



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA

Liseth Carolina Perenguez Riofrio

Desenvolvimento da larva de sardinha-verdadeira cultivada em sistema intensivo e mesocosmo: desempenho zootécnico e ontogenia do trato digestório

Florianópolis  
2024

Liseth Carolina Perenguez Riofrio

Desenvolvimento da larva de sardinha-verdadeira cultivada em sistema intensivo e mesocosmo: desempenho zootécnico e ontogenia do trato digestório

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Aquicultura.

Orientador: Prof. Vinicius Ronzani Cerqueira, Dr.  
Coorientador: Caio Cesar França Magnotti, Dr.

Florianópolis

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Riofrio, Liseth Carolina Perenguez

Desenvolvimento da larva de sardinha-verdadeira cultivada em sistema intensivo e mesocosmo: desempenho zootécnico e ontogenia do trato digestório / Liseth Carolina Perenguez Riofrio ; orientador, Vinicius Ronzani Cerqueira, coorientador, Caio Cesar França Magnotti, 2024.  
55 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós Graduação em Aquicultura, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Aquicultura. 2. Sardinella brasiliensis. 3. Larvicultura. 4. Peixes marinhos. 5. Ontogenia. I. Cerqueira, Vinicius Ronzani . II. Magnotti, Caio Cesar França . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. IV. Título.

Liseth Carolina Perenguez Riofrio

Desenvolvimento da larva de sardinha-verdadeira cultivada em sistema intensivo e mesocosmo: desempenho zootécnico e ontogenia do trato digestório

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 3 de outubro de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Vinicius Ronzani Cerqueira, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Fabio Carneiro Sterzelecki, Dr.  
Universidade Federal Rural da Amazônia

Prof. Robson Andrade Rodrigues, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Aquicultura.

Insira neste espaço a  
assinatura digital

---

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a  
assinatura digital

---

Prof. Vinicius Ronzani Cerqueira, Dr.  
Orientador

Florianópolis, 2024.

A minha família pelos sacrifícios feitos, por todo o amor e apoio nesses anos, e por todo o tempo que fiquei longe deles; a minha segunda casa, minha família brasileira, por me fazer sentir apoiada; ao amor da minha vida quem me acompanhou incondicionalmente todos estes anos de luta e finalmente a mim, por nunca desistir.

## AGRADECIMENTOS

A minha família, as pessoas mais importantes da minha vida, por todo seu amor, esforço e apoio incondicional, obrigada por todos os ensinamentos, pelos conselhos, pela força e por sempre estar disponíveis para mim. Aos amores da minha vida, meus irmãos Marlon e Vane, vocês sempre entenderam minhas escolhas e sobretudo meus sonhos, obrigada por me escutar, entender e acompanhar no processo de construção das minhas metas.

Ao amor da minha vida Everton, por me acolher, me apoiar incondicionalmente, por me fazer parte da sua família e me amar, obrigada por todos esses anos de cumplicidade.

Ao meu orientador, Dr. Vinicius Ronzani Cerqueira, quem fez grandes contribuições ao meu trabalho, a minha formação profissional e pessoal, e a meu co-orientador Caio Magnotti, lhes agradeço por acolher-me, por compartilhar comigo seu conhecimento, por me abrir as portas do laboratório, por confiar em mim e no meu trabalho, pela oportunidade e por dar-se a oportunidade de me conhecer como aluna e como pessoa.

Agradeço a toda equipe LAPMAR, aos que iniciaram comigo e aos que entraram no decorrer do percurso, por esses dois anos compartilhados, cheios de experiências, vivências e momentos únicos.

Ao Carlito pela atenção durante todo o processo de formação, a Pós-graduação e seu corpo docente pelos ensinamentos, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brasil (CAPES), pela concessão da bolsa de Mestrado.

Finalmente, muito obrigado a todos aqueles que contribuíram de forma direta e/ou indireta para a realização deste trabalho.

“Não importa o que aconteça, continue a nadar”.

*Walters, Graham; 2003.*

“A persistência é o caminho do êxito”.

*Charles Chaplin, 1997, p. 118*

## RESUMO

A sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) é um importante recurso pesqueiro do Brasil. Nesta espécie já foram realizados estudos sobre a reprodução em cativeiro e criação de juvenis. No entanto, são poucos os dados relativos à sua criação larval, e a maioria do conhecimento está centrada no sistema intensivo, sendo escassos os estudos em sistema semi-extensivo tipo “mesocosmo”. O presente estudo comparou o desenvolvimento da larva de sardinha-verdadeira cultivada em sistema semi-extensivo e sistema intensivo, através da avaliação do desempenho zootécnico e da ontogenia do trato digestório. Larvas recém-eclodidas foram estocadas em uma densidade de 5 indivíduos L<sup>-1</sup> em tanques de 8 m<sup>3</sup> em triplicata e mantidas por 25 dias. A alimentação foi feita com zooplâncton produzido no próprio tanque, rotíferos produzidos em tanque externo e dieta comercial. A larvicultura em sistema intensivo foi realizada em tanques de 60 L, em uma densidade de 50 indivíduos L<sup>-1</sup>, a alimentação foi feita com rotíferos e dieta comercial. Foram analisadas amostras de larvas coletadas nos dias 1, 5, 7, 10, 15, 20 e 25 após a eclosão. De larvas do mesocosmo foram feitos cortes histológicos que foram analisados em microscopia de luz e registrados fotograficamente. As larvas cultivadas em mesocosmo apresentaram um crescimento superior (3,53 ± 0,27 cm; 0,35 ± 0,09 g) às cultivadas em sistema intensivo (2,19 ± 0,27 cm; 0,04 ± 0,03 g). A sobrevivência foi de 38,38 ± 27,73 % no mesocosmo e 11,50 ± 5,90% no sistema intensivo, sem diferenças significativas. No mesocosmo, a absorção do vitelo ocorreu a partir do primeiro dia após a eclosão, a abertura completa da boca e ânus no quinto dia e o trato digestório totalmente desenvolvido no 15º dia. A diferenciação do trato digestório em bucofaringe, esôfago, intestino anterior e posterior foi concluída no quinto dia, o desenvolvimento total do estômago e o aparecimento dos cecos pilóricos aconteceu no 15º dia, sendo estes os últimos órgãos a se diferenciar. Do 15º até o 25º dia, as únicas alterações aconteceram em relação ao tamanho dos órgãos. Conclui-se que o cultivo em mesocosmo favoreceu o desenvolvimento das larvas, possivelmente devido ao aproveitamento do alimento natural, e apresenta grande potencial para a produção massiva de larvas de sardinha.

**Palavras-chave:** Aquicultura; *Sardinella brasiliensis*; Larvicultura; Peixes marinhos; Ontogenia.

## ABSTRACT

The Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) is an important fishery resource in Brazil. Studies on reproduction in captivity and juvenile rearing have already been carried out in this species. However, there are few data regarding its larval rearing, and most of the knowledge is centered on the intensive system, with few studies on a semi-extensive system of the “mesocosm” type. The present study compared the development of sardine larvae cultivated in semi-extensive and intensive systems, through the evaluation of zootechnical performance and the ontogeny of the digestive tract. Newly hatched larvae were stocked at a density of 5 individuals L<sup>-1</sup> in 8 m<sup>3</sup> tanks in triplicate, maintained for 25 days. Feeding consisted of zooplankton produced in the tank itself, rotifers produced in an external tank and a commercial diet. Larviculture in an intensive system was carried out in 60 L tanks, at a density of 50 individuals L<sup>-1</sup>, feeding with rotifers and commercial diet. Samples of larvae collected on days 1, 5, 7, 10, 15, 20 and 25 after hatching were analyzed. Histological sections were made from mesocosm larvae and using light microscopy and recorded photographed. Larvae grown in mesocosms showed greater growth (3.53 ± 0.27 cm; 0.35 ± 0.09 g) than those cultivated in an intensive system (2.19 ± 0.27 cm; 0.04 ± 0.03 g). Survival was 38.38 ± 27.73 % in the mesocosm and 11.50 ± 5.90 % in the intensive system, without significant differences. In the mesocosm, the absorption of the yolk occurred from the first day after hatching, the complete opening of the mouth and anus on the fifth day and the digestive tract fully developed on the 15th day. The differentiation of the digestive tract into buccopharynx, esophagus, foregut and hindgut was completed on the fifth day, the full development of the stomach and the appearance of the pyloric cecum occurred on the 15th day, these being the last organs to differentiate. From the 15th to the 25th day, the only changes occurred in relation to the size of the organs. It is concluded that mesocosm cultivation favored the development of larvae, possibly due to the use of natural food, and presents great potential for the massive production of sardine larvae.

**Keywords:** Aquaculture; *Sardinella brasiliensis*; Larviculture; Marine fish; Ontogeny

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sardinha-verdadeira, <i>Sardinella brasiliensis</i> . .....	16
Figura 2 – Esquema de alimentação na larvicultura de sardinha-verdadeira em mesocosmo (tanques de 8 m <sup>3</sup> ). .....	30
Figura 3 – Esquema de alimentação na larvicultura de sardinha-verdadeira em sistema intensivo (tanques de 60 L). .....	31
Figura 4 – Composição relativa (%) de zooplâncton dos três tanques de mesocosmo (A, B e C) durante os 15 dias de cultivo das larvas da sardinha-verdadeira. ....	34
Figura 5 – Estimativas diárias da densidade (n/mL) de presas vivas dos três tanques de mesocosmo (A, B e C) para cultivo de larvas da sardinha-verdadeira. ....	35
Figura 6 – Crescimento em peso (A) e comprimento total (B) das larvas de sardinha-verdadeira, cultivada em mesocosmo e sistema intensivo (média ± desvio padrão, n=3). .....	36
Figura 7 – Secções longitudinais das larvas de sardinha-verdadeira cultivadas em sistema de mesocosmo. Larva recém-eclodida (A, B), 2º dia (C, D) e com 5 dias de idade (E, F). .....	38
Figura 8 – Secções longitudinais de larvas de sardinha-verdadeira com 7 dias de idade. A: cabeça e parte do tronco. B: brânquias e parte inicial do trato digestório. C, D: detalhes do trato digestório. ....	39
Figura 9 – Secções longitudinais do estômago (A) e intestino (B) de larvas de sardinha-verdadeira com 10 dias de idade. ....	40
Figura 10 – Secções longitudinais do trato digestório das larvas de sardinha-verdadeira com 15 dias de idade. A: detalhe da cabeça. B: brânquias. C: esôfago. D: estômago. E, F: intestino. ....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Qualidade da água (média $\pm$ desvio-padrão) da larvicultura de sardinha-verdadeira ( <i>Sardinella brasiliensis</i> ), durante os 25 dias de cultivo.....	32
Tabela 2 – Parâmetros zootécnicos (média $\pm$ desvio padrão, n=3) da criação larval de sardinha-verdadeira em mesocosmo e sistema intensivo.....	37
Tabela 3 – Comparação dos principais eventos ontogênicos da fase larval da sardinha-verdadeira cultivada em sistema intensivo (Hoffmann, 2022) e em mesocosmo (dados do presente estudo).....	43

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AQUOS	Laboratório de Sanidade de Organismos Aquáticos
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEUA	Comissão de Ética e Uso de Animais de Laboratório
FAO	Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
HUFA	Ácidos graxos altamente insaturados
LAPMAR	Laboratório de Piscicultura Marinha
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>14</b>
1.1	<i>AQUICULTURA MARINHA.....</i>	14
1.2	SARDINELLA BRASILIENSIS .....	15
<b>1.2.1</b>	<b>Distribuição geográfica.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Hábito alimentar.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2.3</b>	<b>Ciclo de vida.....</b>	<b>17</b>
1.3	criação da sardinha em cativeiro.....	17
1.4	SISTEMAS DE CULTIVO DE PEIXES MARINHOS.....	19
<b>1.4.1</b>	<b>Sistema intensivo .....</b>	<b>19</b>
<b>1.4.2</b>	<b>Sistema semi-extensivo .....</b>	<b>20</b>
1.4.2.1	<i>Mesocosmo.....</i>	21
1.5	TRATO DIGESTÓRIO.....	22
<b>2</b>	<b>HIPÓTESES.....</b>	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>24</b>
3.1	OBJETIVO GERAL.....	24
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
<b>4</b>	<b>ESTRUTURA DO TRABALHO.....</b>	<b>24</b>
4.1	INTRODUÇÃO.....	26
4.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	28
<b>4.2.1</b>	<b>Local de estudo e origem das larvas.....</b>	<b>28</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Preparação e composição do mesocosmo.....</b>	<b>29</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Cultivo das larvas .....</b>	<b>29</b>
4.2.3.1	<i>Mesocosmo.....</i>	29
4.2.3.2	<i>Sistema intensivo .....</i>	30
<b>4.2.4</b>	<b>Qualidade de água .....</b>	<b>31</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Amostragem das larvas .....</b>	<b>32</b>
<b>4.2.6</b>	<b>Análise histológica .....</b>	<b>32</b>
<b>4.2.7</b>	<b>Análise estatística.....</b>	<b>33</b>
4.3	RESULTADOS .....	33
<b>4.3.1</b>	<b>Composição do mesocosmo .....</b>	<b>33</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Crescimento e sobrevivência .....</b>	<b>36</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Desenvolvimento do trato digestório.....</b>	<b>37</b>

4.4	DISCUSSÃO.....	41
4.5	CONCLUSÃO .....	45
	REFERÊNCIAS .....	45
	<b>REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

### 1.1 AQUICULTURA MARINHA

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Aquicultura e Alimentação (FAO), a aquicultura é uma importante fonte de alimentação, nutrição e suprimento de organismos aquáticos, considerando-se um meio de subsistência significativo no mundo (FAO, 2020). A produção animal representa o maior crescimento dos últimos anos (FUENTES-SANTOS et al., 2015), e estima-se que a produção total de pescado tenha atingido cerca de 179 milhões de toneladas em 2018, das quais 82 milhões de toneladas vieram da aquicultura, sendo 7,3 milhões especificamente da produção de peixes marinhos (FAO, 2020).

Uma grande quantidade de pescado ainda é produzida por meio da pesca marinha (GONÇALVES, 2013). Entretanto, a piscicultura marinha tem surgido com grande potencial de crescimento, graças à disponibilidade e existência de uma fauna tropical diversificada (ESCÁRCEGA, 2020). Além disso, é considerada uma alternativa às dificuldades enfrentadas pelos diferentes tipos de pesca em todo o planeta e à necessidade crescente de promover opções para aumentar a oferta de alimentos (ESCÁRCEGA, 2020).

Segundo Lisboa et al. (2020), a piscicultura marinha é a atividade mundialmente apontada para atender a demanda de alimentos. Entretanto, ainda existe a necessidade de programar alternativas eficazes e sustentáveis para fornecer esta fonte proteica (GONÇALVES, 2013; HOFFMANN 2022). Por exemplo, a sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) foi recentemente apontada como potencial para produção de peixes marinhos no Brasil (LISBOA et al., 2020).

Gentry et al. (2017) verificaram o potencial de produção biológica para a aquicultura marinha em quase todo o mundo, e depois de aplicar restrições com base nas limitações existentes no oceano, encontraram várias áreas em quase todos os países costeiros adequadas para a aquicultura. O Brasil faz parte do grupo de países que estão bem-posicionados para a produção de aquicultura marinha sustentável de peixes e bivalves (DAVIES et al., 2019). O litoral brasileiro é extenso, e apresenta ótimas condições ambientais e de infraestrutura para o desenvolvimento e crescimento da aquicultura marinha (CAVALLI, 2012; LEITE DE FREITAS, 2021).

A maioria das regiões do Brasil demonstra possuir boas condições para implantação do cultivo de peixes marinhos, haja vista as condições de clima, abundância de água marinha

e estuarina livre de poluição, com boa produtividade primária, baías protegidas, infraestrutura e transporte (IGARASHI, 2021). Mas para que a atividade se consolide no Brasil, é necessário avaliar o potencial de cultivo das espécies nativas, desenvolver tecnologia de produção e aprimorar tecnologias de engorda (TSUZUKI, 2006; HOFFMANN, 2022). Porém, apesar da produção de peixes marinhos em cativeiro ser bastante estudada ainda é instável (CAVALLI, 2012).

