	0.62 ± 0.28	0.58 ± 0.19	0.0943 ± 0.0068
SCS	1.08 ± 0.77	0.64 ± 0.24	0.0905 ± 0.0077
RS	0.66 ± 0.21	0.62 ± 0.15	0.09 ± 0.001
p-value ^(a)	0.000*	0.431	0.018*

IS: immature stage; DS: development stage; SCS: spawning capacity stage; RS: regression stage; SD: standard deviation; *one-way ANOVA test; *significant difference, $p < 0.05$; GSI: gonadosomatic index; HSI: hepatosomatic index; VSI: vicerosomatic index.

and November/2019 ($p = 0.015$) and February/2020 ($p = 0.001$). Also, there was a higher mean in individuals in the DS compared to the SCS ($p = 0.018$). There was no statistical relationship between sex and the VSI ($p > 0.05$). The results of this study show that the quantitative indicators of the reproductive biology of *C. undecimalis* in the Parnaíba Delta Environmental Protection

Area are important to support the formulation of future strategies for fishing planning and conservation of this species.

DISCUSSION

The analysis of the length/weight ratio for separate sexes of *C. undecimalis* indicated negative allometric growth for males (growing more in length than in weight) and positive allometric growth for females, suggesting that females grow more in weight than in length. Martinelli (2010) also found similar data regarding the allometry of *C. undecimalis* in Ponta Negra, Natal, Rio Grande do Norte, and Gassman et al. (2017) found similar data in their studies with this species in Venezuela. The positive allometry of females can be attributed to the availability of food resources in the study environment, to the fact that females need more energy for reproduction, to the food ecology strategies of the common snook described by Nascimento et al. (2021) and Souza et al. (2021) in the Tutóia region, state of Maranhão, as well as to the fact that the study area is inserted in the Parnaíba Delta Environmental Protection Area (EPA), a sustainable use conservation unit administered by The Brazilian Institute for the Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA), created by a decree (no number) of 08/28/1996, at the request of environmentalists to protect the coastal ecosystem formed by mangroves and dunes located in the states of Maranhão and Piauí (Brasil, 2002; Silva, 2018).

In terms of the sex ratio for the males and females of common snook (*C. undecimalis*), this research reveals a predominance of males of this species throughout the year. Studies by Caballero-Chávez (2011), Perera-García et al. (2011), Hernández et al. (2014), and Gassman et al. (2017) also reported similar data on the sex ratio of this species. These data have already been described in the literature, which may be associated with the fact that this species has a protandric hermaphroditic behavior, i.e. at a certain point in their reproductive biology, males undergo a modification of their gonadal structure and stop producing sperm, starting to produce female gametes.

Understanding the sexual pattern of a hermaphrodite species, such as the one presented here, is essential for an interpretation of its reproductive and ecological biology (Sadovy de Mitcheson and Liu, 2008). Furthermore, this understanding is necessary for the management of the species (Erisman et al., 2008) and the replacement of their population stocks. This study also observed that the sexual transition occurred outside the spawning season, since the female gonads found in the immature stage, when submitted to histological analysis, only had female gametes.

In addition, it is important to note that the sexual transition after a period of spawning has been documented in several species of hermaphrodite fish (Bentivegna and Berica Rasotto, 1983; Guiguen et al., 1994; Alonso-Fernandez et al., 2011). However, the probability of collecting individuals in a transition state is low (Bentivegna and Berica Rasotto, 1983; Villegas-Ríos et al., 2013), because this transition occurs rapidly, in less than a

day for some species (Warner and Swearer, 1991). In this study, none of the samples collected presented gonads in transition.

Regarding the condition factor, the statistical tests showed a difference in ANOVA, and the statistical post-technique indicated October as the peak of the condition factor. If we take into account that the reports of fishermen reveal that there are periods of the year when the common snook disappears or is almost not caught, as we saw in September 2019, when this fish ran out, it can be a hypothesis that this temporary isolation may be a preparation for the peak of the condition factor. Usually, during the reproductive period of the species, the rates of the condition factor decrease due to the energy allocated for reproduction. Generally, reduced feeding during spawning contributes to weight loss or reduced growth. Gassman et al. (2017) described that the condition factor may vary monthly according to food availability, sex, seasonality, and gonadal degree of development.

Another environmental factor that may influence the decrease or “disappearance” of this fish in September/October may be the speed of winds in the region that become stronger during the summer and the scarcity of rains that can interfere with the fish distribution process. Also, these events of rainfall scarcity and higher incidence of winds in the Northeast may also occur alongside phenomena such as El Niño (which occurred in 2019) changing the temperature of the water environment (Silva, 2018) and influencing its dynamics.

According to Mendonça (2004), the reproductive period of *C. undecimalis* may interfere with the abundance of the species, that is, mature individuals from rivers and lakes may return to the sea to spawn (catadromous). After spawning, they remain for a season at sea and return to the estuarine environment soon after. Mature individuals (in the spawning phase), sampled in the present study, were predominant in both sexes.

Reproductive cycles represent the gonadal development necessary for mature fish to spawn at the appropriate time (Lowerre-Barbieri et al., 2011). In our study, we estimated the lengths of the first sexual maturity (L50; ♀ = 57.21 and ♂ = 54.55 cm), with males dominating the smallest sizes and females dominating the largest, a typical pattern seen among species with protandric hermaphroditism (Shapiro, 1984).

Over the reproductive period, this research describes that the months of February, May, and November were the ones with the highest incidence of females in the SCS. Caballero-Chávez (2011) identified the months of March to September as the reproductive season of *C. undecimalis*, with a peak in July in the southwest of Campeche; however, these results may have occurred differently due to the environmental conditions of each country, such as temperature variation, food availability, salinity, winds, and sea currents.

Regarding the maturation stages, IS, DS, and SCS were found for females and IS, DS, SCS, and RS for males. The RGS, however, was not found in any of the samples. Histological analyses confirmed the description of each oocytic stage, besides evidencing that they may contain different stages of oocyte development within the gonads, regardless of their maturation

stage, which confirms that the species can spawn multiple times. The co-occurrence of different stages of oocytic development was similar to those described for *Centropomus parallelus* (Costa e Silva et al., 2021) and *C. pectinatus* (Daros et al., 2016; Freitas and Abilhoa, 2017). We also visualized follicles suffering atresia in the common snook samples we analyzed for this study. According to Vazzoler (1996), atretic follicles are those that may not have been eliminated for physiological reasons and, therefore, will end up undergoing degeneration, disintegration, and absorption. The author also points out that these atretic follicles are found in mature ovaries or in completely or partially emptied ovaries.

It is noticed that the reproductive behavior of many fish is cyclical, with a more or less regular period, in which the spawning period usually coincides with the favorable season so that young fish can grow and survive (Carvalho et al., 2021). Since external stimuli trigger hormonal adjustment that culminates in spawning, the environment should provide food in the necessary amount, protection against predators, favorable abiotic conditions, as well as conservation measures, from the anthropic point of view, that are adequate (Munro et al., 1990; Hilborn et al., 2020).

According to local fishermen, in the specific case of the populations of *C. undecimalis* on the coast of Maranhão, data are urgently needed, because the fishing fleet from other states such as Ceará, Piauí, Sergipe, and Pará is expanding, often with larger vessels than those of Maranhão, excessively and indiscriminately catching the fish resources of the Tutóia region. Meanwhile, management policies are still being formulated. If fishing is not managed in a manner that is consistent with the introduction of a closed season and greater protection of breeding sites, fishing will soon exceed the support capacity of the fish community (Cardoso et al., 2018).

Therefore, the data obtained in this study indicate, as a suggestion for fishing planning purposes, that common snook fishing (*C. undecimalis*) should be avoided in February, May, and November, when the probability of capturing females in spawning capacity is higher, consequently impacting the reproductive cycle of the species and its conservation.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to give our special thanks to the Laboratory of Fisheries and Aquatic Ecology (UEMA) and the Laboratory of Aquatic Organisms Biomarkers (UEMA) for their logistic support in the field and laboratory analyses, respectively. Professionals Ana Lúcia Abreu Silva and Sandra Alves Araújo, from the Graduate Research Multiuser Labs (LAMP/UEMA), for the aid provided with photo microscopy of histological slides. We also thank Bicho Nativo. Empresa de Consultoria em Bioestatística e Treinamentos Ambientais, for their support in the statistical analysis. We thank the staff of the Maranhão State Research Foundation (FAPEMA) for the financial support.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare that they have no competing interests.

FINANCIAL SUPPORT

This work was supported by the Maranhão State Research Foundation (FAPEMA) (grant number: 00627/2017).

AUTHORS' CONTRIBUTION

Nascimento, I.R.M.A.: Conceptualization, Methodology, Formal Analysis, Investigation, Writing — Original Draft, Project Administration, Funding Acquisition. Diniz, A.L.C.: Conceptualization, Methodology, Formal Analysis, Investigation, Writing — Original Draft, Project Administration, Funding Acquisition. Cruz, Y.L.K.F.: Design, Graphics, Writing — Original Draft. Azevedo, R.S.O.P.: Formal Analysis, Writing — Original Draft, Funding Acquisition. Azevedo, A.S.: Formal Analysis, Writing — Original Draft, Funding Acquisition. Pinheiro-Sousa, D.B.: Conceptualization, Methodology, Resources, Supervision, Writing — Original Draft, Funding acquisition. Sousa, D.B.: Conceptualization, Methodology, Resources, Supervision, Writing — Original Draft, Funding Acquisition. Carvalho-Neta, R.N.F.: Conceptualization, Methodology, Resources, Supervision, Writing — Original Draft, Funding Acquisition.

REFERENCES

- Alonso-Fernandez, A.; Alós, J.; Grau, A.; Domínguez-Petit, R.; Saborido-Rey, F. 2011. The use of histological techniques to study the reproductive biology of the hermaphroditic Mediterranean fishes *Coris julis*, *Serranus scriba*, and *Diplodus annularis*. Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science, 3(1): 145-159. <https://doi.org/10.1080/19425120.2011.556927>
- Bentivegna, F.; Berica Rasotto, M. 1983. Anatomical features of sex inversion in the rainbow wrasse, *Coris julis*. Bollettino di Zoologia, 50(1-2): 73-78. <https://doi.org/10.1080/11250008309439424>
- Brame, A.B.; McIvor, C.C.; Peebles, E.B.; Hollander, D.J. 2014. Site fidelity and condition metrics suggest sequential habitat use by juvenile common snook. Marine Ecology Progress Series, 509: 255-269. <https://doi.org/10.3354/meps10902>
- Brasil. 2018. Ministério do Meio Ambiente. Programa Nacional para Conservação da Linha de Costa – PROCOSTA. Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Territorial. Brasília: MMA. Available at: <https://www.mma.gov.br/publicacoes/gestao-territorial/category/197-gest%C3%A3o-costeira-procosta.html>. Accessed on: Oct. 14, 2020.
- Brasil. 2002. Ministério do Meio Ambiente. Zoneamento Ecológico Econômico do Brasil – ZEE. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Available at: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4297.htm. Accessed on: Mar. 18, 2021.
- Brasil. 2019. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Atlas de Carta Piloto.
- Brown-Peterson, N.J.; Wyanski, D.M.; Saborido-Rey, F.; Macewicz, B.J.; Lowerre-Barbieri, S.K. 2011. A standardized terminology for describing reproductive development in fishes. Marine and Coastal Fisheries, 3(1): 52-70. <https://doi.org/10.1080/19425120.2011.555724>
- Caballero-Chávez, V. 2011. Reproducción y fecundidad del robalo blanco (*Centropomus undecimalis*) en el suroeste de Campeche. Ciencia Pesquera, 19(1): 35-45.
- Cantanhêde, L.G.; Carvalho, I.F.S.; Santos, N.B.; Almeida, Z.S. 2016. Biologia reprodutiva do *Hassar affinis* (Pisces: Siluriformes, Doradidae), Lago de Viana, Baixada Maranhense, Maranhão, Brasil. Acta Amazonica, 46(2): 219-226.
- Cardoso, A.S.; Santos, N.B.; Almeida, Z.S.; Carvalho-Neta, R.N.F.; Cantanhêde, L.G. 2018. Reproductive biology of king weakfish, *Macrodon ancylodon* (Perciformes, Sciaenidae) from the northeastern coast of Brazil. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 53(1): 95-104. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572018000100095>
- Carvalho, I.F.S.; Cantanhêde, L.G.; Diniz, A.L.C.; Carvalho-Neta, R.N.F.; Almeida, Z.S. (2021). Reproductive biology of seven fish species of commercial interest at the Ramsar site in the Baixada Maranhense, Legal Amazon, Brazil. Neotropical Ichthyology, 19(2): e200067. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2020-0067>
- Cerqueira, V.R. 2005. Cultivo do robalo-peva, *Centropomus parallelus*. In: Baldisserotto, B.; Gomes, L.C. (Eds.). Espécies nativas para piscicultura no Brasil. Santa Maria: Editora da UFSM. p. 403-431.
- Climatempo. 2021. Previsões do tempo em Tutóia – MA. Available at: <https://www.climatempo.com.br/previsao-do-tempo/cidade/1070/tutoia-ma>. Accessed on: June 20, 2021.
- Coelho, K.K.F.; Lima, F.S.; Wosnick, N.; Nunes, A.R.O.P.; Silva, A.P.C.; Gava, T.T.; Brito, R.M.S.; Ferreira, L.J.S.; Dualibe, I.C.F.S.; Dias, H.N.; Almeida, Z.S.; Nunes, J.L.S. 2021. Research trends on elasmobranchs from the Brazilian Amazon Coast: a four-decade review. Biota Neotropica, 21(4): e20211218. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2021-1218>
- Costa, G. C. 2022. Map of Parnaíba Delta. São Luís, Maranhão, Brazil. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24915.66085>
- Costa e Silva, G.H.; Freitas, M.O.; Abilhoa, V. 2021. Reproductive biology of the fat snook *Centropomus parallelus* Poey, 1860 (Teleostei, Centropomidae) and implications for its management in the Southern Atlantic Ocean. Journal of Fish Biology, 99(2): 669-672. <https://doi.org/10.1111/jfb.14718>
- Costa-Filho, J.; Mello, G.L. 2015. Crescimento alométrico positivo entre características biométricas de juvenis de robalo-flecha (*Centropomus undecimalis* Bloch, 1972) cultivados. Arquivo Ciência Veterinária e Zoologia UNIPAR, 18(1): 21-26.
- Daros, F.A.; Spach, H.L.; Correia, A.T. 2016. Habitat residency and movement patterns of *Centropomus parallelus* juveniles in a subtropical estuarine complex. Journal of Fish Biology, 88(5): 1796-1810. <https://doi.org/10.1111/jfb.12944>
- Erisman, B.E.; Rosales-Casián, J.A.; Hastings, P.A. 2008. Evidence of gonochorism in a grouper, *Mycteroperca rosacea*, from the Gulf of California, Mexico. Environmental Biology of Fishes, 82(1): 23-33. <https://doi.org/10.1007/s10641-007-9246-1>

