



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE BIOTECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MULTICÊNTRICO
EM CIÊNCIAS FISIOLÓGICAS
LABORATÓRIO DE BIOTECNOLOGIA DE ORGANISMOS AQUÁTICOS

**AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO MUSCULAR E REPRODUTIVO MODULADO
PELO FOTOPERÍODO DA TILÁPIA-DO-NILO (*Oreochromis niloticus*)
DURANTE TODO O CICLO PRODUTIVO**

MÁRCIA DANTAS DOS SANTOS

JOÃO PESSOA (PB)

2022

MÁRCIA DANTAS DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO MUSCULAR E REPRODUTIVO MODULADO
PELO FOTOPERÍODO DA TILÁPIA-DO-NILO (*Oreochromis niloticus*) DURANTE
TODO O CICLO PRODUTIVO

Tese apresentada ao Programa
Multicêntrico de Pós-Graduação em
Ciências Fisiológicas da UFPB como
requisito para obtenção do título de
Doutora em Ciências Fisiológicas.

Orientador: Prof. Dr. Ian P.G. do Amaral
Co-orientador: Prof. Dr. Marino Eugênio
A. Neto

JOÃO PESSOA (PB)

2022

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S237a Santos, Márcia Dantas dos.
Avaliação do crescimento muscular e reprodutivo
modulado pelo fotoperíodo da tilápia-do-nilo
(*Oreochromis niloticus*) durante todo o ciclo produtivo
/ Márcia Dantas dos Santos. - João Pessoa, 2022.
137 f. : il.

Orientação: Ian P. G. do Amaral.
Coorientação: Marino Eugênio A Neto.
Tese (Doutorado) - UFPB/Biotecnologia.

1. Fisiologia animal. 2. Fisiologia do crescimento.
3. Parâmetros zootécnicos. 4. Teleosteo. I. Amaral, Ian
P. G. do. II. Neto, Marino Eugênio A. III. Título.

UFPB/BC CDU 591.1(043)

MÁRCIA DANTAS DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO MUSCULAR E REPRODUTIVO MODULADO
PELO FOTOPERÍODO DA TILÁPIA-DO-NILO (*Oreochromis niloticus*) DURANTE
TODO O CICLO PRODUTIVO

Tese apresentada ao Programa
Multicêntrico de Pós-Graduação em
Ciências Fisiológicas da UFPB como
requisito para obtenção do título de
Doutora em Ciências Fisiológicas.

Orientador: Prof. Dr. Ian P.G. do Amaral
Co-orientador: Prof. Dr. Marino Eugênio
A. Neto

Aprovado em 28 de julho de 2022

BANCA EXAMINADORA

Ian Amaral

Prof. Dr. Ian Porto Gurgel do Amaral
(Orientador – Departamento de Biologia Celular e Molecular/CBIOTEC/UFPB)

Tatjana Keesen de Souza Lima

Prof^a. Dr^a. Tatjana Keesen de Souza Lima Clemente
(Membra interna – Departamento de Biologia Celular e Molecular/CBIOTEC/UFPB)

Alda Lúcia de Lima Amâncio

Prof^a. Dr^a. Alda Lúcia de Lima Amâncio
(Membra externa – Departamento de Ciência Animal/CCHSA/UFPB)

Danila Barreiro Campos

Prof^a. Dr^a. Danila Barreiro Campos
(Membra externa – Departamento de Ciências Veterinárias/CCA/UFPB)

Ricardo Guerra

Prof. Dr. Ricardo Romão Guerra
(Membro externo – Departamento de Ciências Veterinárias/CCA/UFPB)

Dedico esse trabalho a mim mesma por tudo que dispensei durante toda minha trajetória acadêmica, acreditando que com comprometimento, dedicação, seriedade e responsabilidade e com a educação ia chegar em lugares desejados. Estou exatamente onde almejei estar. E à todos os pós-graduandos que não eximem de suas responsabilidades, abdicando de vivências pela ciência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço Àquele que é soberano na minha vida, o meu maior e eterno amor: DEUS. E a Nossa Senhora.

Aos meus pais Maria Auxiliadora e Manoel Roberto por tudo que fizeram para eu estar aqui. Bem como aos meus irmãos Marcos e Mariele. Essa vitória é nossa!

Aos queridos e inesquecíveis funcionários do campus-Bananeiras: seu Doda, Zezinho, Francélio, Pedrinho, Gilberto, Weliton, Luciano, Romério e Danilo. Como também aos funcionários do Campus-Areia: Dedé e Pelado. Sou tão grata pela ajuda e carinho de todos.

Aos nossos colaboradores: Piscicultura São José (Bananeiras/PB) na pessoa de Márcio; à empresa Guaraves(Guarabira/PB) e ao Centro de Aquicultura Lawrence (Jundiá/RN).

Aos laboratórios parceiros: LECAD, na pessoa do professor Marino e Laboratório de Histologia Animal sob a gestão do professor Ricardo Guerra. Ao técnico do laboratório Edjânio pela receptividade, empenho e cuidado nas minhas amostras. Muito obrigada!

Aos alunos do PIBIC-EM: Eduarda, Hikare, Jeferson, Luana, Thais, Dayana, Silvana, Raniele. E por fim, a Bernadete, a quem permaneceu até o fim cuidando com maestria do experimento. Meus agradecimentos.

Aos meus queridos que mais se fizeram presente nesse tempo: à maravilhosa e querida Jucilene (Jú), minha irmã e apoio contínuo de caminhada científica; à Cleytson e Gugs pela preocupação e cuidado; à dona Rita e seu Orlando que tanto me acolheram em Bananeiras e só dispensaram a mim cuidado e amor; à Bianca, Milena e Lunara pelo acolhimento, carinho, escutas e divertimentos. À Aninha, minha companheira de vida, de choro, de fofocas, de planejamentos, reclamações e até de dormidas(hehe). E por fim, à Renata pelo companheirismo, por toda dedicação, pelos cuidados emocionais e físicos, e amor dedicados durante todo o tempo.

Aos professores da banca: professora Alda pela referência, competência, ética e cuidado que teve comigo, principalmente, nos momentos que recorri; à Tatjana pela simpatia, disponibilidade e receptividade; à Danila

pelo acolhimento e atenção; e ao Ricardo pela parceria e grande contribuição. Cada um muito contribuiu para o todo da tese.

Ao meu querido orientador Ian pelo imensurável apoio, por ser conforto quando necessário, por ser tão ético, coerente, responsável e cuidadoso. Palavras são ineficientes para expressar tamanha admiração pelo cientista e humano que és.

Ao meu coorientador professor Marino pelo cuidado, atenção e acolhimento, e comprometimento com a pesquisa.

À agência de fomento FAPESQ (Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba) pelo custeio da bolsa que muito contribuiu para o desenvolvimento da pesquisa, nas diferentes cidades.

Feliz em conhecê-los e tê-los ao meu lado. Deus os abençoe!

*Se ame por primeiro!
Se entenda!
Se cuide!
Acredite em você!
Reinvente a sua história!
Ressignifique as circunstâncias!
Faça a diferença!*

RESUMO

Esse trabalho está estruturado em dois capítulos: 1) Elaboramos no formato de artigo de revisão, com tópicos referentes a Aquicultura e fisiologia de teleósteos, com ênfase na tilápia do Nilo. 2) Refere-se ao estudo, em sistema de cultivo intensivo, de desempenho da tilápia submetida aos diferentes fotoperíodos, durante 6 meses (180 dias). Nele, aborda-se os objetivos, metodologia e apresentação e discussão dos resultados. Os objetivos traçados foram: identificar os padrões de crescimento somático, crescimento muscular, mobilização energética e reprodução das tilápias ao longo de 180 dias submetidas a diferentes fotoperíodos. Para tanto, montou-se um sistema de recirculação com 9 caixas d'água (1000L cada), sendo 3 caixas por fotoperíodo (T1=24Claro:0Escuro; T2=18C:06E e T3=12C:12E). Povoamos embriões em incubadoras, depois em berçários, e por último em caixas d'água (n=142 animais/cada). As tilápias apresentaram performances variadas a depender das variáveis biométricas e fotoperíodos. A mortalidade foi considerável nos primeiros 15 dias de vida do animal com mortes significativas até os 30 dias com diferenças significativas ($p<0,0001$ e $p<0,0001$, respectivamente). Os menores resultados de mortalidade foram identificados no T1. Quanto a massa corporal, as diferenças significativas ($p<0,004$) foram registradas no dia 135 apresentando o T1 maior massa corporal ($56,57\pm 23,11g$). Em relação ao comprimento total, houve diferenças significativas entre os tratamentos nos dias 135($p<0,002$) e 180($p<0,016$) pós-eclosão. O T1 apresentou os maiores comprimentos ($14,85\pm 2,58$ e $19,52\pm 2,99cm$) em ambos os dias, respectivamente. No que tange ao ganho de massa, taxa de crescimento específico e fator de condição, não houveram diferenças significativas entre os tratamentos. O crescimento do músculo esquelético constatou-se um padrão tendencioso de aumento no comprimento da fibra ao longo dos dias, em especial do T1, caracterizando um crescimento predominantemente hipertrófico. Os animais desenvolveram, em todos os tratamentos, fibras $>180\mu m$ que começaram a ser identificadas a partir do dia 90. O glicogênio hepático apresentou diferenças significativas em função dos fotoperíodos nos dias 60, 90, 120 e 150 ($p<0,002$; 0,047; 0,001 e 0,001, respectivamente) com aumento na frequência de depósito para T1. Quanto aos estoques de lipídios, houve diferença estatística nos dias 150 e 180($p<0,001$ e 0,003, respectivamente) entre os tratamentos. O T3 obteve maior frequência de acúmulo hepático. No que corresponde a determinação do sexo, identificou-se porcentagem de inversão sexual 85,7% para machos fenotípicos e 14,3% intersexo para todos os tratamentos. Não havendo potencialização do hormônio, na inversão sexual, pelo fotoperíodo. As tilápias apresentaram no dia 90, células germinativas em fase indiferenciada e em processo de diferenciação. Nesse sentido, descrevemos os dados a partir do dia 120. Os peixes se encontraram em maturação, em razão de apresentaram as maiores porcentagens dos cistos de espermatozoides no dia 150 (T1-26% T2-53% e T3-37%) com menor porcentagem para o T1. No dia 180, os espermatozoides mostraram-se menores taxas em relação a coleta anterior (T1-23% T2-27% e T3-32%). Nesse último dia é possível sugerir, pelos dados decrescentes, que os animais pudessem estar entrando na fase de regressão. O presente estudo revelou que o fotoperíodo de T1 proporciona melhores resultados na criação de tilápia do Nilo, no que se refere ao desempenho produtivo. Quanto a reprodução o T1 apresentou menores percentuais de maturação.

Palavras-chave: Fisiologia do crescimento; Parâmetros zootécnicos; Teleósteo; Luz.