## 1.2 SARDINELLA BRASILIENSIS

A sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) nativa do Brasil, é uma espécie de peixe da família Clupeidae de interesse econômico no Brasil (FIGUEIREDO et al., 2010), pois sustenta uma importante cadeia pesqueira (CERGOLE; DIAS-NETO, 2011), sendo utilizada principalmente para produção de conservas e como isca viva para a captura do bonito-listrado, *Katsuwonus pelamis* (CERGOLE; DIAS-NETO, 2011).

As sardinhas são peixes de pequeno porte, de corpo fino e alongado (Figura 1), não apresentam dimorfismo sexual (CERQUEIRA et al., 2020; HOFFMANN, 2022), formam grandes cardumes pelágicos e habitam águas costeiras, entrando em baías e estuários (CERGOLE; DIAS-NETO, 2011), sendo encontradas em áreas sujeitas a fortes ressurgências (MOTTA, 2000; PAIVA; FALCÃO, 2002).

A sardinha-verdadeira é considerada uma espécie com grande potencial para aquicultura, principalmente por possuir características favoráveis como: ciclo de vida curto (até quatro anos), hábito alimentar não carnívoro, aceitando facilmente o alimento artificial (CERGOLE; DIAS-NETO, 2011), desovas naturais espontâneas durante todos os períodos do ano, quando é mantida em cativeiro (MAGNOTTI et al., 2020), e larvicultura relativamente curta, sem canibalismo e com sobrevivência entre 30 e 60% (CERQUEIRA et al., 2020). Indivíduos adultos atingem em média 220 mm, o estágio larval abrange indivíduos de 3,5 a 19,0 mm, o estágio pré-juvenil se inicia com uma considerável mudança nas proporções corporais (até 30 mm), e com 45 dias, os juvenis já podem medir até 40 mm (CERQUEIRA et al., 2017).

Figura 1 – Sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis*.



Fonte: Viennetta / Shutterstock.com

### 1.2.1 Distribuição geográfica

O gênero *Sardinella* é largamente distribuído ao redor do mundo, ocupando os dois lados do Oceano Atlântico e do Indo-Pacífico. Na costa brasileira, a sardinha-verdadeira é encontrada ao longo da área compreendida entre os estados do Rio de Janeiro (Cabo de São Tomé, 22° S) e Santa Catarina (ao sul do Cabo de Santa Marta Grande, 28° S). A espécie é capturada, normalmente, entre as profundidades de 30 e 100 m (CERGOLE; DIAS-NETO, 2011).

### 1.2.2 Hábito alimentar

É uma espécie marinha onívora, que se alimenta de fito e zooplâncton desde o estágio larval até o final de todo o seu ciclo de vida (SCHWARTZLOSE et al., 1999; KURTZ; MATSUURA, 2001; HOFFMANN, 2022;). Os náuplios de copépode constituem o item mais importante (CERGOLE; DIAS-NETO, 2011). No estágio larval a alimentação da sardinha é composta, predominantemente, por organismos zooplanctônicos, náuplios de copépode nos estágios de pré-flexão e flexão da notocorda (4,5 – 11,0 mm), e copépode adultos nos estágios pós flexão e pré-juvenil (11,25 – 17,25 mm) (KURTZ, 1999).

O espectro alimentar aumenta com o desenvolvimento larval, nitidamente após a fase de pós-flexão. Juvenis e adultos apresentam flutuações sazonais em suas dietas, sendo que no outono e na primavera sua presa predominante é o zooplâncton, 74,2% do volume alimentar, e no inverno o fitoplâncton com 66% (SCHNEIDER; SCHWINGEL, 2010; CERQUEIRA et al., 2020).

### 1.2.3 Ciclo de vida

O ciclo de vida da sardinha verdadeira tem duração aproximada de 3 a 4 anos, no qual a espécie pode atingir comprimento máximo de cerca de 250 mm (VASCONCELLOS, 2003). O crescimento e maturação rápidos fazem com que a transição entre os estágios iniciais e o adulto tenha uma duração de apenas 1 ano (VASCONCELLOS, 2003). A desova é parcelada ou múltipla, cada fêmea solta vários lotes de ovócitos durante uma única estação, com fecundidade parcial entre 20.000 e 35.000 ovócitos por fêmea, ou aproximadamente 356 a 431 ovos/g de fêmea por desova (ISAAC-NAHUM et al., 1988; MATSUURA, 1977; VAZZOLER e ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 1976), liberados nas camadas superficiais durante o período noturno (MATSUURA et al., 1992).

A sardinha-verdadeira atinge a maturidade sexual com comprimento total entre 160-170 mm, com aproximadamente um ano e meio de vida, estando todos os indivíduos da população maduros com 210-220 mm (CERGOLE; DIAS-NETO, 2011). A desova acontece no fim da primavera e no verão havendo picos de desova durante dezembro e janeiro (MATSUURA, 1998; MAGNOTTI et al., 2020), em águas marinhas em que a temperatura se torna relativamente homogênea, entre 22 e 28 °C (MATSUURA, 1998; GIGLIOTTI et al., 2010). O intervalo entre desovas varia de quatro a onze dias. Os ovos são livres, planctônicos e flutuantes, de forma esférica, com diâmetro médio de 1,2 mm, variando de 1,00 a 1,40 mm com uma pequena gota de óleo no pólo vegetativo (SACCARDO; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, 1991).

## 1.3 CRIAÇÃO DA SARDINHA EM CATIVEIRO

A produção da sardinha-verdadeira em cativeiro surgiu como uma alternativa à pesca no ano de 2009, quando o Laboratório de Piscicultura Marinha (LAPMAR) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) foi pioneiro no desenvolvimento de pesquisa e tecnologias de criação da espécie, com os objetivos de reduzir os efeitos negativos sobre a captura, suprir a demanda no mercado consumidor, e gerar uma redução da pressão da pesca sobre os estoques naturais da espécie.

Alguns estudos foram realizados com a espécie no decorrer do tempo, focando em áreas como a pesca (CASTELLO, 2007), a biologia alimentar e reprodutiva (GARCIA; REYNALTE-TATAJE; ZANIBONI-FILHO, 2015) e a ecologia (GIGLIOTTI et al., 2010). Posteriormente foram realizadas pesquisas com a reprodução e a indução hormonal

(PASSINI et al., 2013), desovas espontâneas, alimentação de larvas e juvenis (BALOI et al., 2017; STERZELECKI et al., 2018), sistemas de cultivo (GUINLE et al., 2015), cultivo em tanque-rede (TATSCH, 2015), maturação em cativeiro (MANZONI et al., 2014; 2015), influência da temperatura no cultivo de larvas (ANGELO et al., 2021), desenvolvimento ovariano e maturação sexual (LEITE DE FREITAS, 2021), o seu cultivo em laboratório (CERQUEIRA et al., 2020), a primeira alimentação (STERZELECKI et al., 2021a, 2021b); e a descrição detalhada do desenvolvimento do trato digestório (HOFFMANN, 2022).

O primeiro ciclo produtivo de juvenis em laboratório foi realizado em 2012 (PASSINI et al., 2013). Juvenis selvagens ( $1,3 \pm 0,1$  g e  $5,9 \pm 0,2$  cm) foram capturados por traineiras comerciais em 2011 ao longo do litoral de Florianópolis (Santa Catarina, Brasil), mantidos em laboratório por dois anos, até alcançarem tamanho de primeira maturação. A desova e a fertilização foram naturais, os ovos coletados a partir de uma saída de água na parte superior do tanque dos reprodutores, conectada a uma incubadora cilindro-cônica de 36 L com tela de 500  $\mu$ m na parte inferior (CERQUEIRA et al., 2017). A taxa de fertilização foi de 85%, produzindo 41.212 ovos embrionados, com  $1,16 \pm 0,05$  mm de diâmetro e o tempo de incubação é de 18 h a 24°C, e a taxa de eclosão de 68,25% (CERQUEIRA et al., 2017).

Os ovos foram estocados em tanques de 5000 L (volume útil) em densidades de 6 larvas/L, adicionando a microalga *Nannochloropsis oculata* ( $2,0 \times 10^5$  células/mL), (CERQUEIRA et al., 2020). A alimentação inicial das larvas foi o rotífero (*Brachionus rotundiformis*) do 2º dia após a eclosão até o dia 15, náuplio de *Artemia* sp fornecido do dia 10 até o dia 29 (CERQUEIRA et al., 2020). Uma co-alimentação com alimento vivo e dieta artificial granulada com 45% de proteína (desmame) iniciou no dia 12, permanecendo somente a dieta artificial a partir do dia 30. Neste momento a sobrevivência foi de 60%, os indivíduos eram juvenis, com a metamorfose completa, com peso de  $0,86 \pm 0,1$  g e comprimento de  $4,90 \pm 0,19$  cm (CERQUEIRA et al., 2017; CERQUEIRA et al., 2020).

Para peixes marinhos, é comum utilizar uma faixa de densidade de estocagem entre 5 e 20 larvas/L (CERQUEIRA et al., 2017). Nos experimentos realizados no LAPMAR, a densidade variou de 1 a 50 larvas/L, com diferentes resultados de crescimento e sobrevivência. O cultivo da sardinha-verdadeira em laboratório tem sido realizado em tanques de 6 m<sup>3</sup> com densidades de 4 a 6 larvas/L, apresentando uma sobrevivência de até 60% após um período de 30 dias (CERQUEIRA et al., 2017), resultando em uma produção de 13.000 e 21.000 juvenis nos anos de 2013 e 2014, respectivamente (VALLE, 2014). Em experimentos de curta duração (8 dias de idade, momento da troca de alimento vivo de

rotíferos para *Artemia*) e utilizando densidade de 10 larvas/L, Sterzelecki et al. (2021b) verificaram sobrevivência de 30 a 40% para larvas alimentadas com rotíferos enriquecidos e suplementadas com copépode. Enquanto Sterzelecki et al. (2021a) tiveram sobrevivência superior a 55% para larvas alimentadas com rotíferos enriquecidos em sistema de água verde na densidade de 2,6 a 5,9 rot/mL.

#### 1.4 SISTEMAS DE CULTIVO DE PEIXES MARINHOS

De acordo com Von Ihering (1932), o cultivo extensivo de peixes marinhos no Brasil era uma realidade desde a década de 1930, com espécies como: tainhas (*Mugil spp.*), carapebas (*Eugerres e Diapterus*), o robalo-peva (*Centropomus parallelus*), e o linguado (*Paralichthys orbignyanus*). Por outro lado, as possibilidades de criação intensiva de cerca de 16 espécies de peixes marinhos também têm sido estudadas como: *Sardinella brasiliensis*, *Mugil liza* e *Mugil platanus*, *Lutjanus analis*, *Epinephelus marginatus*, *Trachinotus marginatus*, *Rachycentron canadum*; mas seu cultivo comercial ainda não é uma realidade (BALDISSEROTTO; GOMES, 2010).

Os sistemas de larvicultura de peixes marinhos são complexos, no sentido em que simulam condições ideais de ambiente e alimentação de maneira a estimular o crescimento das larvas produzidas (FERRAZ et al., 2011). A produção de formas jovens para a aquicultura é feita em diversos sistemas, variando de extensivos a altamente intensivos, os quais diferem basicamente pelo grau de tecnificação empregado, densidades de estocagem, volume de tanques de cultivo e fontes de alimento (SHIELDS, 2001). Sistemas intensivos utilizam altas densidades e um controle rigoroso nos parâmetros de qualidade da água, já os sistemas extensivos ocorrem em condições menos rigorosas de qualidade de água e controle de alimento (PAPANDROULAKIS et al., 2004). Entretanto, a realização de larviculturas em sistemas extensivos, com tanques de maior volume, tem produzido resultados melhores na sobrevivência em comparação com sistemas mais intensivos que utilizam tanques menores (Souza-Filho & Tosta, 2008).

##### 1.4.1 Sistema intensivo

É um sistema de criação em ambientes fechados, que se caracteriza por usar altas densidades larvais em tanques pequenos, sob condições hidráulicas, térmicas, de luz e de alimentação específicas (DIVANACH; KENTOURI, 2000; PAPANDROULAKIS et al.,

2004; ESTÉVEZ et al., 2019). O fotoperíodo, a intensidade e o espectro da luz são artificiais, mudando frequentemente com a idade das larvas. A temperatura e a qualidade da água, bem como a hidrodinâmica, são totalmente controladas (RODRIGUES, 2020). A geometria e organização do tanque (cor das paredes e fundo, posição e orientação da entrada e saída de água, das lâmpadas e dos alimentadores) são muito precisas de forma a permitir tanto o comportamento homogêneo de todas as larvas quanto boas condições ergonômicas para um fácil manejo dos tanques (alimentação, descarga de resíduos sedimentados etc.) (DIVANACH; KENTOURI, 2000).

A alimentação é totalmente exógena e restrita a uma dieta de presas vivas que não se mantem no ambiente das larvas cultivadas e necessitam de enriquecimento especial (proteínas, ácidos graxos altamente insaturados - HUFA, vitaminas) para atender às necessidades metabólicas das larvas (DIVANACH; KENTOURI, 2000). Além disso, a produção em massa destas presas em infraestruturas especiais paralelas está totalmente sincronizada com a larvicultura (DIVANACH; KENTOURI, 2000). O sucesso no cultivo é altamente dependente do nível de conhecimento das necessidades biológicas específicas das larvas, de igual maneira, o crescimento e a sobrevivência dependerão, em grande medida, da disponibilidade de alimentos e das condições ambientais durante a criação (ESTÉVEZ et al., 2019).

#### **1.4.2 Sistema semi-extensivo**

Nestes sistemas, as larvas são o nível superior da cadeia alimentar e as únicas beneficiárias. Eles derivam de técnicas utilizadas durante séculos em países continentais, são ambientes inoculados com fitoplâncton e zooplâncton, e povoados com ovos ou larvas de peixes incubados em condições naturais até atingirem o tamanho desejado (DIVANACH; KENTOURI, 2000; PAPANDROULAKIS et al., 2004).

A larvicultura é realizada em baixas densidades, em grandes volumes de água ao ar livre (DIVANACH; KENTOURI, 2000). As culturas ficam sem proteção e expostas a todas as flutuações climáticas e adaptam-se ao ambiente natural, com especificidades regionais, sazonais e geográficas. O fotoperíodo é longo (>18 horas) e as temperaturas temperadas (15-21°C) (DIVANACH; KENTOURI, 2000). O meio de criação é a água do mar retirada de ambiente costeiro, lagoa ou poço litorâneo. A água é usada diretamente após filtração em malha de 250-350 µm (para eliminação de potenciais predadores/competidores), e depois inoculada com novas cadeias alimentares (DIVANACH; KENTOURI, 2000). Geralmente

não há renovação contínua nem maiores cuidados com a qualidade da água. Nesse sistema de criação os peixes dependem do alimento natural presente no corpo de água, não sendo utilizado dieta seca e suplementos alimentares (SANTANA DE FARIA et al., 2013). Nesse tipo de produção, é possível a utilização de técnicas de policultivo, quando são produzidas diferentes espécies de forma paralela (RODRIGUES, 2020).

#### *1.4.2.1 Mesocosmo*

Os sistemas de mesocosmo são cultivos de larvas de peixes com volume de água que varia de 1 a 10.000 m<sup>3</sup>. Nestes ambientes se desenvolve um ecossistema pelágico, constituído por uma cadeia alimentar natural multiespecífica de fitoplâncton (diatomáceas, flagelados) e zooplâncton (ciliados Tintínídeos, rotíferos e copépodes), (LAVENS; SORGELOOS, 1996). São considerados como um intermediário entre os sistemas intensivo e extensivo, pois integram aspectos de produção extensiva, como o aproveitamento da energia solar e do alimento natural, e intensiva, como o uso de alimento artificial e o controle de variáveis de qualidade da água (PAPANROULAKIS et al., 2004).

O mesocosmo tem se tornado popular na produção de larvas (SHIELDS, 2001), pois utiliza uma baixa densidade de indivíduos (DIVANACH; KENTOURI, 2000), aproximando as características do cultivo ao do ambiente natural. A intensificação ou aumento da densidade de estocagem dentro do mesocosmo é determinada pela carga inicial, pelo nível de compostos endógenos e exógenos presentes no sistema (fertilização) e pelo tipo de espécie que será cultivada (LAVENS; SORGELOOS, 1996).