- Farias, J.L.; Zarar, C.A.; Silva-Neto, N.G.; Silva, F.S.; Silva-Junior, R.F.; Cavalli, R.O. 2017. Tolerância e crescimento de juvenis do robalo-flecha (*Centropomus undecimalis*) expostos a diferentes salinidades. *Acta of Fisheries and Aquatic Resources*, 5(3): 54-60. <https://doi.org/10.2312/Actafish.2017.5.3.54-60>
- Ferraz, E.M.; Petersen, L.; Passini, G.; Cerqueira, R. 2013. Híbridos recíprocos obtidos por cruzamentos entre os robalos *Centropomus parallelus* e *Centropomus undecimalis*. *Boletim do Instituto de Pesca*, 39(1): 53-61.
- Food and Agriculture Organization (FAO). The State of World Fisheries and Aquaculture 2018. Rome: FAO, 2018.
- Freitas, M.O.; Abilhoa, V. 2017. Reproductive biology of the tarpon snook *Centropomus pectinatus* (Perciformes, Centropomidae) in estuarine waters in the South-western Atlantic. *Journal of Fish Biology*, 91(2): 686-694. <https://doi.org/10.1111/jfb.13367>
- Galdino, M.A.; Vieira, L.S.R.; Cardoso, B.R. 2018. Prospecção sobre o aproveitamento das correntes marinhas para geração de energia elétrica no Brasil. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, pp. 1-10.
- Gassman, J.; Rojas, H.L.; Padrón, D. 2017. Reproducción de los robalos *Centropomus undecimalis* y *C. ensiferus* (Perciformes: centropomidae) en una laguna costera tropical. *Revista de Biología Tropical*, 65(1): 181-194.
- Guiguen, Y.; Cauty, C.; Fostier, A.; Fuchs, J.; Jalabert, B. 1994. Reproductive cycle and sex inversion of the seabass, Lates calcarifer, reared in sea cages in French Polynesia: histological and morphometric description. *Environmental Biology of Fishes*, 39(3): 231-247. <https://doi.org/10.1007/BF00005126>
- Hernández, U.; Chiappa, X.; Contreras, W. 2014. Reproductive variability of the common snook, *Centropomus undecimalis*, in environments of contrasting salinities interconnected by the Grijalva-Usumacinta fluvial system. *Cienc Mar*, 40(3): 173-185.
- Hilborn, R.; Amoroso, R.O.; Anderson, C.M.; Ye, Y. 2020. Effective fisheries management instrumental in improving fish stock status. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(4): 2218-2224. <https://doi.org/10.1073/pnas.1909726116>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2021. Cidades e Estados. Available at: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/panorama>. Accessed on: Mar. 18, 2021.
- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). 2017. Informações sobre visitação: APA Delta do Parnaíba. ICMBio. Available at: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/apa-delta-do-parnaiba/informacoes-sobre-visitacao-apa-delta-do-parnaiba>. Accessed on: Aug. 29, 2021.
- King, M. 1995. Fisheries biology: assessment and management. Oxford: Fishing News Books.
- Lessa, R.P.; Santana, F.; Menni, R.; Almeida, Z. 1999. Population structure and reproductive biology of the smalltail shark (*Carcharhinus porosus*) of Maranhão (Brazil). *Marine & Freshwater Research*, 50(5): 383-388. <https://doi.org/10.1071/MF98127>
- Lowerre-Barbieri, S.K.; Ganas, K.; Saborido-Rey, F.; Murua, H.; Hunter, J.R. 2011. Reproductive timing in marine fishes: variability, temporal scales, and methods. *Marine and Coastal Fisheries*, 3(1): 71-97. <https://doi.org/10.1080/19425120.2011.556932>
- Marceniuk, A.P.; Barthem, R.B.; Wosiacki, W.B.; Klautau, A.G.C.M.; Junior, T.V.; Rotundo, M.M.; Cordeiro, A.P.B.; Romão-Junior, J.G.; Santos, W.C.R.; Reis, T.S.; Muniz, M.R.; Cardoso, G.S.; Viana, S.T.F.L. 2019. Sharks and batoids (Subclass Elasmobranchii) caught in the industrial fisheries off the Brazilian North coast. *Revista Nordestina de Biologia*, 27(1), 120-142. <https://doi.org/10.22478/ufpb.2236-1480.2019v27n1.47112>
- Martinelli, C.M. 2010. Etnobiologia das famílias Centropomidae, Serranidae e Pomatomidae em Ponta Negra, Natal, Rio Grande do Norte. [Dissertação de Mestrado]. Universidade de Campinas.
- Mendonça, M.C.F.B. 2004. Autoecologia do camorim, *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792), (Perciformes: Centropomidae) em ambiente hipersalino em Galinhos, RN, Brasil. [Tese]. Universidade de São Carlos.
- Motta, F.S.; Mendonça, J.T.; Moro, P.S. 2016. Collaborative assessment of recreational fishing in a subtropical estuarine system: a case study with fishing guides from south-eastern Brazil. *Fisheries Management and Ecology*, 23(3-4): 291-302. <https://doi.org/10.1111/fme.12172>
- Munro, A.D.; Scott, A.P.; Lam, T.J. Reproductive seasonality in teleosts: environmental influences. Boca Raton: CRC Press, 1990. 254 p.
- Nascimento, I.R.M.A.; Santos, J.P.; Souza, J.P.; Carvalho-Neta, R.N.F.; Almeida, ZS. 2021. Bioecologia alimentar e reprodutiva como subsídio ao cultivo do peixe *Centropomus undecimalis* (Teleostei: Centropomidae) no Brasil: uma revisão sistemática. *Research, Society and Development*, 10(16), e592101623893. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i16.23893>
- Ortiz-Ordóñez, E.; Galicia, E.U.; López-López, E.; Maya, J.P.; Hernández, A.L.C. 2007. Reproductive cycle by histological characterization of the ovary in the butterfly goodeid *Ameca splendens* from the upper Rio Ameca Basin, México. *Journal of Applied Ichthyology*, 23(1): 40-45. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00790.x>
- Pereira, L.C.C.; Dias, J.A.; Antunes do Carmo, J.; Polette, M. 2009. A Zona Costeira Amazônica Brasileira. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 9(2): 3-7. Available at: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=388340126001>. Accessed on: Jan. 6, 2021.
- Pereira, M.E.G.S.S.; Santos, F.J.S.; Holanda, F.C.; Miranda, J.; Lutz, I.A.F.; Barboza, R.S.L.; Evangelista-Gomes, G. 2020. The fishing of the Common Snook *Centropomus undecimalis* (Centropomidae - Perciformes) in the Brazilian Amazon coast: contribution of the fishing actors to fisheries management. *Research, Society and Development*, 9(10): e6189108945. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8945>
- Perera-García, M.; Mendoza, M.; Contreras, W.; Huerta, M.; Pérez, E. 2011. Reproductive biology of common snook *Centropomus undecimalis* (Perciformes: Centropomidae) in two tropical habitats. *Revista de Biología Tropical*, 59(2): 669-681.
- Pinheiro, C.; Carvalho, D. de L.; Leite, J. C. L.; Amorim, T. de L.; Álvares, W. L. F. 2020. Tutoia pelo olhar do turismólogo Nathan Oliveira Cardoso. *Turismo & Cidades*, 2(3): 187-194. Available at: <http://periodicoeletronicos.ufma.br/index.php/turismoecidades/article/view/14077>. Accessed on: Nov. 4, 2021.
- Pinto, J.R.S.; Araújo, M.L.G.; Rosa, R.A.; Santos, J.P.; Araújo, A.R.R.; Barbosa, J.M. 2018. Especialização das capturas de robalo (*Centropomus spp.*) (Centropomidae – Perciformes) no estuário do Rio Sergipe. *Arquivos de Ciências do Mar*, 51(2): 72-83. <https://doi.org/10.32360/acmar.v51i2.33177>

- Prestes, L.; Soares, M.G.M.; Silva, F.R.; Bevilacqua, D.R.; Bittencourt, M.M. 2010. Dynamic population of *Triportheus albus*, *T. angulatus*, and *T. auritus* (Characiformes: Characidae) in the floodplain lakes of Central Amazonian. *Biota Neotropica*, 10(3): 177-181. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032010000300020>
- Sadovy de Mitcheson, Y.; Liu, M. 2008. Functional hermaphroditism in teleosts. *Fish and Fisheries*, 9(1): 1-43. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2007.00266.x>
- Shapiro, D.Y. 1984. Sex reversal and sociodemographic process in coral reef fishes. In: Potts, G.W.; Wootton, R.J. (Eds.). *Fish reproduction, strategies and tactics*. London: Academic Press. p. 103-118.
- Silva, A.P.C.; Diniz, A.L.C.; Sousa, D.B.; Carvalho, I.F.S.; Nascimento, I.R.M.A.; Nunes, K.B.; Cantanhêde, L.G.; Espínola, N.B.S.; Carvalho-Neta, R.N.F.; Almeida, Z.S. 2021. Biologia reprodutiva de recursos pesqueiros como instrumento de gestão compartilhada em áreas protegidas no estado do Maranhão. São Luís: EDUEMA. 114 pp.
- Silva, L.E.O.; Silva, K.C.A.; Cintra, I.H.A. 2014. Sobre a pesca industrial para peixes diversos na plataforma continental Amazônica. *Revista Brasileira de Engenharia da Pesca*, 7(2): 34-53. <https://doi.org/10.18817/repesca.v7i2.1068>
- Silva, L.M.C.; Machado, I.C.; Tutui, L.S.; Tomás, A.R.G. 2019. Calendário Etnobiológico do robalo, segundo os pescadores especialistas das áreas estuarinas da Baixada Santista (SP). *Atas*, 3: 457-466.
- Silva, P.S.M. 2018. Dinâmica costeira do litoral de Tutóia (MA), a partir da análise multitemporal de imagens de satélite e do uso de geoprocessamento [Dissertação de Mestrado]. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- Souza, J.P.; Nascimento, I.R.M.A.; Barros, M.F.S.; Carvalho, A.S.; Brito, P.S.; Silva, A.P.C.; Almeida, Z.S. 2021. Ecologia alimentar do robalo *Centropomus undecimalis* Bloch 1792 (Teleostei, Centropomidae) na região costeira do Maranhão. *Research, Society and Development*, 10(9): e52010918194. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.18194>
- Stride, R.K. 1992. Diagnóstico de pesca artesanal marinha do Estado do Maranhão. São Luís: CORSUP/EDUFMA, 205 pp.
- Vazzoler, A.E.A.M. 1996. Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática. Maringá: EDUEM. 169 pp.
- Vieira, M.C. 2017. Etnoecologia de robalos na reserva de desenvolvimento sustentável da Barra do Una, Peruíbe/SP. [Dissertação]. Universidade Santa Cecília.
- Villegas-Ríos, D.; Alonso-Fernández, A.; Domínguez-Petit, R.; Saboridorey, F. 2013. Intraspecific variability in reproductive patterns in the temperate hermaphrodite fish, *Labrus bergylta*. *Marine and Freshwater Research*, 64(12): 1156-1168. <https://doi.org/10.1071/MF12362>
- Warner, R.R.; Swearer, S.E. 1991. Social control of sex change in the bluehead wrasse, *Thalassoma bifasciatum* (Pisces: Labridae). *The Biological Bulletin*, 181(2): 199-204. <https://doi.org/10.2307/1542090>
- WWF. Áreas protegidas. Available at: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/areas_prioritarias/amazonia/nossas_solucoes_na_amazonia/areas_protegidas_na_amazonia/. Accessed on: Aug. 10, 2021.

APÊNDICE C – ARTIGO DA TESE PUBLICADO NA REVISTA GAIA SCIENTIA

Bass fishing potential *Centropomus undecimalis* on the East Coast of Maranhão according to the local ecological knowledge of fishermen and traders

Autores: Isa Rosete Mendes Araujo Nascimento¹, Christiane de Fátima Silva Mota², Raimunda Nonata Fortes Carvalho Neta³

¹ Doutoranda em Biodiversidade e Biotecnologia pela Rede Bionorte. Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão/ Campus Centro Histórico. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0170-765X>

² Doutora em Antropologia pela Universidade Federal do Pará. Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão/ Campus Centro Histórico. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7045-5973>

³ Doutora em Biotecnologia pela Renorbio/Universidade Estadual do Ceará. Professora da Universidade Estadual do Maranhão. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3519-5237>

* **Corresponding author:** Isa Rosete Mendes Araujo Nascimento. E-mail: isabio@ifma.edu.br
Telephone: (98) 98182-1217.

Declarations

Author's participation: **IRMAN** – Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Investigation, Writing-Original Draft, Project administration, Funding. **CFSM** - Methodology, Formal analysis, Investigation, Writing-Original Draft. **RNFCN** - Conceptualization, Resources, Supervision, Writing-Original Draft.

Ethical approval: Approved by the Ethics Committee of the State University of Maranhão - UEMA (no. 4.476.902/2020).

Data availability: The data are not deposit in any repository.

Review type: The authors agree with the disclosure of their names to the reviewers.

Funding Information: Not applied

Conflict of Interest: The authors declare that they have no conflict of interest related to the publication of this work.

Bass fishing potential *Centropomus undecimalis* on the East Coast of Maranhão according to the local ecological knowledge of fishermen and traders

Abstract - The eastern coast of Maranhão has a diversity of fishing resources that have been extensively explored in recent years. Associated with the fishing activity, the traditional wisdom

of fishermen and traders about the local ichthyofauna becomes fundamental for the establishment of conservation measures and the sustainability of fishing in the long term. In this context, the present study aimed to verify the ecological knowledge of fishermen and traders about the fishing potential of the snook *Centropomus undecimalis* in the municipality of Tutóia, state of Maranhão. For the development of this research, interviews were carried out with fishermen and traders in the study region, through the application of semi-structured questionnaires that contained open questions. In the interviews, cognitive aspects related to general aspects of fishing and the potential of sea bass were considered, as well as aspects of its dynamics and reproduction. The results revealed that the ecological knowledge of fishermen and traders constitutes a valuable tool acquired over the years and transferred between generations. Common snook are in population decline in the studied region.

Keywords: *Potential, Common snook, Maranhense Coast, Traditional Knowledge*

Potencialidades da pesca do robalo *Centropomus undecimalis* na costa oriental maranhense de acordo com o conhecimento ecológico local de pescadores e comerciantes

Resumo - O litoral oriental do Maranhão possui uma diversidade de recursos pesqueiros que vêm sendo muito explorados nos últimos anos. Associado a atividade pesqueira, a sabedoria tradicional de pescadores e comerciantes sobre a ictiofauna local torna-se fundamental para o estabelecimento de medidas de conservação e sustentabilidade da pesca a longo prazo. Nesse contexto, o presente estudo objetivou verificar o conhecimento ecológico dos pescadores e comerciantes acerca das potencialidades de pesca do robalo *Centropomus undecimalis* no município de Tutóia, estado do Maranhão. Para o desenvolvimento desta pesquisa foram realizadas entrevistas com pescadores e comerciantes da região de estudo, por meio da aplicação de questionários semiestruturados que continham perguntas abertas. Considerou-se nas entrevistas aspectos cognitivos referentes aos aspectos gerais da pesca e das potencialidades do robalo, além de aspectos sobre sua dinâmica e reprodução. Os resultados revelaram que o conhecimento ecológico dos pescadores e comerciantes se constitui como uma valiosa ferramenta adquirida ao longo dos anos e transferida entre as gerações, a pesquisa revelou ainda, que os entrevistados demonstraram conhecimento sobre o tema abordado durante as entrevistas, e destacaram que os robalos estão em declínio populacional na região estudada.

Palavras chave: *Potencial, Robalo, Litoral Maranhense, Conhecimento tradicional.*

Potenciales de pesca lubina *Centropomus undecimalis* en la costa oriental de maranhense según el conocimiento ecológico local de pescadores y comerciantes

Resumen - La costa este de Maranhão tiene una diversidad de recursos pesqueros que han sido muy explotados en los últimos años. Asociado a la actividad pesquera, el saber tradicional de pescadores y comerciantes sobre la ictiofauna local se vuelve fundamental para el establecimiento de medidas para la conservación y sostenibilidad de la pesca a largo plazo. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo verificar el conocimiento ecológico de los pescadores y comerciantes sobre el potencial de pesca de la lubina *Centropomus undecimalis* en el municipio de Tutóia, estado de Maranhão. Para el desarrollo de esta investigación se realizaron entrevistas a pescadores y comerciantes de la región de estudio,

mediante la aplicación de pruebas semiestructuradas que contenían preguntas abiertas. Considerar en las entrevistas aspectos cognitivos relacionados con los aspectos generales de la pesca y el potencial de la lubina, además de aspectos sobre su dinámica y reproducción. Los resultados revelaron que los saberes ecológicos de los trabajadores y comerciantes constituye una valiosa herramienta adquirida a lo largo de los años y vivida entre generaciones, la investigación también reveló que aprendieron conocimientos sobre el tema abortado durante las entrevistas, y resaltó que las lubinas se encuentran en población declive en la región.

Palabras clave: *Potencial, Lubina, Costa maranhense, Conocimiento tradicional.*

Introduction

The North Coast of Brazil, more specifically the region that goes from the Amazon Coast of Maranhão (western coast) to the East Coast, has a wide fishing productivity (Santos et al. 2003; Barbieri 2010; Diniz, et al. 2020).

The State of Maranhão has a coastline with 640 km, occupying an important role in the scenario of national fishing productivity, where most of this production comes from artisanal fishing, ensuring food security which provides food and employment for many human populations of Maranhão, increasing the local economy (Pereira et al. 2018). The city of Tutoia presents itself as an important commercialization center of fish in the region of the eastern coast of Maranhão, in this region there is great fishing productivity (IMESC, 2020).

Sea bass are fish widely sought after by sports and professional fishermen, due to the thrill of the catch and the high value of their meat (Da Silveira Menezes, 2012; Barrella et al. 2016; Motta et al. 2016; Molitzas et al. 2019). In addition, *C. undecimalis* has survival capacity in waters with low salinity, being conducive to its development, both in fresh water and brackish water and with low oxygenation index (Ager et al. 1976; Peterson and Gilmore 1991; Pereira et al. 2015; Pereira et al. 2020). This flexibility of adaptation to different variations of salinity has allowed the creation of strategies for the cultivation of sea bass that may favor the availability of this fishing resource for commercialization, considering that it is a species of high commercial value (Liebl et al. 2016; Nascimento et al. 2021).

In this dimension, fishermen and traders have multiple knowledge about fish of local and/or regional occurrence (Costa-Neto, Days and Melo 2002; Braga, 2016) and the identification of traditional knowledge about fishing, fish biology and how these resources are used by riparians is an indispensable element in the generation of knowledge that contributes to long-term sustainable environmental measures (Rodrigues et al. 2021).

It is important to highlight that UNESCO, FAO and Brazilian legislation recommend the use of traditional ecological knowledge for the implementation of natural resource

management measures (BRASIL, 2015). According to anthropologist Manuela Carneiro da Cunha, traditional and indigenous peoples are very knowledgeable and can help scientists can effectively understand climate change and the problem of biodiversity loss. She also points out that traditional wisdom is a living and ongoing process, composed of ways of knowing nature, methods, models and "research protocols" (Agência FAPESP 2013).

The Cajueiro fishing community: brief configuration

Brazil is a country characterized by a diverse traditional population: indigenous, quilombola, riverside, fishing, extractive, among others, communities that work and live in a biologically mega-diverse country, which has included the creation of public policies of a socio-environmental nature with a view to preserving this biodiversity and the security of local communities. In this scenario, the Amazon is the biome that is the target of debates, a region where research on the subject has been more advanced in recent years, but still insufficient to meet scientific expectations and those of traditional communities.