ABSTRACT

This work is structured in two chapters: 1) It is elaborated in the format of a review article, with topics related to Aquaculture and physiology of teleosts, with emphasis on Nile tilapia. 2) It refers to the study, in an intensive culture system, of the performance of tilapia submitted to different photoperiods, during 6 months (180 days). It addresses the objectives, methodology and presentation and discussion of the results. The objectives were: to identify the patterns of somatic growth, muscle growth, energy mobilization and reproduction of tilapia throughout 180 days submitted to different photoperiods. For this purpose, we set up a recirculation system with 9 water tanks (1000L each), with 3 tanks each photoperiod (T1=24Light:0Dark; T2=18L:06D and T3=12D:12D). We stocked embryos in incubators, then in hatchery, and finally in water tanks (n=142 animals/each). The tilapia presented varied performances depending on the biometric variables and photoperiods. Mortality was considerable in the first 15 days of live with significant mortality up to 30 days with significant differences ($p<0.0001$ and $p<0.0001$, respectively). The lowest mortality results were identified at T1. As for body mass, significant differences ($p<0.004$) were recorded on day 135, with T1 showing higher body mass ($56.57\pm23.11\text{g}$). Regarding the total length, there were significant differences between treatments on days 135($p<0.002$) and 180($p<0.016$) post-hatching. T1 showed the greatest lengths (14.85 ± 2.58 and $19.52\pm2.99\text{cm}$) on both days, respectively. Regarding mass gain, specific growth rate and condition factor, there were no statistical differences between treatments. The skeletal muscle growth showed a tendency pattern of increasing fiber length over the of days, especially at T1, characterizing a predominantly hypertrophic growth. The animals developed, in all treatments, fibers $>180\mu\text{m}$, that started to be identified from day 90. The hepatic glycogen showed significant differences as an function of photoperiods on days 60, 90, 120 and 150($p<0.002$; 0.047; 0.001 and 0.001, respectively) with increased deposition frequency for T1. As for lipid stocks, there was a statistical difference on days 150 and 180 ($p<0.001$ and 0.003, respectively) between treatments. T3 obtained a higher frequency of hepatic accumulation. Regarding sex determination, a percentage of sex inversion was identified: 85.7% of the phenotypic males and 14.3% for intersex males for all treatments. There was no potentiation of the hormone, in the sexual inversion, by the photoperiod. On day 90, the tilapia showed germ cells in an undifferentiated phase and spermatogonia. In this sense, we describe the data from day 120 onwards. The fishes were in maturation stage, because they presented the highest percentages of spermcysts at day 150 (T1-26%, T2-53% and T3-37%) with the lowest percentage for T1. On day 180, spermatozoa showed lower rates compared to the previous collection (T1-23%, T2-27% and T3-32%). On this last day, it is possible to suggest, by the decreasing data, that the animals could be entering the regression phase. The present study revealed that the T1 photoperiod provided better results in the rearing of Nile tilapia, regarding the productive performance. As for reproduction, T1 showed lower percentages of maturation

Keywords: Physiology of growth; Zootechnical parameters, Teleost fish; Light period.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

CAPÍTULO 1: PRODUÇÃO, FOTOPERIODISMO, MORFOFISIOLOGIA DA REPRODUÇÃO E NEUROENDOCRINOLOGIA DO CRESCIMENTO EM PEIXES COM ÊNFASE NA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*)

Figura 1	-Produção de pexes nos últimos cinco anos, de 2017-2021, no Brasil.....	21
Figura 2	-Produção de tilápia no Brasil, nos últimos cinco anos segundo Associação Brasileira da Piscicultura PEIXE BR, 2022.....	23
Figura 3	-Cérebro e descrição da pineal.....	26
Figura 4	-Anatomia do cérebro.....	33
Figura 5	-Ilustração esquematiza o processo de espermatogênese em teleósteo.....	37
Figura 6	-Ilustração esquematiza o processo de oogênese em teleósteo.....	39

CAPÍTULO 2: DESEMPENHO, CRESCIMENTO MUSCULAR, REPRODUTIVO E METABOLISMO ENERGÉTICO DAS TILÁPIAS DO NILO (*Oreochromis niloticus*) SOB DIFERENTES FOTOPERÍODOS DURANTE TODO CICLO PRODUTIVO

Figura 1	- Disposição do sistema de recirculação d`água utilizada no experimento de fotoperíodo – as tilápia do Nilo ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) foram cultivados em nove caixas d`água de polietileno com capacidade de 1000L, organizadas em 3 fileiras.....	52
Figura 2	- Caixas de abastecimento e organização dos filtros do sistema de recirculação d`água utilizados no experimento de fotoperíodo – A) Caixas anexas (de abastecimento e biofiltro). B) Air lift. C) Biofiltro. (D) Substratos do biofiltro.....	53
Figura 3	- Tipos de filtros utilizados no sistema de recirculação d`água.....	55
Figura 4	- Aeração distribuída em todo sistema de recirculação d`água: nas incubadoras, berçários e caixas – as setas de contornos branco se referem ao caminho percorrido pelo o ar nos canos e sua distribuição nas unidades de cultivo pelas mangueiras.....	56
Figura 5	- Povoamento dos embriões no sistema de recirculação d`água: aclimação, seleção e distribuição – A) Aclimação à água do cultivo. B) Embriões. C) Desinfecção. D) Lavagem. E) Seleção dos embriões.....	58
Figura 6	-Fases do desenvolvimento da tilápia conforme características morfológicas.....	59
Figura 7	- Diferentes ambientes de cultivo dos animais durante o experimento de	

	recirculação d'água – A) Incubadora. B) Berçário. C) Caixa d'água.....	62
Figura 8	- Medidas morfométricas da tilápia do Nilo.....	65
Figura 9	- Desenho experimental dos períodos de biometria e amostragem dos tecidos para análise histomorfométrica.....	67
Figura 10	- Curvas de crescimento morfométrico da tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) ajustados pelo modelo exponencial não linear.....	74
Figura 11	- Curvas de massa corporal ajustadas pelo modelo exponencial não linear.....	76
Figura 12	- Distribuição de frequência (%) das classes de diâmetros de fibras musculares brancas da tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) submetida a diferentes fotoperíodos durante 180 dias de cultivo intensivo.....	82
Figura 13	- Distribuição de frequência (%) dos graus de depósito do glicogênio hepático da tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) submetida a diferentes fotoperíodos durante 180 dias de cultivo intensivo.....	89
Figura 14	- Distribuição de frequência (%) dos graus de esteatose hepática da tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>) submetida a diferentes fotoperíodos durante 180 dias de cultivo intensivo.....	93
Figura 15	- Avaliação da inversão sexual da tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) submetida a diferentes fotoperíodos em sistema de cultivo intensivo.....	94
Figura 16	- Distribuição de frequência (%) de células germinativas de machos da tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) submetidos a diferentes fotoperíodos durante 180 dias de cultivo intensivo.....	97

TABELAS

Tabela 1	-Alimentação das tilápias de acordo com a fase de desenvolvimento.....	63
Tabela 2	- Mortalidade (média $\pm$ desvio padrão) da tilápia submetida a diferentes fotoperíodos durante 180 dias de cultivo intensivo.....	71
Tabela 3	- Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis massa corporal, comprimento padrão, comprimento total e altura de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) submetidas a diferentes fotoperíodos.....	75
Tabela 4	- Ganho de massa(g) (média, desvio padrão, coeficiente de variação, mediana, quartis e valores máximos e mínimos) da tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) submetida a diferentes fotoperíodos durante 180 dias de cultivo intensivo.....	77
Tabela 5	- Taxa de crescimento específico (média, desvio padrão, coeficiente de variação, mediana, quartis e valores máximos e mínimos) tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) submetida a diferentes fotoperíodos durante 180 dias de cultivo intensivo.....	78
Tabela 6	- Fator de condição (média, desvio padrão, coeficiente de variação, mediana, quartis e valores máximos e mínimos) da tilápia submetida a diferentes fotoperíodos durante 180 dias de cultivo intensivo.....	79

LISTA DE ABREVIATURAS

Aanat	arilalquilamina N-acetiltransferase
ACTH	hormônio adrenocorticotrófico
ADOGs	oogônias diferenciadas A
ALT	altura
AMPc	monofosfato cíclico de adenosina
AUOG	oogônias indiferenciada A
BM	membrana basal
BOG	oogônias B
BV	blood vessel
C	cistos
C:C	claro:claro
C:E	claro:escuro
CA	cortical alveoli
CP	comprimento padrão
CT	comprimento total
D/MI	diplotênico/metáfase I
DO	diplóteno
E	espermátides
E2	estradiol
EV	early vitellogenic
F	foliculares
FC	fator de condição
FGO	oócitos adultos
FSH	hormônio folículo-estimulante
GE	epitélio germinativo
GH	Hormônio do crescimento
GHBP	Proteína ligadora do hormônio de crescimento
GHR	Receptor do hormônio do crescimento
GHRH	Hormônio liberador do hormônio do crescimento
GM	ganho de massa
HE	hematoxilina-eosina
HIOMT	hidroxi-indol-O-metiltransferase
HP	haste pineal

IGFBPs	Proteínas ligantes do insulin-like growth factor
IGFs	fatores de crescimento semelhantes à insulin
KISS1	kisspeptina
LH	hormônio luteinizante
LO	leptóten
LPO	paquíteno tardio
LPXRFa	Hormônio inibidor do hormônio do crescimento
MC	mesenchymal cells
MPF	fator promotor de maturação
MRFs	fatores reguladores miogênicos
MSH	hormônio estimulante dos melanócitos
MT	melatonina
myf6	myogenic factor 6
myoD	myogenic differentiation factor
myod	fator de determinação do mioblasto
myog	miogenina
N	nucleus
NAT	N-acetiltransferase
NE	ninho de células
NU	nucleolus;
OFs	folículos ovarianos
PAS	ácido periódico
PEIXE BR	Associação Brasileira da Piscicultura
PF	pré-foliculares
PG	crescimento primário
PI	pars intermedia
PKA	proteína kinase A
PN	pars nervosa
PO	paquíteno
POC	folicular pós-ovulatório
POMC	pró-opiomelanocortina
PPD	pars distalis proximal
PRL	prolactina
RPD	pars distalis rostral
S/MII	cundário/metáfase II

SD	saco dorsal
SG	crescimento secundário
SL	somatolactina
SZ	espermatozóides
T	células tecaís
TSH	tireotropina
VF	vesícula final
VTG	vitelogenina
Y	yolk globules
ZO	zigóteno
ZP	zona pellucida

SUMÁRIO

CAPÍTULO I: PRODUÇÃO, FOTOPERIODISMO, MORFOFISIOLOGIA DA REPRODUÇÃO E NEUROENDOCRINOLOGIA DO CRESCIMENTO EM PEIXES COM ÊNFASE NA TILÁPIA DO NILO (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	18
1 Introdução	21
2 Organismos aquáticos: do ambiente natural ao espaço controlado	21
3 Espécies comercializadas e de impacto na produção aquícola do Brasil e do mundo.....	22
3.1 Uma das pupilas da piscicultura: tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>).....	23
4 Fotoperíodo e sua atuação na fisiologia neuroendócrina de peixes teleósteos.....	26
5 Fotoperíodo e crescimento	31
6 Fotoperíodo e desenvolvimento gonadal.....	34
7 Referências	43
CAPÍTULO 2: DESEMPENHO, CRESCIMENTO MUSCULAR, REPRODUTIVO E METABOLISMO ENERGÉTICO DAS TILÁPIAS DO NILO (<i>Oreochromis niloticus</i>) SOB DIFERENTES FOTOPERÍODOS DURANTE TODO CICLO PRODUTIVO	51
1 INTRODUÇÃO.....	52
2 OBJETIVOS	53
2.1 OBJETIVO GERAL	53
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	53
3 MATERIAL E MÉTODOS	54
3.1 ASPECTOS ÉTICOS E LOCAL DA PESQUISA.....	54
3.2 MONTAGEM E INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE CULTIVO	54
3.2.1 Ciclo da água no sistema.....	55
3.2.2 Sistema de aeração da água.....	57
3.2.3 Sistema elétrico	58
3.3 REGIMES DE FOTOPERÍODO	58
3.3.1 Transporte e povoamento dos embriões.....	59
3.4 CARACTERIZAÇÃO DAS FASES DO DESENVOLVIMENTO ANIMAL	61
3.5 CULTIVO DE PEIXES	62
3.5.1 Densidade de estocagem	62
3.6 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA	64
3.7 DIETAS OFERTADAS DURANTE O DESENVOLVIMENTO DA TILÁPIA DO NILO	65

3.8 VARIÁVEIS DE DESEMPENHO ZOOTÉCNICO	66
3.8.1 Análise da taxa de sobrevivência e mortalidade.....	66
3.8.2 Biometria	66
3.8.3 Análises histomorfométricas	68
3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	72
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
4.1 MORTALIDADE DA TILÁPIA DO NILO	73
4.2 ANÁLISE DO DESEMPENHO, CRESCIMENTO SOMÁTICO E MUSCULAR	74
4.3 ANÁLISE DOS ESTOQUES DE GLICOGÊNIO E LIPÍDIOS HEPÁTICOS	89
4.4 SEXAGEM E DESENVOLVIMENTO GONADAL.....	96
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	103
REFERÊNCIAS	104
APÊNDICES	113
APÊNDICE 1= Artigo 1	114
APÊNDICE 2= Artigo 2	123
ANEXO	136
ANEXO 1	137

APRESENTAÇÃO

Esta tese está organizada em dois capítulos. O capítulo I está elaborado no formato de artigo de revisão, com tópicos referentes a Aquicultura e fisiologia de teleósteos, com ênfase na tilápia do Nilo. O Capítulo II refere-se ao estudo, em sistema de cultivo intensivo, de desempenho da espécie supracitada, submetida aos diferentes fotoperíodos, durante 6 meses (180 dias). Nessa redação, aborda-se os objetivos propostos para realização da pesquisa; a metodologia utilizada e apresentação e discussão dos resultados encontrados.