Em mesocosmos destinados ao cultivo de organismos aquáticos, a água utilizada é filtrada com malhas de 350-500µm e fertilizada para promover a proliferação de plâncton. A diversidade de alimento no sistema provoca bons desempenhos, sendo uma solução emergente para espécies sem tecnologia de cultivo estabelecida (DIVANACH; KENTOURI, 2000; ZOUITEN et al., 2011). As larvas de peixes são estocadas no mesocosmo quando as densidades de presas atingem níveis apropriados para o sistema de cultivo, ou quando os organismos cultivados em um sistema são colhidos e fornecidos às larvas de peixes mantidas em tanques separados (LAVENS; SORGELOOS, 1996).

Os sistemas de mesocosmo têm custos consideravelmente menores devido à simplicidade de instalação e requerem pouco controle sobre as condições ambientais. Além disso, tem a vantagem de ser menos trabalhosos do que os sistemas de produção intensiva de copépode por serem sistemas de automanutenção, o que os torna menos vulneráveis a falhas

técnicas ou problemas na produção (LAVENS; SORGELOOS, 1996). Embora seja uma técnica conhecida, existe ainda uma escassez de estudos sobre a eficiência da criação de larvas de diferentes espécies nesse sistema (DIVANACH; KENTOURI, 2000).

## 1.5 TRATO DIGESTÓRIO

Durante a ontogenia inicial, os peixes são submetidos a uma série de mudanças na sua morfologia (GISBERT et al., 2000). Apresentam diversas adaptações do sistema digestório, conforme a especialização requerida para ingerir, digerir e absorver os diferentes tipos de alimento (BALDISSEROTTO, 2009). O trato digestório é o primeiro sistema que possui acesso aos nutrientes da dieta, além de possuir um importante papel na regulação do metabolismo dos peixes (BUDDINGTON; KROGDAHL, 2004; POLAKOF et al., 2012), assim, a caracterização morfológica do trato digestório dos peixes é primordial, já que está diretamente relacionada com a dieta, as características do local de alimentação e o estágio de desenvolvimento do indivíduo (SEIXAS FILHO et al., 2000; BECKER et al., 2010; HOFFMANN, 2022).

Yúfera e Darias (2007) afirmam que a maioria das larvas de peixes marinhos eclodem com um sistema digestório rudimentar, sem boca, e com olhos não pigmentados. Neste momento, o trato digestório é anatomicamente um tubo reto indiferenciado simples (DABROWSKI, 1984), com saco vitelino, e um epitélio formado por uma camada monoestratificada de células colunares ou cúbicas (YÚFERA; DARIAS, 2007). O estágio larval é seguido por um estágio transformacional, caracterizado por modificações anatômicas, morfométricas e fisiológicas substanciais em sua ontogênese para interagir adequadamente com o ambiente em que vivem, com consequentes mudanças em suas necessidades nutricionais (ROTTA, 2003). No final deste período, o vitelo é completamente reabsorvido, a boca e o trato digestório são formados, o ânus está aberto, e os olhos pigmentados (KENDALL; AHLSTROM; MOSER 1984).

Por outro lado, Buddington (1985) e Chen et al. (2006) determinaram que o desenvolvimento ontogenético do sistema digestório na maioria dos peixes teleósteos é geralmente dividido em três fases principais: a primeira fase começa na eclosão e termina no final da alimentação endógena. Durante este período, as larvas dependem das reservas energéticas do saco vitelino. A segunda fase começa com o início da alimentação exógena e termina antes da formação das glândulas gástricas no estômago. Como resultado, as larvas de peixes geralmente se alimentam de alimentos vivos, como rotíferos e copépodes, que

podem ser facilmente ingeridos e digeridos. A terceira fase inicia-se a partir da presença das glândulas gástricas e apêndices pilóricos da metamorfose em diante, indicando a maturação funcional do sistema digestório (CHEN et al., 2006).

As capacidades fisiológicas das larvas são limitadas e, portanto, requerem dietas específicas, sejam organismos alimentares vivos ou dietas formuladas (WATANABE; KIRON, 1994), uma vez que o trato digestório das larvas está adaptado para digerir organismos zooplanctônicos (SEGNER et al., 1989). Por outro lado, as larvas de peixes marinhos têm reservas de vitelo muito escassas e são rapidamente absorvidas, pelo que devem ingerir o seu primeiro alimento (fitoplâncton e zooplâncton) com poucos dias de vida (CIVERA; ALVAREZ; MOYANO, 2004).

Entre os fatores que mais afetam a sobrevivência e o crescimento das larvas estão os internos relacionados à alimentação e nutrição das larvas de peixes marinhos (CIVERA; ALVAREZ; MOYANO, 2004). Para Yúfera e Darias (2007), o início da alimentação exógena é um momento crucial no desenvolvimento das larvas de peixes. Esta fase tem sido associada à mortalidade, tanto na natureza como em laboratório (YÚFERA; DARIAS, 2007). Para realizar essa transição com sucesso, é necessário que todas as estruturas e órgãos relacionados ao consumo, digestão e assimilação de alimentos estejam prontos no momento certo e que a alimentação adequada esteja disponível (YÚFERA; DARIAS, 2007).

Segundo Rotta (2003), um dos principais requisitos para o bom desenvolvimento da piscicultura é o conhecimento adequado da biologia das espécies utilizadas no cultivo, tornando essencial a compreensão da fisiologia da espécie, e do funcionamento dos diferentes sistemas do organismo. Na larvicultura, o conhecimento sobre o tempo em que os principais eventos ontogênicos acontecem são informações indispensáveis para se obter sucesso no desenvolvimento dos peixes (GODINHO; GODINHO, 2003; HOFFMANN, 2022). Investigações sobre hábitos alimentares por meio de análises morfológicas ajudam na interpretação da dinâmica de alimentação e da ocupação espacial dos peixes (CANAN et al., 2011, 2012; MONTENEGRO et al., 2011; SILVA; CASTRO; GUBIANI, 2005). Na atualidade, existe um crescente interesse nos estudos morfológicos do sistema digestório dos peixes, para haver uma melhor compreensão de suas necessidades alimentares na natureza e de sua assimilação, conhecimento que ainda é escasso (HOFFMANN, 2022).

Com relação às sardinhas, poucos são os estudos e as informações que se conhecem sobre o desenvolvimento ontogênico na fase de larva. O primeiro trabalho que descreve o desenvolvimento do trato digestório das larvas de sardinha-verdadeira cultivada em laboratório foi feito por Hoffmann (2022). Neste trabalho, larvas de sardinha foram criadas

em sistema intensivo, estocadas em tanques cilíndricos de 60 L e densidades de 50 indivíduos/L, mantidas por 25 dias em temperatura de 25 °C. Foi possível identificar o tempo em que os principais eventos ontogênicos acontecem. No entanto, ainda não existem estudos que descrevam o desenvolvimento da sardinha-verdadeira no sistema semi-extensivo do tipo mesocosmo, sendo oportuno comparar o desenvolvimento da espécie nos diferentes tipos de cultivo. Por outro lado, o volume de conhecimentos que ajudem a viabilizar a aquicultura das sardinhas ainda é baixo, principalmente na etapa de larvicultura, que geralmente representa um gargalo na cadeia produtiva de diversas espécies marinhas (BERLINSKY et al., 2004; VDASTEIN et al., 2018).

## **2 HIPÓTESES**

O cultivo em sistema de mesocosmo influencia o desempenho zootécnico e o desenvolvimento do trato digestório das larvas de sardinha-verdadeira.

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Comparar o desenvolvimento ontogênico da larva de sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) cultivada em mesocosmo e sistema intensivo.

### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Avaliar o desempenho zootécnico das larvas em mesocosmo e sistema intensivo.
- ❖ Analisar a composição alimentar do mesocosmo
- ❖ Descrever o desenvolvimento do trato digestório das larvas em mesocosmo.

## **4 ESTRUTURA DO TRABALHO**

A dissertação foi organizada em forma de artigo, formatado com base nas normas da revista Aquaculture.

## DESENVOLVIMENTO DA LARVA DE SARDINHA-VERDADEIRA CULTIVADA EM SISTEMA INTENSIVO E MESOCOSMO: DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E ONTOGENIA DO TRATO DIGESTÓRIO

Liseth Carolina Perenguez Riofrio<sup>a,\*</sup>; Fábio Sterzelecki<sup>b</sup>; Mariana Rangel Pilotto<sup>c</sup>; Caio Magnotti<sup>a</sup>; Vinicius Ronzani Cerqueira<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Laboratório de Piscicultura Marinha (LAPMAR), Departamento de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, Brasil - CEP: 88.040-970.

<sup>b</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia (ISARH), Belém, PA, Brasil – CEP: 66.077-830

<sup>c</sup> Laboratório de Contaminação Aquática e Imunoquímica (LABCAI), Departamento de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC, Brasil - CEP: 88.037.000

\* Autor correspondente

E-mail: aniloraksil@gmail.com

### RESUMO

A sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) é um importante recurso pesqueiro do Brasil. Nesta espécie já foram realizados estudos sobre a reprodução em cativeiro e criação de juvenis. No entanto, são poucos os dados relativos à sua criação larval, e a maioria do conhecimento está centrada no sistema intensivo, sendo escassos os estudos em sistema semi-extensivo tipo “mesocosmo”. O presente estudo comparou o desenvolvimento da larva de sardinha-verdadeira cultivada em sistema semi-extensivo e sistema intensivo, através da avaliação do desempenho zootécnico e da ontogenia do trato digestório. Larvas recém-eclodidas foram estocadas em uma densidade de 5 indivíduos L<sup>-1</sup> em tanques de 8 m<sup>3</sup> em triplicata e mantidas por 25 dias. A alimentação foi feita com zooplâncton produzido no próprio tanque, rotíferos produzidos em tanque externo e dieta comercial. A larvicultura em sistema intensivo foi realizada em tanques de 60 L, em uma densidade de 50 indivíduos L<sup>-1</sup>, a alimentação foi feita com rotíferos e dieta comercial. Foram analisadas amostras de larvas coletadas nos dias 1, 5, 7, 10, 15, 20 e 25 após a eclosão. De larvas do mesocosmo foram feitos cortes histológicos que foram analisados em microscopia de luz e registrados fotograficamente. As larvas cultivadas em mesocosmo apresentaram um crescimento superior (3,53 ± 0,27 cm; 0,35 ± 0,09 g) às cultivadas em sistema intensivo (2,19 ± 0,27 cm; 0,04 ± 0,03 g). A sobrevivência foi de 38,38 ± 27,73 % no mesocosmo e 11,50 ± 5,90% no sistema intensivo, sem diferenças significativas. No mesocosmo, a absorção do vitelo ocorreu a partir do primeiro dia após a eclosão, a abertura completa da boca e ânus no quinto dia e o trato digestório totalmente desenvolvido no 15º dia. A diferenciação do trato digestório em bucofaringe, esôfago, intestino anterior e posterior foi concluída no quinto dia, o desenvolvimento total do estômago e o aparecimento dos cecos pilóricos aconteceu no 15º dia, sendo estes os últimos órgãos a se diferenciar. Do 15º até o 25º dia, as únicas alterações aconteceram em relação ao tamanho dos órgãos. Conclui-se que o cultivo em mesocosmo favoreceu o desenvolvimento das larvas, possivelmente devido ao aproveitamento do alimento natural, e apresenta grande potencial para a produção massiva de larvas de sardinha.

*Palavras-chave: Sardinella brasiliensis, larvicultura, larvas de peixes marinhos, histologia.*

#### 4.1 INTRODUÇÃO

A sardinha-verdadeira *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) é uma espécie de peixe de grande interesse econômico no Brasil (Figueiredo et al., 2010). É um dos principais recursos pesqueiros para a indústria alimentícia (Barone et al., 2017; Cergole e Dias-Neto, 2011; Kurtz e Matsuura, 2001; Rossi-Wongtschowski et al., 2003), pois sustenta uma importante cadeia pesqueira (Cergole e Dias-Neto, 2011), sendo utilizada principalmente para produção de conservas e como isca viva para a captura do bonito-listrado, *Katsuwonus pelamis* (Cergole e Dias-Neto, 2011).

No Brasil, as sardinhas são frequentes, junto com outras dezenas de espécies que se encontram em menor proporção (Univali, 2013). Em 2012, por exemplo, das 70 espécies de peixes capturadas, oito representaram mais do 20% da produção, entre as que se destacam a Sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) e a Sardinha lage (*Opisthonema oglinum*), (Prysthon e Valladão, 2016). Na pesca industrial, ela se destaca como a espécie mais capturada da região sul/sudeste, sendo responsável pela maior parte das capturas no Brasil (Freire et al., 2014). A pesca industrial da sardinha-verdadeira é estratégica para o país, tanto do ponto de vista produtivo por ser a espécie mais capturada, quanto pela movimentação da cadeia produtiva (Prysthon e Valladão, 2016), alcançando mais de 1 bilhão por ano (Abia, 2013), além de possuir um importante papel socioeconômico graças ao custo relativamente baixo de aquisição (Pereira e Tenuta-Filho, 2005; Figueiredo et al., 2010).

A sardinha-verdadeira é considerada uma espécie com grande potencial para aquicultura, principalmente por possuir características favoráveis como: rápido crescimento, ciclo de vida curto (até quatro anos), hábito alimentar não carnívoro (Cergole e Dias-Neto, 2011), aceitando facilmente o alimento artificial. Desovas naturais e espontâneas durante todos os períodos do ano, quando é mantida em cativeiro (Magnotti et al., 2020), larvicultura relativamente curta, sem canibalismo e sobrevivência até a metamorfose para juvenil entre 30 e 60% (Cerqueira et al., 2020).

No entanto, o volume de conhecimentos que ajudem a viabilizar a aquicultura das sardinhas ainda é baixo, principalmente na fase de larvicultura, a qual representa um gargalo na cadeia produtiva de diversas espécies marinhas (Berlinsky et al., 2004; Vdastein et al., 2018). A maioria dos conhecimentos sobre produção de larvas de peixes marinhos está

centrada no sistema intensivo, sendo escassos os estudos em sistemas de cultivo tipo mesocosmo (Georgalas et al., 2007).

A produção de formas jovens para a aquicultura é feita em diversos sistemas, variando de extensivos a altamente intensivos, os quais diferem basicamente pelo grau de tecnificação empregado, densidades de estocagem, volume de tanques de cultivo e fontes de alimento (Shields, 2001). Sistemas intensivos utilizam altas densidades e um controle rigoroso nos parâmetros de qualidade da água, já os sistemas extensivos ocorrem em condições menos rigorosas de qualidade de água e controle de alimento (Papandroulakis et al., 2004). O mesocosmo é considerado como um intermediário entre os sistemas intensivo e extensivo, pois integra aspectos de produção extensiva, como o aproveitamento da energia solar e do alimento natural, e intensiva, como o uso de alimento artificial e o controle de variáveis de qualidade da água (Papandroulakis et al., 2004). Ele tem a vantagem de ser menos trabalhoso do que os sistemas de produção intensiva, pois é um sistema com automanutenção, o que o torna menos vulnerável a falhas técnicas ou problemas na produção (Lavens e Sorgeloos, 1996).

O mesocosmo é feito em volumes de água que variam de 1 a 10.000 m<sup>3</sup>, os cultivos ficam expostas a todas as flutuações climáticas e se adaptam ao ambiente natural (Lavens e Sorgeloos, 1996). O meio de criação é a água do mar, retirada de ambiente costeiro, lagoa ou poço litorâneo, e a larvicultura é realizada em baixas densidades, fotoperíodo longo (>18 horas) e temperaturas temperadas (15-21 °C) (Divanach e Kentouri, 2000; Lavens e Sorgeloos, 1996). Este sistema tem se tornado popular na produção de larvas (Shields, 2001), pois a baixa densidade se aproxima das características do ambiente natural, além de ter custos consideravelmente menores, graças à simplicidade de instalação, e por exigirem pouco controle das condições ambientais (Lavens e Sorgeloos, 1996).

Em mesocosmos destinados ao cultivo de organismos aquáticos, a água utilizada é filtrada e fertilizada para promover a proliferação de plâncton. A diversidade de alimento no sistema provoca bons desempenhos, sendo uma solução emergente para espécies sem tecnologia de cultivo estabelecida (Divanach e Kentouri, 2000; Zouiten et al., 2011). Embora seja uma técnica conhecida, existe ainda uma escassez de estudos sobre a eficiência da criação de larvas de diferentes espécies nesse sistema (Divanach e Kentouri, 2000). Em geral, o mesocosmo possibilita um desenvolvimento mais rápido, em comparação com o sistema intensivo, resultando em juvenis de maior tamanho com o trato digestório bem desenvolvido (Besbes et al., 2020; Papadakis et al., 2013; Yúfera et al., 2014; Zaiss et al., 2006; Zouiten et al., 2011).