Over the years, the Amazon biome has been the target of predatory attacks, such as fires, intensive livestock farming, agribusiness, inappropriate use of the coastal environment and negligence in monitoring catches from fish stocks. Within the scope of Science, several areas of knowledge focused on traditional practices in Brazilian rural communities. Multidisciplinary studies in the areas of biology, anthropology, ethnobotany, chemistry and pharmacology, among others, have provided fundamental data and analyzes for understanding the use, management and conservation of natural resources in these communities, as well as for their very existence. Therefore, studies such as the one proposed here, which point to the direction of interaction between traditional and scientific communities, effectively contribute to the preservation of Amazonian biodiversity.

In this direction, we opted for an interdisciplinary analysis that resorts to methodological procedures from Anthropology linked to field research in local communities, such as: insertion in the research field; interviews or informal conversations recorded in audio or visual audio with community leaders and participants; photographic records of the stages of work; mapping of the areas of the street market and the port of Tutóia, community of cashew fishermen, in addition to those pointed out by the community, aiming to investigate the ecological knowledge of fishermen and local traders.

It is of great importance to map, identify and catalog the repertoire of traditional knowledge, recording the tangible and intangible heritage of these groups, especially due to the

concrete possibilities of environmental impacts. Seeking to contribute to academic/scientific production focused on sustainable development and preservation of Amazonian biodiversity.

According to Mr. Daniel da Conceição, fisherman and native, the city and Tutóia has its origin with the indigenous people of the Tremembé people, an influence maintained until today by the traditional habits of the Cajueiro community, such as practices of fishing techniques that are still artisanal. The old Vila Viçosa (founded by Jesuit priests) was elevated to the category of city in 1938. Today, it is known for its urban space, as a fishing town and also a place of intense tourist attraction. With approximately fifty-one thousand inhabitants, it is divided into a rural area, with many villages; and the downtown area, an urban area where we find an extensive area of mangroves and beaches.

Since artisanal fishing is of social and economic importance for many families, especially for traditional communities living in the Amazon region (Monroe et al. 2022), the purpose of this research was to know, through the traditional knowledge of fishermen and traders, the potentialities use of *Centropomus undecimalis*, a fish known in this region as sea bass or camurim, which has great commercial value and has been highlighted for sport fishing in the region, and is also suggested for captive breeding (fish farming).

We identified in the research, reports of environmental problems reported by fishermen: predatory fishing of shrimp, according to the community, fishing nets drag some species of fish and molluscs that are discarded, destroying small marine animals; as well as destruction of mangrove areas. In addition, there is the excessive exploitation of limestone, which led to the disappearance of fish species; factors that reflect on the social figuration of the villages, considering that they drive the migration process of people native to the locality, especially young people.

Historically, talking about affirmative action and legal rights for traditional peoples and communities is a recent debate. Almeida (2008, p. 25), points out that, in the last two decades, we have been witnessing throughout the country, and notably in the Amazon, the advent of new patterns of political relations in the countryside and in the city.

In 2004, under pressure from social movements, the Federal Government decreed the creation of the Commission for the Sustainable Development of Traditional Communities, whose purpose was to discuss a national policy for sustainable development aimed at the so-called traditional communities. Almeida (2008, p. 26) also warns that the expression “communities” in line with the idea of “traditional peoples” displaced the term “populations” (already exhausted, since it no longer responded to the specific demands of these groups),

passing to reproduce the terms of the International Labor Organization (OIT) in 1988-89, which found an echo in the Amazon through the mobilization of the so-called “forest peoples”.

In 2007, through Decree n. 6040, the National Policy for the Sustainable Development of Traditional Peoples and Communities (PNPCT) was instituted. From then on, officially, traditional peoples and communities are defined as

Culturally differentiated groups that recognize themselves as such, that have their own forms of social organization, that occupy and use territories and natural resources as a condition for their cultural, social, religious, ancestral and economic reproduction, using knowledge, innovations and practices generated and transmitted by tradition. (Decree No. 6040, of February 7, 2007).

Among these segments are the quilombolas, gypsies, religious communities of African origin, rubber tappers, chestnut trees, babassu coconut breakers, grassland communities, faxinalenses, artisanal fishermen, shellfish gatherers, riverside dwellers, varjeiros, caiçaras, praiheiros, sertanejos, jangadeiros, azoreans, campeiros, pantaneiros, catingueiros.

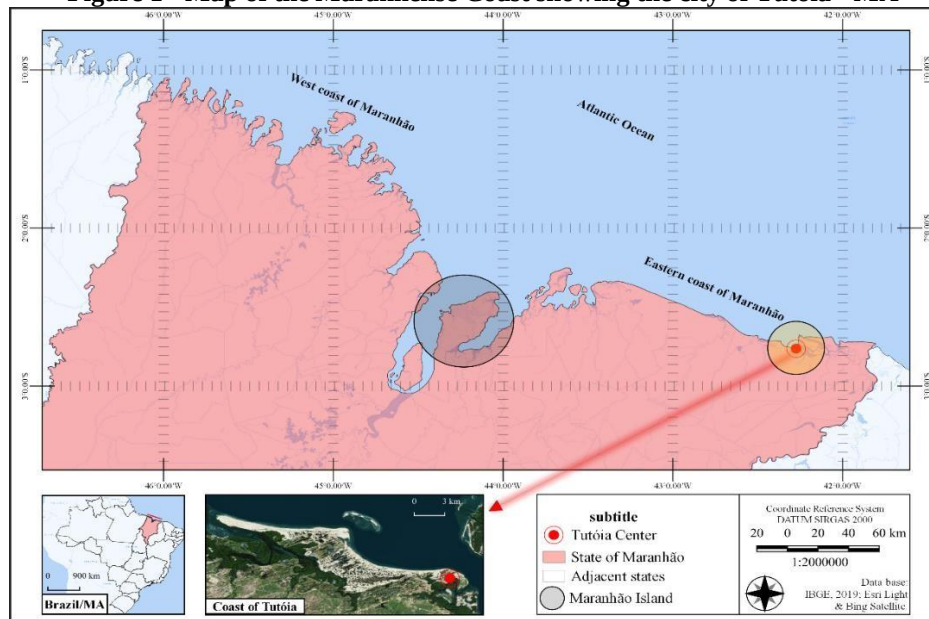
Methodology

Area description

The eastern coast of Maranhão extends from the eastern bank of the Maranhense gulf to the mouth of the Parnaíba River. This coastline is characterized by a high incidence of watercourses, with a predominance of sandy formations known as *Lençóis Maranhenses* (or Maranhão Sheets), and a rectilinear coastline, which cuts mangroves, sandbanks, fixed and mobile dune cords, beaches, coves and deltaic systems (Almeida 2009; El-Robrini et al. 2006; Gama et al. 2011).

The main fishing communities of the eastern coast of Maranhão are concentrated in Icatu, Humberto de Campos, Primeira Cruz, Santo Amaro do Maranhão, Barreirinhas, Paulino Neves, Tutóia (figure 1) and Araisos (Almeida 2009).

Figure 1 - Map of the Maranhense Coast showing the city of Tutóia - MA



Source: Costa (2020)

Data collection and analysis

This research has a qualitative, cross-sectional and descriptive nature and originated from semi-structured interviews with fishermen and traders in the city of Tutóia-MA who make a life from fishing or the commercialization of the *C. undecimalis* sea bass.

Interviews were conducted with 30 experienced fishermen and traders involved directly in the fishing and sale activity of the sea bass, as well as punctual transcriptions and speech identifications of the informants. A semi-structured questionnaire was applied, which contained open questions. Some issues addressed were: (1) Fishermen's profile; (2) Bass potential; (3) Places of capture (4) Trading of sea bass; (5) Sport fishing; (6) Periods of occurrence and reproduction of sea bass in the region; (7) Types of vessels used for capture; (8) Factors that influence the capture of sea bass; (9) fishing gear (10) Socio-environmental conflicts and (11) Increase or decrease in stocks over the years, among others. The interviews had free time of duration and were conducted with the prior authorization of the participants and, for this, a Informed Consent Form (ICF) was read and the conditions of participation of the subjects in the research were clarified. After that, they were incited to sign or not the term.

The method adopted for the selection of fishermen was the "Snowball Sampling", first used by Coleman (1958) and Goodman (1961), in which an interviewee indicates other possible participants to the researchers. The information obtained from the dialogues with the participants was compared to the studies available in the literature as a method of evaluating

and comparing traditional knowledge with scientific knowledge. Finally, the data were described, organized, analyzed and discussed qualitatively.

Results and Discussion

Through the application of questionnaires and voluntary interviews with the 30 fishermen and traders, it was possible to know their profile, with ages between 25 and 59 years old. Among them 6.66% were women and 93.33% were men. It was found that 80% of the interviewees say they are part of the fishermen's colony, but complain about its performance in the region and the other 20% approve of the activity of the fishermen's colony in the Region of Tutóia-MA. It was noticed that much of the community uses fishing to survive, which is the main source of income and subsistence of the region, however, not all fishermen and traders can fish or market the sea bass of the species *C. undecimalis* due to the fishing gear necessary for its capture, in addition to and other aspects. Table 1 relates the citation of fishermen and traders with citations from the scientific literature on aspects of bass fishing in Tutóia-MA.

Table 1. Comparative perception of fishermen and traders about bass fishing in Tutóia, Maranhão

ISSUES ADDRESSED	FISHERMEN QUOTES	LITERATURE QUOTES
Potentials	"(...) I think the greatest potential of sea bass is for trade." [sic] "(...) Sea bass is a great attraction for sport fishing here in Tutóia because it is a fish that grows a lot". [sic] "(...) I sell a lot of sea bass to other states, I'd like to breed them in captivity, do you think it's possible?" [sic]	The species of sea bass are highly valued as game fish and are the target of artisanal and recreational fishing (Motta et al. 2016). The sea bass farming still lacks further studies that describe the cost-benefit ratio of this activity in Maranhão (Nascimento 2021).
Capture Locations	"(...) This big sea bass we can catch them near Travosa, in the salt water, or else in the mangrove here in Tutóia." [sic]	Mendonça 2004 mentions that these fish are characterized as <i>euryhaline</i> species, as they can which can live in fresh water, brackish water, or salt water, with temporary or permanent access and the environmental variables that influence the distribution of sea bass are salinity and temperature.
Trading	"(...) The commerce of sea bass here in Tutóia is only done by some traders because this fish is not much consumed in Maranhão, we send everything to São Paulo and Brasília". [sic]	According to Almeida (2009), research on fishing resources indicates the existence of a high density and ichthyo biomass in Maranhão.
Sport fishing	"(...) We have avoided doing this type of fishing because customers complain that there is not too	Sport fishing is framed among the category of leisure/recreation fishing, which generates as a final product the association between tourism and

	<i>many sea bass, I realize that it is increasingly difficult to capture them, I think they are decreasing." [sic]</i>	fishing areas, also recognized as "sport fishing tourism" (Lopes 2009).
Periods of occurrence and reproduction of sea bass	<i>"(...) sea bass reproduces between December and February, in the rainy season. But we find sea bass eggs in other months too. Only there's a period where he's gone and we can't get any." [sic]</i>	These species are observed throughout the year, but have reproductive peaks in February, May and November, that is, in these months it is suggested to avoid bass fishing. (Nascimento et al. 2022).
Types of Bass Fishing Vessel	<i>"(...) motorized fishing boats for commercial fishing and speedboats for sport fishing." [sic]</i>	According to Almeida et al. (2006) motorized boats, rafts, crayfish boats and multiple lines with hooks (called <i>parqueiros</i>) are used for fishing on the Coast of Maranhão.
Factors that influence the capture and maintenance of fish stocks	<i>"(...) Look, I think today what gets in the way of stocks is that fishermen take everything they can and don't let the fish reproduce, then everything decreases." [sic]</i>	Knowing the reproductive biology of a species can generate useful information for filling gaps since this is reflected in the pattern of evolutionary adaptations that respond to environmental fluctuations, allowing us to infer about growth, sexual maturation, fertility and ecological conditions of ecosystems, contributing with important knowledge for the conservation of natural stocks (Vazoller, 1996).
Fishing gear	<i>"(...) To fish for sea bass we use artificial bait and hook when it is in the mangrove and in the sea we use fishing net 100 x 120". [sic]</i>	The use of fishing gear is directly related to the fishing resources explored, as well as to the places of capture (Cordeiro et al. 2020).
Socio-environmental conflicts	<i>" (...) I think what gets the most out of our fishing here are the boats that come from other fishing states in our area, they can take a lot of fish from here because they have bigger boats." [sic]</i>	Stock declines are caused by anthropic actions, such as overfishing, contamination of aquatic environments, among others, have put species at risk in all types of environments in which they occur (Dias et al. 2017; Silva et al. 2021).
About the increase or decrease in sea bass stocks in the region.	<i>"(...) In my opinion they are decreasing a lot, I think it's because of the fishermen's greed." [sic]</i>	The commercial importance of <i>C. undecimalis</i> in different regions of Brazil generates excess exploitation of this fishing resource, an aspect that needs to be evaluated, since in general females have greater weight gain than males and may be more susceptible to capture, which may impact the maintenance of the reproductive cycle of the species (Garrone-Neto et al. 2018).

Source: Authors (2022)

Pereira et al. (2018) mention that fishing in Maranhão still occurs in an artisanal way, this aspect makes the ichthyofauna of Maranhão barely known, since the available information originates from specific surveys carried out in some watersheds and/or environmental protection areas of the state (Barros, Fraga e Birindelli, 2011; Matavelli et al. 2015; Brito et al. 2019). Consequently, the knowledge of the potentialities of a species of a fish globally appreciated as sea bass is an interesting aspect to move the economy of the studied region.

In 2004 Alvarez-Lajonchère already cited that sea bass are fish with great importance in commercial and sport fishing and aquaculture. Currently, this perception is still evidenced by the fishermen and traders interviewed, and although they say that the consumption of *C. undecimalis* is not much appreciated by the people of Maranhão due to its high market value, they highlight its great potential for commercialization in other states. Figure 2 shows the potentialities of *C. undecimalis* mentioned by the interviewees in the studied region.

Figure 2 - Percentage of the fishing potential of sea bass *C. undecimalis* in the city of Tutóia - MA, cited by fishermen and local traders



Source: Authors (2022)

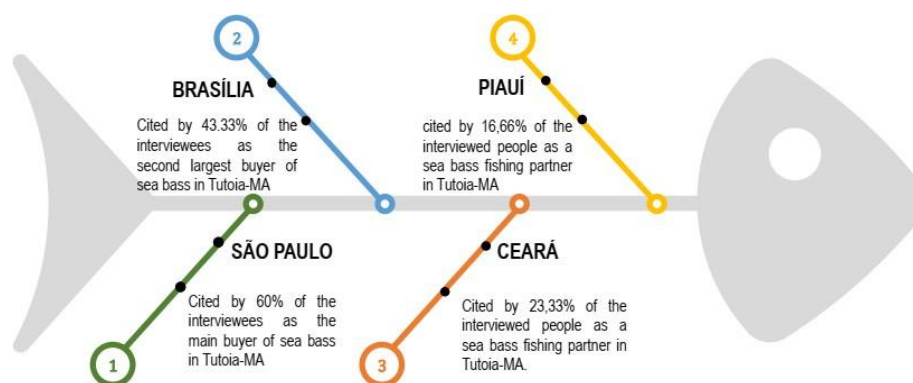
It is noticed that according to the fishermen's report, bass fishing in the city of Tutóia occurs mostly for commercialization and sport fishing and in a smaller amount for farming. This low percentage of the potentiality of *C. undecimalis* for cultivation was predictable since this activity is not yet performed in the region and data described by Nascimento et al. (2021) show that studies on the farming of sea bass in captivity in Brazil still need broader evaluations for its cost- benefit measurements.

During this research, the interviewees pointed out that the region of Tutóia is highly targeted by fishermen from other northeastern states such as Ceará and Piauí who are considered partners of bass and other fish fishing in the region due to the great ichthyophonistic diversity present in Tutóia. However, the same interviewees see as a negative point of this partnership, the use of larger vessels from these states, which capture greater amounts of sea bass and may hinder artisanal fishing of this resource in Tutóia, whose vessels are smaller.

In Tutóia, only four of the trading companies have the structure for selling sea bass (*C. undecimalis*). Because it is a large fish and it has a high commercial value, the companies that

can sell it are the ones able to send them to the states of São Paulo and Brasília, for they are the main partners in the purchase of sea bass in this region. Figure 3 shows the main buyers and fishing partners of sea bass in the Tutóia-MA region according to information from local fishermen and traders.

Figure 3 – Main buyers and fishing partners of sea bass in the Region of Tutóia-MA according to information from local fishermen and traders



Source: Authors (2022)

When asked if there was any environmental agency active in the region for fisheries inspection, 40% of respondents said they did not know, while 60% reported that they know they have IBAMA or ICMBio, but that rarely do they perceive supervision of these agencies in the region. It is noticed that the commercial importance of *C. undecimalis* in different regions of Brazil generates excess exploitation of this fishing resource in the coastal region of Maranhão. This aspect needs to be evaluated to avoid capturing of the species during the closed season.