CAPÍTULO I:
PRODUÇÃO, FOTOPERIODISMO, MORFOFISIOLOGIA DA REPRODUÇÃO E
NEUROENDOCRINOLOGIA DO CRESCIMENTO EM PEIXES COM ÊNFASE NA
TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*)

Artigo será submetido a revista Fish Physiology and Biochemistry, Qualis A3

PRODUÇÃO, FOTOPERIODISMO, MORFOFISIOLOGIA DA REPRODUÇÃO E NEUROENDOCRINOLOGIA DO CRESCIMENTO EM PEIXES COM ÊNFASE NA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*)

Márcia Dantas dos Santos^a, Andrei Félix Mendes^b, Jackelly Felipe de Oliveira^b, Luana da Silva Lobo Barbosa^b, Ian Porto Gurgel do Amaral^c

^aM.D. SANTOS

Doutoranda no Programa de Pós-graduação Multicêntrico em Ciências Fisiológicas, Departamento de Biologia Molecular, Universidade Federal da Paraíba, Joao Pessoa, Brasil

^bA.F. MENDES* J.F. OLIVEIRA* L.S. LOBO

Biotechnologista, Departamento de Biologia Celular e Molecular, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil

^cI.P.G. AMARAL

Professor da Biotecnologia, Departamento de Biologia Celular e Molecular, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, e-mail: ianamaral@cbiotec.ufpb.br

Resumo Aquicultura é uma modalidade que se desenvolve ao longo dos anos, visto sua importância na alimentação, nutrição e geração de renda movimentando grande parte da economia, em especial do Brasil. Dentre os animais explorados na aquicultura, os peixes se sobressaem com a maior produção mundial, sendo a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) a terceira categoria por espécie mais produzida, e a primeira no Brasil. Nesse sentido, tem se investigado o uso do fotoperíodo na busca de compreender sua modulação na fisiologia dos peixes, principalmente nas espécies de interesse comercial. O longo fotoperíodo tem assegurado bom desempenho, aumento do crescimento e modulação no desenvolvimento sexual, visto sua influência no eixo cérebro-pituitário-periférico. Os dados da literatura sugerem resultados variáveis em resposta a diferentes fotoperíodos, promissores quanto o uso de longos fotoperíodos nas unidades de cultivo para crescimento da tilápia. No entanto, esses efeitos positivos no crescimento não refletem em melhoras nos índices de reprodução. Esta revisão da literatura tem como objetivo, portanto, reunir os dados mais recentes sobre o efeito do fotoperíodo nos sistemas de cultivo que contribuem para o crescimento e reprodução de teleósteos, com ênfase na tilápia.

Palavras-chaves: Aquicultura. Fisiologia. Crescimento. Reprodução. Fotoperíodo. Peixe.

1 Introdução

A proteína animal é o principal produto da indústria aquícola, portanto a compreensão dos fatores que são capazes de potencializar a produção proteína animal é de fundamental importância para a Aquicultura. Dentre os fatores conhecidos, variáveis ambientais como qualidade da água e fotoperíodo estão entre os mais importantes em termos de manipulação para obtenção de um melhor desempenho zootécnico e de produtivo. A manipulação do fotoperíodo e seus efeitos na biologia dos peixes tem sido bastante estudada em peixes teleósteos, em especial nas espécies de interesse comercial (Costa 2015). Regimes de fotoperíodo adequados às espécies em cada fase de desenvolvimento asseguram um bom desempenho, crescimento e desenvolvimento sexual durante o ciclo produtivo (Navarro e Navarro 2012).

A fisiologia neuroendócrina do crescimento e reprodução em peixes é bastante complexa e se dá, inicialmente, por eventos moleculares regidos por proteínas e enzimas, os quais podem ser modulados por fatores externos como fotoperíodo (Amaral 2011). No entanto, as pesquisas ainda são inconclusivas quanto aos efeitos do fotoperíodo na fisiologia do crescimento e desenvolvimento gonadal em peixes. Em especial, são necessárias mais informações acerca das bases moleculares, a exemplo dos genes do relógio e do eixo cérebro-pituitário-periférico envolvidos nesse processo (Veras 2011), para melhor compreensão do processo e como ele pode ser modulado para melhoramento dos índices reprodutivos.

Nesse sentido, essa revisão aborda dados de ascensão do comércio de organismos aquáticos no Brasil e mundo, em especial da tilápia do Nilo. Esta revisão traz os dados mais recentes da literatura sobre os eixos, genes e hormônios envolvidos no crescimento muscular e desenvolvimento reprodutivo de peixes teleósteos em resposta as manipulações do fotoperíodo.

2 Organismos aquáticos: do ambiente natural ao espaço controlado

De acordo com a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO 2016) a pesca e o cultivo de organismos aquáticos continuam sendo importantes fontes de alimentação, nutrição e geração de renda para milhares de pessoas em todo mundo.

A pesca e a aquicultura possuem finalidades distintas, mas ambas estão ligadas com a criação de organismos aquáticos. A pesca envolve a captura de diversos grupos de animais aquáticos, entre eles as principais categorias são: peixes, crustáceos e moluscos. Desde os primórdios da humanidade, a pesca se fez presente como meio de sobrevivência para as comunidades (SEBRAE 2015b). Hoje, no Brasil, a pesca é organizada em modalidades de caráter comercial e não comercial conforme a Lei de Nº 11.959, de 2009. Esta dispõe sobre a

Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca que regulamenta as atividades pesqueiras, as quais objetivam a geração de emprego, renda, alimentação e lazer usando os recursos pesqueiros de maneira sustentável.

A pesca comercial se subdivide em artesanal, num regime de economia familiar e industrial, para fins comerciais. Na pesca não comercial tem-se a pesca científica, voltada para pesquisas de cunho científico; a amadora, que tem como objetivo o lazer; e a de subsistência, para fins de consumo doméstico (Lei de Nº 11.959 de 2009).

Já a aquicultura é tida como uma atividade de intervenção humana que visa cultivar organismos aquáticos e transformá-los em produtos comercializáveis. Essa atividade baseia-se na busca de condições estáveis de criação com monitoramento e controle dos parâmetros de qualidade da água, da densidade de estocagem, alimentação e proteção contra predadores (Kautsky et al. 2001). Em suma, buscam-se condições de criação controladas com objetivo de se obter produtos que atinjam a qualidade necessária ao mercado consumidor (EMBRAPA 2001).

A aquicultura também é organizada em categorias a depender do seu objetivo central, tendo a: comercial, com alta produtividade para fins econômicos; científica, para estudos e investigação; de recomposição ambiental, buscando o repovoamento de áreas; familiar; e ornamental, podendo estar incluso o interesse de mercado ou não (Lei de Nº 11.959 de 2009).

3 Espécies comercializadas e de impacto na produção aquícola do Brasil e do mundo

Os principais organismos aquáticos cultivados incluem peixes, crustáceos, moluscos, plantas aquáticas, répteis aquáticos, anfíbios e invertebrados (SEBRAE 2015). Dessas classes, dez espécies se evidenciaram entre as mais produzidas na aquicultura mundial em 2019, com um total de 120.098.422 toneladas. A família dos ciprinídeos, como as carpas, protagonizaram um percentual de 24.80%; seguida das algas vermelhas com 15.20% e algas marrons, 13.65%; camarões marinhos, 5.46%; bagres, 5.22%; tilápias e outros ciclídeos, 5.16%; ostras, 5.10%; Amêijoas, berbigões e conchas, 4.60%; salmões e trutas; 3.21%; e outros peixes de água doce, 2.09%. Logo, o grupo de peixes se sobressaiu com maior produção de 29.789.359t são as carpas, sendo a tilápia a terceira categoria de peixe mais produzida. A produção aquícola mundial da tilápia e outros ciclídeos foi maior na China, com 1.641.662t, seguida pela Indonésia e Egito, com 1.257.000t e 1.081.202t, respectivamente (FAO 2021).

No Brasil, a produção de peixes vem crescendo continuamente nos últimos cinco anos, conforme levantamentos feitos pela Associação Brasileira da Piscicultura (PEIXE BR). Dados divulgados em 2018 mostram que o país produziu 691.700t em 2017. No ano seguinte a

produção brasileira foi para 722.560t. Já em 2019, foi produzido um total de 758.006t. Em 2020 atingiu um total de 802.930t. E recentemente, foram divulgados os dados de 2021 com um montante de 841.005t (Figura 1).

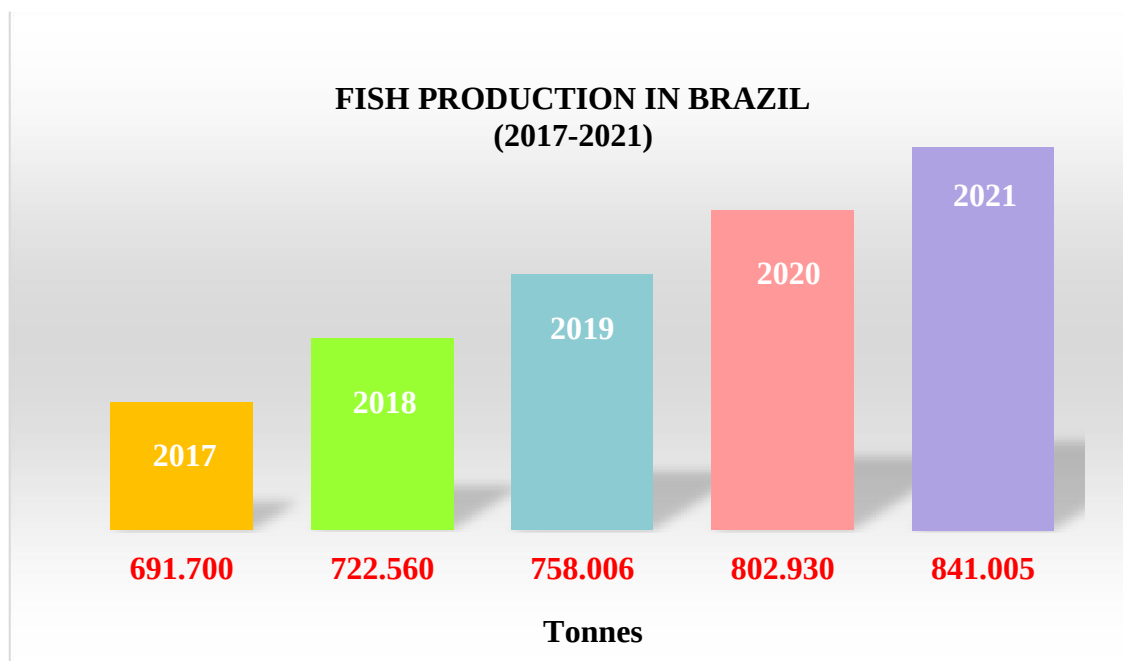


Fig. 1. Produção de peixes nos últimos cinco anos, de 2017-2021, no Brasil. Dados retirados da Associação Brasileira da Piscicultura (2022). Fonte: Arquivo pessoal.

Em relação as regiões brasileiras, em 2021, o Sul apresentou-se como maior produtor com 269.300t, seguido do Nordeste (162.250t), Sudeste (152.895t), Norte (144.810t) e Centro Oeste (111.750). Dentre os estados, o Paraná assumiu a liderança com 188.000t, liderando o ranking dos cinco estados maiores produtores de peixes no Brasil. Na segunda posição está o estado de São Paulo com 81.640t, seguido de Rondônia (59.600t), Santa Catarina (53.600t) e Minas Gerais (49.100t).

3.1 Uma das pupilas da piscicultura: tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

As tilápias são peixes ciclídeos originários da África, onívoros, de água dulcícola (Pillay 1990; El-Sayed 2006; FAO 2017). Inicialmente, foi introduzida nos países em desenvolvimento como um meio de subsistência (FAO 2015), visto o bom aporte de proteínas do animal e as necessidades nutricionais existentes, chegando ao Brasil em 1971 (FAO 2020).

Posteriormente, diante das suas qualidades, a produção da tilápia foi intensificada e expandida para escalas comerciais, alcançando um novo patamar e tornando-se o quarto grupo de peixes mais cultivado e comercializado mundialmente, inserido em mais de 120 países em 2018, com uma produção de mais 6 milhões de toneladas (FAO 2020). Em 2019, permaneceu na mesma posição, com produção de 6.194.760 toneladas (FAO 2021).

A produção mundial das tilápias se concentra na espécie *Oreochromis niloticus*, muito embora outras espécies tenham sido inseridas no cultivo por apresentarem atributos relevantes, como: a *O. mossambicus*, híbridos da *O. niloticus* com a *O. Aureus*, e híbridos da *O. mossambicus* com a *O. Niloticus* (FAO 2022).