Os peixes apresentam diversas adaptações do sistema digestório, conforme a especialização requerida para ingerir, digerir e absorver os diferentes tipos de alimento (Baldisserotto, 2009). O trato digestório é o primeiro sistema com acesso aos nutrientes da dieta, além de possuir um importante papel na regulação do metabolismo dos peixes (Buddington e Krogdahl, 2004; Polakof et al., 2012). Assim, a caracterização morfológica do trato digestório dos peixes é primordial, já que ela se relaciona diretamente com a dieta, as características do local de alimentação e o estágio de desenvolvimento do indivíduo (Becker et al., 2010; Seixas Filho et al., 2000; Hoffmann, 2022). Na larvicultura, o conhecimento sobre o tempo em que os principais eventos ontogênicos acontecem são informações indispensáveis para se obter sucesso no desenvolvimento dos peixes (Godinho e Godinho, 2003; Hoffmann, 2022).

Com relação à sardinha-verdadeira, grande parte das pesquisas realizadas em laboratório foram em sistema intensivo: seu cultivo em laboratório (Cerqueira et al., 2020), a primeira alimentação (Sterzelecki et al., 2021b, 2021a), entre outros. Poucos são os estudos e as informações que se conhecem sobre o desenvolvimento ontogênico na fase da larvicultura. O primeiro trabalho que descreve o desenvolvimento do trato digestório das larvas de sardinha verdadeira cultivada em laboratório foi realizado em sistema intensivo (Hoffmann, 2022). Neste trabalho foi possível identificar o tempo em que os principais eventos ontogênicos acontecem. No entanto, ainda não existem estudos que descrevam o desenvolvimento da sardinha-verdadeira no sistema semi-extensivo do tipo mesocosmo, sendo oportuno comparar o desenvolvimento da espécie nos diferentes tipos de cultivo. Dessa forma, o presente estudo busca comparar o desenvolvimento larval da sardinha-verdadeira cultivada em sistema intensivo e mesocosmo, através da avaliação do desempenho zootécnico e da ontogenia do trato digestório.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Local de estudo e origem das larvas

O experimento foi realizado no Laboratório de Piscicultura Marinha (LAPMAR/UFSC, 27° 35' 8.960" S; 48° 26' 24.235" W), da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

As larvas de sardinha-verdadeira foram obtidas a partir de uma desova espontânea de matrizes reprodutoras (primeira geração F1) do LAPMAR, mantidas em tanques circulares

de PEAD de 8 m<sup>3</sup>, com fluxo contínuo e renovação diária de água de 350% (19 - 20 L min<sup>-1</sup>), fotoperíodo natural (latitude 27° S), salinidade 35 e temperatura da água de acordo com o ambiente (17 - 30 °C). Os ovos foram coletados automaticamente através do fluxo contínuo de água superficial do tanque de reprodutores e concentrados em um tanque cilindro-cônico de 35 L, com malha de 500 µm, seguindo o protocolo de (Cerqueira et al., 2017) e Cerqueira et al. (2020). A transferência das larvas para as unidades experimentais foi realizada 16 horas após a eclosão dos ovos, momento de início da pigmentação dos olhos e antes da abertura da boca.

#### **4.2.2 Preparação e composição do mesocosmo**

O sistema de cultivo foi adaptado da metodologia de Lavens e Sorgeloos, (1996). Água do mar, rica em fito e zooplâncton, foi bombeada para três tanques circulares de 8 m<sup>3</sup>, usando filtros de 200-500 µm, para evitar a entrada de predadores das larvas. Uma adubação foi iniciada dois dias antes da introdução das larvas, para propiciar o desenvolvimento do plâncton endógeno com 10 g/m<sup>3</sup> de nitrato de sódio (Quimidrol, The Chemical Company, Germany) e 2 g/m<sup>3</sup> de fosfato monossódico (Cosmo química, Wuhan Waking Lion, China). Coletas diárias foram realizadas para quantificar a composição de zooplâncton de cada tanque. Para isso foram filtrados 5 L de cada um utilizando peneira de 40 µm e posteriormente foi concentrado em 45 mL e adicionados 5 mL de formol tamponado. Rotíferos e copépodes presentes foram quantificados diariamente desde o segundo até o 15º dia.

#### **4.2.3 Cultivo das larvas**

##### *4.2.3.1 Mesocosmo*

As larvas recém-eclodidas foram introduzidas nos tanques de mesocosmo (em triplicata) na densidade de 5 indivíduos L<sup>-1</sup> e mantidas por 25 dias. O volume útil inicial de água do mar, proveniente da Praia da Barra da Lagoa (Florianópolis, SC), foi de 4 m<sup>3</sup> até o 7º dia, e foi aumentado gradativamente (160 L dia<sup>-1</sup>) até 8 m<sup>3</sup> no término do experimento. O fotoperíodo foi natural (~14 h de luz por dia), a salinidade 35, a temperatura da água de acordo com o ambiente (17 - 30 °C) e aeração constante. As larvas se alimentaram do

zooplâncton endógeno do tanque de cultivo e, quando necessário (entre o 2° e 10° dia), foram introduzidos rotíferos (*Brachionus rotundiformis*) na concentração de 1-5 rotíferos mL<sup>-1</sup> cultivados com dieta comercial (Culture Selco, INVE Aquaculture, Bélgica) e enriquecidos (Red Pepper – BernAqua). A partir do 7° até o 22° dia foi fornecida dieta comercial de 300 µm (Nutrimia, Feed & Care Tecnologia Ltda., Natal, RN), contendo 45% de proteína bruta, e aumentando sua granulometria para 500-800 µm no 22° e até o 25° dia, seis vezes ao dia até a saciedade aparente (Figura 2).

Figura 2 – Esquema de alimentação na larvicultura de sardinha-verdadeira em mesocosmo (tanques de 8 m<sup>3</sup>).

Idade larval	1	5	10	15	20	25
Comprimento larval (mm)	7,5	18,2	23,7	27,8	35,3	39,5
Fotoperíodo	Natural					
Microalga	Fitoplâncton selvagem					
Rotífero	<i>B. rotundiformis</i>					
Zooplâncton	Selvagem (copépodes principalmente)					
Tamanho da dieta seca (mm)				0,1 - 0,3		0,5 - 0,8

#### 4.2.3.2 Sistema intensivo

A larvicultura em sistema intensivo foi realizada em tanques circulares com volume útil de 60 L (em triplicata), na densidade inicial de 50 indivíduos L<sup>-1</sup>, mantidas por 25 dias em sala climatizada com temperatura de 25 °C, fotoperíodo 24L:0E até o 5° dia pós-eclosão, e 14L:10E até o final do experimento. Foi utilizada água verde com *Chlorella* spp. (ω3ALGAE-BernAqua) até o 8° dia, sem renovação. A renovação de água iniciou com 10% do volume do tanque, aumentando para 20% até o 12° dia, e renovação constante até o final do experimento.

A alimentação inicial foi feita com rotífero (*Brachionus rotundiformis*), cultivado com dieta comercial (Culture Selco, INVE Aquaculture, Bélgica) e enriquecido (Red Pepper-BernAqua) na concentração de 2-20 rotíferos mL<sup>-1</sup>. No 10° dia, além do rotífero foi fornecido náuplio de *Artemia* sp. (Cisto Arb, Bio Artemia, Rio Grande do Norte) enriquecida (Red Pepper - BernAqua) na densidade de 2 náuplios mL<sup>-1</sup>. A quantidade de alimento foi ajustada a partir da contagem diária do residual utilizando uma amostragem de 3 mL de cada unidade experimental. Posteriormente, no 12° dia, foi fornecida dieta seca

comercial de 300-500  $\mu\text{m}$  (Nutrimia, Feed & Care Tecnologia Ltda., Natal, RN) contendo 45% de proteína bruta, e aumentando sua granulometria para 500-800  $\mu\text{m}$  no 22º dia até o 25º dia, seis vezes ao dia (Figura 3).

Figura 3 – Esquema de alimentação na larvicultura de sardinha-verdadeira em sistema intensivo (tanques de 60 L).

Idade larval	1	5	10	15	20	25
Comprimento larval (mm)	3,2	5,9	12,0	16,2	19,5	21,9
Fotoperíodo	24L:0E		14L:10E			
Microalga	<i>Chlorella spp.</i>					
Rotífero	<i>B. rotundiformis</i>					
Artemia						
Tamanho da dieta seca (mm)				0,1 - 0,3		0,5 - 0,8

#### 4.2.4 Qualidade de água

A temperatura e a concentração de oxigênio dissolvido foram aferidas diariamente uma vez ao dia (08 h 30) com auxílio de um oxímetro (YSI Pro 20, Yellow Springs Instruments, OH, USA). Duas vezes na semana foram mensurados: o pH com peagômetro portátil (YSI EcoSense pH 10; Yellow Springs Instruments); a salinidade com um refratômetro manual (RST-101ATC, Instrutherm Instrumentos de Medição Ltda., São Paulo, Brasil). A amônia total, amônia não ionizada foi calculada, como percentual da amônia total, considerando-se o pH, nitrato, fósforo e ortofosfato, pelo método Spectro Alfacit (Kit Nitrato, Alfacit, Brasil) e foram analisados em espectrofotômetro (Spectrophotometer Biospectro SP-22) (Tabela 1).

Tabela 1 – Qualidade da água (média  $\pm$  desvio-padrão) da larvicultura de sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*), durante os 25 dias de cultivo.

PARÂMETRO	INTENSIVO	MESOCOSMO	VALOR DE <i>P</i>
Temperatura (°C)	25,51 $\pm$ 1,22 (27,80 – 22,10)	26,03 $\pm$ 2,08 (29,10 – 18,70)	0,06
Oxigênio dissolvido (mg L <sup>-1</sup> )	5,85 $\pm$ 0,67 (8,90 – 4,40)	6,21 $\pm$ 1,42 (9,80 – 3,70)	0,10
Salinidade	35,07 $\pm$ 1,89 (38,00 – 32,00)	34,19 $\pm$ 1,29 (35,00 – 32,00)	0,37
pH	8,65 $\pm$ 0,21 (9,12 – 8,26)	9,16 $\pm$ 0,44 (10,00 – 8,26)	0,01*
Amônia total (mg L <sup>-1</sup> )	0,26 $\pm$ 0,15 (0,63 – 0,00)	0,11 $\pm$ 0,14 (0,49 – 0,00)	0,43
Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	0,08 $\pm$ 0,08 (0,34 – 0,00)	0,03 $\pm$ 0,03 (0,11 – 0,00)	0,19
Fósforo (mg L <sup>-1</sup> )	0,05 $\pm$ 0,05 (0,14 – 0,00)	0,04 $\pm$ 0,04 (0,14 – 0,00)	0,98
Ortofosfato (mg L <sup>-1</sup> )	0,12 $\pm$ 0,04 (0,21 – 0,04)	0,09 $\pm$ 0,03 (0,18 – 0,04)	0,10

\* Indica diferenças significativas ( $p < 0,05$ )

\* Máximos e mínimos entre parêntesis

#### 4.2.5 Amostragem das larvas

As larvas foram coletadas e eutanasiadas com Benzocaína em uma concentração de 100 mg L<sup>-1</sup>. O comprimento total foi medido desde a extremidade da boca até a extremidade da nadadeira caudal com o auxílio de uma lupa (DM1000 LED, Leica, Germany). A partir do 10º dia, o peso das larvas foi medido utilizando uma balança analítica (Bel Engineering, Mark 210A, Italy).

As amostras foram de 10 larvas nas idades de 1, 5, 7, 10, 15, 20 e 25 dias após a eclosão, e fixadas em formalina tamponada a 10% para realização das análises histológicas. Todas as práticas e manejos utilizados no estudo foram aprovados pela Comissão de Ética e Uso de Animais de Laboratório da Universidade Federal de Santa Catarina (CEUA - número de protocolo 9027020718).

#### 4.2.6 Análise histológica

O processamento histológico das larvas foi realizado no Laboratório de Sanidade de Organismos Aquáticos (AQUOS/UFSC) seguindo o protocolo descrito por Martins et al. (2018). As amostras fixadas em formalina tamponada 10%, foram desidratadas em séries

crecentes de etanol em concentrações de 70 a 100%, diafanizadas em xilol em tempos de 15 a 30 minutos e incluídas em parafina. Vinte e quatro horas antes do corte, os blocos com as amostras ficaram acondicionados no freezer em temperatura de -20 °C para manter a rigidez.

Cortes histológicos de 4 µm, foram realizados com um micrótomo rotativo (MRP 09 – LUPETEC, Brasil), distendidos em água a temperatura ambiente e passados para banho-maria com temperatura de 50 °C. Posteriormente foram deixados em aquecimento a 30 °C para secagem e fixação dos cortes nas lâminas. Subsequentemente foram desparafinadas em dois banhos de xilol de 4 minutos, reidratadas em cinco banhos de etanol (dois banhos de álcool absoluto e um banho em concentrações de álcool de 90, 80 e 70%) em tempos de 4 minutos, e um banho de 5 minutos em água corrente.

As lâminas foram coradas em hematoxilina de Harris por 2 minutos e lavadas por 10 minutos com água corrente, foram parcialmente desidratadas em água destilada e álcool 70%, e depois coradas por 11 minutos com Eosina. Posteriormente, as secções foram desidratadas, em dois banhos em álcool absoluto e xilol + álcool absoluto de 4 minutos cada, encerrando com dois banhos de xilol em 4 minutos. Finalmente, as secções foram recobertas por lamínulas aderidas com auxílio de resina sintética (Entellan®, Merk, Brasil).

#### **4.2.7 Análise estatística**

Previamente, os dados da sobrevivência foram transformados a arco seno raiz de  $x/n$ . A normalidade e a homoscedasticidade dos dados foram comprovadas mediante os testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Os dados de desempenho zootécnico, sobrevivência e de qualidade de água dos dois sistemas (mesocosmo e intensivo) foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e, quando apropriado, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey com 5% de significância utilizando o software Statistica® 10.0. Os dados nas tabelas e figuras estão apresentados como média  $\pm$  desvio padrão.

### **4.3 RESULTADOS**

#### **4.3.1 Composição do mesocosmo**

O mesocosmo esteve composto em maior quantidade, principalmente por rotífero, seguido por náuplios de copépode. Os copépodes adultos registraram a menor quantidade da

composição relativa nos três tanques de cultivo (figura 4). Enquanto a disponibilidade das presas vivas nos sistemas de cultivo, rotíferos estiveram presentes desde o 2 até o 15 dia e náuplios de copépode entre o 12 e 13 dia após a eclosão (figura 5).

Figura 4 – Composição relativa (%) de zooplâncton dos três tanques de mesocosmo (A, B e C) durante os 15 dias de cultivo das larvas da sardinha-verdadeira.