According to Garrone-Neto et al. (2018), because females have greater weight gain than males and may be more susceptible to capture, which can impact the maintenance of the reproductive cycle and maintenance of the species. Some interviewees even reported that sea bass are less abundant in the region.

When asked if the pandemic had impacted the sale of this fishing resort, 100% of respondents said there was a drop in the sale of several species of fish, including sea bass. Some traders have reported the following:

P.1 “ (...) *With the pandemic no one goes out to buy, it was very bad to sell to us*”[sic].

P.2 “ (...) *It was difficult to sell the sea bass to other states in the pandemic, because there was no way to ship and some trading places had to close the doors*” [sic].

Fishermen and traders report that in 2019, before the pandemic, sea bass were sold at R\$ 22,00 (twenty-two reais) a kilo. During the pandemic they sold R\$ 13,00 (thirteen reais) a kilo, but had no buyers. Currently according to the interviewees the capture of this species is

scarcer and because of this the value of the kilo costs around R\$ 35.00 (thirty-five reais) a kilo. It is noteworthy that this scarcity of sea bass has impacted the potential for sport fishing in the region.

In Tutóia, one of the leisure strategies occurs through the sport fishing of sea bass, carried out in the region by a single tourist enterprise that practices the style "fish and release", a more sustainable sport fishing modality, which after capturing and photographing the fish, returns the specimens to the environment thus allowing the species to reproduce. The venture welcomes amateur fishermen from different regions of the country. However, the region's sport fishing guide pointed out in his interview that in recent years it has become more difficult to capture the sea bass, because according to him, the species are decreasing and tourists are annoyed when they cannot capture any specimens. They also report that for this reason has avoided inserting the activity of bass sport fishing in tourist packages.

The use of fishing resources has become unsustainable, since the percentage of stocks that are within biologically sustainable levels decreased from 90% in 1974 to 65.5% in 2017 (FAO, 2021). These declines caused by anthropic actions, such as overfishing, deforestation, contamination of aquatic environments, among others, have put species at risk in all types of environments in which they occur (Dias et al. 2017; Silva et al. 2021).

Research conducted by Almeida (2010) already warned that the fishing resources of Maranhão are abundantly exploited without any concern with the depletion of stocks and that this accelerated pace pointed to a short-term decrease of the main species of economic importance captured in the State of Maranhão. It is important to focus that this region does not have a period of closed season for bass fishing established in the legislation and this factor may favor the capture of females in the reproductive period.

Regarding the potential of sea bass for farming in the region, 93.33% of the interviewees pointed out that they do not know anyone who started a fish farm with sea bass, however 6.66% said they had heard of it and still expressed, during the interview, the interest in cultivating the species because they believe in its great potential for trade.

From this perspective, it is necessary to establish a connection between the government and the fishing community in order to develop legislation that creates a period of sea bass fishing, since the interviewees cite a population decline of the species in the region, in addition, the investment in the farming of this species could add a solution for conservation of this resource increasing its productivity and improving the local economy.

Conclusion

Ethnoknowledge is a valuable tool acquired over the years that goes through generations and allows understanding about general aspects of regional fishing, as well as some strategies for the conservation of fishing resources. The fishermen and traders of Tutoia (MA) demonstrated knowledge about the potential of the sea bass and about general aspects of its life cycle, feeding and reproductive behavior and adaptations to the environment. This demonstrates that traditional knowledge associated with scientific reinforcing the need for effective articulation between society and the scientific academy, which adds essential instruments, methods and knowledge for the definition of strategies for the management of fishing resources in the region. The fishermen and marketers interviewed considered that bass fishing has the potential for trade, sport fishing and farming, although this last activity is not yet developed in the region. Thus, this research provides subsidies so that the government can plan actions aimed at balancing the increase in the productivity of sea bass with strategies for conservation of the species.

Referências

- Agência FAPESP (2013). *Povos tradicionais têm papel crucial na conservação da biodiversidade*. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/povos-tradicionais-tem-papel-crucial-na-conservacao-da-biodiversidade/17584/> Acesso em: 06/07/2022.
- Ager LA, Hammond DE, Ware, F. (1976). Artificial spawning of snook, *Centropomus undecimalis*. In: Annual Conference Of The Southeastern Association Of Fish And Wild Life Commissioners, 10, Hamburg. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 158-166.
- Almeida AWB de. *Terra de quilombo, terras indígenas, “babaçuais livre”, “castanhais do povo”, faxinais e fundos de pasto: terras tradicionalmente ocupadas*. 2. ed. Manaus: PPGSCA–UFAM, 2008.
- Almeida ZS, Ferreira DSC.; Nahum, VJI. Classificação e evolução das embarcações maranhenses. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, v. 19, p. 31-40, 2006. Disponível em: <http://www.periodicoeletronicos.ufma.br/index.php/blabohidro/article/view/2102>. Acesso em: 03 nov. 2020.
- Almeida ZS. *Os recursos pesqueiros marinhos e estuarinos do Maranhão: biologia, tecnologia, socioeconomia, estado da arte e manejo*. 2009. 286 f. Tese (Doutorado em Zoologia), Universidade Federal do Pará e Museu Emilio Goeldi, Belém.
- Almeida ZS, Isaac Nahum, VJ, Santos, NB, Paz AC. (2010). *Diagnóstico dos sistemas de produção pesqueiro artesanais do litoral do Maranhão*. São Luís: Ed. UEMA, 126 p.

Alvarez-Lajonchère L, Taylor RG. 2003. Economies of scale for juvenile production of common snook (*Centropomus undecimalis* Bloch). *Aquaculture Economics and Management*, 7:273-292.

Barbieri G. Dinâmica da reprodução de cascudo, Rineloricaria Latirostris Boulenger (Siluriformes, Locariidae) do Rio Passa Cinco, Ipeúna, São Paulo. *Rev. Bras. Zool.*, São Paulo, v. 11, n. 4, 2010.

Barros MC, Fraga EC, Birindelli JLO. Fishes from Itapecuru river basin, state of Maranhão, northeast Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v. 71, n. 2, p. 375-380, 2011.

Barrella W, Cachola N, Ramires M, Rotundo MM. (2016). Aspectos biológicos e socioeconômicos da pesca esportiva no “deck do pescador” de Santos (SP, Brasil). *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.*, 20(1). eISSN 1983-9057. DOI: 10.14210/bjast.v20n1.

BRASIL. Decreto nº 6.040, de 7 de fevereiro de 2007. Presidência da República. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil>. Acesso em: 13 set. 2022.

BRASIL (2015). Lei nº 13.123 de 20 de maio de 2015. Dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, sobre a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e sobre a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/13123.htm. Acesso em: 05 jul. 2022.

Brito PS.; Guimarães, EC, Ferreira BRA, Ottoni FP, Piorski, NM. Freshwater fishes of the Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses and adjacent areas. *Biota Neotropica*, v. 19, n. 3, p. 1-12, 2019.

Coleman JS. Relational Analysis: The Study of Social Organizations with Survey Methods. *Human Organization*, v.17, n. 1, p. 28-36, 1958.

Cordeiro CAM. (Org.). *Ciência e Tecnologia do pescado: uma análise pluralista*. [Recurso eletrônico] Capítulo 3, Guarujá, SP. Editora Científica Digital, 2020. DOI: 10.37885/978-65-87196-57-2

Costa-Neto EM, Dias CV, Melo MNO. Conhecimento ictiológico tradicional dos pescadores da cidade de Barra, região do médio São Francisco, Estado da Bahia, Brasil. *Acta Scientiarum*, v. 24, n. 2, p. 561-572, 2002.

Da Silveira Menezes AA, Lin CF, Silva C, Dos Santos RA. (2012). Aspectos socioeconômicos relacionados à pesca amadora de robalo (*Centropomus undecimalis* e *C. parallelus*) na Baía da Babitonga, Santa Catarina, Brasil. *Revista CEPSUL-Biodiversidade e Conservação Marinha*, 3(1), 22-44.

Diniz, ALC, Carvalho IFS, Silva APC, Almeida DS, Ferreira LJS, Cantanhêde, LG. Parâmetros da reprodução de *Mugil curema* (Mugilidae, Teleostei) capturado em uma área da costa amazônica maranhense. *Brasil. Brazilian Journal of Development*, v. 6, n.3, p. 11277-11289, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-119>.

El-Robrini M. et al. Atlas de erosão e progradação da zona costeira do Estado do Maranhão - Região Amazônica: área oceânica e estuarina. In: MUEHE, D. (Org.). *Atlas de erosão e progradação da zona costeira brasileira*. MMA ed.São Paulo, 2006. p. 1-44.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). *The State of World Fisheries and Aquaculture, 2021*. Sustainability in action. Rome: FAO, 2021. 244 p.

Gama LRM. et al. Microfitoplâncton das baías do golfo maranhense e litoral oriental do Estado do Maranhão. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, v. 24, p. 13-26, 2011.

Garrone-Neto, D. et al. Using the same fish with different rules: A science-based approach for improving management of recreational fisheries in a biodiversity hotspot of the Western South Atlantic. *Fisheries Management and Ecology*, v. 25, n. 4, p. 253-260, 2018. Available at: <http://hdl.handle.net/11449/176603>.

Geertz, Clifford. “Do ponto de vista dos nativos”: a natureza do entendimento antropológico. In: *O saber local*. Novos ensaios de antropologia interpretativa. Petrópolis: Vozes, 1998.

Goodman LA. Snowball Sampling. *Annals of Mathematical Statistics*, v. 32, p. 148-170, 1961.

IMESC (2020) Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. *Unidades de Conservação Estaduais*. São Luís: IMESC, 70p.

Liebl F, Amaral-Junior H, Garcia S, Souto LIM, Carvalho CVA, Cerqueira VR. (2016). Desempenho de juvenis de robalo-flecha e robalo-peva submetidos a diferentes densidades de estocagem em água doce. *Boletim do Instituto de Pesca*, 42(1): 145-155.

Lopes KS. *Plano de Uso para Pesca Esportiva da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Uatumã - PUPE / RDSU*. Amazonas, 2009.

Marinho RSS, Souza JERT, Silva AS, Ribeiro LL. Biodiversidade de peixes do semiárido paraibano. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, Suplemento Especial, número 1, 2006.

Matavelli R, Campos AM, Vale J, Piorski NM, Pompeu PS. Ichthyofauna sampled with tadpoles in northeastern Maranhão state, Brazil. *Check List*, v.1, n. 1, p. 1-6, 2015.

Mendonça MCFB. (2004). *Autoecologia do camorim, Centropomus undecimalis (Bloch, 1792), (Perciformes: Centropomidae) em ambiente hipersalino em Galinhos, RN, Brasil*. [Tese de Doutorado]. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar), 145p. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/1883>.

Molitzas R, Souza UP, Rotundo MM, Sanches RA, Barrella W, Ramires M. Avaliação temporal dos sistemas pesqueiros na Reserva de Desenvolvimento Sustentável de Barra do Una (Peruíbe/SP). *Revista GeoInterações*, 3(1), 3-25, 2019.

Monroe TGR, Nascimento IRMA, Coelho KKF, Abreu JM, Tchaicka L. (2022). As áreas protegidas na bacia do Tocantins-Araguaia são efetivas para a conservação do peixe Acarí (*Baryancistrus niveatus*, Castelnau, 1855)? In: MACHADO GS.; SILVA RA.; FILHO OG. *Padrões e processos biogeográficos na Amazônia*, São Luís: EDUFMA, 226p. ISBN: 978-65-5363-077-2

Motta FS, Mendonça JT, Moro PS. (2016). Collaborative assessment of recreational fishing in a subtropical estuarine system: a case study with fishing guides from south-eastern Brazil. *Fisheries Management and Ecology* 23, 291–302. DOI: <https://doi.org/10.1111/fme.12172>.

Nascimento, IRMA, Santos J, Souza J, Carvalho Neta, RNF, Almeida ZS. Bioecologia Alimentar e Reprodutiva como subsídio ao cultivo do peixe *Centropomus undecimalis* (Teleostei: Centropomidae) no Brasil: Uma Revisão Sistemática. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, [S.l.], v. 10, n. 16, pág. e592101623893, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i16.23893>.

Nascimento IRMA, Diniz ALC, Cruz, YLKF, Azevedo AS, Azevedo RSOP, Pinheiro-Sousa DB, Almeida ZS, Carvalho Neta RNF. Quantitative indicators of the reproductive biology of adult specimens of *Centropomus undecimalis* (Teleostei: Centropomidae) obtained from commercial fishermen in the Parnaíba Delta Environmental Protection Area, north coast of Brazil. *Bol. Inst. Pesca.* 2022 48: e726. DOI: <https://doi.org/10.20950/1678-2305/bip.2022.48.e726>.

Pereira MEGS. de S, Santos FJDAS, Holanda FC, Miranda J, Lutzia De F.; Barboza RSL, Evangelista-Gomes G. 2020. The fishing of the Common Snook *Centropomus undecimalis* (Centropomidae - Perciformes) in the Brazilian Amazon coast: contribution of the fishing actors to fisheries management. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 9, n. 10, p. e6189108945. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8945>.

Pereira MEGS, Cañete, VR, Palheta MKS, Santos FJS, Silva BB, Barbosa RSL, Evangelista-Gomes, G. (2020) Contribuição dos atores da pesca para a bioecologia do Camurim *Centropomus undecimalis* (Centropomidae – Perciformes) capturado no litoral Amazônico brasileiro. *Research, Society and Development*, 9(10), e4119108691, 2020. ISSN 2525-3409 DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8691>.

Pereira MEGS, Silva BB, Rocha RM, Asp-Neto NE, Silva CS, Nunes ZMP. (2015). Bioecologia do robalo-flexa, *Centropomus undecimalis*, em lagoa costeira tropical no norte do BRASIL. *Boletim do Instituto de Pesca*, 41(3): 457 – 469.

Pereira TDJF, De Castro ACL, Ferreira HRS, Soares LS, Silva MHL, De Jesus Azevedo JW, Dos Santos Moreira M. Extrativismo de mariscos na Ilha do Maranhão (MA): implicações ecológicas e socioeconômicas. *Revista de Políticas Públicas*, v. 21, n. 2, p. 831-854, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18764/2178-2865.v21n2p831-653>. Acesso em: 24 out. 2021.

Peterson MS, Gilmore, RGJr. Eco-physiology of juvenile snook *Centropomus undecimalis* (Bloc): life-history implications. *Bulletin of Marine Science*, v. 48, n.1, p. 46–57, 1991.

Projeto Nova Cartografia Social da Amazonia. Serie: Movimentos Sociais e Conflitos nas Cidades da Amazônia. Fascículo 3. *Afro-religiosos na cidade de Belém*, 2005.

Rodrigues CAL, Cervelho IFS, Costa JF, Nunes KB, Queirós LRN, Almeida ZS. (2021). Ethnecognition of artisanal fishermen in Santo Amaro - Maranhão: aspects related to fishing and biology of commercially valuable ichthyofauna in the region. *Revista Arquivos Científicos (IMMES)*, Macapá, AP, v. 4, n. 1, p. 97-106 - ISSN 2595-4407.

Santos, SBAF, Silva AC, Viana MSR. (2003) Aspectos reprodutivos da pescada-dopiauí, *Plagioscion squamosissimus* (HECKEL, 1840), capturada no Açude Pereira Miranda (Pentecoste – Ceará). *Revista Ciência Agronômica*, v. 34, n. 1, p. 5–10.

Silva APC, Diniz ALC, Sousa DB, Carvalho IFS, Nascimento IRMA, Nunes KB, Cantanhêde LG, Espínola NBS, Carvalho-Neta, R.N.F, Almeida ZS. (2021). *Biologia reprodutiva de recursos pesqueiros como instrumento de gestão compartilhada em áreas protegidas no estado do Maranhão*. [recurso eletrônico] São Luís: EDUEMA, 2021. ISBN: 978-65-89821-51-9.

Silva JTS, Braga, TMP. Caracterização da pesca na comunidade de Surucuá (Resex Tapajós Arapiuns). *Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota)*, v. 6, n.3, p.55-62, 2016.

Tsakanika A, Clauzet, M, May, PH. Envolvendo os pescadores artesanais no desenvolvimento sustentável urbano e periurbano no Brasil. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, p. 1-20, 2018. Disponível em: <https://www.raco.cat/index.php/Revibec/article/view/338258>. Acesso em: 22 out. 2019.