Ante suas características zootécnicas, *Oreochromis niloticus* torna-se a espécie mais cultivada. Suas principais qualidades são: resistência e adaptação às mais variadas condições ambientais e de cultivo, como altas temperaturas, níveis reduzidos de oxigênio, alta salinidade, níveis elevados de amônia; se alimentam de uma variedade de organismos, maturação precoce em torno de 150 a 200 gramas em tanques de cultivo, podendo atrasar de 1 a 2 meses (Vajargah, 2021); possuem alta produtividade, bom desempenho produtivo, obtendo 600 a 800 gramas em torno de 4 e 6 meses de cultivo (SEBRAE, 2015); desova de até 12 vezes num ano, chegando a desovar em torno de 800 a 2.000 óvulos (EMBRAPA, 2007).

A tilápia tem sido bastante representada no cenário brasileiro, pelo seu desempenho de produção. Nos últimos cinco anos a espécie vem num avanço crescente, com ritmo considerável conforme aponta os Anuários Brasileiro da Piscicultura publicados, entre os anos de 2018-2022 (Figura 2).

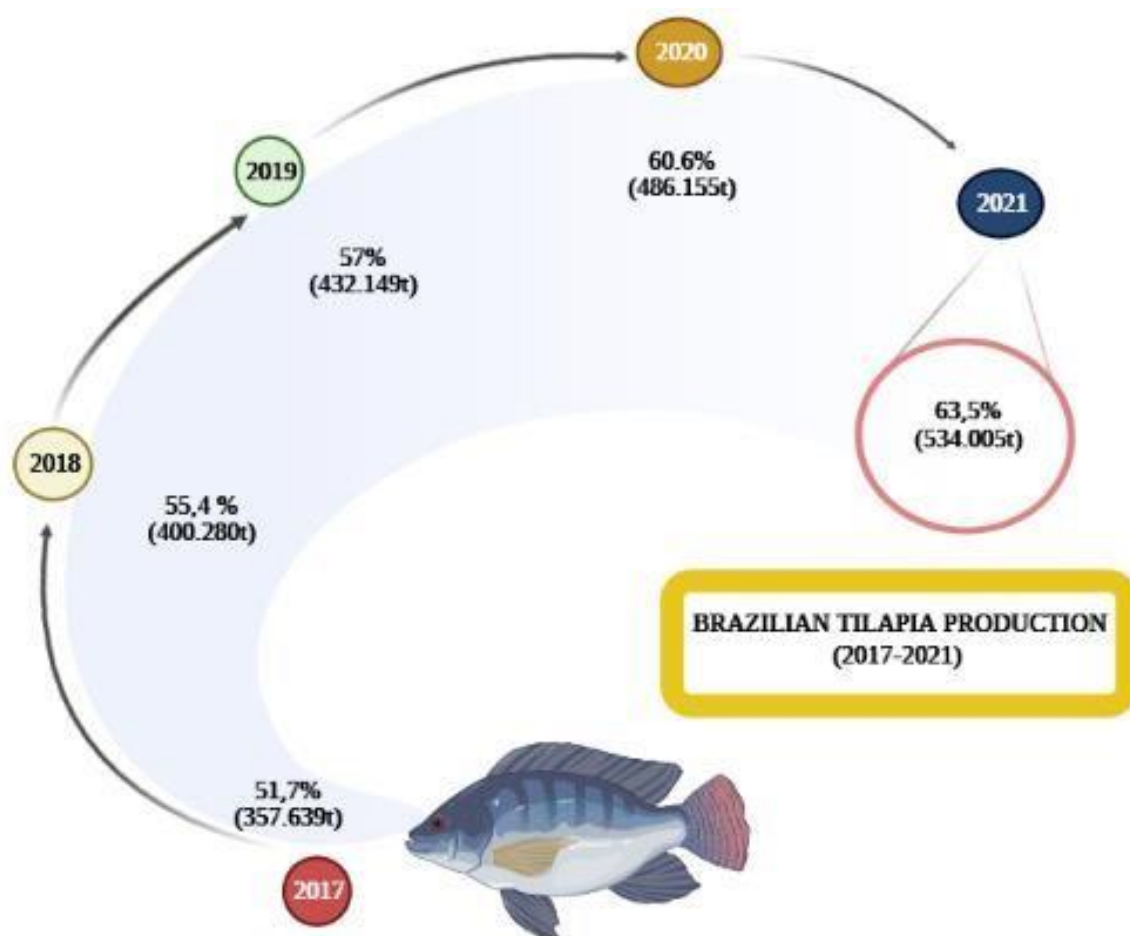


Fig. 2. Produção de tilápia no Brasil, nos últimos cinco anos segundo Associação Brasileira da Piscicultura PEIXE BR, 2022. Fonte: arquivo pessoal. BioRend.com

Segundo o anuário de pesca de 2022, a tilápia avança cada vez mais no seu desempenho, se sobressaindo em sua produção em relação às demais espécies, atingindo 63,5% 534,005t do cultivo total no Brasil em 2021. Quanto aos estados, o Paraná obteve a maior produção com 182.000t, na sequência vem São Paulo 76.140t, Minas Gerais com 47.000t, Santa Catarina 41.700t e Mato Grosso do Sul 34.450t (Associação Brasileira da Piscicultura 2022).

Em 2021, a tilápia foi o peixe com maior exportação, quando alcançou US\$ 18,2 milhões, correspondendo a 88% do total. Os curimatãs ficaram na segunda posição com US\$ 1,7 milhões, seguido dos tambaquis com US\$ 550 mil. Os produtos e subprodutos da tilápia foram categorizados para venda em: tilápia inteira congelada, filés frescos ou refrigerado, filés congelados, óleos e gorduras, tilápia inteira fresca ou refrigerada e subprodutos impróprios para consumo. A categoria de maior valor agregado foi a da tilápia inteira congelada, com valor de US\$ 6,7 milhões (37%) para 2.993t (Associação Brasileira da Piscicultura, 2022).

Ainda sobre a exportação da tilápia, o Brasil, em 2021, exportou para os Estados Unidos 3 mil toneladas (45% do total vendido), custando US\$ 13 milhões. Na segunda colocação, segue a China recebendo 1.840t (22%) a um custo de US\$1 milhão (9%). O terceiro país é o Chile importando o equivalente a 933t (11%), num valor de US\$ 954.031 mil.

No que tange aos produtores mundiais, estima-se que, em 2022, a China atinja em torno de 2 milhões de toneladas, correspondente a 31,7% da produção global. O segundo país, com expectativa de produção para 1,4 milhão de toneladas, é a Indonésia. Na sequência, tem-se o Egito e o Brasil, os quais possuem estimativas de produção de 1 milhão e 550 mil toneladas, respectivamente (Associação Brasileira da Piscicultura, 2022).

4 Fotoperíodo e sua atuação na fisiologia neuroendócrina de peixes teleósteos

A adaptabilidade das espécies às condições e circunstâncias do meio em que vivem é crucial para sua existência ao longo do tempo. As mudanças diárias nas variáveis ambientais impulsionaram os seres vivos a desenvolverem mecanismos de ajuste de sua fisiologia (Hu e Beersma 2011). E para tanto, as espécies alteraram sua biologia para que, em harmonia com as variáveis ambientais, consigam sobreviver às mudanças externas, a exemplo do fotoperíodo (Jackson 2009).

A alteração da biologia permeia mecanismos internos de temporização que confere adaptação fisiológica do organismo ao meio externo e o direcionamento dos seus hábitos. As atividades biológicas são movidas por elementos chamados de osciladores ou sincronizadores moleculares internos (relógio molecular) que possuem ciclos de funcionamento específico, contudo respondem aos sinais vindos do ambiente (chamados *Zeitgebers* – sinais que ditam os ritmos), sincronizando-os. Isto é, orquestram os processos endógenos de acordo com a ritmicidade dos sinais fotoperiódicos (Hu e Beersma 2011).

O relógio molecular consiste em genes (principalmente *clock*, *bmal*, *per* e *cry*) envolvidos nos processos de transcrição e tradução gênica que atuam independentemente dos fatores externos, que podem ter sua expressão modulada por fatores externos. Os mecanismos de retroalimentação negativos e positivos determinam o período do ritmo circadiano. Os organismos quando expostos às intempéries do meio podem desenvolver desregulações do seu ritmo biológico caso não se adaptem adequadamente, levando ao surgimento de patologias (Sánchez-Vázquez et al. 2019).

As atividades endógenas possuem uma ritmicidade própria, com diferentes periodicidades para cada atividade. O ciclo de luz e escuro tem demonstrado ser um relevante sinal exógeno de intervenção em relação aos processos moleculares fundamentais, que se dá

através da modulação do relógio molecular. Estes, em peixes, se encontram na maioria dos tecidos numa hierarquia central, sendo a pineal a estrutura central em diversas espécies (Veras et al. 2013). A glândula pineal é responsável por transmitir a informação fotoperiódica através do hormônio melatonina, seguindo um padrão de flutuações na sua liberação ao longo do dia dependente do controle mediado pelo relógio molecular (Sánchez-Vázquez et al., 2019).

A pineal está localizada acima dos hemisférios cerebrais e é dividida anatomicamente em três porções no peixe teleósteo *Catla catla*: vesícula final (VF), saco dorsal (SD) e a haste pineal (HP). A VF está posicionada ventralmente ao teto craniano, lateralmente no nível dos olhos, numa depressão, a qual possui estrutura óssea bem delgada com pouca ossificação. Possui células com morfologia similar às células fotorreceptoras e células de suporte. A HP origina-se do teto diencefálico, possui continuidade com terceiro ventrículo. Possui fibras nervosas do trato nervoso pineal. O SD apresenta-se num formato de várias invaginações, estando abaixo da porção rostral da VF e se comunica com o terceiro ventrículo. Em análises histológicas e cariométricas, foi evidenciado que apenas as células da VF responderam aos estímulos luminosos (Dey et al. 2003).

A pineal se encontra numa região em que a pele que reveste o crânio é menos pigmentada (Figura 3A) e o crânio translúcido, o que contribui para a entrada de luz no organismo. Os fotorreceptores na pineal de peixes possuem funções análogas às da retina em mamíferos, que contém toda a maquinaria necessária para processar a fototransdução, como: cromóforos, opsinas, transducina, arrestina e um canal controlado por nucleotídeo cíclico (cng) operado por monofostato cíclico de guanosina (GMPc) (Henderson et al., 1994; ekström e Meissl 1997; Falcón, 1999; Decressac et al. 2002; Falcón et al. 2007; FALCÓN et al. 2011). No peixe-zebra adulto, a presença do fotopigmento rodopsina foi identificada exclusivamente nos pinealócitos. Neste animal, pinealócito apresentou uma anatomia com 3 porções: 1) segmento externo com membranas lamelares, 2) segmento interno rico em mitocôndrias, retículo rugoso e um 3) pólo basal. Nesse último segmento, foram observadas sinapses, indicando um local possível de comunicação entre os pinealócitos e os neurônios (Laurà et al. 2012).

Na ausência de luz, os fotorreceptores na pineal se despolarizam através da entrada de cálcio (Ca^{2+}) dependentes de voltagem, o que aumenta ativação do AMP cíclico (AMPc) (Falcón 1999; Falcón et al. 2011) o qual ativa a PKA (proteína kinase A). A PKA fosforila a AANAT2 (arilalquilamina N-acetiltransferase-2) que se liga às proteínas 14-3-3 protegendo-as de degradação via proteólise controlada (proteassômica). Esse processo aumenta a síntese de melatonina (Falcón et al., 2010) (Figura 3B).

Os pinealócitos participam da biossíntese da melatonina a partir do aminoácido triptofano, o qual sofre hidroxilação pela triptofano hidroxilase resultando em 5hidroxitriptofano. Este é descarboxilado pela descarboxilase de aminoácidos aromáticos produzindo serotonina. A AANAT2 converte a serotonina em N-acetilserotonina. Pela ação da hidroxiindol-O-metiltransferase (HIOMT), a N-acetilserotonina é metilada e produz a melatonina (Klein et al. 1997; Falcón et al., 2007, Falcón et al. 2010; Falcón et al.2011). A pineal sendo um órgão fotorreceptor traduz a luz em um sinal neuroendócrino por meio da melatonina (Ekstrom e Meissl 1997; Seth e Maitra 2010)

A melatonina é produzida mediante sucessivas reações químicas tendo a proteína AANAT2, que é produzida na pineal de peixes, como uma de suas precursoras. Por diminuir seus níveis e atividade na presença de luz, a pineal contribui para a tradução de sinal fotoperiódico regulando a síntese de melatonina. Acredita-se que essa diminuição seja pela degradação causada pelo proteossoma, inibida pela via de proteção dependente do cAMP no peixe lúcio (*Esox lucius*) e na dourada (*Sparus aurata*) (Falcón et al., 2001). Foram identificados receptores para melatonina (MT) em diferentes tecidos dos peixes, indicando que o receptor MT2 está acoplado à via do cAMP (Gaildrat et al., 2002; Falcón et al., 2007) e que o sinal (melatonina) é um importante integrador do fotoperiodismo para os diversos tecidos periféricos.