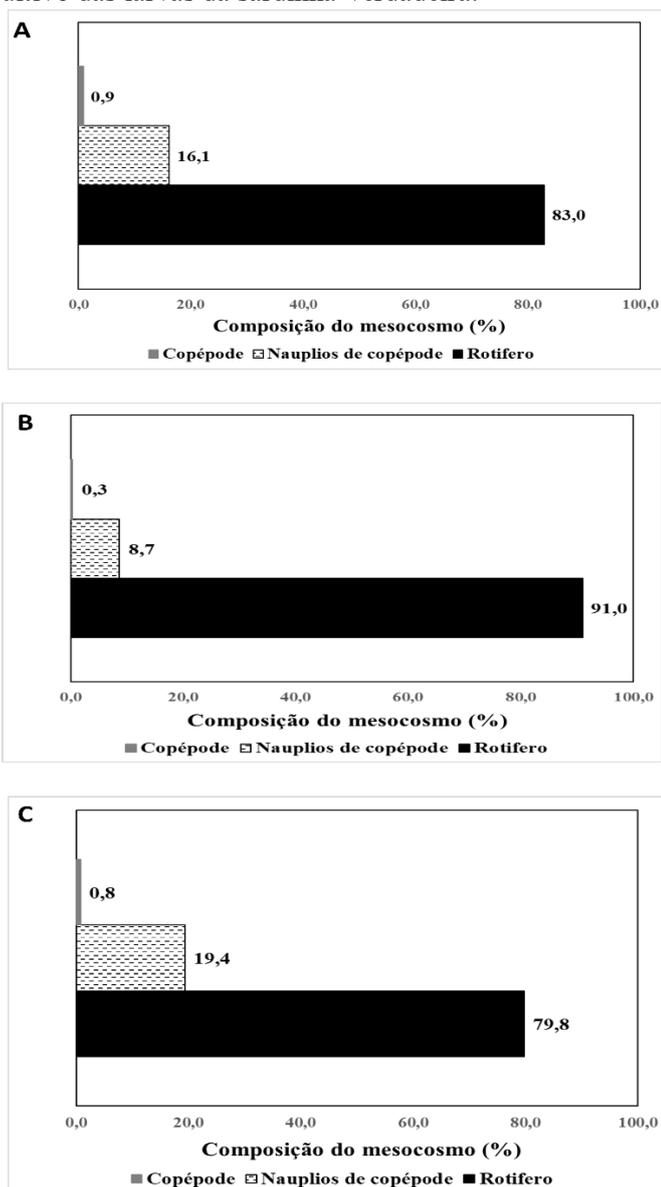
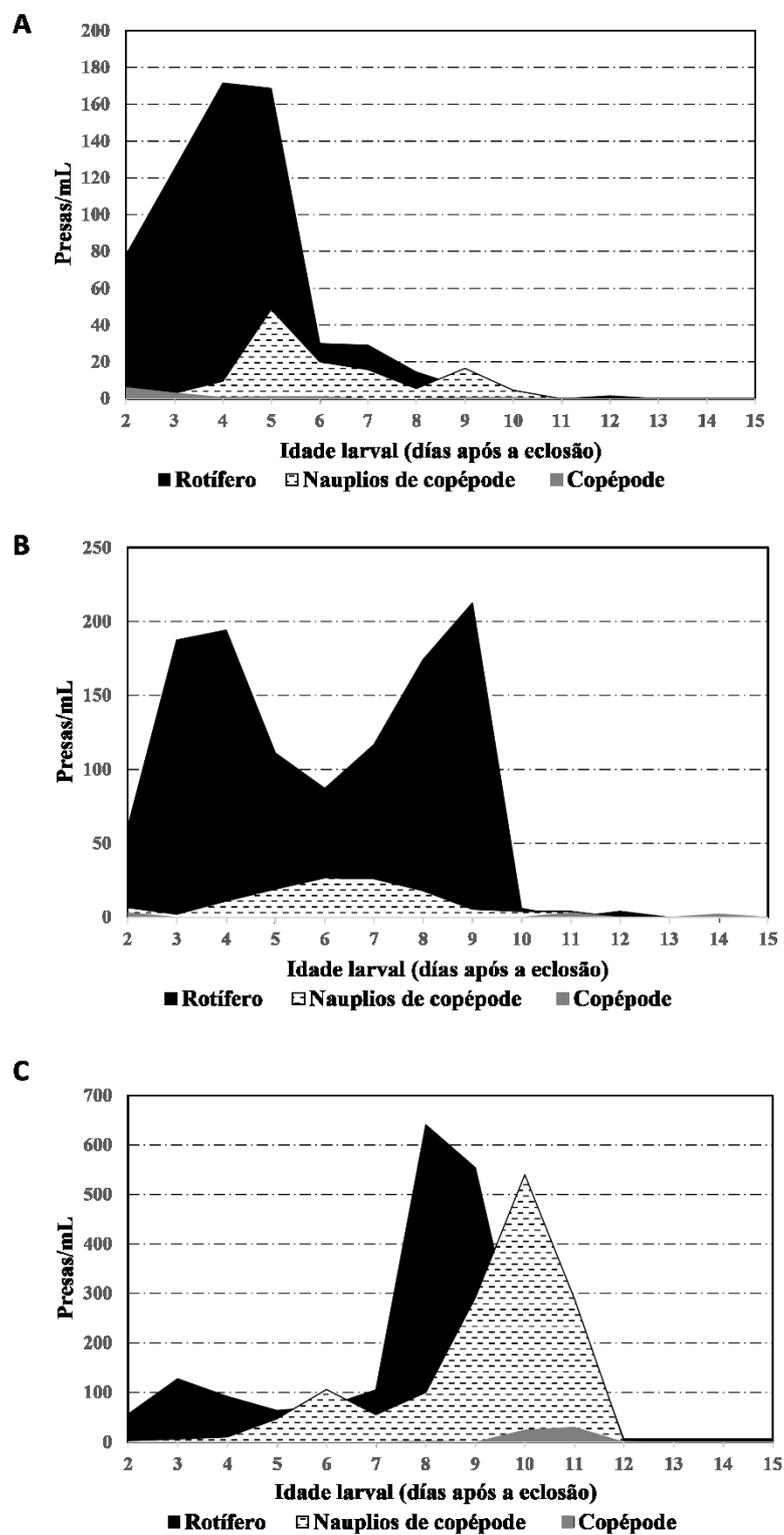


Figura 5 – Estimativas diárias da densidade (n/mL) de presas vivas dos três tanques de mesocosmo (A, B e C) para cultivo de larvas da sardinha-verdadeira.



### 4.3.2 Crescimento e sobrevivência

As larvas cultivadas mesocosmo apresentaram um ganho significativamente superior ( $p < 0,05$ ) no peso e comprimento, quando comparadas com as larvas do sistema intensivo, o que se manteve durante todo o período avaliado (Figura 6). A sobrevivência média dos três tanques no mesocosmo foi de  $38,38 \pm 27,73\%$  (mínima de 11,73% e máxima de 67,08%). Entretanto, não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) com a sobrevivência de  $11,50 \pm 5,90\%$  (mínima de 7,43% e máxima de 18,26%) do sistema intensivo (Tabela 2).

Figura 6 – Crescimento em peso (A) e comprimento total (B) das larvas de sardinha-verdadeira, cultivada em mesocosmo e sistema intensivo (média  $\pm$  desvio padrão,  $n=3$ ).

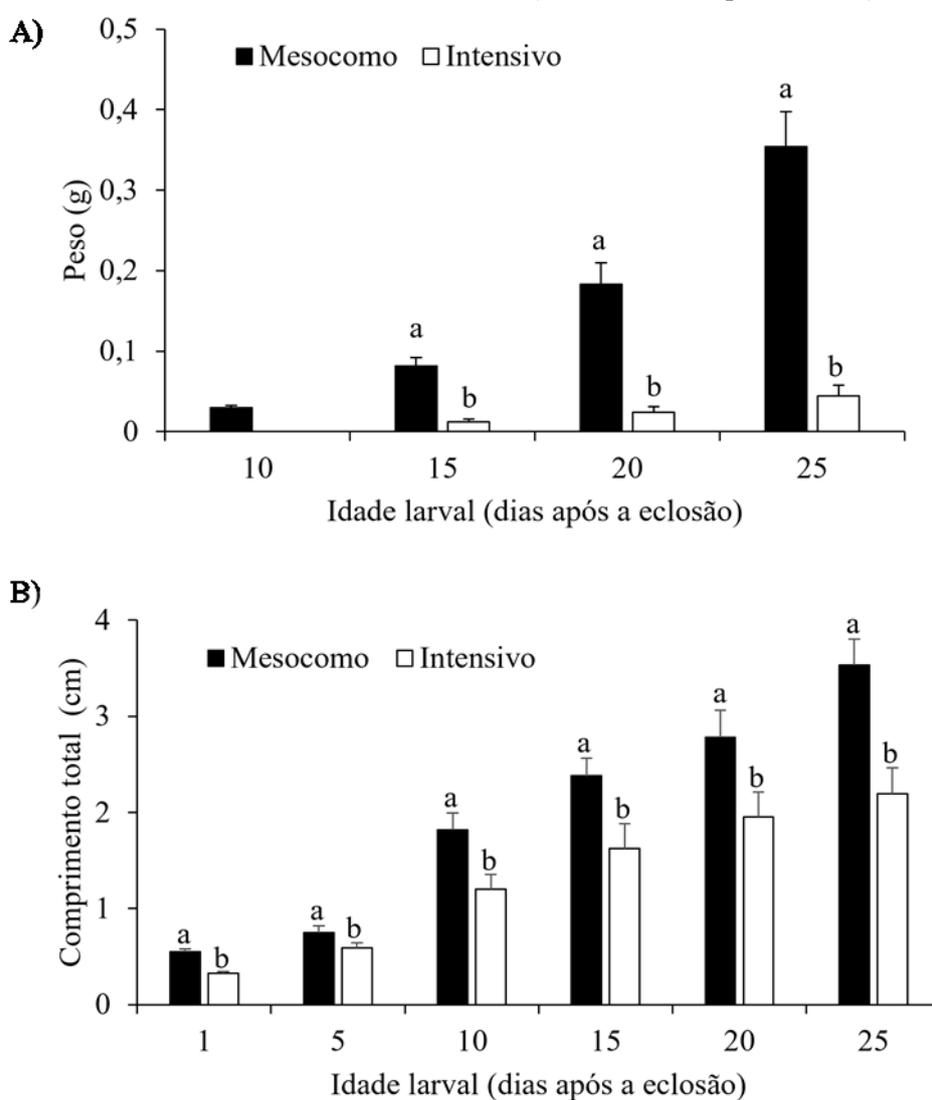


Tabela 2 – Parâmetros zootécnicos (média  $\pm$  desvio padrão, n=3) da criação larval de sardinha-verdadeira em mesocosmo e sistema intensivo.

PARÂMETRO	MESOCOSMO	INTENSIVO	<i>P</i>
Volume do tanque (L)	8000	60	-
Número inicial de larvas	20.000	3.000	-
Número final de larvas	7675 $\pm$ 5546,37	345 $\pm$ 176,99	-
Sobrevivência (%)	38,37 $\pm$ 27,73	11,49 $\pm$ 5,91	0,12
Comprimento médio final (cm)	3,53 $\pm$ 0,27 <sup>a</sup>	2,19 $\pm$ 0,27 <sup>b</sup>	0,01
Peso médio final (g)	0,35 $\pm$ 0,09 <sup>a</sup>	0,04 $\pm$ 0,03 <sup>b</sup>	0,03
Taxa de crescimento específico (%)	14,014 $\pm$ 1,70 <sup>a</sup>	3,73 $\pm$ 1,46 <sup>b</sup>	0,001

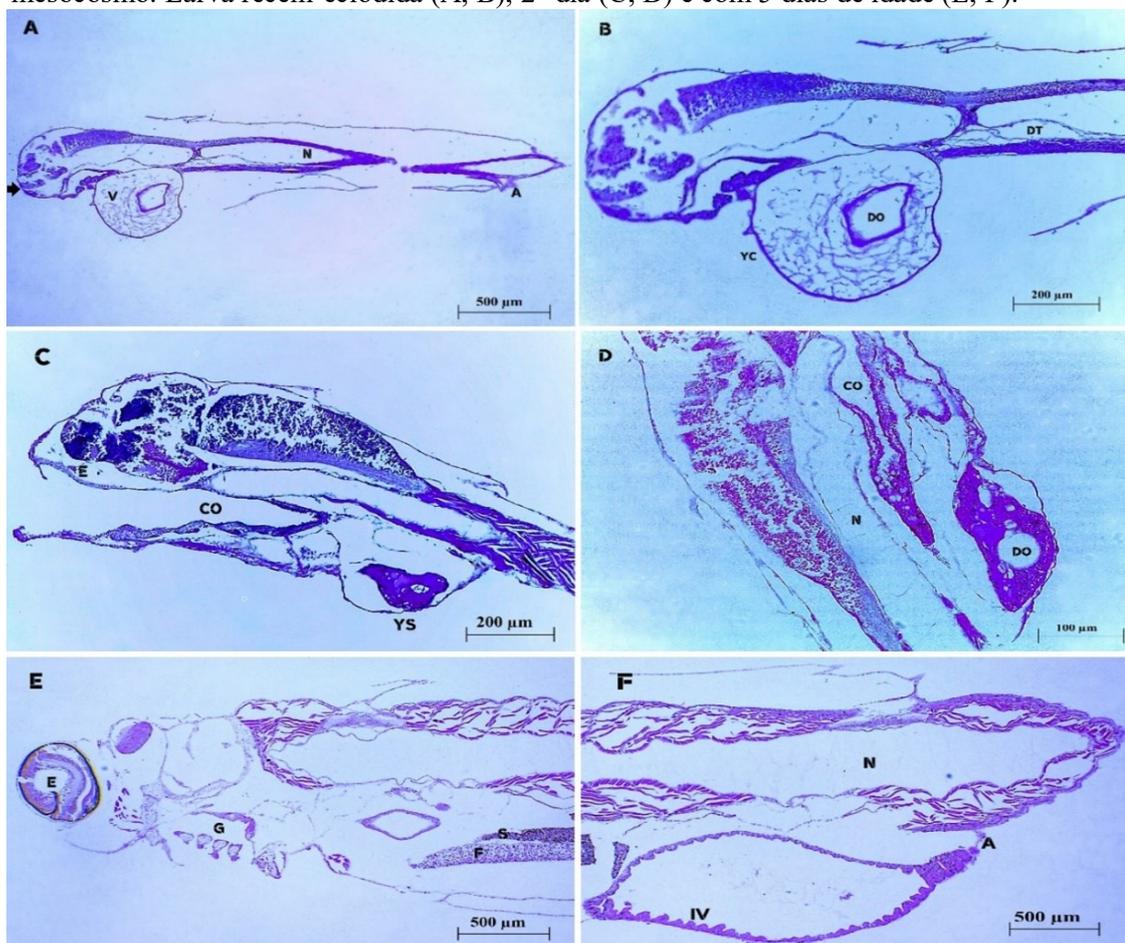
<sup>a,b</sup> Letras diferentes indicam diferenças significativas.

### 4.3.3 Desenvolvimento do trato digestório

Na larva recém-eclodida (dia 1), o trato digestório está formado por um tubo retilíneo histologicamente indiferenciado, com as extremidades, boca e ânus fechados (Figura 7A). O tubo digestório encontra-se localizado dorsalmente ao saco vitelino e está revestido por epitélio cúbico simples. A cavidade buco-faríngea e o esôfago não puderam ser diferenciados dos demais componentes (Figura 7B). No 2º dia, observou-se uma diminuição significativa do saco vitelino, a manutenção da gota de óleo, o início da pigmentação dos olhos e da abertura da boca, ficando visível a cavidade buco-faríngea. Histologicamente o trato digestório é um tubo reto e simples, cujos órgãos ainda estão indiferenciados em sua maioria (Figura 7C, D).

As mudanças estruturais no trato digestório das larvas ocorreram a partir do 5º dia, começando com a total absorção do saco vitelino, a pigmentação dos olhos e a abertura completa da boca e do ânus. O tubo digestivo sofre um alargamento, principalmente na sua porção anterior, apresentando alguns órgãos em processo de diferenciação, como o estômago e os vilos intestinais. Além disso, foi possível diferenciar a formação das brânquias (Figura 7E).

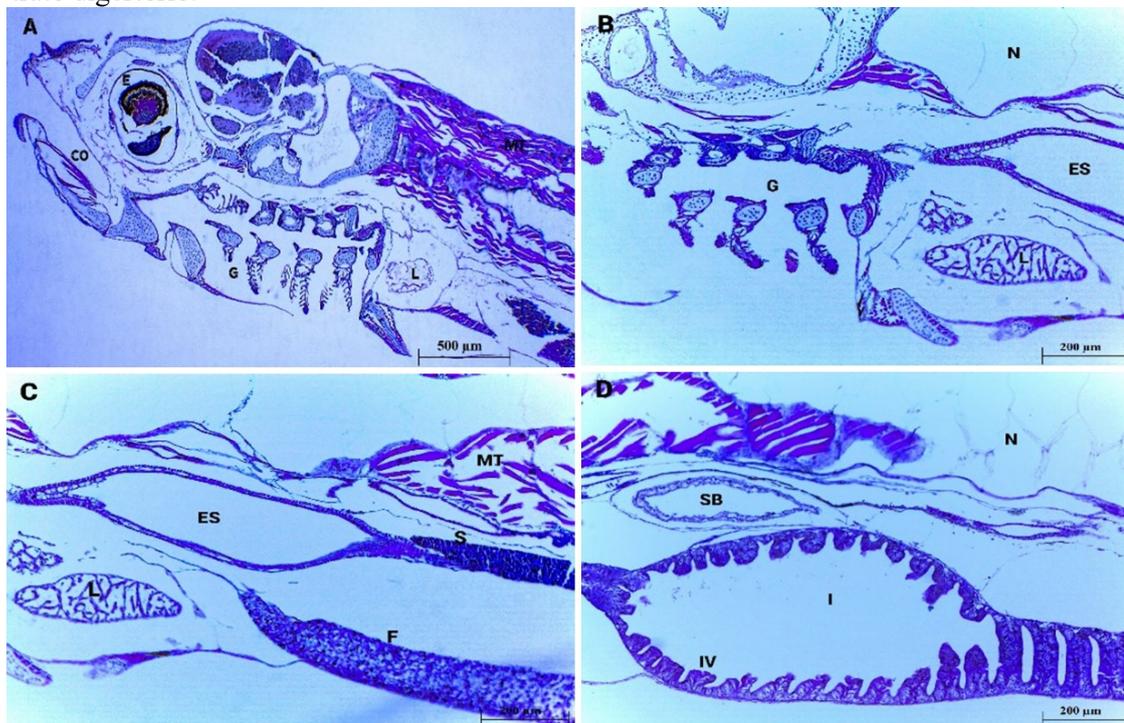
Figura 7 – Secções longitudinais das larvas de sardinha-verdadeira cultivadas em sistema de mesocosmo. Larva recém-eclodida (A, B), 2º dia (C, D) e com 5 dias de idade (E, F).