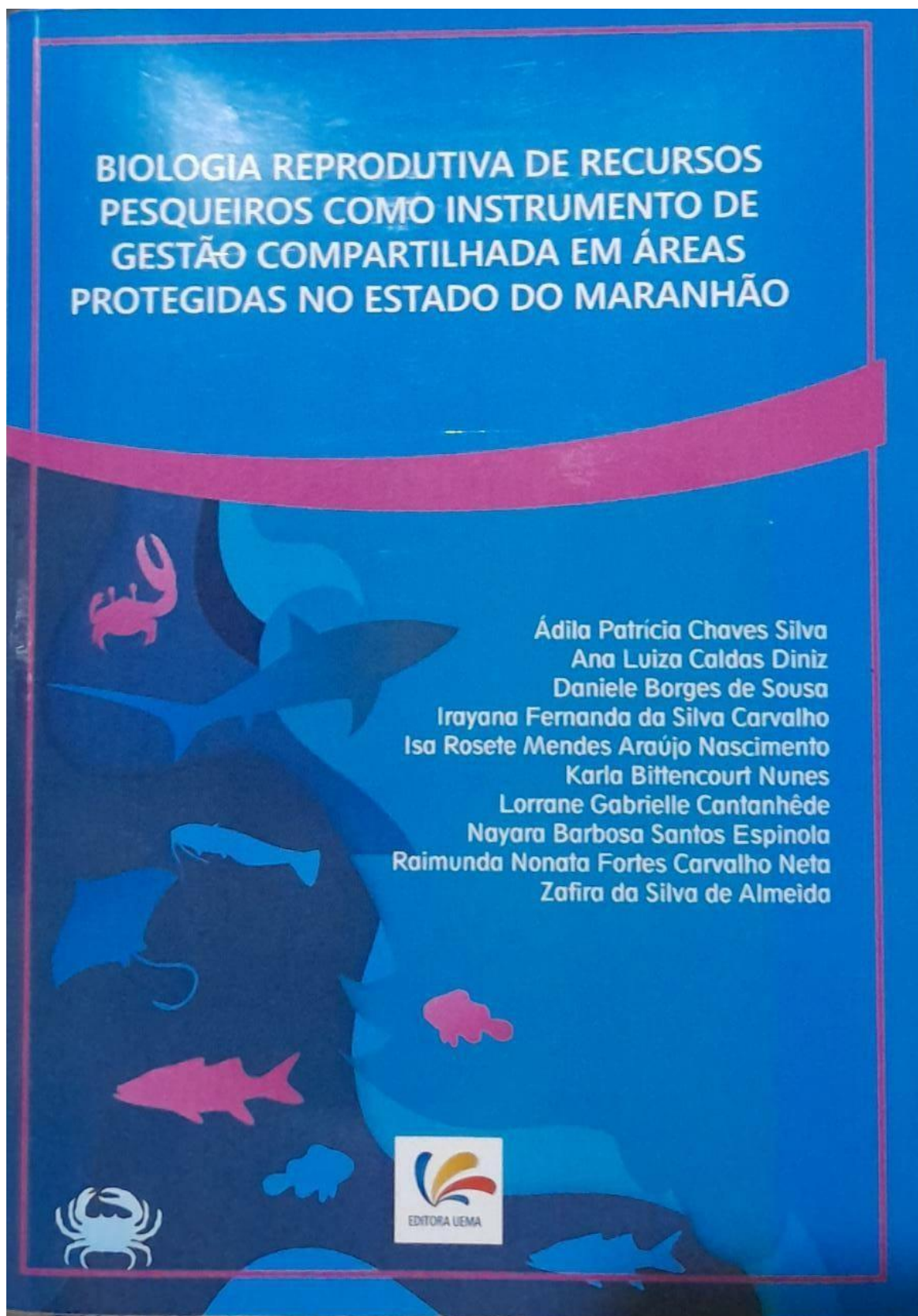
Vazzoler AEAM. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. 1. ed. Maringá: EDUEM/ São Paulo: SBI, 1996. 169 p.

ANEXOS

Livros e Resumos expandidos publicados

**Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa Científica da Universidade Estadual do
Maranhão – UEMA**

ANEXO A – CAPA E CONTRACAPA DO LIVRO PUBLICADO PELA UEMA





UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO



Programa de Pós-Graduação - Mestrado
Em Ecologia Aquática e Pesca



PPGCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS



Curso de Ciências Biológicas



NÚCLEO DE TECNOLOGIAS
PARA EDUCAÇÃO



FUNDACÃO DE APOIO
AO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento
Científico e Tecnológico do Maranhão



ANEXO B – IMAGEM DA FICHA CATALOGRÁFICA DE CAPÍTULO PUBLICADO

© copyright 2021 by UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
Qualquer parte desta publicação pode ser reproduzida, desde que citada a fonte.
Todos os direitos desta edição reservados à EDITORA UEMA.

BIOLOGIA REPRODUTIVA DE RECURSOS PESQUEIROS COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO COMPARTILHADA EM ÁREAS PROTEGIDAS NO ESTADO DO MARANHÃO

EDITOR RESPONSÁVEL

Jeanne Ferreira Sousa da Silva

CONSELHO EDITORIAL

Alan Kardec Gomes Pachêco Filho • Ana Lucia Abreu Silva
Ana Lúcia Cunha Duarte • Cynthia Carvalho Martins
Eduardo Aurélio Barros Aguiar • Emanuel Cesar Pires de Assis
Emanuel Gomes de Moura • Fabíola Oliveira Aguiar
Helciane de Fátima Abreu Araújo • Helidacy Maria Muniz Corrêa
Jackson Ronie Sá da Silva • José Roberto Pereira de Sousa
José Sampaio de Mattos Jr • Luiz Carlos Araújo dos Santos
Marcelo Cheche Galves • Marcos Aurélio Saquet
Maria Medianeira de Souza • Maria Claudene Barros
Rosa Elizabeth Acevedo Marin • Wilma Peres Costa

Diagramação: Paul Philippe

Capa: Yuri Jorge Almeida da Silva

Biologia reprodutiva de recursos pesqueiros como instrumento de gestão compartilhada em áreas protegidas no estado do Maranhão [recurso eletrônico] / Ádila Patrícia Chaves Silva ... [et al.]. – São Luís: EDUEMA, 2021.

114 p.:il. color.

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-89821-51-9 (impresso)

1.Biologia reprodutiva. 2.Recursos pesqueiros. 3.Maranhão - Biodiversidade - Peixes. I.Silva, Ádila Patrícia Chaves. II.Diniz, Ana Luiza Caldas. III.Sousa, Daniele Borges de. IV.Carvalho, Irayana Fernanda da Silva. V.Nascimento, Isa Rosete Mendes Araújo. VI.Nunes, Karla Bittencourt. VII.Cantanhêde, Lorrane Gabrielle. VIII.Espínola, Nayara Barbosa Santos. IX.Carvalho Neta, Raimunda Nonata Fortes. X.Almeida, Zafira da Silva de. XI.Título.

CDU:

639.3.03(812.1)

EDITORA UEMA

Cidade Universitária Paulo VI - CP 09 Tirirical -

CEP - 65055-970 São Luís - MA

www.editorauema.uema.br – editora@uema.br



ANEXO C – RESUMO EXPANDIDO PUBLICADO NO CONGRESSO BRASILEIRO DE BIODIVERSIDADE E BIOTECNOLOGIA DA AMAZÔNIA – CBBBA 2022

1

CARACTERIZAÇÃO DA PESCA ARTESANAL DE *Centropomus spp.* NA COSTA AMAZÔNICA BRASILEIRA

Isa Rosete Mendes Araujo Nascimento¹; Keyton Kylson Fonseca Coelho²; Jorge Luiz Silva Nunes³; Raimunda Nonata Fortes Carvalho Neta⁴

¹ Programa de Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia – Rede Bionorte. E-mail: isarosete@gmail.com

² Programa de Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia – Rede Bionorte. E-mail: keytonfc@yahoo.com.br

³ Universidade Federal do Maranhão. E-mail: silvanunes@yahoo.com

⁴ Universidade Estadual do Maranhão. E-mail: raifortes@gmail.com

Palavras chave: Camurim, Monitoramento, Pesca comercial, Teleósteo.

INTRODUÇÃO

A pesca artesanal apresenta importância social e econômica para muitas famílias, principalmente para as comunidades tradicionais que vivem na região amazônica, os peixes são fonte de proteína e movimentam a economia de local [1].

A pesca artesanal pode ser impactante quando explora os recursos pesqueiros acima da reposição de indivíduos na população [2]. Além disso, existe a ausência de dados sobre a estatística pesqueira há mais de uma década, a falta de fiscalização das atividades de pesca e desembarque, a ampliação de programas de observador de bordo e outras atividades que possam promover monitoramento dos estoques e as boas práticas de pesca [2] e (NUNES, J.L.S com. Pessoal). Os estoques populacionais de peixes capturados no Litoral Amazônico Brasileiro são negligenciados, bem como o uso do ambiente costeiro o que certamente compromete a sustentabilidade da pesca [3,4,5] que podem ser notados por meio da existência de Planos de Gerenciamento gerado recentemente apenas no estado do Pará.

Considerando que o camurim *Centropomus spp* é uma espécie de peixe de alto valor comercial objetivamos compreender a sua cadeia produtiva.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição da Área

O litoral do Estado do Maranhão possui 640 km de extensão, nessa área foram amostrados os municípios de Raposa, Tutóia e São Luís situados na Costa Oriental e os municípios de Carutapera, Apicum Açu e Cururupu situados na Costa Ocidental Maranhão.

Coleta de dados

Esta pesquisa possui natureza qualitativa, transversal e descritiva e originou-se a partir de entrevistas semiestruturadas com pescadores e comerciantes experientes e envolvidos diretamente na atividade de pesca e venda do robalo. Para realização das entrevistas foi aplicado um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) evidenciando as condições de

participação dos sujeitos na pesquisa sobre o camurim *Centropomus spp.* O método adotado para a seleção dos pescadores e comerciantes foi o “bola de neve” (*Snowball Sampling*), no qual um entrevistado indica outros possíveis participantes aos pesquisadores [6]. Os dados obtidos foram planilhados e organizados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um total de 120 pessoas com idade variando de 20 a 83 anos foram entrevistadas, 90% foram oriundos de municípios maranhenses. Baseado no conhecimento ecológico local, as informações sobre a pesca artesanal do camurim na costa amazônica brasileira foram descritas na tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização da pesca do Robalo/Camurim em seis municípios pesquisados no Litoral Maranhense.

CARACTERES	LITORAL ORIENTAL			LITORAL OCIDENTAL		
	Raposa	Tutóia	São Luís	Carutapera	Apicum Açú	Cururupu
Tipo de Pesca	Artesanal	Artesanal e Esportiva	Artesanal	Artesanal	Artesanal	Artesanal
Petrechos de Pesca	Redes de Emalhe	Redes de Emalhe ou Anzol com isca artificial	Redes de Emalhe	Redes de Emalhe	Redes de Emalhe	Redes de Emalhe
Embarcações usadas	Barco a motor	Barco a motor ou lanchas.	Barco a motor	Barco a motor	Barco a motor	Barco a motor
Melhor período para Captura	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso	Chuvoso
Parceiros Comerciais	São Paulo e São Luís	São Paulo, Brasília	São Paulo	São Luís	São Luís e Pará	São Luís, Pará, Bahia, Ceará.
Preço do Kg para comercialização	R\$ 30,00	R\$ 22,00	R\$ 37,00	R\$ 24,00	R\$ 18,00	R\$ 20,00

O camurim é capturado pela pescaria artesanal por meio de redes de nylon 90 com malha de 130 ou 140 mm (Tabela 1), além disso, pesca recreativa com a aplicação de anzol e iscas artificiais também foi observada apenas em Tutóia. O camurim também constitui em uma espécie da pesca artesanal do litoral sudeste do Brasil, as redes de emalhar se mostram eficientes na captura de indivíduos na fase adulta [7].

Quanto aos tipos de embarcações, o barco a motor foi citado em todos os municípios para a captura do camurim, somente no município de Tutóia foi mencionado o uso de lanchas para captura do robalo, porém na modalidade de pesca esportiva. Os entrevistados relataram que as capturas do camurim ocorrem durante o ano inteiro, mais frequentes no período chuvoso. Alguns estudos mencionam o período reprodutivo com desova fracionada com picos reprodutivos ao longo do ano [8, 9, 10, 11].

A falta de informações importantes sobre a pesca no estado Maranhão poderá comprometer o futuro dos estoques naturais no Litoral Amazônico Brasileiro, visto que nem o Plano de Gerenciamento Costeiro está definido. Outros problemas, são a falta de monitoramento da pesca quanto ao desembarque e programas que ajudam a compor um banco

de dados e estatísticas pesqueiras para garantir acompanhamento e informações históricas ao menos das espécies com maior importância econômica. Apesar de muitas vezes a pesca artesanal ser defendida como pouco impactante, locais onde só existem essa modalidade de pescaria mostra que a realidade é muito diferente do que é propagada [12]. Este efeito é conhecido em outros locais e destacam que a pesca artesanal nas águas já provocou a vulnerabilidade das garoupas e camurins, resultando na necessidade do manejo para estas espécies [13].

Nesse sentido, os desembarques da pesca artesanal registrados nos estados do Pará, Maranhão e Santa Catarina, apresentam estimativas de desembarque semelhantes aos números da pesca industrial, ambos produzindo cerca de 111 toneladas de pescado no período de 2010 a 2015 [2].

Os camurins do Litoral Amazônico Brasileiro são comercializados com valores que variam entre R\$ 18,00 a 37,00 reais o quilo, o estado de São Paulo é o principal destino, seguido por São Luís, Ceará, Piauí, Pará e Bahia. Assim, a cadeia produtiva do camurim no litoral do Maranhão, é caracterizada pela pesca artesanal e uso de embarcações motorizadas dos tipos botes, bianas, lagosteiros ou pargueiros [14], apresentando o comércio local e regional com seus atores específicos e com logística para o armazenamento e transporte.

Apesar do valor econômico elevado e de fragilidade nos elos da cadeia produtiva não foi possível verificar casos de falsificação de rotulagem, ou venda de outras espécies de peixes como camurim no Maranhão, como foram registrados em alguns lugares [15].

CONCLUSÃO

O camurim constitui um importante recurso pesqueiro do litoral do Maranhão, pois corresponde a importante fonte de renda e subsistência para pescadores e comerciante locais. No entanto, necessitam de informações básicas sobre o desembarque, tipos de arte de pesca, tamanho, peso e demais características que compõem as informações importantes para o monitoramento regional e obtenção de dados estatísticos históricos.

REFERÊNCIAS

- [1] MONROE, T.G.R.; NASCIMENTO, I.R.M.A.; COELHO, K.K.F.; ABREU, J.M.; TCHAICKA, L. (2022). As áreas protegidas na bacia do Tocantins-Araguaia são efetivas para a conservação do peixe Acará (*Bryancistrus niveatus*, Castelnau, 1855)? In: MACHADO, G.S.; SILVA, R.A.; FILHO, O.G. **Padrões e processos biogeográficos na Amazônia**, São Luís: EDUFMA, 226p. ISBN: 978-65-5363-077-2
- [2] FREIRE, K.M. F. *et al.* (2021). Reconstruction of Marine Commercial Landings for the Brazilian Industrial and artisanal Fisheries from 1950 to 2015. **Frontiers in Marine Science**. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.659110>
- [3] BLABER, S. J. M., & BARLETTA, M. (2016). A review of estuarine fish research in South America: What has been achieved and what is the future for sustainability and conservation? **Journal of Fish Biology**, 89, 537–568. <https://doi.org/10.1111/jfb.12875>

- [4] LIMA, L. T.B.; CARVALHO, M.M.; OLIVEIRA, M.R; NUNES, J.L.S. (2020). Length-weight relationships of five fish species from Brazilian Amazon coast hotspot estuaries. Technical contribution. **Journal of applied Ichthyology**. <https://doi.org/10.1111/jai.14097>
- [5] OLIVEIRA, M. S. B., SILVA, L. M. A., PRESTES, L.; TAVARES-DIAS, M. (2020). Length-weight relationship and condition factor for twelve fish species from the Igarapé Fortaleza basin, a small tributary of the Amazonas River estuary. **Acta Amazonica**, 50(1), 8–11. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201900702>
- [6] COLEMAN, J. S. Relational Analysis: The Study of Social Organizations with Survey Methods. **Human Organization**, v.17, n. 1, p. 28-36, 1958.
- [7] CONTENTE, R. F., AND C. L. D. B. ROSSI-WONGTSCHOWSKI. 2019. Complementarity among otter trawl, cast net, and encircling gill net improves the characterization of a subtropical subtidal fish assemblage. **Journal of Applied Ichthyology** 35:1189–1196.
- [8] ANDRADE, H.; SANTOS, J.; TAYLOR, R. (2013) Life-history traits of the common snook *Centropomus undecimalis* in a Caribbean estuary and large-scale biogeographic patterns relevant to management. **Journal of Fish Biology**, 82(6): 1951-1974.
- [9] GASSMAN J.; ROJAS H. L.; PADRÓN D. (2017). Reproducción de los robalos *Centropomus undecimalis* y *C. ensiferus* (Perciformes: Centropomidae) en una laguna costera tropical. **Revista de Biología Tropical**. 65(1):181–194.
- [10] SILVA, L. M. C.; MACHADO, I. C.; TUTUI, L. S.; TOMÁS A. R. G. (2019) Calendário Etnobiológico do robalo, segundo os pescadores especialistas das áreas estuarinas da Baixada Santista (SP). **Investigação qualitativa em ciências sociais**. Atas CIAIQ.
- [11] NASCIMENTO, I.R.M.A.; SANTOS, J.P.; SOUZA, J.P; CARVALHO NETA, R.N.F.; ALMEIDA, Z. da S. de. Bioecologia Alimentar e Reprodutiva como subsídio ao cultivo do peixe *Centropomus undecimalis* (Teleostei: Centropomidae) no Brasil: Uma Revisão Sistemática. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 16, e592101623893, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i16.23893>.
- [12] MARTINS, T. O.; VENDEL, A. L. Fishes collected with an artisanal fish trap in Barra de Camaratuba estuary, northeastern Brazil. **Check List** 10(6): 1260–1263, 2014. <https://doi.org/10.15560/10.6.1260>
- [13] BEGOSSI, A. Artisanal fisheries in the SE Brazilian coast: using fisher information towards local management, Campinas, SP. 13081-970, Brazil. In: **Sustainable Tourism**, F. D. Pineda, C. A. Brebbia & M. Mugica (Editors), 2004, ISBN 1-85312-724-8.
- [14] ALMEIDA, Z.S.; FERREIRA, D.S.C.; ISAAC, V.J. (2006) Classificação e evolução das embarcações maranhenses. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia** 19: 31-40. <https://doi.org/10.18764/>
- [15] LEA-CHARRIS, E.; CASTRO, L.R.; VILLAMIZAR, N. DNA barcoding reveals fraud in commercial common snook (*Centropomus undecimalis*) products in Santa Marta, Colombia. **Heliyon**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07095>

ANEXO D – PARCERIA NA PRODUÇÃO DE ARTIGO EM BIOINFORMÁTICA USANDO OÓCITOS DO ROBALO *Centropomus undecimalis* PARA ELABORAÇÃO DE UM BANCO DIGITAL COM IMAGENS HISTOLÓGICAS.