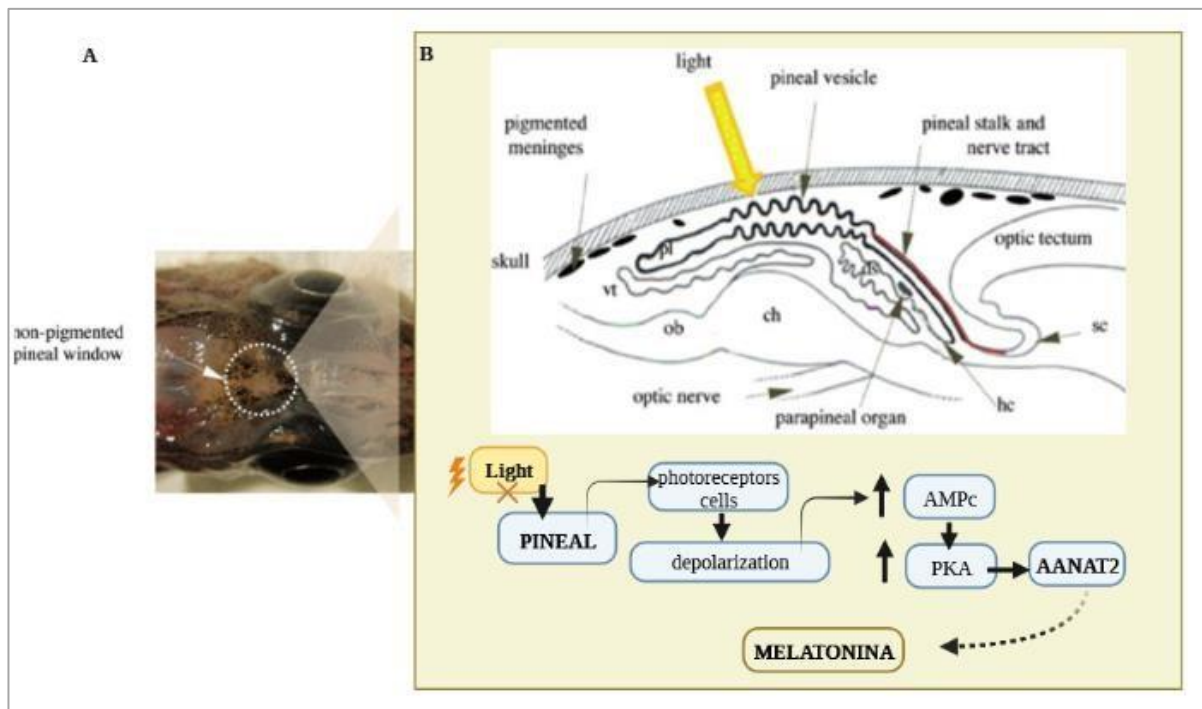


Fig. 3. Cérebro e descrição da pineal. A) vista superior do dorso da cabeça do peixe bacalhau (*Boreogadus saida*) evidenciando, por meio da seta e círculo, a região menos pigmentada do crânio por

onde a entrada de luz no organismo é facilitada. B) ilustração em corte sagital do cérebro do peixe lucio (*Esox lucius*), mostrando a vesícula pineal acima dos hemisférios cerebrais (ch) e bulbos olfativos (ob). A haste da pineal e o trato nervoso se comunicam com cérebro no nível do diencéfalo superior, entre a comissura habenular (hc) e órgão subcomissural (sc). Abaixo há apresentação esquemática dos processos de recepção da luz pela pineal, e ativação da AANAT2 para produção de melatonina. ds: saco dorsal; pl: lúmen pineal; vt: véu transversal (adaptado de Falcón et al. 2011).

Seth e Maitra (2010) demonstraram em seu estudo na pineal de carpas da espécie *C. catla* níveis variantes da opsina e α -transducina ao longo do dia. Essas proteínas fotorreceptoras apresentaram os maiores picos às 12h e menores, às 24h. Já a proteína AANAT exibiu variações inversas, com pico máximo às 24h e o mínimo às 12h. Apontando, assim, para uma forte relação fotorreceptora da pineal com o meio.

A pineal em peixes teleósteos, a exemplo do *Esox lucius L*, possui fotorreceptores em seu epitélio, que apresentaram aumento na frequência de impulso elétrico à medida que a exposição a luz branca diminuía, indicando sua participação na fotorrecepção (Falcón e Meissl 1981). Foi similarmente identificado no trabalho de Ekström e Meissl (1988), que observaram hiperpolarização dos fotorreceptores, interneurônios e neurônios diante de estímulos luminosos, na pineal de trutas da espécie *Salmo gairdneri*. Sendo assim, essa rede de comunicação dos fotorreceptores e neurônios evidenciam a transmissão fotoperiódica do meio e projeção da informação para o cérebro.

A sequência da transmissão luminosa acontece pela ativação dos fotorreceptores que se comunicam com as células ganglionares projetando a informação para o cérebro por meio do trato nervoso pineal. Na presença de luz, os fotorreceptores hiperpolarizam inibindo a liberação de neurotransmissor excitatórios, e conseqüentemente as descargas dos neurônios pineais (Falcón e Meissl 1981; Falcón et al. 2011).

Além desses achados, evidenciando a ativação dos fotorreceptores e transmissão de informação pelos neurônios, foi visto em carpas adultas (*C. catla*) o aumento do diâmetro nuclear e citoplasmático das células pineais da vesícula final sob condições constantes de escuro. Essas características anatômicas e histológicas são similares às observadas em pinealócitos de mamíferos quando induzidos pelos ciclos de claro/escuro (Dey et al. 2003).

A integração da informação fótica com processos de produção de hormônios e outras moléculas evidencia o efeito do fotoperíodo na fisiologia do animal e no crescimento somático. Por exemplo, um estudo *in vitro* na hipófise da truta *Oncorhynchus mykiss* demonstrou resultados da modulação da liberação de GH mediada pela melatonina. A presença de melatonina

foi capaz de inibir a liberação do GH e de reduzir os níveis de cAMP em células de hipófise mantidas em cultura. Também foi observada um padrão circadiano na liberação do GH quando foram testadas concentrações de melatonina semelhantes àsquelas encontradas durante o período diurno e noturno: a produção de GH foi menor quando a concentração de melatonina estava próxima aos níveis diurnos (picomolar) e aumentada quando próximas aos níveis noturnos de melatonina (nanomolar) (Falcón et al. 2003). Complementando essa afirmação, alguns órgãos da tilápia do Nilo, a exemplo do fígado, apresentam maior resposta à ação do GH exógeno à noite (Costa 2015).

Os dados supracitados corroboram o estudo de Danilova et al (2004), que revelou aumento da proliferação celular e na aceleração do desenvolvimento de embriões do peixezebra tratado com melatonina. Isto sugere que essa espécie pode ter sua maior taxa de desenvolvimento no período da noite. Geralmente, o crescimento muscular por hipertrofia e hiperplasia em peixes acontece durante toda a vida do animal (Rowlerson e Veggetti 2001; Kuradomi et al. 2010)

Organismos de maior complexidade possuem sincronizadores centrais que funcionam mantendo o controle das atividades internas numa sincronia de tempo com o ambiente. Bem como transduzem o sinal fótico para todos os tecidos, os quais usam como padrão para o desenvolvimento de suas funções, regulando as respostas fisiológicas de todo o corpo (Hut e Beersma 2011).

Um dos *Zeitgebers* mais discutido, visto sua forte influência, é o fotoperíodo. Este é caracterizado como uma variável climática que compreende a presença de luz em um período de 24h (Jackson 2009). Há mudanças do fotoperíodo periodicamente na natureza e segundo Pereria et al (p.1, 2021) “regulam as respostas fisiológicas que em última análise, determina a saúde das espécies”.

Os peixes, por exemplo, desenvolveram relógios internos para enfrentar as ciclagens do ambiente como a do fotoperíodo (Sánchez-Vázquez et al. 2019). E é um dos animais que apresenta maior influência do fotoperíodo sobre o relógio molecular modulando o desenvolvimento, crescimento, reprodução, comportamento (Almazan-rueda et al. 2004; Larsen et al. 2011; Imsland et al. 2013; Bizarro et al. 2019; Pereira 2021), ganho de massa corporal, ingesta alimentar, eficiência alimentar, gasto energético, atividade locomotora e saúde do animal (Veras et al. 2013).

A resposta do organismo frente aos fatores abióticos é mediada por vias neuroendócrinas. Diante da variabilidade de fatores, os peixes desenvolvem adaptações, conhecidas como plasticidade fenotípica que pode ter efeitos temporários sobre a fisiologia, ou até permanentes

(Amaral 2011). Um dos sistemas envolvidos com a interação entre fator externo, resposta molecular e fisiológica é o sistema endócrino (Kim et al. 2015), especificamente o eixo cérebro-pituitário-órgãos periférico. No peixe teleósteo *Gasterosteus aculeatus* L foram identificadas projeções da pineal nos núcleos habenulares e no hipotálamo dorsal, bem como aferências fóticas da retina no hipotálamo rostral, tálamo lateral e tecto óptico. Sendo assim, a melatonina parece exercer um controle direto no desenvolvimento animal (Ekström 1984).

Em última análise, o impacto das mudanças externas em relação a fisiologia animal deve ser bem investigado, principalmente ao se tratar de produção e bem estar animal. No contexto da piscicultura, informações sobre o fotoperíodo minimizará os efeitos negativos do cultivo no crescimento do animal e facilitará o adequado manejo, para que seja realizado em horas específicas, nas condições ótimas do dia (Esteban 2006). Segundo Veras et al (p.25, 2013) o “conhecimento fisiológico deste ritmo biológico torna-se fundamental para otimização da produção de peixes”.

5 Fotoperíodo e crescimento

Os efeitos do fotoperíodo sobre o crescimento corporal de peixes têm sido bastante reportado e sua aplicação artificial na piscicultura bem documentada no cultivo de peixes de água doce e salgada. Segundo Amaral (2011) as fibras musculares podem ser moduladas em respostas as condições ambientais. São exemplos de moduladores externos o estresse, nutrição, temperatura e fotoperíodo, os quais podem influenciar a atividade dos elementos periféricos do eixo somatotrópico (De-Santis e Jerry 2007; Duan et al. 2010; Yan et al. 2015).

Nos teleósteos, a fisiologia do crescimento somático segue uma organização complexa, com características similares às observadas nos mamíferos, com regulação central e periférica ou local. Os gatilhos e mecanismos envolvidos nas diferentes comunicações, para regulação do crescimento, são organizados no eixo somatotrópico. Este eixo envolve a interação de proteínas e hormônios de regulação central como o hormônio liberador do hormônio do crescimento (GHRH) e o hormônio do crescimento (GH); e regulação periférica, como os fatores de crescimento semelhantes à insulina (IGFs); proteínas de ligação ao GH (GHBPs) e IGFs (IGFBPs); e receptores hormonais (GHRs e IGFRs). Esse sistema possui uma variedade de componentes, inclusive, pelos seus subtipos (De-Santis e Jerry 2007; Duan et al. 2010; Yan et al. 2015).

O GHRH é um neuropeptídeo cuja ação biológica é estimular a liberação do GH. Os níveis de expressão do *ghrh* foi registrado em maior quantidade no telencéfalo, hipotálamo,

medula espinhal, e em menor no ovário da garoupa (*Epinephelus coioides*). Seus respectivos receptores, os *ghrh-rs*, se apresentaram em níveis de expressão similar, exceto pelo aumento no diencéfalo e hipófise. Tanto os genes para o GHRH como os receptores apresentam maior expressão durante a embriogênese, na fase de vesícula cerebral e formação do coração. O GHRH sintético adicionado em cultura de células hipofisárias aumentou a expressão gênica e proteica do GH, validando a ação do GHRH sobre o GH em peixe (Qian et al. 2012).

O crescimento somático não se limita a fisiologia do músculo esquelético, mas é resultado da ingesta calórica, da utilização dos nutrientes pelo organismo, do balanço energético e das sinalizações que operam em cada sistema e entre eles (Li et al. 2014). O GH desempenha atividades no crescimento animal, apetite, reprodução e metabolismo de lipídeos e proteínas (Canosa et al. 2007).