Vitelo (V), ânus fechado (A), notocorda (N), tubo digestivo (DT), saco vitelino (YS), gota de óleo (DO), cavidade buco-faringiana (CO), olhos (E), brânquias (G), camada de gordura (F), estômago (S), vilos intestinais (IV).

No 7º dia, foi possível identificar a cavidade buco-faringiana, esôfago, fígado, tecido muscular, intestino e a formação da bexiga natatória (Figura 8). Na região distal do esôfago observa-se as dobras longitudinais e um aumento das células esofágicas. O estômago continua em processo de diferenciação, caracterizado pelo alargamento da região posterior do esôfago e pelo espessamento de suas paredes, permitindo a visualização de duas regiões, anterior e posterior (Figura 8C). O intestino começa a aumentar sua superfície de absorção e as vilosidades intestinais podem ser observadas mais detalhadamente (Figura 8D).

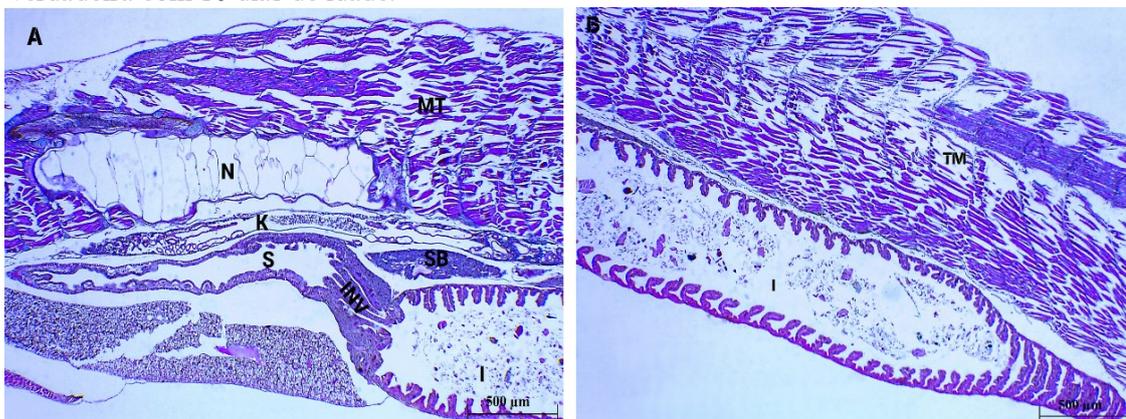
Figura 8 – Secções longitudinais de larvas de sardinha-verdadeira com 7 dias de idade. A: cabeça e parte do tronco. B: brânquias e parte inicial do trato digestório. C, D: detalhes do trato digestório.



Cavidade buco-faríngea (CO), olhos (E), brânquias (G), fígado (L), tecido muscular (MT), esôfago (ES), notocorda (N), estômago (S), intestino (I), bexiga natatória (SB), vilosidades intestinais (IV).

No 10º dia, observa-se a diferenciação da região posterior do esôfago e a transição para o estômago, com o aparecimento da válvula intestinal e as dobras longitudinais mais evidentes (Figura 9A). O estômago se torna mais alongado devido a uma acentuada mudança de epitélio cúbico simples para epitélio escamoso. O intestino aumenta sua superfície de absorção, suas dobras aumentam tanto em altura quanto em comprimento, na medida do crescimento da larva (Figura 9B).

Figura 9 – Secções longitudinais do estômago (A) e intestino (B) de larvas de sardinha-verdadeira com 10 dias de idade.

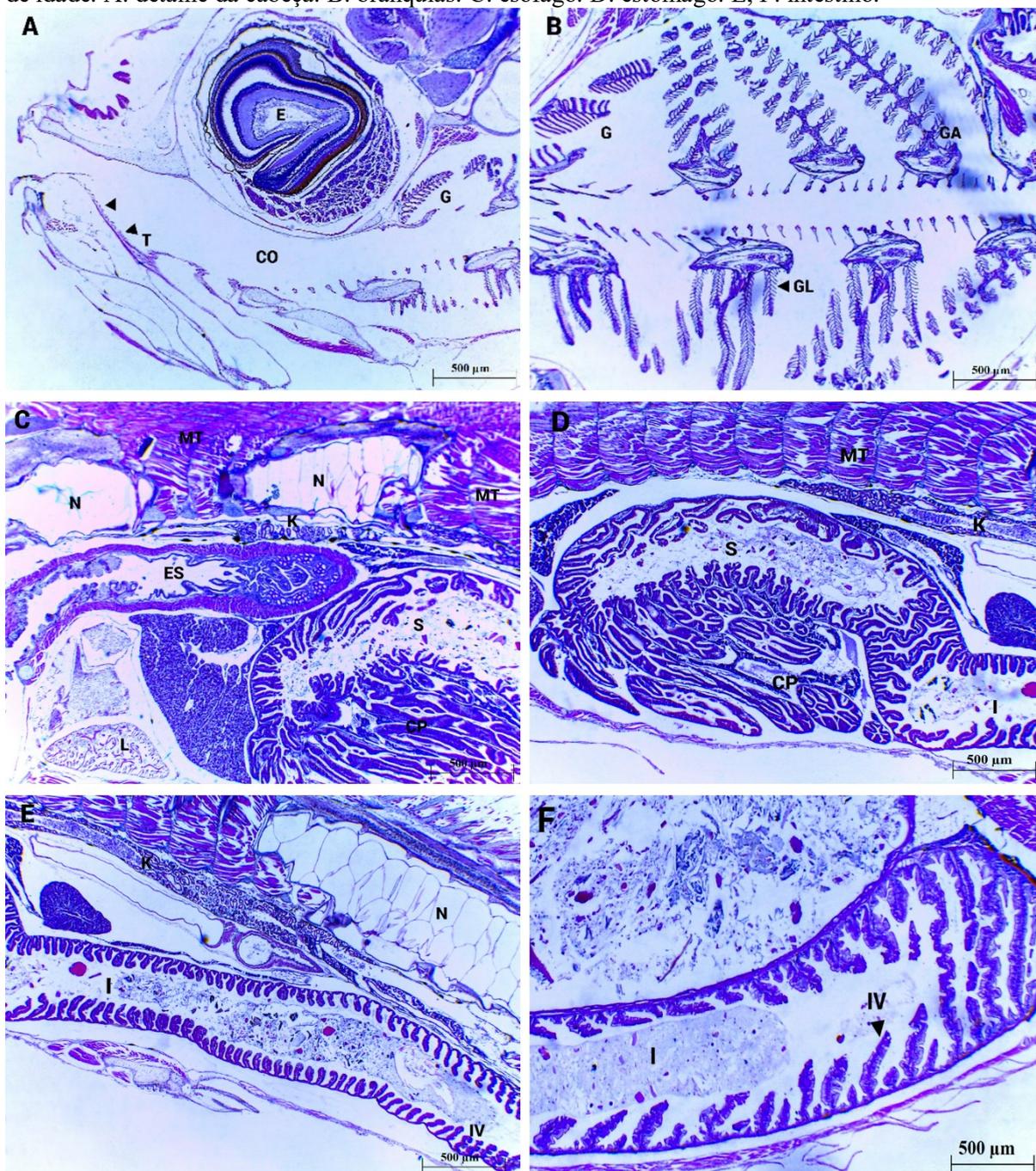


Tecido muscular (MT), notocorda (N), rim (K), estômago (S), intestino (I), bexiga natatória (SB), válvula intestinal (INV).

No 15º dia, a larva apresenta olhos com as camadas de tecido completas, é possível observar os dentes na cavidade buco-faríngea (Figura 10A), as brânquias, arcos branquiais e lamelas branquiais bem desenvolvidas (Figura 10B). O trato digestório encontra-se diferenciado em três regiões: esôfago, estômago e intestino, apresentando um aumento no tamanho de todas as estruturas (Figura 10C). As mudanças mais significativas foram: o desenvolvimento total do estômago e o aparecimento dos cecos pilóricos (Figura 10D). Porém o estômago foi o último órgão a se diferenciar.

Do 15º até o 25º dia, não existem modificações na estrutura do trato digestório, a única mudança acontece em relação ao tamanho dos órgãos, em função do crescimento da larva.

Figura 10 – Secções longitudinais do trato digestório das larvas de sardinha-verdadeira com 15 dias de idade. A: detalhe da cabeça. B: brânquias. C: esôfago. D: estômago. E, F: intestino.



Dentes (T◄), Cavidade buco-faringiana (CO), brânquias (G), arcos branquiais (GA), lamelas branquiais (GL◄), tecido muscular (MT), notocorda (N), rim (K), esôfago (ES), fígado (L), estômago (S), cecos pilóricos (CP), intestino (I), vilosidades intestinais (IV).

#### 4.4 DISCUSSÃO

A sardinha-verdadeira, ao atingir um comprimento de  $35,3 \pm 2,7$  mm no final do estágio larval em mesocosmo, teve um desenvolvimento comparável ao de outras espécies criadas no mesmo sistema e com temperaturas similares, como o lhete *Seriola dumerilii* com

39,9 ± 5,4 mm (Papandroulakis et al., 2004) ou corvina-europeia *Argyrosomus regius* com 45,14 ± 4,00 mm (Papadakis et al., 2013). O maior crescimento no mesocosmo pode ser atribuído à maior diversidade de alimento que este sistema possui, o que se adapta às características de cada fase do desenvolvimento da larva, como por exemplo a capacidade de natação e o tamanho da boca (Kurtz e Matsuura, 2001; Papadakis et al., 2013). No presente estudo, a sobrevivência não apresentou diferenças significativas ( $p \geq 0,05$ ) nos 25 dias de cultivo. Na fase larval, a sobrevivência e o crescimento estão fortemente ligados à disponibilidade de recursos alimentares adequados à sua primeira alimentação (Sánchez-Velasco, 1998; Santin et al., 2004). Segundo Hu et al. (2019), a biomassa dos peixes está relacionada positivamente com a diversidade do zooplâncton e negativamente com a biomassa do zooplâncton. Usualmente, a maior diversidade de alimento vivo (fito e zooplâncton) propicia desempenhos superiores quando se compara com dietas únicas (Zouiten et al., 2011).

Zouiten et al. (2011) relataram um efeito positivo do zooplâncton selvagem no desenvolvimento da larva de robalo europeu *Dicentrarchus labrax* criada em mesocosmo. Um resultado similar foi observado no presente estudo para a sardinha-verdadeira em mesocosmo, cujo desenvolvimento foi superior ao das larvas cultivadas em sistema intensivo. Este melhor desempenho teve como principal causa a disponibilidade e diversificação alimentar, uma vez que a combinação de alimentos endógenos e exógenos, de maneira geral, proporciona uma boa adequação às necessidades energéticas e nutricionais das larvas, evitando possíveis problemas nutricionais, o que conseqüentemente melhora seu desempenho zootécnico (Papandroulakis et al., 2004). Além disso, deve-se ressaltar a preferência alimentar das larvas de sardinha-verdadeira por náuplios de copépode (Kurtz e Matsuura, 2001), que estavam presentes nos tanques de mesocosmo do presente estudo até os 12-13 primeiros dias do cultivo (Figura 6).

Considerando o uso de diferentes sistemas de produção na larvicultura, observa-se que cada um possui especificidades que resultam em aspectos produtivos diferenciados. Por exemplo, larvas de robalo europeu *D. labrax* criadas em mesocosmo apresentaram melhor crescimento e características morfológicas mais avançadas em relação a larvas criadas em sistema intensivo (Roncarati et al., 2001; Boglione et al., 2001). Peixes criados em sistemas de mesocosmo são reconhecidos por apresentarem mais similaridade com peixes selvagens e baixa incidência de deformidades (Khemis et al., 2013). Em sistemas intensivos, o sucesso no cultivo é altamente dependente do nível de conhecimento das necessidades biológicas específicas das larvas, de igual maneira, o crescimento e a sobrevivência dependem, em

grande medida, da disponibilidade de alimentos e das condições ambientais durante a criação (ESTÉVEZ et al., 2019).

As larvas de peixes apresentam uma série contínua de transformações em sua ontogênese que tendem a estar de acordo com as mudanças no micro-habitat, comportamento, desempenho, alimentação ou qualquer associação entre estes (Maciel, 2006). Na sardinha-verdadeira, foi observado um rápido desenvolvimento do trato digestório da larva em relação a outras espécies marinhas já estudadas, como a corvina-europeia *Argyrosomus regius*, 19 dias (Papadakis et al., 2013), o atum rabilho do Atlântico *Thunnus thynnus*, 21 dias (Yúfera et al., 2014), o linguado *Solea senegalensis*, 31 dias (Ribeiro et al., 1999), a tainha *Chelon labrosus*, 25 dias (Khemis et al., 2013) e o robalo-peva *Centropomus parallelus*, 60 dias (Teles, 2012). Embora os mecanismos básicos do desenvolvimento larval não se diferenciem muito entre os teleósteos, há variações interespecíficas no tempo em que os eventos ontogênicos ocorrem (Falk-Petersen, 2005; Hoffmann, 2022; Santamaría et al., 2004).

Em diferentes sistemas de cultivo há diferenças no desenvolvimento larval em aspectos como desenvolvimento do sistema digestório e desenvolvimento ósseo, como foi observado entre larvas criadas em mesocosmo no presente estudo e larvas criadas em sistema intensivo em um estudo prévio (Hoffmann, 2022) (Tabela 3).

Tabela 3 – Comparação dos principais eventos ontogênicos da fase larval da sardinha-verdadeira cultivada em sistema intensivo (Hoffmann, 2022) e em mesocosmo (dados do presente estudo).

EVENTOS ONTOGÊNICOS	DIAS APÓS A ECLOSÃO	
	INTENSIVO	MESOCOSMO
Trato digestório simples e indiferenciado	1	1
Início pigmentação dos olhos	1	1
Olhos pigmentados	2	2
Abertura da boca	2	2
Absorção do saco vitelino	2	2
Abertura do ânus	2	2
Visualização do tubo digestivo	7	5
Visualização do fígado	7	7
Visualização do intestino	5	5
Visualização da válvula intestinal	18	10
Aumento das vilosidades do intestino	19	7
Início da diferenciação do estômago	7	5
Finalização da diferenciação do estômago	23	15
Visualização dos cecos pilóricos	23	15
Sistema digestório completo	23	15

A desenvolvimento do sistema digestório das larvas de sardinha-verdadeira cultivadas em sistema intensivo foi completado aos 23 dias após a eclosão (Hoffmann, 2022). No entanto, em larvas cultivadas em mesocosmo foi completado aos 15 dias após a eclosão (Tabela 3). As diferenças entre os dois estudos podem ser explicadas por diferenças nos protocolos de criação das larvas, pois é sabido que a técnica de criação em mesocosmo oferece condições mais naturais em comparação com a técnica de criação intensiva.

Inicialmente, o trato digestório da sardinha era um tubo retilíneo histologicamente indiferenciado, o que acontece com frequência em peixes marinhos com ovos pelágicos (Zambonino Infante e Cahu, 2001). A diferenciação do trato digestório em bucofaringe, esôfago, intestino anterior e posterior foi concluída em cinco dias após a eclosão, três dias após o início da alimentação exógena; neste momento, com a boca formada, o trato digestório da larva já é funcional (Sarasquete et al., 1995).