OocyHistDB: Um conjunto de dados de imagens histológicas para detecção de ovócitos

OocyHistDB: A histologic image dataset for detection oocytes

Yanna Leidy Ketley
Fernandes Cruz
Universidade Estadual do
Maranhão - UEMA
Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de
Computação e Sistemas
São Luís (MA), Brasil
nanakettlyn@gmail.com

Ewaldo Eder Carvalho
Santana
Universidade Estadual do
Maranhão - UEMA
Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de
Computação e Sistemas
São Luís (MA), Brasil
ewaldoeder@gmail.com

Antonio Phillipi Maciel
Silva
Universidade Estadual do
Piauí - UESPI
Professor Assistente do Curso
de Ciência da Computação
Floriano (PI), Brasil
fhillipi.ti@frn.uespi.br

Isa Rosete Mendes
Araujo Nascimento
Universidade Estadual do
Maranhão - UEMA
Programa de Pós-Graduação
em Biodiversidade e
Biotecnologia da Rede
Bionorte
São Luís (MA), Brasil
isarosete@gmail.com

Raimunda Nonata Fortes
Carvalho Neta
Universidade Estadual do
Maranhão - UEMA
Programa de Pós-Graduação
em Biodiversidade e
Biotecnologia da Rede
Bionorte
São Luís (MA), Brasil
raifortes@gmail.com

ABSTRACT

Detecting oocytes is a relatively new area of research in the computational field. In this context, we present OocyHistDB, a dataset of histological, high-resolution images depicting the oocyte stages of the appropriately labeled and publicly available species *Centropomus undecimalis*. This dataset is intended to become a powerful resource for researchers by providing a common reference for comparison, testing and evaluation of existing and future learning techniques. In this paper, we describe how the OocyHistDB was collected, organized, and tested as a deep learning technique for detecting oocyte phases. The technique obtained promising results, achieving an accuracy rate of 83.0% for class VI - early vitellogenesis, and 97.7%, 95.3% and 66.8%, respectively of revocation, mAP@0.5 and mAP@0.95, for class VF - late vitellogenesis.

Keywords

Histological Image Base; Oocyte Detection; YOLO

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

CCS Concepts

•Information systems → Digital libraries and archives;
•Computing methodologies → Object detection; Neural networks; Computer vision;

RESUMO

Detectar ovócitos é uma área de pesquisa relativamente nova no campo computacional. Neste contexto, apresentamos o OocyHistDB, um conjunto de dados de imagens histológicas, de alta resolução, retratando as fases ovocitárias da espécie *Centropomus undecimalis*, devidamente rotulada e disponíveis publicamente. Este dataset destina-se a se tornar um recurso poderoso para pesquisadores, fornecendo uma referência comum para comparação, teste e avaliação de técnicas de aprendizagem existentes e futuras. Neste artigo, descrevemos como o OocyHistDB foi coletado, organizado e testado em uma técnica de aprendizagem profunda para detecção das fases ovocitárias. A técnica obteve resultados promissores, alcançando uma taxa de precisão de 83,0% para a classe VI - vitelogênese inicial, e 97,7%, 95,3% e 66,8%, respectivamente de revocação, mAP@0.5 e mAP@0.95, para a classe VF - vitelogênese final.

Palavras-chave

Base de Imagens Histológicas; Detecção de Ovócitos; YOLO

1. INTRODUÇÃO

Os peixes apresentam grande importância para subsistência e geração de renda, uma vez que contribuem para o consumo alimentar de uma expressiva parcela da população e são fonte de matéria-prima de diversos produtos. Por sua vez, garantir níveis adequados de estoques pesqueiros é fundamental para a preservação das espécies. Desse modo, estudos que abordam a determinação do desenvolvimento e da maturação sexual dos peixes são fundamentais para a ciência da pesca e são pré-requisitos para a compreensão do ciclo de vida dos peixes [23].

No que se refere à espécie *Centropomus undecimalis* [9], a ampla captura realizada através da pesca artesanal, industrial e esportiva, desenvolvida no litoral amazônico, tem provocado preocupações, visto que grande parte das reservas de peixes marinhos, cerca de 70%, se encontram em áreas onde há intensa exploração [20].

Diante desse fato, faz-se necessário a caracterização do ciclo reprodutivo em fêmeas através das observações nas modificações morfológicas nas células germinativas, ou seja, nos ovócitos dessa espécie, por meio de imagens histológicas [17, 21].

No entanto, destaca-se a limitada disponibilidade de imagens histológicas que contenham ovócitos e que suas fases de desenvolvimento estejam rotuladas. Essa limitação, reduz os estudos sobre novas técnicas de detecção de ovócitos, tornando a principal barreira para o desenvolvimento científico da área.

Dessa forma, a fim de auxiliar o especialista na identificação das fases ovocitárias, este trabalho propõe um conjunto de dados de imagens histológicas de ovócitos de peixe da espécie *Centropomus undecimalis*, e sua validação através da aplicação da técnica *You Only Look Once* (YOLO) [19].

Este artigo está organizado da seguinte forma. A seção 2 apresenta os Trabalhos Relacionados. A seção 3 apresenta a Descrição da Base de Dados contendo as etapas realizadas para sua construção e características presentes nas imagens. A seção 4 apresenta os experimentos conduzidos para validar o uso da OocyHistDB através da arquitetura YOLOv5x. A Seção 5 conclui e aponta alguns trabalhos futuros.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Tanto em termos de contexto histórico quanto em tempos recentes, conjuntos de dados têm desempenhado um papel fundamental no progresso do estado da arte para tarefas como classificação de imagens [28, 24], detecção de objetos [30] e segmentação [29]. Nesta seção, damos uma breve revisão sobre os trabalhos relacionados para classificação e detecção de objetos incluindo clima, imagens aéreas, cenários e células humanas.

Na pesquisa de Wang et al. [28] é apresentado um conjunto de dados meteorológicos projetados para identificar condições adversas do clima. O conjunto de dados contém 5.000 imagens anotadas em 4 categorias: ensolarado, chuvoso, nublado e com neve. Os resultados experimentais mostram a eficácia do método proposto e a importância dos fatores climáticos em tempo real.

Em [6] é apresentado uma coleção de dados de imagem capturados de 80 lugares diferentes da Europa em um período de 3 anos (2011 a 2014). A base, nomeada RISE, possui 7 categorias com diferentes cenários e resoluções

(3.008×2.000 , 4288×2.848 e 4.928×3.264 pixels). Ao todo um conjunto de 8.156 imagens devidamente anotadas são disponibilizadas juntamente com seus metadados. Por fim, a base foi testada em uma técnica forense para detecção de compressão de imagens.

O conjunto de imagens de segmentação aérea proposto por Zamir et al. [29], denominado iSAID, é constituído 655.451 instâncias de objetos para 15 categorias em 2.806 imagens de alta resolução. Além disso, a abordagem compara o conjunto de dados usando duas abordagens populares para detecção de objetos a Mask R-CNN e o PANet. Em seus experimentos, a aplicação da Mask R-CNN e PANet em imagens aéreas forneceram resultados de segmentação de instância abaixo do ideal.

Xia et al. [30] criou um conjunto de dados de larga escala para detecção de objetos em imagens aéreas denominado DOTA. Para tanto, foram coletados 2.806 imagens aéreas de diferentes sensores e plataformas. Cada imagem tem um tamanho de 4000×4000 pixels e contém objetos que exibem uma ampla variedade de escalas, orientações e formas. Essas imagens são anotadas por especialistas de imagens aéreas usando 15 categorias de objetos, resultando em 188.282 instâncias.

Recentemente, conjunto de dados são utilizados para investigação de células humanas como, por exemplo, histopatologia gástrica [13], mamária [25] [3], rins [2] e pele [7]. Da mesma forma, outros conjunto de dados anotados em grande escala como Cityscape [4], MSCOCO [14], e ImageNet [10] para detecção de objetos e segmentação de imagens impulsionaram o desenvolvimento de novas aplicações do mundo real. Além disso, conjuntos de dados volumosos levam a comunidade científica a desenvolver algoritmos mais sofisticados e robustos, possibilitando assim atingir desempenho à nível humano [30].

3. DESCRIÇÃO DA BASE DE DADOS

Neste trabalho, propomos um conjunto de dados de imagens histológicas, projetado para a avaliação de algoritmos de detecção de células reprodutivas do peixe *C. undecimalis*. O conjunto de dados OocyHistDB visa ser um instrumento poderoso de compartilhamento de dados estruturados para pesquisadores da área, sejam eles acadêmicos, cientistas independentes ou da indústria da pesca.

Além disso, esperamos que a coleção de imagens proposta seja útil e constitua um recurso valioso para outros domínios, que lidam com análise de algoritmos existentes e processamento de imagens, por exemplo, segmentação, redução de ruído e detecção.

3.1 Área de Coleta dos Espécimes

A coleta dos peixes da espécie *C. undecimalis* foi realizada por meio de compra direta no Mercantil do Peixe, localizado na cidade de Tutóia ($2^{\circ}45'44''$ S; $42^{\circ}16'28''$ W), Maranhão. Todas as amostras foram adquiridas mensalmente durante o período de janeiro de 2019 a fevereiro de 2020. A Figura 1 ilustra a área exata de captura dos espécimes.

Os peixes foram armazenados em isopor com gelo, vedados com fita adesiva e encaminhados ao Laboratório de Pesca e Ecologia Aquática da Universidade Estadual do Maranhão, onde foram inicialmente identificados. Em seguida, os espécimes foram contados, medidos, pesados e processados



Figure 1: Mapa do Litoral Norte do Brasil. O ícone em vermelhos indica o município de Tutóia onde ocorre a captura e comercialização do robalo-flecha da espécie *C. undecimalis*.

para retirada de gônadas e outras vísceras. Algumas gônadas foram armazenadas em frascos com solução de Bouin por 24 horas e posteriormente transferidas para uma solução de álcool 70% para posterior análise histológica.

3.2 Comitê de Ética

A aquisição de espécimes de *C. undecimalis* foi autorizada pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO (n.º 34.683/2017) e todos os procedimentos metodológicos para manejo de peixes foram aprovados pelo Comitê de Ética da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA (n.º 4.476.902/2020).

3.3 Aquisição das Imagens

Nesta etapa, procedimentos histológicos foram realizados para seccionar os ovários. As seções foram coradas com Hematoxilina e Eosina (H&E), em seguida foram capturadas por um microscópio LEICA DM 500 com uma ampliação de x200. Uma câmera digital LEICA EC4 foi usada diretamente conectada ao microscópio. Além do Software de aquisição de imagens LEICA LAS EZ compatível com o equipamento e um monitor Sony para visualização.

Cada imagem adquirida é um arquivo no formato JPEG, com composição colorida RGB apresentando 16 bits por pixel e resolução de 640 x 640 pixels. Ao final desse processo, o conjunto de dados constituía-se de um total de 305 imagens. Destacamos que o tamanho do conjunto de

dados da OocyHistDB encontra-se em fase de ampliação e que dados de ovócitos de peixe ainda não são abordados na literatura, abrindo assim caminho para pesquisadores que usam técnicas computacionais possam contribuir nas áreas da biologia reprodutiva de peixes.

3.4 Anotação do Conjunto de Dados

O ovário de um peixe apresenta diferentes fases de desenvolvimento ovocitária. Segundo Mendonça [17] e Félix et al. [12], podem ser identificadas seis fases: cromatina-nuclear, perinuclear inicial, perinuclear final, cortical-alveolar, vitelogênese inicial, vitelogênese final e hialinizado. Entretanto, devido a fatores físicos, químicos, ambientais e precipitação pluviométrica influenciarem diretamente no ciclo reprodutivo da espécie [17], as proporções de ovócitos não foram completamente abundantes para contemplar todas as fases dos ovócitos. Sendo assim, neste trabalho são descritas apenas as fases que apresentam predominância nas amostras obtidas para a pesquisa.

O especialista realizou o processo de rotulagem nas imagens, através do software Roboflow [18]. Um dos atributos presentes nos rótulos são as fases de desenvolvimento ovocitária, sendo estas, a fase pré-vitelogênese (PV) constituídas por um sub-grupo de células nas fases cromatina-nuclear, perinuclear inicial, perinuclear final e cortical-alveolar, enquanto que vitelogênese inicial (VI) e vitelogênese final (VF) são constituídas somente por um grupo.

Na fase pré-vitelogênese apresenta ovócitos agrupados em "ninho", sendo inicialmente arredondados e, posteriormente, devido à pressão de uns contra os outros, aparecem triangulares, retangulares ou ovais [8]. Na fase vitelogênese inicial ocorre o acúmulo de substâncias de reserva para posterior utilização na alimentação do embrião, aparece rodeada por uma camada de células foliculares [8]. Na fase vitelogênese final o ovócito aumenta rapidamente de tamanho, em função do aumento acelerado do número de grânulos de vitelo, apresenta estrias de disposição radial, visíveis sob grandes aumentos [8]. Na Figura 2 são mostrados alguns exemplos de imagens rotuladas pelo especialista.

Na Figura 2 os objetos contornados em cor verde correspondem aos ovócitos na fase PV, em cor lilas correspondem aos ovócitos na fase VI e em cor vermelha correspondem aos ovócitos na fase VF.

3.5 Organização da Base de Dados

OocyHistDB está disponível para fins científicos na seguinte URL¹. Utilizamos o software Roboflow para permitir que todos os pesquisadores interessados baixem facilmente o conjunto de dados via acesso à URL. Além disso, exemplos de imagens, quantitativo de ovócitos rotulados e divisão da base são disponíveis para consulta. Ao realizar o download do conjunto de dados, dois elementos são disponibilizados, o primeiro contém as imagens histológicas, enquanto o segundo é composto por arquivos em formato específico (TXT, CSV, XML ou JSON), constituídos por coordenadas, que definem a localização do ovócito, e a classe à qual ele pertence [11].

Na estrutura interna do arquivo é apresentado um objeto por linha, em cada linha são fornecidas informações como número da classe, centro em x, centro em y, largura e altura do objeto. As classes foram indexadas por uma numeração, na qual é iniciada pelo índice 0 (zero), como exemplo: a classe 0 (pré-vitelogênese), classe 1 (vitelogênese inicial) e classe 2 (vitelogênese final).

Opcionalmente, o usuário tem a possibilidade de optar por fazer o download do OocyHistDB conforme os formatos das anotações para as técnicas de visão computacional, como por exemplo, COCO JSON, Pascal VOC XML, TFRecord, YOLOv5 Pytorch e dentre outros. Depois de escolher o formato, o usuário pode baixar os dados como um arquivo .zip ou como uma link curl para download por linha de comando [18].

3.6 Data Augmentation

A base de imagens possui 305 amostras, sendo esta, considerada limitada para o treinamento de um modelo de aprendizagem profunda. Portanto, visando uma previsão robusta, empregou-se as seguintes técnicas de aumento de dados [5]:

- Flip: consiste em inverter a imagem em duas orientações (horizontal e vertical).
- Rotação em 90°: consiste em adicionar rotações de 90° graus na imagem. As rotações são aplicadas em três sentidos (horário, anti-horário e cabeça para baixo).

- Crop: consiste em recortes aleatórios na imagem original.
- Rotação aleatória: consiste em girar aleatoriamente a imagem original no sentido horário ou anti-horário em alguns graus, mudando a posição do objeto no quadro.

Após o uso destas técnicas um conjunto de 772 imagens foram geradas.

3.7 Divisão da base

A base de imagens foi subdividida aleatoriamente em três conjuntos: treino, validação e teste. O conjunto de treino contém 708 imagens (2.393 PV, 633 VI, 1.500 VF), o conjunto de validação contém 32 imagens (299 PV, 51 VI, 139 VF) e o conjunto de teste contém 34 imagens (374 PV, 98 VI, 193 VF). Dessa forma, um conjunto de 5.680 ovócitos foram rotulados por um especialista. Ao todo, a classe 0 (PV) possui 3.066 ovócitos, a classe 1 (VI) possui 782 ovócitos e a classe 2 (VF) possui 1.832 ovócitos. A Tabela 1 demonstra de forma detalhada a divisão da base.

4. EXPERIMENTOS

Nesta seção, testamos uma arquitetura de rede baseada em aprendizagem profunda em nosso conjunto de dados recém desenvolvido (algumas imagens de exemplo são mostradas na Figura 2).