O GH no músculo esquelético de peixes regula a expressão gênica de vários fatores de crescimento que modulam o crescimento muscular através da proliferação de células miogênicas, hiperplasia e hipertrofia. A formação do músculo esquelético, a miogênese, é um processo que envolve uma série de eventos de determinação e diferenciação celular. Esses são controlados por fatores reguladores miogênicos (MRFs) como fator de determinação do mioblasto (*myod*), miogenina (*myog*), fator miogênico 5 (*myf5*) e outros (Watabe 1999; Rescan 2001; Fuente et al. 2013).

A superexpressão do GH no peixe-zebra resultou em aumento na expressão do fator de crescimento miogenina (*myog*), e hipertrofia no músculo sem regulação direta do IGF-1 (Kuradomi et al. 2010). Em carpas foi detectado um aumento da expressão de fatores regulatórios miogênicos (*igfbp5*, *igfbp7*, *myog* e outros), diferenciação do miócito em uma fibra muscular lenta e oxidativa e crescimento hiperplásico diante da superexpressão do IGF-1 (Li et al. 2014).

GH sinaliza a ativação dos IGFs, produzidos em maior quantidade pelo fígado e transportados na circulação via proteínas de ligação específicas (IGFBPs). O IGF-1 se liga a seu receptor, o IGF1-R, e estimula a célula miogênica a desenvolver-se e diferenciar-se. Concomitantemente, o IGF-1 inibe os eventos que culminam com atrofia muscular (Clemmons et al. 1998; Fuente et al. 2013).

Foi identificada uma série de reguladores internos e externos que podem influenciar nas ações dos GHRs, GHBP, IGFRs e IGFBPs e IGFs. São eles o GH, insulina, IGF, somatostatina, estrogênio, estado nutricional, temperatura, fotoperíodo e outros (Reindl e Sheridan 2012). Além da estimulação do IGF-1 hepático pelo GH, há produção do IGF-1 na hipófise, cérebro,

brânquias, coração, trato gastrointestinal, pâncreas, rim, baço, gônadas, músculo, cartilagem, osso e pele em peixes (Reinecke 2010).

Há evidências que sugerem que a glândula pineal parece desempenhar controle direto sobre o crescimento de peixes. Por exemplo, salmões da espécie *Salmo salar* pinealectomizados apresentaram menores taxa de crescimento específico ao longo de aproximadamente 5 meses de cultivo, em comparação ao controle (Mayer 2000).

Tomando como base trabalhos que tem mostrado a influência da melatonina sobre o crescimento, e do fotoperíodo sobre a pineal, juvenis da espécie *Oncorhynchus mykiss* expostos a diferentes ciclos de luz, apresentaram maior massa corporal, com maior taxa de crescimento e níveis circulantes de IGF-I no ciclo de 18h luz em comparação aos menores ciclos. Ao receberem implante com liberação de melatonina não foi observada nenhuma diferença na taxa de crescimento entre os fotoperíodos. E os níveis circulantes de IGF-I não foram afetados pela melatonina, sugerindo crescimento através da regulação direta do IGF-I (Taylor et al. 2005).

O estudo realizado em duas espécies de peixes marinhos, a *Seriola lalandi* e *Atractoscion nobilis*, durante 10 e 18 dias de vida animal, respectivamente, revelou maior crescimento larval no fotoperíodo de 24 luz, isto é, com menores níveis de melatonina, além dos indivíduos *Seriola lalandi* apresentarem maior taxa de sobrevivência neste fotoperíodo (Stuart e Drawbridge 2012). Em machos juvenis da tilápia do Nilo o resultado foi semelhante. Pesando inicialmente 83g, foram submetidos a três regimes de fotoperíodo durante 60 dias e exibiram um ganho maior de massa corporal na maior exposição a luz, no ciclo de 24h:0h (Claro:Escuro, C:E) (Navarro et al., 2015). Complementando as informações supracitadas, Cruz e Brown (2009) reportaram em seu estudo que juvenis da tilápia do Nilo pesando 16g, submetidos a 16h:08h (C:E) de luz apresentaram dados de massa corporal e comprimento padrão com tendência para o aumento, comparados aos submetidos a 8h:16h (C:E).

Dessa forma, os resultados são conflitantes e ainda são insuficientes abordando a fisiologia do crescimento em peixes, as bases moleculares circadianas, (Veras 2011) e os mecanismos de sua regulação envolvidos nesse processo (Seth e Maitra 2010). Sabendo que a proteína animal é o principal produto da indústria aquícola, é indispensável que se tenha pesquisas adicionais (Costa 2015) que visem explicar os ritmos biológicos e as consequências da manipulação do fotoperíodo sobre o eixo neuroendócrino na regulação do crescimento muscular, nas espécies de teleósteos, em especial nas de interesse comercial. E assim, compreender melhor a influência da sincronização ambiental na biologia do animal, para assegurar bom desempenho durante o ciclo produtivo e, portanto, aumento da produção e qualidade do pescado tendo

maiores rendimentos no setor de piscicultura (Navarro e Navarro 2012). Por esta razão, o fotoperíodo tem ganhado bastante atenção no setor da piscicultura como possível meio de melhoramento do produto (Taylor e Migaud 2009).

Nesse sentido, para compreender o crescimento em peixes, é necessário ter um entendimento holístico de toda fisiologia animal, visto que segundo Ma et al. (2020) o crescimento e reprodução não se dissociam, compartilhando o metabolismo e a regulação pelos hormônios que compõem o eixo cérebro-pituitário-órgãos periféricos.

6 Fotoperíodo e desenvolvimento gonadal

O eixo hipotálamo-hipófise-gônadas é responsável pela regulação neuroendócrina da reprodução em peixes. Foi identificada a expressão do receptor KISSIR (ou receptor acoplado a proteína G, GPR₅₄) nos neurônios que liberam o GnRH1(hormônio liberador de gonadotropina), GnRH2 e GnRH3(Parhar et al. 2004).

O neuropeptídeo chamado kisspeptina (KISS1) participa da estimulação do GnRH no hipotálamo dos peixes, o qual sinaliza a liberação das gonadotropinas FSH (folículo estimulante) e LH (hormônio luteinizante) da pituitária. Esses dois últimos hormônios estimulam a oogênese e espermatogênese, nas gônadas (Weltzein et al. 2004; Filby et al. 2008).

A glândula pineal na tilápia é dividida em neuro-hipófise (pars nervosa=PN) e a adenohipófise. Essa última está organizada em diferentes regiões: a pars distalis rostral (RPD), pars distalis proximal (PPD) e pars intermedia (PI). A RPD possui células que produzem o ACTH (hormônio adrenocorticotrófico) e PRL (prolactina); na PPD há produção de β -TSH (tireotropina), β -LH (hormônio luteinizante), β -FSH (hormônio folículo-estimulante) e GH (hormônio do crescimento); na PI há a produção da SL (somatolactina) e α -MSH (hormônio estimulante dos melanócitos). Principalmente nessa última porção há projeções da neurohipófise (Kasper et al. 2006) (Figura 4B-C).

Pela técnica de imunofluorescência, foram identificados na tilápia do Nilo neurônios que produzem o peptídeo LPXRFa distribuídos em diversas áreas do cérebro, inclusive na hipófise. Os neurônios LPXRFa hipotalâmicos projetam-se para as três áreas da adeno-hipófise e inervam as células que produzem o ACTH, MSH, SL, LH e FSH (Ogawa et al. 2016) (Figura 4B-C).

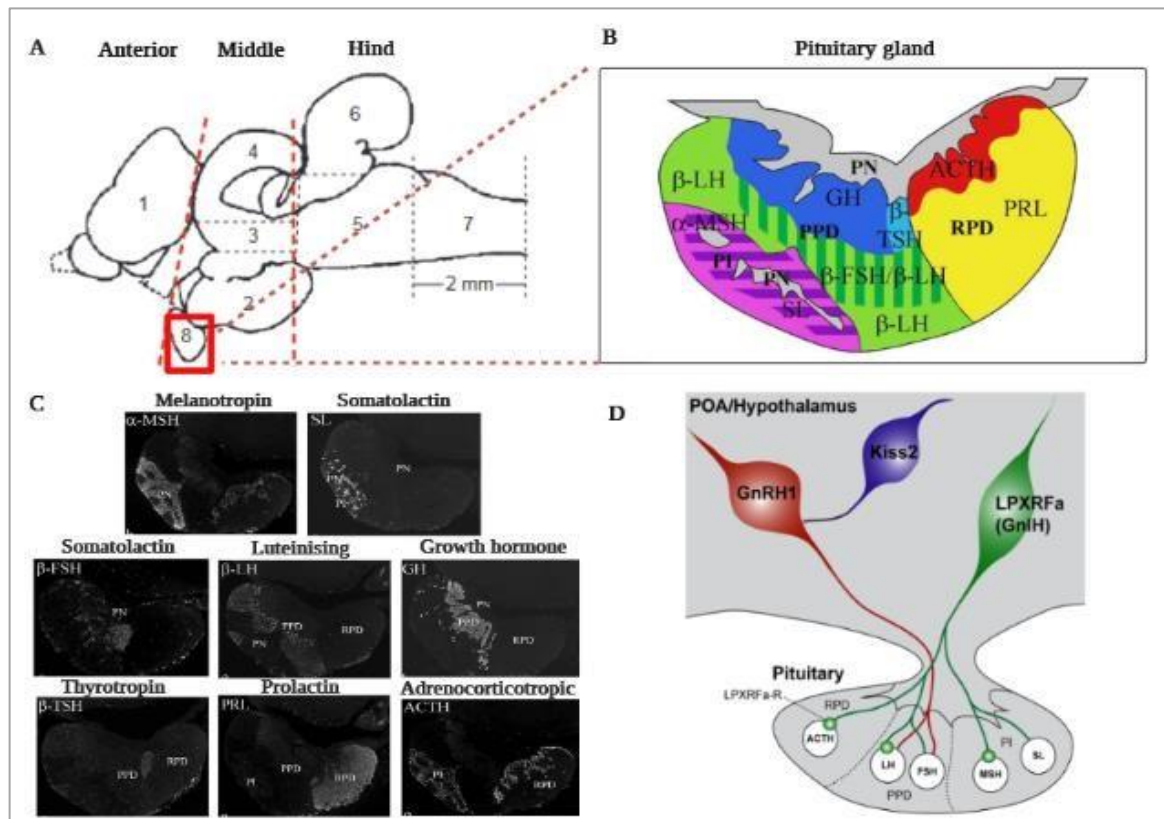


Fig. 4. Anatomia do cérebro (A); da hipófise (B), suas regiões e localização dos hormônios na tilápia (C e D). A) desenho adaptado de Yang et al. (2009) e descreve o cérebro e suas partes anterior, média e posterior. A região anterior compreende o telencéfalo e o bulbo olfatório (1); a média compreende o diencéfalo (2), tegmento mesencefálico (3), tecto e válvulas do cerebelo (4) e hipófise (8) e a região posterior contém o rombencéfalo (5), cerebelo (6) e lobo vagal (7). B e C) foram retiradas de Kasper et al. (2006). Mostrado a pineal e suas partes (pars nervosa - PN, pars distalis rostral - RPD, pars distalis proximal - PPD e pars intermedia - PI) e localização dos respectivos hormônios identificados por imunofluorescência (hormônio adrenocorticotrófico - ACTH, prolactina - PRL, tireotropina - β -TSH, hormônio luteinizante - β -LH, hormônio folículo estimulante - β -FSH, hormônio do crescimento - GH, somatolactina - SL e hormônio estimulante dos melanócitos - α -MSH). D) imagem retiradas de Ogawa et al. (2016). Esquematiza a influência do Kiss2 sob a liberação do GnRH e do GnIH (LPXRFa) estimulando a liberação de LH e FSH.

Níveis elevados de expressão dos receptores *fshr* (do FSH) e *lhcr* (do LH) indicam crescimento e maturação do oócito do peixe-zebra, respectivamente. Tem-se mostrado que quando a expressão do *gnih* em ciclos de luz contante se eleva os *fshb*, *lhb*, *fshr*, *lhcr* no ovário se reduzem. Inferindo assim, a possibilidade de atuação do GnIH na via de inativação dos

hormônios gonadotróficos na ausência de melatonina (Zhang et al. 2015; Yumnamcha et al. 2017).

A regulação dos neurônios KISS, que produzem a kisspeptina, parece ser mediada pela melatonina. A administração da melatonina no peixe-zebra (*Danio rerio*) via água de cultivo, influenciou no bom desempenho observado nos folículos ovarianos, com alto número de ovos ovulados e desenvolvimento dos oócitos. No cérebro, os transcritos *kiss1* e *kiss2* e na hipófise, os *gnrh3* e *lh* tiveram aumento expressivo. No fígado constatou-se, aumento do transcrito e da proteína vitelogenina (VTG). Esses dados apresentaram melhores parâmetros reprodutivos mediante as maiores doses da melatonina, tratando a kisspeptina como uma evidência relevante na via de ativação inicial da reprodução por estimular a secreção GnRH (Carnevali et al. 2011).