Larvas da corvina *U. cirrosa* criadas em sistema de mesocosmo desenvolveram as primeiras glândulas gástricas do estômago e o esfíncter pilórico entre oito e 13 dias após a eclosão (Zaiss et al., 2006). Em sistema intensivo, larvas de sardinha-verdadeira desenvolveram o estômago e os cecos pilóricos entre sete e 23 dias após a eclosão (Hoffmann, 2022). No presente estudo, o estômago foi identificado por volta dos cinco dias, completando seu desenvolvimento aos 15 dias após a eclosão, assim como o dos cecos pilóricos. Na maioria das larvas de teleósteos o estômago completamente diferenciado aparece várias semanas após o início da alimentação endógena e a presença dos cecos pilóricos caracteriza a transição do período larval para o juvenil (Zaiss et al., 2006).

A diferenciação histológica do trato digestório da sardinha-verdadeira foi mais rápida em comparação com outras larvas de peixes marinhos cultivadas em sistema de mesocosmo, como corvina-europeia *Argyrosomus regius*, 19 dias (Papadakis et al., 2013), tainha *Chelon labrosus*, 25 dias (Khemis et al., 2013) e corvina *Umbrina cirrosa*, 18 dias após a eclosão (Zaiss et al., 2006). Os resultados do presente estudo indicam a possibilidade de serem adaptadas para alimentação artificial antes dos 15 dias após a eclosão, muito mais cedo do que em outras espécies (Zaiss et al., 2006).

Finalmente, mais pesquisas sobre a ontogenia do sistema digestório da sardinha-verdadeira devem ser realizadas, incluindo estudos sobre enzimas digestivas, pois resultam em uma melhor compreensão do processo digestivo e contribuiriam para o desenvolvimento de protocolos de criação adequados para a produção comercial desta espécie. E quanto às técnicas de cultivo empregadas, mais estudos devem ser feitos para avaliar o mesocosmo em

outras épocas do ano, além de comparar sua viabilidade econômica em relação aos demais sistemas.

#### 4.5 CONCLUSÃO

As larvas da sardinha-verdadeira tiveram um desenvolvimento consideravelmente maior no cultivo em mesocosmo. A ontogênese inicial do seu sistema digestório apresentou rápido desenvolvimento dos órgãos quando comparada com as larvas criadas em sistema intensivo e com larvas de outras espécies marinhas já estudadas. O mesocosmo, pela possibilidade de aproveitamento do alimento natural, favoreceu o crescimento das larvas e tem, portanto, grande potencial para a produção massiva de larvas da sardinha-verdadeira.

#### Agradecimentos

Os autores expressam sua sincera gratidão à equipe de pesquisa do laboratório de piscicultura marinha, LAPMAR – UFSC pelo suporte técnico e por fornecer todos os recursos possíveis para concluir o trabalho de pesquisa com sucesso. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES)- Código de Financiamento 001.

#### REFERÊNCIAS

- Abia, 2013. A Sardinha como Insumo da Indústria de Conservas de Pescado Brasileira. Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação-ABIA, Relatório Interno. Brasília.
- Baldisserotto, B., 2009. Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura, segunda edição. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil.
- Barone, R.S.C., Lorenz, E.K., Sonoda, D.Y., Cyrino, J.E.P., 2017. Fish and fishery products trade in Brazil, 2005 to 2015: A review of available data and trends. *Sci Agric*. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2016-0300>
- Becker, F.G., Fries, L.C.C., Guimarães, T., Meneses, B., 2010. Pesquisa sobre reprodução de populações naturais de peixes no Brasil (2001-2010): um breve panorama sobre tendências e lacunas, in: *Boletim Sociedade Brasileira de Ictiologia*. Rio de Janeiro, pp. 40–44.
- Berlinsky, D.L., Taylor, J.C., Howell, R.A., Bradley, T.M., Smith, T.I.J., 2004. The effects of temperature and salinity on early life stages of black sea bass *Centropristis striata*. *J World Aquac Soc* 35. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2004.tb00097.x>

- Besbes, R., Benseddik, A.B., Kokokiris, L., Changeux, T., Hamza, A., Kammoun, F., Missaoui, H., 2020. Thicklip (*Chelon labrosus*) and flathead (*Mugil cephalus*) grey mullets fry production in Tunisian aquaculture. *Aquac Rep* 17. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100380>
- Boglione, C., Gagliardi, F., Scardi, M., Cataudella, S., 2001. Skeletal descriptors and quality assessment in larvae and post-larvae of wild-caught and hatchery-reared gilthead sea bream (*Sparus aurata* L. 1758). *Aquaculture* 192. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00446-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00446-4)
- Buddington, R.K., Krogdahl, Å., 2004. Hormonal regulation of the fish gastrointestinal tract. *Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology*. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2004.09.007>
- Cergole, M.C., Dias-Neto, J., 2011. Plano de Gestão para o uso sustentável da sardinha-verdadeira do Brasil, IBAMA. ed. Brasília.
- Cerqueira, V.R., Vaz Avelar De Carvalho, C., Sanches, E.G., Passini, G., Baloi, M., Rodrigues, R.V., 2017. Manejo de reprodutores e controle da reprodução de peixes marinhos da costa brasileira. *Rev. Bras. Reprod. Anim* 41, 94–102.
- Cerqueira, V. R., Sterzelecki, F., Baloi, M., Magnotti, C., Cipriano, F. S., Manzoni, G., 2020. Cultivo da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*). In: BALDISSEROTTO, B. (Org.). *Espécies nativas para piscicultura no Brasil*. 3 ed. Santa Maria: Editora da UFSM, 57–72.
- Divanach, P., Kentouri, M., 2000. Hatchery techniques for specific diversification in Mediterranean finfish larviculture. *CIHEAM Options Méditerranéennes* 47, 75–87.
- Estévez, A., Papandroulakis, N., Wille, M., Sorgeloos, P., 2019. Early Life Stages and Weaning. Em: *Organic Aquaculture*, 79–102.
- Falk-Petersen, I.B., 2005. Comparative organ differentiation during early life stages of marine fish. *Fish Shellfish Immunol* 19. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2005.03.006>
- Figueiredo, J.L., Salles, A.C.R., Rabelo, L.B., 2010. *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) (Teleostei: Clupeidae), valid name applied to the sardine-true in southeastern Brazil. *Pap Avulsos Zool* 50. <https://doi.org/10.1590/s0031-10492010001800001>
- Freire, K., Aragão, J., Araújo, A., Avila Da Silva, A., Bispo, M., Canziani, G., Carneiro, M., Gonçalves, F., Keunecke, K., Mendonça, J., Moro, P., Motta, F., Olavo, G., Pezzuto, P., Filho, R., Santana, R., Trindade -Santos, I., Airton, J., Vasconcelos, M., Divovich, E., 2014. Revisiting Brazilian catch data for brazilian marine waters (1950-2010). *Fisheries Centre, University of British Columbia. Working Paper Series*, 23–41.
- Georgalas, V., Malavasi, S., Franzoi, P., Torricelli, P., 2007. Swimming activity and feeding behaviour of larval European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L): Effects of ontogeny and increasing food density. *Aquaculture* 264. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.09.035>
- Godinho, H. P., Godinho, A. L., 2003. *Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais*. 1 ed. Belo Horizonte: PUCMinas, 16–456.

- Hoffmann, K., 2022. Caracterização morfológica e temporal do desenvolvimento do trato digestório em larvas da sardinha-verdadeira (*Sardinella Brasiliensis*). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Hu, B., Hu, X., Nie, X., Zhang, X., Wu, N., Hong, Y., Qin, H.M., 2019. Seasonal and inter-annual community structure characteristics of zooplankton driven by water environment factors in a sub-lake of Lake Poyang, China. PeerJ 2019. <https://doi.org/10.7717/peerj.7590>
- Khémis, I. Ben, Gisbert, E., Alcaraz, C., Zouiten, D., Besbes, R., Zouiten, A., Masmoudi, A.S., Cahu, C., 2013. Allometric growth patterns and development in larvae and juveniles of thick-lipped grey mullet *Chelon labrosus* reared in mesocosm conditions. Aquac Res 44. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2012.03192.x>
- Kurtz, F.W., Matsuura, Y., 2001. Food and feeding ecology of Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) larvae from the southeastern Brazilian Bight. Revista Brasileira de Oceanografia 49. <https://doi.org/10.1590/s1413-77392001000100006>
- Lavens, Patrick., Sorgeloos, Patrick., 1996. Manual on the production and use of live food for aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma.
- Maciel, C., 2006. Ontogenia de larvas de piracanjuba, *Brycon orbignyanus* Valenciennes (1849) (Characiformes, Characidae, Bryconinae). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1–20.
- Magnotti, C., Sterzelecki, F., Dos Cipriano, F.S., Pedrotti, F., Da Rocha, V.M., Cerqueira, V., 2020. Spontaneous spawning of Brazilian sardine in captivity. Boletim do Instituto de Pesca 46. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2020.46.1.539>
- Martins, M., Cardoso, L., Furtado, W., Tancredo, R., 2018. Histopathology guide for freshwater fish, first edition. Florianópolis, Brazil.
- Papadakis, I.E., Kentouri, M., Divanach, P., Mylonas, C.C., 2013. Ontogeny of the digestive system of meagre *Argyrosomus regius* reared in a mesocosm, and quantitative changes of lipids in the liver from hatching to juvenile. Aquaculture 388–391. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.01.012>
- Papandroulakis, N., Kentouri, M., Maingot, E., Divanach, P., 2004. Mesocosm: a reliable technology for larval rearing of *Diplodus puntazzo* and *Diplodus sargus sargus*. Aquaculture International 12, 345–355.
- Pereira, A., Tenuta-Filho, A., 2005. Avaliação de condições de consumo da sardinha *Sardinella brasiliensis*. Food Science and Technology 25, 720-725.
- Polakof, S., Panserat, S., Soengas, J.L., Moon, T.W., 2012. Glucose metabolism in fish: A review. J Comp Physiol B. <https://doi.org/10.1007/s00360-012-0658-7>
- Prysthon, A., Valladão, R., 2016. A pesca industrial da Sardinha verdadeira na região Sul/Sudeste do Brasil: Tecnologias e a importância do diálogo com a base. ResearchGate 10-20. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16481.51046>.

- Ribeiro, L., Sarasquete, C., Dinis, M.T., 1999. Histological and histochemical development of the digestive system of *Solea senegalensis* (Kaup, 1858) larvae. *Aquaculture* 171. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00496-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00496-7)
- Roncarati, A.; Meluzzi, A.; Melotti, P.; Mordenti, O., 2001. Influence of the larval rearing technique on morphological and productive traits of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Journal of Applied Ichthyology* 17(5), 244- 246.
- Rossi-Wongtschowski, C., Clemmesen, C., Ueberschär, B., Dias, J.F., 2003. Larval condition and growth of *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879): preliminary results from laboratory studies. *Sci Mar* 67, 13–23.
- Sánchez-Velasco, L., 1998. Diet composition and feeding habits of fish larvae of two co-occurring species (Pisces: Callionymidae and Bothidae) in the North-western Mediterranean. *ICES Journal of Marine Science* 55. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1997.0278>
- Santamaría, C.A., Marín De Mateo, M., Traveset, R., Sala, R., Grau, A., Pastor, E., Sarasquete, C., Crespo, S., 2004. Larval organogenesis in common dentex *Dentex dentex* L. (Sparidae): Histological and histochemical aspects. *Aquaculture* 237. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.03.020>
- Santin, M., Bialecki, A., Nakatani, K., 2004. Mudanças ontogênicas no trato digestório e dieta de *Apareiodon affinis* (Steindachner, 1879) (Osteichthyes, Parodontidae). *Acta Sci Biol Sci* 26. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v26i3.1542>
- Sarasquete, M.C., Polo, A., Yúfera, M., 1995. Histology and histochemistry of the development of the digestive system of larval gilthead seabream, *Sparus aurata* L. *Aquaculture* 130. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00175-N](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00175-N)
- Seixas Filho, J.T., De Moura Brás, J., De Mendonça Gomide, A.T., De Almeida Oliveira, M.G., Donzele, J.L., Menin, E., 2000. Anatomia Funcional e Morfometria dos Intestinos e dos Cecos Pilóricos do Teleostei (Pisces) de Água Doce *Brycon orbignyanus* (Valenciennes, 1849). *Revista Brasileira de Zootecnia* 29. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982000000200001>
- Shields, R.J., 2001. Larviculture of marine finfish in Europe. *Aquaculture* 200. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00694-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00694-9)
- Sterzelecki, F.C., dos Santos Cipriano, F., Vasconcelos, V.R., Sugai, J.K., Mattos, J.J., Derner, R.B., Magnotti, C.F., Lopes, R.G., Cerqueira, V.R., 2021a. Minimum rotifer density for best growth, survival and nutritional status of Brazilian sardine larvae, *Sardinella brasiliensis*. *Aquaculture* 534. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736264>
- Sterzelecki, F.C., Sugai, J.K., Mattos, J.J., Derner, R.B., Pedrotti, F.S., Magnotti, C.F., Lopes, R.G., Cerqueira, V.R., 2021b. Live diet for first feeding of Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis* (STEINDACHNER, 1879), larvae in captivity. *Aquac Res* 52. <https://doi.org/10.1111/are.15431>
- Teles, A., 2012. Ontogenia do trato digestório de larvas de *Centropomus parallelus*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 20–49

Univali, 2013. Boletim estatístico da pesca industrial de Santa Catarina - Ano 2011. Universidade do Vale do Itajaí, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Itajaí, SC. 59

Vdastein, O., Attramadal, K.J.K., Bakke, I., Forberg, T., Olsen, Y., Verdegem, M., Giatsis, C., Skjermo, J., Aasen, I.M., Gatesoupe, F.J., Dierckens, K., Sorgeloos, P., Bossier, P., 2018. Managing the microbial community of marine fish larvae: A holistic perspective for larviculture. *Front Microbiol.* <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01820>

Yúfera, M., Ortiz-Delgado, J.B., Hoffman, T., Siguero, I., Urup, B., Sarasquete, C., 2014. Organogenesis of digestive system, visual system and other structures in Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) larvae reared with copepods in mesocosm system. *Aquaculture* 426–427. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.01.031>

Zaiss, M.M., Papadakis, I.E., Maingot, E., Divanach, P., Mylonas, C.C., 2006. Ontogeny of the digestive tract in shi drum (*Umbrina cirrosa* L.) reared using the mesocosm larval rearing system. *Aquaculture* 260. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.06.001>

Zambonino Infante, J.L., Cahu, C.L., 2001. Ontogeny of the gastrointestinal tract of marine fish larvae, in: *Comparative Biochemistry and Physiology - C Toxicology and Pharmacology*. [https://doi.org/10.1016/S1532-0456\(01\)00274-5](https://doi.org/10.1016/S1532-0456(01)00274-5)

Zouiten, D., Ben Khemis, I., Slaheddin Masmoudi, A., Huelvan, C., Cahu, C., 2011. Comparison of growth, digestive system maturation and skeletal development in sea bass larvae reared in an intensive or a mesocosm system. *Aquac Res* 42. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02773.x>

## REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL

- ANGELO, M., LISBOA, M. K., MAGNOTTI, C., PILOTTO, M. R., MATTOS, J. J., & CERQUEIRA, V. R. Temperature influence on the initial development of *Sardinella brasiliensis* larvae. **Aquaculture Research**. v. 52, n. 12, 2021.
- BALDISSEROTTO, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. 2. ed. Santa Maria: Ed. Universidade Federal de Santa Maria, 2009.
- BALDISSEROTTO, O. B.; GOMES, L. C. **Espécies nativas para a piscicultura no Brasil**. 2. ed. Santa Maria: Editora da UFSM, p. 608, 2010.
- BALOI, M. F. et al. Growth performance, body composition and metabolic response to feeding rates in juvenile Brazilian sardine *Sardinella brasiliensis*. **Aquaculture Nutrition**. v. 23, n. 6, 2017.
- BECKER, F.G. FRIES, L.C.C. GUIMARÃES, T.F.R. & MENESES, B.A. Pesquisa sobre reprodução de populações naturais de peixes no Brasil (2001-2010): um breve panorama sobre tendências e lacunas. **Boletim Sociedade Brasileira de Ictiologia**. Rio de Janeiro, n.100, p.40-44, 2010.
- BERLINSKY, D. L. et al. The effects of temperature and salinity on early life stages of black sea bass *Centropristis striata*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 35, n. 3, 2004.
- BUDDINGTON, R.K. Digestive secretions of lake sturgeon, *Acipenser fulvescens*, during early development. **Journal Fish Biol**. v. 26, p. 715-723, 1985.
- BUDDINGTON, R. K.; KROGDAHL, Å. Hormonal regulation of the fish gastrointestinal tract. **Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology**, 2004.
- CANAN, B. NASCIMENTO, W. S. SILVA, N. B. CHELLAPPA, S. Morphohistology of the Digestive Tract of the Damsel Fish *Stegastes fuscus* (Osteichthyes: Pomacentridae). **The Scientific World Journal**, v. 2012, p.1-9, 2012.
- CANAN, B. PESSOA, E. K. R. VOLPATO, G. L. ARAUJO, A. CHELLAPPA, S. Feeding and reproductive dynamics of the damselfish, *Stegastes fuscus* in the coastal reefs of northeastern Brazil. **Animal Biology Journal**, v.2, p.113-126, 2011.
- CASTELLO, J. P. **Síntese sobre distribuição, abundância, potencial pesqueiro e biologia da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*)**. Rio Grande do Sul: Fundação Universidade do Rio Grande, 2007.
- CAVALLI, R. O. Com excelentes condições ambientais, piscicultura marinha carece de investimentos. **Visão Agrícola**, v. 11, n. 19, p. 18–23, dez. 2012.
- CERGOLE, M. C.; DIAS-NETO, J. **Plano de gestão para o uso sustentável da sardinha-verdadeira do Brasil**. IBAMA. Brasília: p. 180, 2011.