4.1 Arquitetura YOLOv5x

YOLO (You Only Look Once), desenvolvido por Joseph Redmon em 2016, consiste em um dos primeiros métodos para detecção de objetos em um estágio. O algoritmo baseia-se na arquitetura das Redes Neurais Convolucionais, onde através desta é feita simultaneamente a predição das caixas delimitadoras e suas respectivas classes, permitindo uma única avaliação da imagem [5].

A arquitetura de detecção YOLOv5 foi utilizada com o objetivo de classificar e localizar os ovócitos em imagens, de acordo com suas respectivas fases. Conforme [32] a arquitetura YOLOv5 possui até o momento quatro diferentes modelos (YOLOv5s, YOLOv5m, YOLOv5l e YOLOv5x), sendo o menor o YOLOv5s, com 7,2 Milhões de parâmetros (140 camadas) e o maior YOLOv5x, com 86,7 milhões de parâmetros (284 camadas) [26]. Para esta pesquisa, utilizou-se o YOLOv5x por possuir uma performance maior em relação aos demais modelos, apresenta múltipla classificação com sobreposição de classes [22] e desempenho superior no que se refere a objetos de pequenas dimensões [16].

O YOLOv5x consiste em uma arquitetura de detecção composta por três funcionalidades, um Backbone composta por uma CSPDarknet, um Neck composta por uma PANet e Head composta por uma camada YOLO. Os dados são inseridos primeiro no CSPDarknet para extração de recursos e, em seguida, alimentados no PANet para fusão de recursos. Finalmente, a camada YOLO gera resultados de detecção (classe, pontuação, localização, tamanho) [31][5].

Para avaliação da arquitetura, usamos três métricas do YOLO padrão: precisão, revocação e mAP (média acima do limite IoU de 50%).

4.2 Detalhes da Implementação

No conjunto de dados da OocyHistDB são fornecidas

¹Link de acesso ao OocyHistDB:

<https://app.roboflow.com/ds/5sAweNqZD0?key=N0jSSXDyaW>

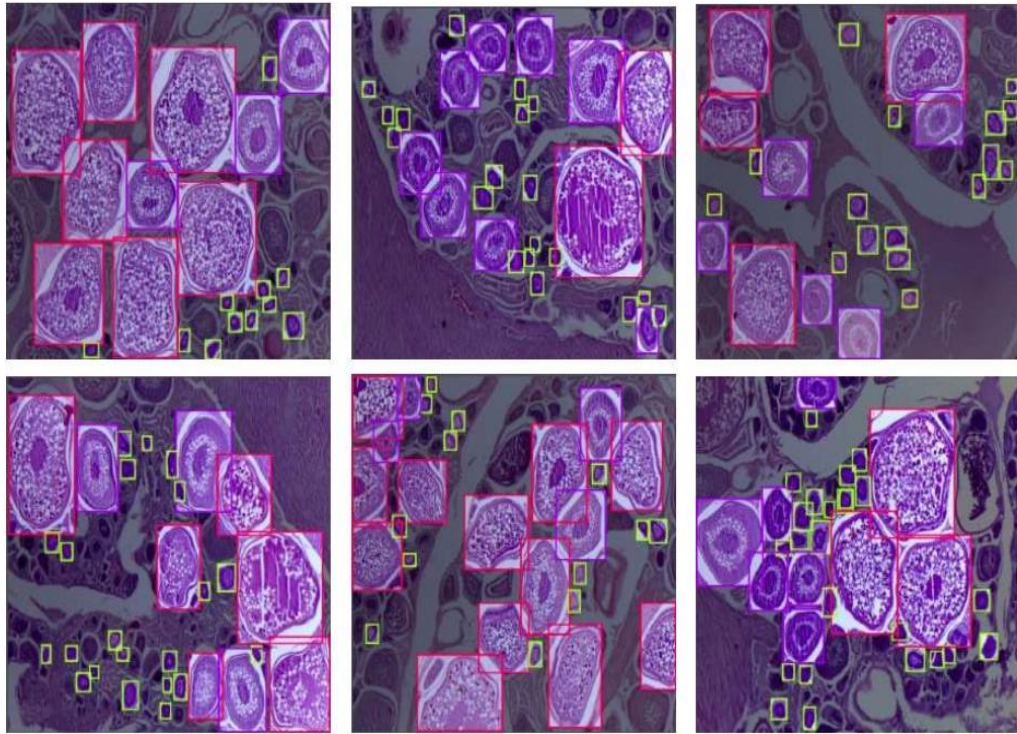


Figure 2: Exemplos de imagens presentes em OocyHistDB. As imagens foram cuidadosamente marcadas por especialistas usando 3 classes.

Table 1: Divisão da base de dados.

Dataset	Número de Imagens	Número de ovócitos por imagem			Total de ovócitos
		PV	VI	VF	
Treino	708	2.393	633	1.500	4.526
Validação	32	299	51	139	489
Teste	34	374	98	193	665
Total	772	3.066	782	1.832	5.680

imagens com dimensão de 640 x 640 como objeto de entrada para a rede. Além disso, para treinar o modelo YOLOv5x, usamos os mesmos hiper-parâmetros como nos artigos originais e documentação do YOLO [26, 27, 1] para 300 épocas, com um tamanho de lote igual a 16 imagens. Com o objetivo de incluir um ponto de partida para o treinamento da rede a arquitetura foi inicializada com pesos do YOLOv5x pré-treinado para a base MS COCO [15].

Nosso modelo foi implementado fazendo uso da plataforma Google Colaboratory na versão Pro com execução em uma GPU NVIDIA Tesla P100. Para conduzir os experimentos realizamos a instalação das bibliotecas keras, opencv, TensorFlow, matplotlib, numpy, opencv, pillow, PyYaml e scipy.

4.3 Resultados da Detecção

Após o treinamento, a quantidade dos pesos do modelo, tempo de treinamento, métrica mAP@.5 e tempo de inferência foram gerados. Em relação ao número de pesos o YOLOv5x gerou 86 milhares de parâmetros treináveis e não treináveis. Em termos de tempo de treinamento, o modelo resultou em 2 horas 37 minutos. A medida mAP@.5 permite medir a precisão de um detector de objetos. Assim, a precisão média para 50% de confiança (mAP@.5) na detecção dos ovócitos foi calculada em relação a todos as fases de desenvolvimento (PV, VI e VF). O valor obtido para mAP@.5 foi de 87%. Por fim, o tempo de inferência é calculado em relação ao tempo para realizar a detecção nas imagens de teste. Nesta pesquisa, obtivemos um tempo médio de 88,6 milissegundos.

Para verificar a eficácia da arquitetura proposta, o modelo YOLOv5x foi avaliado considerando as métricas

precisão, revocação e média AP (mAP) para cada fase de desenvolvimento ovocitária. O modelo foi treinado e testado usando o conjunto de dados OocyHistDB. Na Tabela 2 é apresentada o resultado do desempenho do modelo.

A classe VI alcançou a maior taxa de precisão, obtendo 83% de acerto na detecção dos ovócitos, seguida pelas classes PV e VF, que obtiveram, respectivamente, 82,7% e 81,7% de acerto na detecção. Já a classe VF alcançou o maior resultado para a métrica revocação, obtendo 97,7%, seguida pelas classes VI, PV, com os respectivos valores 84,7% e 65%.

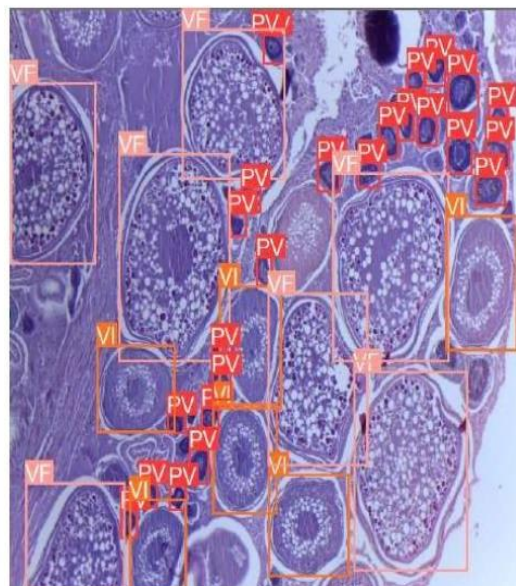
A arquitetura YOLO usa dois elementos importantes para detectar um objeto: localização (caixa delimitadora) e classificação. Assim, ao aplicar a métrica mAP, é fornecido um mecanismo para avaliar um objeto detectado a partir de um limite estabelecido. No caso da detecção de ovócitos, são considerados limiares entre 50% e 95% para avaliar a verdadeira localização e classificação dos objetos. Considerando a métrica mAP@.5, o modelo apresentou a maior taxa de detecção com 95,3% para a fase VF e 89,6% e 76,6% para as fases VI e PV, respectivamente. Ao aumentar o limiar para 95%, foi possível observar que houve uma diminuição nos resultados, porém, o modelo permaneceu com a maior taxa na fase VF atingindo 66,8% de detecção, enquanto que nas fases VI e VF alcançou 66,4% e 38,1%.

Uma área sob a curva precisão-revocação foi gerada com base na métrica mAP@.5. Nesta, o modelo YOLOv5x obteve respectivamente 0,760 para a classe PV, 0,953 para a classe VF, 0,896 para a classe VI e 0,870 para todas as classes [5].

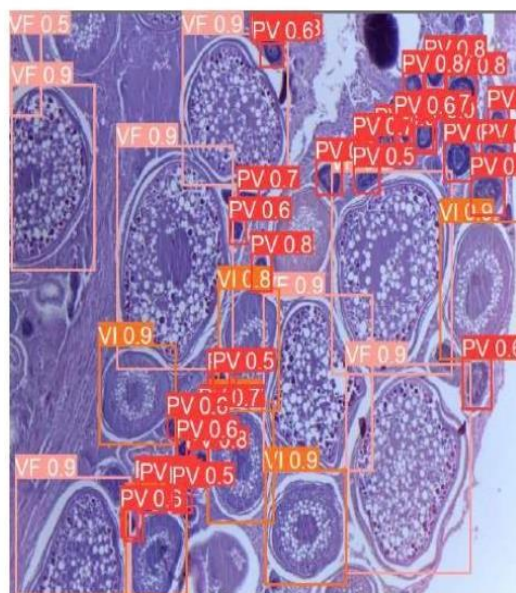
Na Figura 3 são apresentados os resultados da detecção em uma imagem de teste. Na figura 3(a) é fornecida uma imagem contendo as caixas delimitadoras geradas pela marcação do especialista e suas classes. Na figura 3(b) é apresentado os resultados da detecção, sendo esta constituída pela localização e classificação dos ovócitos. Nas Figuras 3(a) e (b) a caixa delimitadora em cor vermelha representa a fase PV, em cor laranja a fase VI e em cor rosa a fase VF. Além disso, para cada respectiva caixa é gerada sua porcentagem referente à métrica *Intersection over Union* (IoU), ou seja, o quanto a predição da localização do ovócito coincide com a sua verdadeira localização do objeto [5]. A fase VF obteve percentual de IoU de 90%, em relação à fase VI obtiveram uma porcentagem elevada, atingindo valores entre 90% e 80%, enquanto a fase PV o modelo atingiu uma variação de 80% a 50%.

Observa-se de modo geral que a imagem marcada pelo especialista e a imagem resultante do processo de detecção apresentam semelhanças quanto à verdadeira localização dos ovócitos. Sendo assim, os resultados desta pesquisa evidenciam e confirmam a necessidade da elaboração da base OocyHistDB e, ao aplicá-la a uma técnica de aprendizagem profunda, é propiciado uma ferramenta indispensável no controle e manejo de peixes. Além disso, apesar das imagens mostrarem oócitos em outras fases, o modelo conseguiu localizar adequadamente os objetos para os quais foi treinado com alta precisão. A sobreposição também é um fator que dificulta a localização do objeto, porém, o modelo detectou satisfatoriamente os ovócitos presentes nas imagens.

5. CONCLUSÃO



(a)



(b)

Figure 3: Resultado da detecção e localização dos ovócitos através do modelo YOLOv5x. (a) Imagem marcada pelo especialista. (b) Imagem com o resultado da detecção.

Table 2: Resultado do desempenho do modelo YOLOv5x com base nas métricas Precisão, Revocação e mAP para cada fase.

Classes	Precisão(%)	Revocação(%)	mAP@0.5(%)	mAP@0.95(%)
PV	82,7	65,0	76,0	38,1
VI	83,0	84,7	89,6	66,2
VF	81,7	97,7	95,3	66,8

Nesta pesquisa, apresentamos o OocyHistDB, um novo conjunto de dados de imagens de ovócito da espécie *C. undecimalis*. A pesquisa também descreve minuciosamente a área de coleta, aquisição, anotação e organização do banco de dados, juntamente com os resultados de uma validação experimental da aplicação desta base na técnica de aprendizagem profunda YOLOv5x. Como resultado, observou-se que a classe VI alcançou a maior taxa de precisão com 83%. A classe VF alcançou as melhores taxas nas métricas revocação, mAP@0.5 e mAP@0.95, com os respectivos valores 97,7%, 95,3% e 66,8%.

De modo geral, nossos resultados mostram que imagens de ovócitos representam um novo desafio para a técnica de detecção existente, como um grande número de objetos por imagem, detalhes de aparência limitados, vários objetos pequenos, variações de escala significativas entre os diferentes tipos de objetos e um alto desequilíbrio de classe.

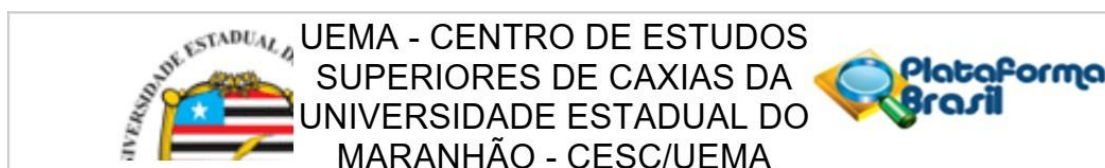
Com este trabalho, pretendemos fornecer aos pesquisadores uma referência comum para uma avaliação e comparação de técnicas de detecção atuais e futuras, a fim de avaliar melhor sua confiabilidade em aplicações do mundo real. Além disso, a base OocyHistDB, apresenta um grande potencial de expansão no futuro ao incluir novas imagens e fases de ovócitos, com o objetivo de atender a novas comunidade de pesquisadores em reprodução de peixes.

6. REFERÊNCIAS

- [1] S. M. Abas, A. M. Abdulazeez, and D. Q. Zeebaree. A yolo and convolutional neural network for the detection and classification of leukocytes in leukemia. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 25(1):200–213, 2022.
- [2] C. C. d. S. Almondes, V. K. F. d. Sousa, and F. H. Araujo. Aprendizado profundo para detecção de cálculos renais em imagens de tomografia computadorizada. *Revista de Sistemas e Computação-RSC*, 12(1), 2022.
- [3] N. Brancati, A. M. Anniciello, P. Pati, D. Riccio, G. Scognamiglio, G. Jaume, G. De Pietro, M. Di Bonito, A. Foncubierta, G. Botti, M. Gabrani, F. Feroce, and M. Frucci. BRACS: A Dataset for BReAst Carcinoma Subtyping in H&E Histology Images. *Database*, 2022, 10 2022. baac093.
- [4] M. Cordts, M. Omran, S. Ramos, T. Rehfeld, M. Enzweiler, R. Benenson, U. Franke, S. Roth, and B. Schiele. The cityscapes dataset for semantic urban scene understanding. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pages 3213–3223, 2016.
- [5] Y. L. Cruz, E. E. Santana, A. F. Silva, I. R. Nascimento, R. N. Fortes, and J. R. Torres-Júnior. Um estudo de caso para detecção de ovócitos de peixe utilizando redes neurais convolucionais. In *Anais da X Escola Regional de Computação do Ceará, Maranhão e Piauí*, pages 1–10. SBC, 2022.
- [6] D.-T. Dang-Nguyen, C. Pasquini, V. Conotter, and G. Boato. Raise: A raw images dataset for digital image forensics. In *Proceedings of the 6th ACM multimedia systems conference*, pages 219–224, 2015.
- [7] A. D. de Barros and M. da Cunha. Uma revisão sistemática da literatura sobre a utilização de algoritmos de machine learning para classificação de casos de câncer de pele com base em imagens dermatoscópicas. In *Anais da XX Escola Regional de Computação Bahia, Alagoas e Sergipe*, pages 31–40, Porto Alegre, RS, Brasil, 2020. SBC.
- [8] A. E. A. de Moraes Vazzoler. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. Eduem, 1996.
- [9] M. E. G. de Sousa Pereira, V. R. Cañete, M. K. da Silva Palheta, F. J. da Silva Santos, B. B. da Silva, R. S. L. Barboza, and G. Evangelista-Gomes. Contribuição dos atores da pesca para a bioecologia do camurim centropomus undecimalis (centropomidae-perciformes) capturado no litoral amazônico brasileiro. *Research, Society and Development*, 9(10):e4119108691–e4119108691, 2020.
- [10] J. Deng, W. Dong, R. Socher, L.-J. Li, K. Li, and L. Fei-Fei. Imagenet: A large-scale hierarchical image database. In *2009 IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pages 248–255. Ieee, 2009.
- [11] M. Everingham, L. Van Gool, C. K. Williams, J. Winn, and A. Zisserman. The pascal visual object classes (voc) challenge. *International journal of computer vision*, 88(2):303–338, 2010.
- [12] R. T. d. S. Félix, W. Severi, A. J. G. Santos, A. C. A. El-Deir, M. G. Soares, and J. Evêncio Neto. Desenvolvimento ovariano de plagioscion squamosissimus (heckel, 1840)(actinopterygii, perciformes), no reservatório de pedra, rio de contas, bahia. *Biota Neotropica*, 9(3):131–136, 2009.
- [13] W. Hu, C. Li, X. Li, M. M. Rahaman, J. Ma, Y. Zhang, H. Chen, W. Liu, C. Sun, Y. Yao, H. Sun, and M. Grzegorzek. Gashissdb: A new gastric histopathology image dataset for computer aided diagnosis of gastric cancer. *Computers in Biology and Medicine*, 142:105207, 2022.
- [14] T.-Y. Lin, M. Maire, S. Belongie, J. Hays, P. Perona, D. Ramanan, P. Dollár, and C. L. Zitnick. Microsoft coco: Common objects in context. In *European conference on computer vision*, pages 740–755. Springer, 2014.
- [15] T.-Y. Lin, G. Patterson, M. R. Ronchi, Y. Cui, M. Maire, S. Belongie, L. Bourdev, R. Girshick, J. Hays, P. Perona, D. Ramanan, L. Zitnick, and