Os resultados do estudo de Chang et al. (2012) indicaram regulação direta do Kiss1 na secreção de LH e GH na hipófise do peixe dourado *Carassius auratus*. Tendo assim, mecanismos e vias diferentes envolvidas na ativação das gonadotrofinas além do GnRH. A kisspeptina se liga ao receptor KISSIR. No peixe zebra, a expressão dos receptores *kiss1ra* e *kiss1rb* apresentaram-se elevados no telencéfalo e hipófise, baço, brânquias, intestino, pâncreas, tecido adiposo e rim. As gônadas masculinas e femininas também apresentaram altos níveis do receptor *kiss1ra*, sendo mais expresso nos testículos. O transcrito *kiss1* teve sua maior expressão no diencéfalo e mesencéfalo (Biran et al. 2008).

Peixe-zebra adulto clonado com os genes *kiss1r*, *gnrh2*, *gnrh3* revelou diferentes níveis de expressão tanto em diferentes regiões cerebrais quanto nas gônadas. O *kiss1r* exibiu um aumento expressivo no telencéfalo (área pré-óptica). Tiveram também expressões no bulbo e trato olfatórios, tetum óptico, hipotálamo/tálamo e medula espinal, mas com expressão menor do que a observada no telencéfalo. Por outro lado, o gene *gnrh2* teve maior expressão no hipotálamo/tálamo e tetum óptico. Não houve expressão na hipófise. A expressão do *gnrh3* foi maior no bulbo e trato olfatórios e na área pré-óptica. Além disso, os níveis de *kiss1r* e *gnrh3* foram mais expressos no início da puberdade e menos nas etapas posteriores da espermatogênese e oogênese, em machos e fêmeas, respectivamente (Filby et al. 2008).

A melatonina exerce diferentes efeitos em relação a reprodução, a depender da espécie. A complexidade está na sua atividade, ora desencadeando efeitos excitatórios ora inibitórios do GnRH e KISS (Ciani et al. 2021), como visto no trabalho de Imamura et al. (2022) que demonstraram efeitos negativos na expressão cerebral dos genes do *gnrh1* e a subunidade β do *fsh\beta* e *lh\beta*. Houve também regressão do desenvolvimento oocitário. O estudo contou com adição

da melatonina na alimentação do peixe Damsel azul (*Chrysiptera cyanea*), apresentando peso inicial entre 1,35 a 2,83g e, duração experimental de duas semanas.

Parcialmente discordante, a pesquisa de Yumnamcha et al. (2017) revelou, na ausência de luz contínua, aumento da melatonina no cérebro e ovário de fêmeas adultas do peixe-zebra. Havendo também níveis elevados de RNAm *fshb* e *lhb* no cérebro, com diminuição do gene *kiss2*. Já na presença de luz contínua, houve aumento do *gnih* que codifica o hormônio inibitório da gonadotrofina. Nos ovários, os receptores *fshr*, *lhcg*, *mprb* (receptor de progesterona da membrana ovariana beta), *mtnr1aa* e *1ab* (receptores da melatonina) exibiram um aumento na ausência de luz. A maturação do oócito foi avaliada pela degradação da vesícula germinativa (GVBD) e pelo fator promotor de maturação (MPF), os quais estavam elevados na ausência de luz.

Os fotoperíodos mais longos (18:06 e 24:00, C:E) revelaram melhores dados de fecundidade, número de desovas e ovos totais em tilápias submetidas a diferentes condições de fotoperíodo, no período de 180 dias. No entanto, os peixes expostos aos menores fotoperíodos (06:18 e 12:12, C:E) tiveram maiores taxas de crescimento específico (Campos-Mendoza et al. 2003).

O epitélio germinativo de machos juvenis da tilápia do Nilo (peso inicial 83g) teve um aumento significativo após 60 dias de exposição ao ciclo 24h:0h (C:E) em relação aos demais (Navarro et al. 2015). Salmões *Salmo salar* submetidos a remoção da pineal foram acompanhados durante 8 meses e ao serem avaliados quanto o índice gonadosomático (IGS) apresentaram resultados menores comparados ao controle. Contudo, não se observou diferenças estatísticas significativas (Mayer 2000).

No estudo de Ammar et al. (2020), realizado no peixe *Rutilus rutilus* foram observados atrasos nas fases de espermatogênese e oogênese no fotoperíodo longo (16:08, C:E) comparado ao curto (12:12, C:E). Houve diminuição na produção de estradiol (E2), testosterona e 11cetotestosterona. Os hormônios E2 e 11-cetotestosterona são produzidos a partir da testosterona. Enquanto o E2 é responsável pela proliferação e crescimento dos oócitos nas fêmeas, a 11cetotestosterona estimula a renovação e proliferação das espermatogônias nos machos (Rohr et al. 2001; Knapp e Carlisle 2011; Ammar et al. 2020). Nas tilápias, o FSH aumentou a secreção de E2 em fêmeas e o 11- cetotestosterona nos machos (Aizen et al. 2007).

Na gametogênese, as gonadotrofinas dos peixes possuem características funcionais similares às observadas nos mamíferos. Sugere-se que os processos iniciais do crescimento folicular, vitelogênese e espermatogênese sejam controlados pelo FSH nas fêmeas e machos,

respectivamente. Já a maturação do oócito e a ovulação, e a espermição são regulados pelo LH (Yaron et al. 2003; Levavi-Sivan et al. 2010; Aizen et al. 2012). No entanto, peixe-zebra noucaute para FSH, demonstrou que o LH parece interagir com FSHR compensando os efeitos nos machos e fêmeas (Chu et al. 2015).

Estudo *in vitro* do tecido folicular da carpa *Cyprinus carpio* submetido a gonadotrofinas recombinantes de três espécies de teleósteo demonstrou aumento na secreção de 17 α ,20 β dihidroxi-4-pregnen-3-ona em resposta ao LH, em ovários no final da vitelogênese e pós-maturo. Os ovários em processo de desenvolvimento responderam com alta secreção de estradiol, correspondendo ao período de maior IGS e de aumento do diâmetro do oócito (Aizen et al. 2012).

FSH estimula o folículo ovariano a secretar E2 na corrente sanguínea, o qual se liga no receptor de estrogênio no fígado, onde desempenha sua função de estimular a transcrição de VTG. A VTG é uma glicolipofosfoproteína que atua nos ovários sendo precursora da gema/vitelo, cuja função é servir de reserva energética para o embrião (Patiño e Sullivan 2002; Nelson e Habibi 2013; Reading et al. 2018).

As evidências apontam as progestinas como mediador de respostas inibitórias sobre a área pré-óptica do hipotálamo e consequente diminuição do GnRH, como verificado na corvina do Atlântico. Além de observarem aumento da motilidade espermática. Exerce também controle positivo na maturação de oócitos no peixe zebra (Thomas et al., 2004). Em relação aos machos, foi descrito no bagre *Clarias gariepinus* que tanto o FSH como LH regulam a esteroidogênese nas células de Leydig. Porém, as células de Sertoli desempenham sua função diante da influência predominante do FSH (Garcia-Lopez et al. 2008; Schulz et al. 2010).

Os machos de teleósteos possuem o epitélio germinativo no formato de cisto, composto por células germinativas as quais se encontram em estágios diferenciados da espermatogênese. Esta é um processo de desenvolvimento das células germinativas em espermatozoides. Circundando e nutrindo o epitélio, existem as células de Sertoli (Schulz et al. 2010).

Segundo Papah et al (2013), o compartimento germinativo na tilápia *Alcolapia grahami* se organiza em lóbulos seminíferos tendo em seu interior células germinativas agrupadas, envoltas pelas células de Sertoli formando cistos. A espermatogênese é marcada por uma série de etapas de diferenciação celular e compreendem: os estágios de espermatogônia primária indiferenciada/diferenciada (tipo A) e secundária (tipo B); espermatogônia secundária (tipo B); espermátócito primário e espermátócito secundário; espermátide precoce, intermediária e tardia.

E por fim, os espermatozoides, os quais completam o ciclo da espermatogênese após sua liberação no lúmen (Figura 5).

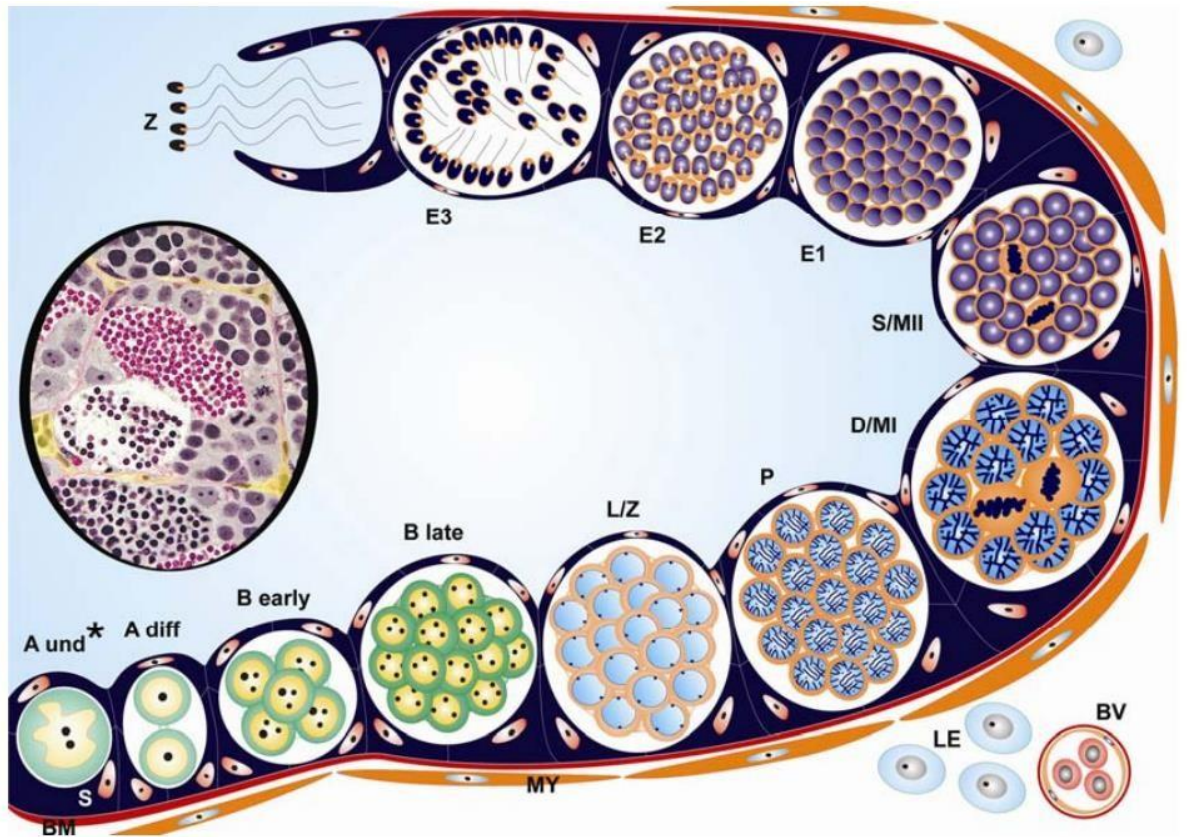


Fig. 5. Ilustração esquematiza o processo de espermatogênese em teleosteo. Espermatogônia tipo A indiferenciada* (A_{und}^*) = caracterizada por possuir um envelope nuclear de bordas irregulares e alta razão entre citoplasma e núcleo; espermatogônia tipo A indiferenciadas (A_{und}) = o envelope nuclear apresenta-se de borda lisa e baixa razão entre citoplasma e núcleo; espermatogônia tipo A diferenciadas (A_{diff} 1, 2 e 3) = a célula se encontra num estágio em que envelope nuclear se mostra arredondado, é visto alguns nucléolos excêntricos, e se agrupam dentro do cisto; espermatogônia tipo B (precoce) = célula com núcleo mais alongado, pequenos nucléolos, aumento da quantidade de heterocromatina; espermatogônia tipo B (tardia) = o núcleo celular encontra-se arredondado e pequeno, a heterocromatina com máxima densidade e as espermatogônias aumentada em número; espermátocito primário (Leptotênico/zigotênico-Z) = possui núcleo bem arredondado e maior e uma cromatina clara; espermátocito primário (paquítenico P) = núcleo mais denso e cromossomo organizado em linha; espermátocito diplotênico/metáfase I (D/MI) = cromossomo altamente condensado; espermátocito secundário/metáfase II (S/MII) = é caracterizado com núcleo arredondado e cromatina densa. A etapa final de diferenciação das células precursoras dos espermatozoides (SZ), a espermiogênese, é classificada em três tipos de espermatídeos: a precoce (E1), intermediária (E2) e final (E3). Todas essas são organizadas conforme a

redução gradual no volume citoplasmático, aumento da compactação nuclear e do espaço entre as espermatídes. Retirada de Leal et al. (2009)

Os ovários são revestidos externamente pela túnica albugínea e internamente pela túnica ovariana interna, que se invaginam formando projeções chamadas de lamelas. São revestidas pelo epitélio germinativo possuindo oócitos em diferentes estágios. Seguindo uma cronologia, o epitélio germinativo de fêmeas da tilápia é composto por células foliculares e células indiferenciadas, as oogônias, que dão origem ao oócitos a partir da folículogênese. As oogônias indiferenciadas A sofrem mitose gerando as oogônias diferenciadas A. Estas se multiplicam sendo chamadas agora de oogônias B, se agrupam formando cistos. Nesse estágio, as células entram em meiose e tornam-se oócitos, os quais seguem etapas de desenvolvimento e amadurecimento (Melo et al. 2014).