- CERQUEIRA, V. R.; CARVALHO, C. V. A.; SANCHES, E. G.; PASSINI, G.; BALOI, M.; ROFRIGUES, R. Manejo de reprodutores e controle da reprodução de peixes marinhos da costa brasileira. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, v. 41, n1, p. 94-102, 2017.
- CERQUEIRA, V. R.; STERZELECKI, F.; BALOI, M.; MAGNOTTI, C.; CIPRIANO, F. S.; MANZONI, G. Cultivo da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*). In: BALDISSEROTTO, B. (Org.). **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. 3 ed. Santa Maria: Editora da UFSM, p. 57-72, 2020.
- CIVERA-CERECEDO, R.; ALVAREZ-GONZÁLEZ, C.A.; MOYANO-LÓPEZ, F.J. Nutrición y alimentación de larvas de peces marinos. Simposium Internacional de Nutrición Acuicola. Avances en Nutrición Acuicola VII. Memorias. Hermosillo: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), p. 8-94, 2004.
- CHEN, B.N.; QIN, J.G.; KUMAR, M.S.; HUTCHINSON, W.; CLARKE, S. Ontogenetic development of the digestive system in yellowtail kingfish *Seriola lalandi* larvae. **Aquaculture**. v. 256, p. 489-501, 2006.
- DABROWSKI, K. R. The feeding of fish larvae: present “state of the art” and perspectives. **Reproduction Nutrition Development**, v.2, n.6, p.808-833, 1984.
- DAVIES, IP, CARRANZA, V., FROEHLICH, HE, GENTRY, RR, KAREIVA, P. I., Governance of marine aquaculture: pitfalls, potential, and pathways forward. **Marine Policy**, v. 104, p. 29-36, 2019. ISSN 0308-597X.
- DIVANACH, P.; KENTOURI, M. Hatchery techniques for specific diversification in Mediterranean finfish larviculture. **CIHEAM Options Méditerranéennes**, v. 47, p. 75–87, 2000.
- ESCÁRCEGA, R.S. ¿Cultivo de peces marinos? Hablemos de larvicultura en estanques. **Revista Digital Universitaria (rdu)**, v. 21, p. 3-7, 2020.
- ESTÉVEZ, A.; PAPANDROULAKIS, N.; WILLE, M.; SORGELOOS, P. Early Life Stages and Weaning. Em: **Organic Aquaculture**. p. 79–102, 2019.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020**. Sustainability in action. Rome. 2020.
- FERRAZ, E.; TELES, A.; FLORINDO, I.; CERQUEIRA, V. Avaliação de larvas de robalo-peva, *Centropomus parallelus*, em sistema de larvicultura. In: Reunião Científica do Instituto de Pesca. **Instituto de Pesca**, v. 1, p. 90-92, 2011.
- FREITAS, G. **Desempenho zootécnico, desenvolvimento ovariano e maturação sexual de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879), no primeiro ano em cativeiro**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Florianópolis, 2021.
- FUENTES-SANTOS, L. CUBILLO, A. M. LABARTA, U. A bioeconomic approach to optimize mussel culture production. **Reviews in Aquaculture**, Richmond, p.1-16. 2015.

GARCIA, V.; REYNALTE-TATAJE, D. A.; ZANIBONI-FILHO, E. Distribution of eggs and larvae of Brazilian sardine in the coastal region of Santa Catarina state, Brazil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 41, n. 3, p. 619–631, 2015.

GENTRY, R. R., FROEHLICH, H. E., GRIMM, D., KAREIVA, P., PARKE, M., RUST, M. Mapping the global potential for marine aquaculture. **Nature Ecology and Evolution**, v. 1, n. 9, p. 1317–1324, 2017.

GIGLIOTTI, E. S. et al. Spatial analysis of egg distribution and geographic changes in the spawning habitat of the Brazilian sardine *Sardinella brasiliensis*. **Journal of Fish Biology**, 2010.

GILBERT, S. F. **Developmental biology**. 6. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2000.

GODINHO, H. P.; GODINHO, A. L. **Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais**. 1. Ed. Belo Horizonte: PUCMinas, 2003.

GONÇALVES, L.U. RODRIGUES, A.P.O. MORO, G.V. CARGNIN-FERREIRA, E.; CYRINO, J.E.P. Morfologia e fisiologia do sistema digestório de peixes. In: FRACALOSSI D.M. CYRINO J.E.P. **Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira**. Aquabio ed, Florianópolis, p.20-34, 2013.

GUINLE, L.V. PASSINI, G. CARVALHO, C.V.A. CERQUEIRA, V.R. “Viabilidade econômica da produção de juvenis de robalo-flecha (*Centropomus undecimalis*), Estado de Santa Catarina”. **Informações Econômicas**, v. 45, n. 3, p. 50–58, 2015.

HOFFMANN, K. **Caracterização morfológica e temporal do desenvolvimento do trato digestório em larvas da sardinha-verdadeira (*Sardinella Brasiliensis*)**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Florianópolis, 2022.

IGARASHI, M.A. Perspectivas, oportunidades e desafios para o cultivo de peixe marinho com ênfase na produção do gênero *Seriola*. **Nutri Time, Revista Eletrônica**. 2021.

ISAAC-NAHUM, V. J.; CARDOSO, R. D. D.; SERVO, G.; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. D. B. Aspects of the spawning biology of the Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879),(Clupeidae). **Journal of Fish Biology**, v. 32, n. 3, p. 383–396, 1988.

KENDALL, W.; AHLSTROM, E.H.; MOSER, H.G. Early life history stages of fishes and their characters. Ontogeny and systematics of fishes. **American Society of Ichthyology and herpetology**. p. 11-22, 1984.

KURTZ, F. W. **Dinâmica larval de *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) (Teleostei, Clupeidae) na região sudeste do Brasil e implicações no recrutamento**. Tese Doutorado em Oceanografia - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

KURTZ, F. W.; MATSUURA, Y. Food and feeding ecology of Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) larvae from the southeastern Brazilian Bight. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 49, n. 1–2, 2001.

- LAVENS, PATRICK.; SORGELOOS, PATRICK. **Manual on the production and use of live food for aquaculture**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1996. v. 361
- LISBOA, V., ELOY, H.R.F., CATTER, K.M., et al. Piscicultura marinha brasileira: desafios e perspectivas do seu desenvolvimento no estado do Ceará. **Revista S&G** p.113- 122. 2020.
- MAGNOTTI, C.; STERZELECKI, F. C.; CIPRIANO, F. S.; PEDROTTI, F. S.; ROCHA, V.; CERQUEIRA, V. Spontaneous spawning of Brazilian sardine in captivity. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 46, p. 1, 2020.
- MANZONI, G. C. DICK, J. L. ANJOS. J. K. CUSTÓDIO JR., G. Growth of Brazilian Sardine (*Sardinella brasiliensis*) cultivated in net cage in the Itapocoroy Bay - Penha - SC, Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AQUICULTURA, 9, FENACAM, 15, 2015. Anais FENACAM. Fortaleza: ABCC, p. 316. 2015.
- MANZONI, G. C. DICK, J. L. CUSTÓDIO JR., G. SANTOS, A. P. S. ANJOS. J. K. Relação gonado-somática da sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis* cultivada em tanque rede - Penha - SC - Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AQUICULTURA, 8, FENACAM, 14, 2014. Anais FENACAM. Fortaleza: ABCC, 2014.
- MATSUURA, Y. A study of the life history of Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis*: IV. Distribution and abundance of sardine larvae. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 26, n. 2, p. 219–247, 1977.
- MATSUURA, Y. Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) spawning in the southeast Brazilian Bight over the period 1976-1993. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 46, n. 1, 1998.
- MATSUURA, Y.; SPACH, H.L.; KATSURAGAWA, M. Comparison of spawning patterns of the Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) and anchoita (*Enguraulis anchoita*) in Ubatuba Region, southern Brazil during 1985 through 1988. **Boletim mensal do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, v. 40, p. 101 - 115, 1992.
- MONTENEGRO, L. A. SILVA, N. B. NASCIMENTO, W. S. CHELLAPPA, S. Anatomy and Histology of the digestive tract and feeding habits of the marbled swamp eel *Synbranchus marmoratus*. **Animal Biology Journal**, v.3, no.3, p.127-143, 2011.
- PAIVA, M. P.; FALCÃO, A. P. DA C. Estrutura de cardumes da sardinha-verdadeira, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879), no estado do Rio de Janeiro (Brasil). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 19, n. suppl 2, 2002.
- PAPANDROULAKIS, N.; KENTOURI, M.; MAINGOT, E.; DIVANACH, P. Mesocosmo: um estudo confiável tecnologia para criação de larvas de *Diplodus puntazzo* e *Diplodus sargus sargus*. **Aquaculture International**, v. 12, p. 345–355, 2004.
- PASSINI, G.; SILVA, L.; STERZELECKI, F.; CERQUEIRA, V. Resultados preliminares das primeiras desovas da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) em cativeiro. In: Reunião Científica do Instituto de Pesca, 11, 2013, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto de Pesca, p.146-148, 2013. Resumo expandido.

- POLAKOF, S. Glucose metabolism in fish: A review. **Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology**. 2012
- RODRIGUES, R. Quais são os sistemas de criação de peixes. Cursos cpt, revista eletrônica. 2020. Disponível em: <<https://www.cpt.com.br/cursos-criacaodepeixes/artigos/quais-sao-os-sistemas-de-criacao-de-peixes/>>.
- ROTTA, M. Aspectos gerais da fisiologia e estrutura do sistema digestivo dos peixes relacionados à piscicultura. Documentos 53. Corumbá, MS, Brasil. p. 48, 2003.
- SACCARDO, S. A.; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B. Biologia e avaliação do estoque da sardinha *Sardinella brasiliensis*: uma compilação. **Atlântica**, Rio Grande, v. 13, n. 1, p. 29-43, 1991.
- SANTANA DE FARIA, H.; MORAIS, M.; GONZALES DE SOUZA, M.; BRÁS, W. **Manual de criação de peixes em viveiros**. CODEVASF, Brasília: p. 132, 2013.
- SCHNEIDER, F.; SCHWINGEL, P. R. Estudo preliminar da ecologia trófica da *sardinella brasiliensis* na costa sudeste do brasil. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 3, n. 1, 2010.
- SCHWARTZLOSE, R. A. Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. **South African Journal of Marine Science**, n. 21, 1999.
- SEGNER, H.; RÖSCH, R.; SCHMIDT, H.; POEPPINGHAUSEN, K.J. Digestive enzymes in larval *Coregonus lavaretus* L. **Journal Fish Biol.** v. 35, p. 249-263, 1989.
- SEIXAS FILHO, J. T.; BRÁS, J. M.; GOMIDE, A. T. M.; OLIVEIRA, M. G. A.; DONZELE, J. L.; MENIN, E. Anatomia Funcional e Morfometria dos Intestinos e dos Cecos Pilóricos do Teleostei (Pisces) de Água Doce *Brycon orbignyanus* (Valenciennes, 1849). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, p.313-324. 2000.
- SHIELDS, R. J. Larviculture of marine finfish in Europe. **Aquaculture**, v. 200, n. 1–2, 2001.
- SILVA, G. C.; CASTRO, A. C. L.; GUBIANI, É. A. Estrutura populacional e indicadores reprodutivos de *Scomberomorus brasiliensis* Collette, Russo e Zavala-Camin, 1978 (Perciformes: Scombridae) no litoral ocidental maranhense. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 27, n. 4, 2005.
- SOUZA-FILHO, J.J.; TOSTA, G.A. Bijupirá: As primeiras desovas da geração F1. **Panorama da Aquicultura**, v.18, p.50-53, 2008.
- STERZELECKI, F. C. et al. Effects of increasing protein level on the performance, enzyme activity and body composition of the Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879). **Aquaculture Nutrition**, v. 24, n. 1, 2018.
- STERZELECKI, F. C.; SUGAY, J. K.; MATTOS, J. J.; DERNER, R. B.; PEDROTTI, F. S.; MAGNOTTI, C.; LOPES, R. G.; CERQUEIRA, V. R. Live diet for first feeding of brazilian sardine, *sardinella brasiliensis* (steindachner, 1879), larvae in captivity. **Aquaculture research**, v. 1, p. 1-7, 2021a.

- STERZELECKI, F.; CIPRIANO, F.; VASCONCELOS, V.; SUGAI, J.; MATTOS, J.; DERNER, R.; MAGNOTTI, C.; LOPES, R.; CERQUEIRA, V. Minimum rotifer density for best growth, survival and nutritional status of Brazilian sardine larvae, *Sardinella brasiliensis*. **Aquaculture**, v. 534, p. 1-4, 2021b.
- TATSCH, C. Alimentação natural de juvenis de sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*), cultivadas em tanques-rede na Enseada da Armação do Itapocoroy (SC). Dissertação Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental - Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, SC, 2015.
- TSUZUKI, M. Y. **Cultivo de peixes marinhos. In Sanidade de organismos aquáticos no Brasil** (Editado por SILVA-SOUZA, A. T.). ABRAPOA, Maringá. P.189-210, 2006.
- VADSTEIN, O.; ATTRAMADAL, K.J.K.; BAKKE, I.; FORBERG, T.; OLSEN, Y.; VERDEGEM, M.; BOSSIER, P. **Managing the microbial community of marine fish larvae: a holistic perspective for larviculture. Fronteiras em Microbiologia**, ed 9, 2018.
- VASCONCELLOS, M. An analysis of harvest strategies and information needs in the purse seine fishery for the Brazilian sardine. **Fisheries Research**, v. 59, p. 363-378, 2003.
- VAZZOLER, A. E. A. M.; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. *Sardinella brasiliensis*: tipo de desova, fecundidade e potencial reprodutivo relativo. I. Área entre 23 40'S e 24 20'S, Brasil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, p. 131–155, 1976.
- VON IHERING, R. Criação de peixes em viveiros no Recife. **Boletim da Secretaria de Agricultura, Indústria e Viação**, v. 35, p. 35-40, 1932.
- WATANABE, T.; KIRON, V. Prospects in larval fish dietetics. **Aquaculture**. v. 124, p. 223-251, 1994.
- YÚFERA, M.; DARIAS, M.J. The onset of exogenous feeding in marine fish larvae. **Aquaculture**. Puerto Real, Spain, v. 268, p. 53-63, 2007.
- ZOUITEN, D. et al. Comparison of growth, digestive system maturation and skeletal development in sea bass larvae reared in an intensive or a mesocosm system. **Aquaculture Research**, v. 42, n. 11, 2011.
- ZOUITEN, D.; KHEMIS, I.B.; MASMOUDI, A.S.; HUELVAN, C.; CAHU, C. Comparison of growth, digestive system maturation and skeletal development in sea bass larvae reared in an intensive or a mesocosm system. **Aquaculture Research**, v. 42, p. 23-36, 2011.