- P. Dollár. Common objects in context - coco). <https://cocodataset.org/>, 2021. Access on 29 de Fevereiro de 2021.
- [16] H.-W. Luo, C.-S. Zhang, F.-C. Pan, and X.-M. Ju. Contextual-yolov3: Implement better small object detection based deep learning. In *2019 International Conference on Machine Learning, Big Data and Business Intelligence (MLBDI)*, pages 134–141. IEEE, 2019.
- [17] M. C. F. B. d. Mendonça et al. Autoecologia do camorim, *centropomus undecimalis* (bloch, 1792),(perciformes: Centropomidae) em ambiente hipersalino em galinhos, rn, brasil. 2004.
- [18] J. Nelson. Roboflow. <https://roboflow.com>, 2022. Access on 26 de Janeiro de 2022.
- [19] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi. You only look once: Unified, real-time object detection. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pages 779–788, 2016.
- [20] R. S. Rosa and F. C. Lima. Os peixes brasileiros ameaçados de extinção. *Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção*, 2:9–275, 2008.
- [21] L. E. Santos. Uma tecnica e ferramenta orientadas por objetivos para a construçao de ontologias de aplicação. Master's thesis, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Eletricidade - Universidade Federal do Maranhão, 2012.
- [22] J. G. J. Silva, M. G. Narciso, and C. Gonçalves. Computer vision and image processing for detecting and quantifying whiteflies: a systematic review. In *Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em anais de congresso (ALICE)*, pages 382–391. Congresso Brasileiro de Agroinforática, 2019.
- [23] K. P. Sivakumaran, P. Brown, D. Stoessel, and A. Giles. Maturation and reproductive biology of female wild carp, *cyprinus carpio*, in victoria, australia. *Environmental Biology of Fishes*, 68(3):321–332, 2003.
- [24] F. A. Spanhol, L. S. Oliveira, C. Petitjean, and L. Heutte. A dataset for breast cancer histopathological image classification. *Ieee transactions on biomedical engineering*, 63(7):1455–1462, 2015.
- [25] F. A. Spanhol, L. S. Oliveira, C. Petitjean, and L. Heutte. A dataset for breast cancer histopathological image classification. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 63(7):1455–1462, 2016.
- [26] Ultralytics. Tips for best training results. <https://docs.ultralytics.com/tutorials/training-tips-best-results/>, 2022. Access on 26 de Janeiro de 2022.
- [27] C.-Y. Wang, H.-Y. M. Liao, Y.-H. Wu, P.-Y. Chen, J.-W. Hsieh, and I.-H. Yeh. Cspnet: A new backbone that can enhance learning capability of cnn. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition workshops*, pages 390–391, 2020.
- [28] S. Wang, Y. Li, and W. Liu. Multi-class weather classification fusing weather dataset and image features. In *CCF Conference on Big Data*, pages 149–159. Springer, 2018.
- [29] S. Waqas Zamir, A. Arora, A. Gupta, S. Khan, G. Sun, F. Shahbaz Khan, F. Zhu, L. Shao, G.-S. Xia, and X. Bai. isaid: A large-scale dataset for instance segmentation in aerial images. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, pages 28–37, 2019.
- [30] G.-S. Xia, X. Bai, J. Ding, Z. Zhu, S. Belongie, J. Luo, M. Datcu, M. Pelillo, and L. Zhang. Dota: A large-scale dataset for object detection in aerial images. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pages 3974–3983, 2018.
- [31] R. Xu, H. Lin, K. Lu, L. Cao, and Y. Liu. A forest fire detection system based on ensemble learning. *Forests*, 12(2):217, 2021.
- [32] M. H. Yap, R. Hachiuma, A. Alavi, R. Brüngel, B. Cassidy, M. Goyal, H. Zhu, J. Rückert, M. Olshansky, X. Huang, et al. Deep learning in diabetic foot ulcers detection: a comprehensive evaluation. *Computers in Biology and Medicine*, 135:104596, 2021.

ANEXO E – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA.



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: ICTIOFAUNA COMERCIAL DA COSTA NORTE DO BRASIL: STATUS E REPRODUÇÃO.

Pesquisador: ISA ROSETE MENDES ARAUJO NASCIMENTO

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 29589319.5.0000.5554

Instituição Proponente: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCACAO, CIENCIA E TECNOLOGIA DO

Patrocinador Principal: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCACAO, CIENCIA E TECNOLOGIA DO MARANHÃO
FUNDACAO DE AMPARO A PESQUISA DO ESTADO DO MARANHÃO - FAPEMA

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 4.476.902

Apresentação do Projeto:

O projeto de pesquisa cujo título ICTIOFAUNA COMERCIAL DA COSTA NORTE DO BRASIL: STATUS E REPRODUÇÃO, nº de CAAE 29589319.5.0000.5554 e Pesquisador(a) responsável ISA ROSETE MENDES ARAUJO NASCIMENTO. Trata-se de uma pesquisa de campo e bibliográfica, quando do levantamento de dados das espécies já capturadas na região costeira do estado do Maranhão, assim como dados de produção em fontes como bibliotecas, relatórios técnicos, entre outros; e de campo, quando da aplicação de questionários.

O cenário de realização da pesquisa se concentra no litoral maranhense, dividindo-se em em três áreas de acordo com suas peculiaridades: a Área 1, será o Litoral Oriental, que vai da margem leste do Golfão Maranhense até a foz do Rio Parnaíba; a Área 2, Litoral Ocidental, estende-se da foz do rio Gurupi até a margem oeste do Golfão Maranhense em Alcântara. Na Área 3, será o município de São Luís, compreendendo os portos da ilha.

Os participantes desta pesquisa serão 50 pescadores, os quais não estão definidos os critérios de inclusão e exclusão dos citados participantes.

Para tanto, as informações desta pesquisa serão coletados tanto por meio de análises dos estudos bibliográficos, como por meio de entrevistas com perguntas semiestruturada, onde constam tanto

Endereço: Rua Quinhinha Pires, 743

Bairro: Centro

CEP: 70.255-010

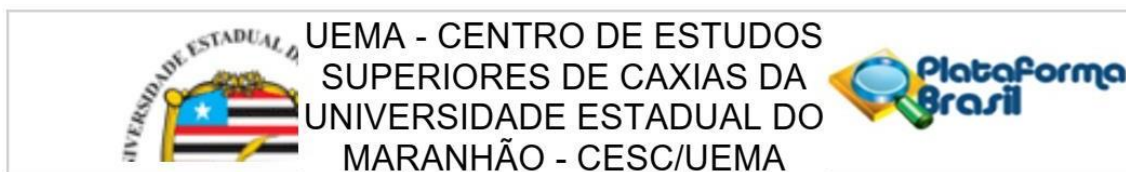
UF: MA

Município: CAXIAS

Telefone: (99)3251-3938

Fax: (99)3251-3938

E-mail: cepe@cesc.uema.br



Continuação do Parecer: 4.476.902

questões abertas como fechadas permitindo a coleta de informações de diversas naturezas. Para esta etapa do projeto será criada uma plataforma para facilitar o uso e análise dos dados ictiológicos do projeto de forma mais célere. A proposta da plataforma é organizar e avaliar os dados bioecológicos dos peixes, para que no futuro outros pesquisadores da área possam agilizar as análises de seus dados utilizando as ferramentas disponíveis na mesma. Essa base de dados vai calcular a partir dos dados brutos principais índices biológicos da espécie como: índice gonadosomático, índice hepatossomático, índices estomacais e os índices ecológicos das espécies como: riqueza e diversidade de espécies.

Objetivo da Pesquisa:

Geral:

Avaliar aspectos da biologia reprodutiva do *Centropomus undecimalis* e o status populacional das principais espécies comerciais da ictiofauna na Costa Norte do Brasil.

Específicos:

- Levantar a biodiversidade da ictiofauna comercial do litoral maranhense por meio de dados pretéritos e acompanhamento de desembarque;
- Determinar o status populacional das espécies de interesse comercial da costa maranhense;
- Conhecer o ciclo reprodutivo, a relação peso/comprimento, fecundidade e comprimento de primeira maturação sexual do Robalo *Centropomus undecimalis* (Bloch, 1792), visando estratégias de manejo e conservação;
- Criar uma base de dados (Biontologia) sobre a biologia reprodutiva do *C. undecimalis*;
- Avaliar diferentes índices biológicos com auxílio da Biologia Computacional.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Os riscos apresentados para os participantes foram atendidos parcialmente, uma vez que a parte descrita "desistência da pesquisa, fornecimento incompleto ou equivocado de informações" (conforme mencionado) não constitui risco para os participantes, mas sim para a própria pesquisa.

Quanto aos Benefícios da Pesquisa, esses foram apresentados de modo a deixar evidente as melhorias trazidas pela pesquisa, tais como: o conhecimento das espécies comerciais que podem

Endereço: Rua Quinhinha Pires, 743

Bairro: Centro

CEP: 70.255-010

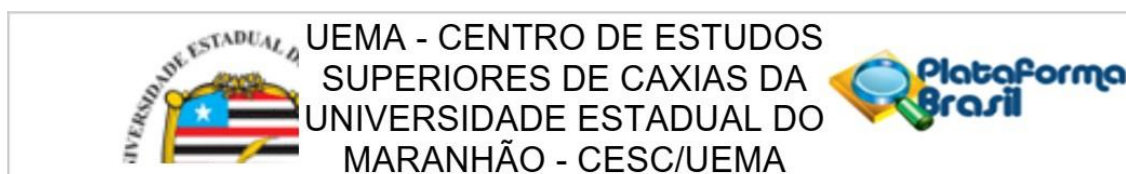
UF: MA

Município: CAXIAS

Telefone: (99)3251-3938

Fax: (99)3251-3938

E-mail: cepe@cesc.uema.br



Continuação do Parecer: 4.476.902

estar ameaçadas ou em risco de extinção; conhecimento da dinâmica reprodutiva do Robalo/Camurim para fins desordenamento pesqueiro ou manejo da espécie, respeitando sua bioecologia; adequação dos processos de captura de peixes comerciais, visando renovação e manutenção dos estoques pesqueiros evitando assim a extinção das espécies.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A pesquisa é relevante e apresenta interesse público e a pesquisadora responsável tem experiências adequadas para a realização do projeto, como atestado pelo currículo Lattes apresentado. A metodologia é consistente e descreve os procedimentos para realização da coleta e análise dos dados. O protocolo de pesquisa não apresenta conflitos éticos estabelecidos na Resolução nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde. Entretanto, a pesquisadora deve considerar as pendências descritas neste documento.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Os seguintes termos de apresentação obrigatória tais como Ofício de Encaminhamento ao CEP, Autorização da Instituição e Protocolo para o uso de animais em pesquisas estão apresentados de maneira adequadas. Entretanto, os riscos apresentados devem ser revistos, considerando que desistir da pesquisa ou fornecer informações incompletas são dados que afetam diretamente os resultados da pesquisa.

As informações sobre quais critérios foram utilizados para incluir ou excluir os participantes para a pesquisa (pesquisadores), devem ser informados.

Recomendações:

Em protocolos posteriores, solicitamos que a pesquisadora seja mais cuidadosa em apresentar os riscos e como minimizá-los, tanto no TCLE quanto no item referente aos aspectos ético-legais na Metodologia do projeto e devem ser apresentados riscos para os participantes e não para a pesquisa ou pesquisador(a). No mais, os critérios de inclusão e exclusão devem ser claramente apresentados.

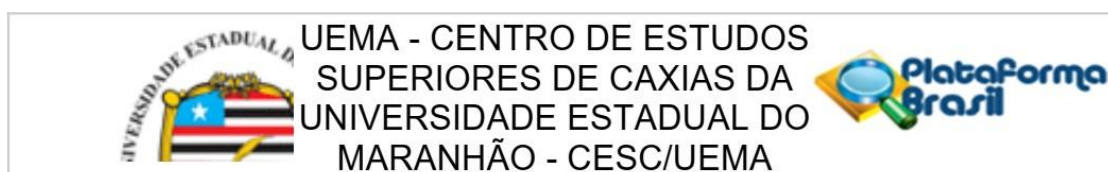
Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O projeto está APROVADO e pronto para iniciar a coleta de dados e as demais etapas referentes ao mesmo.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Endereço: Rua Quinhinha Pires, 743			
Bairro: Centro		CEP: 70.255-010	
UF: MA	Município: CAXIAS		
Telefone: (99)3251-3938	Fax: (99)3251-3938	E-mail: cepe@cesc.uema.br	



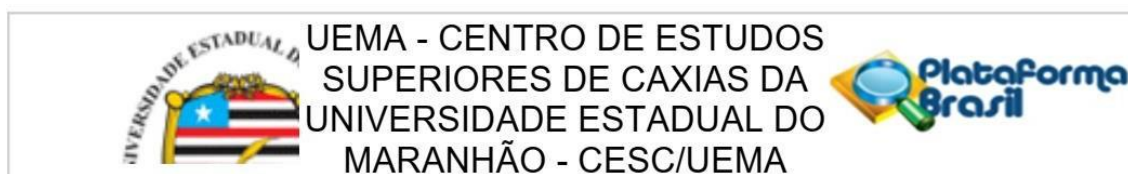
Continuação do Parecer: 4.476.902

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1392961.pdf	18/11/2020 02:15:14		Aceito
Outros	QUESTIONARIO.pdf	18/11/2020 02:13:56	ISA ROSETE MENDES ARAUJO NASCIMENTO	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto_Isa.pdf	18/11/2020 02:12:28	ISA ROSETE MENDES ARAUJO NASCIMENTO	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_ISA.pdf	18/11/2020 02:01:12	ISA ROSETE MENDES ARAUJO NASCIMENTO	Aceito
Orçamento	Orcamento_Projeto_Tese_Isa.pdf	27/02/2020 12:18:56	ISA ROSETE MENDES ARAUJO NASCIMENTO	Aceito
Cronograma	Cronograma_Projeto_Tese_Isa.pdf	27/02/2020 12:17:25	ISA ROSETE MENDES ARAUJO NASCIMENTO	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Tese_Isa_Atual.pdf	27/02/2020 12:06:13	ISA ROSETE MENDES ARAUJO NASCIMENTO	Aceito
Declaração de Manuseio Material Biológico / Biorepositório / Biobanco	Scanner_Protocolo_Uso_Animais_Pesquisa_Cientifica.pdf	27/02/2020 12:04:50	ISA ROSETE MENDES ARAUJO NASCIMENTO	Aceito
Solicitação Assinada pelo Pesquisador Responsável	Scanner_Oficio_Encaminhamento_Projeto_Tese.pdf	27/02/2020 11:59:09	ISA ROSETE MENDES ARAUJO NASCIMENTO	Aceito
Declaração de concordância	Scanner_Declaracao_Orientadora.pdf	27/02/2020 11:57:57	ISA ROSETE MENDES ARAUJO NASCIMENTO	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Scanner_Declaracao_Pesquisadora.pdf	27/02/2020 11:55:34	ISA ROSETE MENDES ARAUJO NASCIMENTO	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Scanner_Uso_LabPEA_UEMA.pdf	27/02/2020 11:49:44	ISA ROSETE MENDES ARAUJO NASCIMENTO	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:**Endereço:** Rua Quinhinha Pires, 743**Bairro:** Centro**CEP:** 70.255-010**UF:** MA**Município:** CAXIAS**Telefone:** (99)3251-3938**Fax:** (99)3251-3938**E-mail:** cepe@cesc.uema.br



Continuação do Parecer: 4.476.902

Não

CAXIAS, 19 de Dezembro de 2020

Assinado por:
FRANCIDALMA SOARES SOUSA CARVALHO FILHA
(Coordenador(a))

Endereço: Rua Quinhinha Pires, 743

Bairro: Centro

CEP: 70.255-010

UF: MA

Município: CAXIAS

Telefone: (99)3251-3938

Fax: (99)3251-3938

E-mail: cepe@cesc.uema.br