No teleósteo catfish, *Pimelodus maculatus*, o crescimento primário do oócito é identificado principalmente pelo aumento das organelas e início do desenvolvimento da zona pelúcida. O crescimento secundário do oócito é caracterizado pela formação das reservas energética, o vitelo, e aumento considerável do oócito. Ele atinge a maturação a partir da migração da vesícula germinativa (núcleo) em direção ao polo animal. E por fim, a ovulação, na qual há ruptura do envoltório folicular e liberação do oócito maduro no lúmen (QuaggioGrassiotto et al. 2011) (Figura 6).

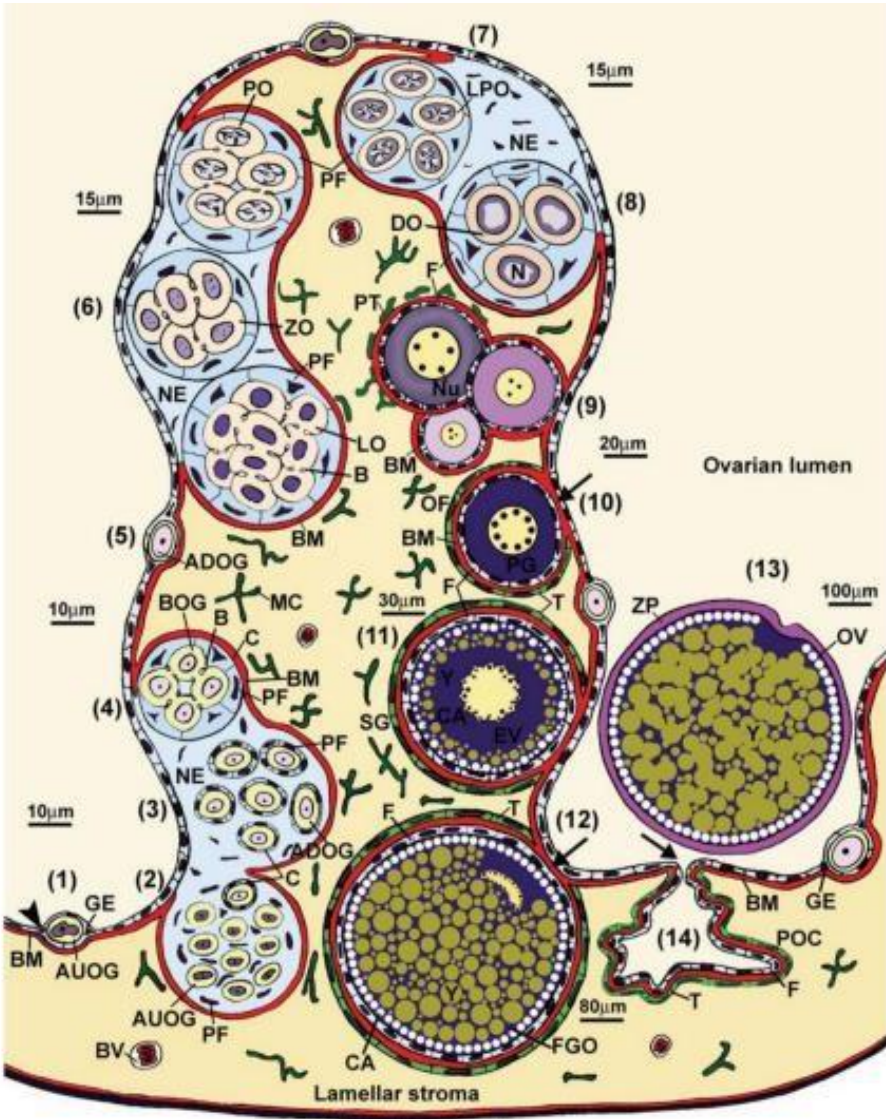


Fig. 6. Ilustração esquematiza o processo de oogênese em teleósteo. 1 - A oogônia indiferenciada A (AUOG) se distribui pelo epitélio germinativo (GE). Processos citoplasmáticos das células epiteliais (seta) circundam as AUOGs estando em paralelo com a membrana basal (BM) funcionando como uma barreira em relação ao lúmen ovariano. 2 - As células epiteliais germinativa, pré-foliculares (PF) e AUOGs se dividem por mitose se aglomerando formando um ninho de células (NE) e se expandem até o estroma ovariano. 3 - Nesse momento, as AUOGs passam a ser oogônias diferenciadas A (ADOGs) envolvidas, unitariamente, pelas células PF formando os cistos germinativos (C). 4= As ADOGs se proliferam por mitose formando os cistos germinativos de oogônias B (BOG) unidos por pontes entre as células (B) e envolvidas pelas células PF. 5 - Algumas ADOGs podem permanecer quiescentes ao longo do epitélio germinativo. 6 - Surgem os oócitos a partir dos processos meióticos que acontecem nos cistos pelas BOGs. Diante das diferentes etapas da prófase meiótica (leptóteno - LO, zigóteno - ZO e paquíteno - PO), os oócitos possuem núcleos com configurações diferentes da cromatina. 7 - As células PFs cercam individualmente cada oócito de paquíteno tardio (LPO), resultando na quebra das pontes que uniam os oócitos. 8 - Não há mais os cistos germinativos a partir do momento que oócito entra no início do

diplóteno (DO) e as células foliculares (F) os cerca. 9 - É formado uma BM que circunda o oócito diplóteno inicial e as células foliculares existentes, separando-as do ninho. 10 - Os folículos ovarianos (OFs) se formam e permanecem unidos ao epitélio germinativo e da membrana basal (seta). As células tecais (T) envolvem os folículos e o oócito se desenvolve entrando no crescimento primário (PG). 11 - Inicia-se o acúmulo de glóbulos do vitelo (Y) e o oócito entra no período chamado de crescimento secundário (SG). 12 - Os oócitos adultos (FGO) maduros, caracterizado pela migração da vesícula germinativa em direção ao polo animal. 13 - Ocorre a expulsão do oócito, a ovulação, no lúmen. 14 - O complexo folicular pós-ovulatório (POC) permanece aderido ao GE pela BM (setas). BV, blood vessel; CA, cortical alveoli; EV, early vitellogenic oocyte; MC, mesenchymal cells; N, nucleus; Nu, nucleolus; Y, yolk globules; ZP, zona pellucida. Retirada de Quagio-Grassiotto et al. 2011)

Este manuscrito faz um apanhado geral de pesquisas que discorrem sobre linhas de evidência que convergem para o entendimento do uso do fotoperíodo no cultivo e sua modulação neuroendócrina no crescimento e reprodução de peixes. Os dados sugerem resultados diferentes a depender da área biológica de interesse sob influência do sincronizador fotoperíodo. Os resultados parecem promissores quando se trata do uso de longos fotoperíodos para crescimento do peixe, apresentando resultados que não refletem em melhoras nos índices de reprodução. De qualquer forma, as pesquisas devem seguir análises mais detalhadas priorizando a preferência ambiental da espécie e condições saudáveis de manejo.

7 Referências

- Aizen, J., Kasuto, H., Golan, M., Zakay, H., Levavi-Sivan, B., 2007. Tilapia Follicle Stimulating Hormone (FSH): Immunochemistry, Stimulation by Gonadotropin-Releasing Hormone, and Effect of Biologically Active Recombinant FSH on Steroid Secretion, *Biol. Reprod.* 76, 4, 692-700. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.106.055822>.
- Aizen, J., Kobayashi, M., Selicharova, I., Sohn, Y. C., Yoshizaki, G., Levavi-Sivan, B., 2012. Steroidogenic response of carp ovaries to piscine FSH and LH depends on the reproductive phase. *Gener. Compar. Endocrinol.* 178, 1, 28-36. <https://10.1016/j.ygcen.2012.04.002>.
- Almazan-Rueda, P., Schrama, J. W., Verreth, J. A. J., 2004. Behavioural responses under different feeding methods and light regimes of the African catfish (*Clarias gariepinus*) juveniles. *Aquacult.* 231, 347-359. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.11.016>.
- Amano, M., Moriyama, S., Iigo, M., Kitamura, S., Amiya, N., Yamamori, K., Ukena, K., Tsutsui, K., 2006. Novel fish hypothalamic neuropeptides stimulate the release of gonadotrophins and growth hormone from the pituitary of sockeye salmon. *Jour. Endocr.* 188, 3, 417-23. <https://10.1677/joe.1.06494>.
- Amaral, I. P. G. Transcriptional regulation in skeletal muscle of zebrafish in response to nutritional status, photoperiod and experimental selection for body size. 2011. 182 f. Tese (Doutorado) University of St Andrews.
- Ammar, I. B., Milla, S., Ledore, Y., Teletchea, F., Fontaine, P., 2020. Constant long photoperiod inhibits the onset of the reproductive cycle in roach females and males. *Fish. Physiol. Bioch.* 46, 1, 89-102. <https://10.1007/s10695-019-00698-3>.
- Associação Brasileira da Piscicultura. Anuário 2020 Peixe BR Piscicultura. <https://www.peixebr.com.br/Anuario2020/AnuarioPeixeBR2020.pdf>.
- Associação Brasileira da Piscicultura. Anuário 2021. Peixe BR da Piscicultura. <https://www.peixebr.com.br/anuario-2021/>.
- Associação Brasileira da Piscicultura. Anuário 2022 Peixe BR Piscicultura. <https://www.peixebr.com.br/Anuario2022/AnuarioPeixeBR2022.pdf?>.
- Associação Brasileira da Piscicultura., 2019. Anuário Peixe BR da Piscicultura. <https://www.peixebr.com.br/Anuario2019/AnuarioPeixeBR2019.pdf>.
- Biran, J., Ben-Dor, S., Levavi-Sivan, B., 2008. Molecular Identification and Functional Characterization of the Kisspeptin/Kisspeptin Receptor System in Lower Vertebrates, *Biolog. Reproduc.* 79, 4, 776-786. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.107.066266>.
- Bizarro, Y.W.S., Navarro, F.K.S.P., Filho, O.P.R., Navarro, R.D., 2019. Photoperiodic effects in blood glucose, cortisol, hematological parameters and reproductive indexes of gift lineage reversed male tilapia. *Biosci. J.* 35, 1915–1922. <https://doi.org/10.14393/BJ-v35n6a2019-41844>.
- Campos-Mendoza, A., Bromage, N., McAndrew, B. J., 2003. The effect of photoperiod on the reproductive performance of the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Fish Physiol. Biochem.* 28, 1-4. <https://10.1023/b:fish.0000030641.95659.be>.
- Canosa, L. F., Chang, J. P., Peter, R. E., 2007. Neuroendocrine control of growth hormone in fish. *Gen Comp Endocr.* 151, 1, 1-26. <https://10.1016/j.ygcen.2006.12.010>.
- Carnevali, O., Gioacchini, G., Maradonna, F., Olivotto, I., Migliarini, B., 2011. Melatonin Induces Follicle Maturation in *Danio rerio*. *PLOS ONE.* 6, 5, e19978. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019978>.

- Chang, J. P., Mar, A., Wlasichuk, M., Wong, A. O. L., 2012. Kisspeptin-1 directly stimulates LH and GH secretion from goldfish pituitary cells in a Ca²⁺-dependent manner. *Gener. Comparat. Endocrin.* 179, 1, 38-46. <https://10.1016/j.ygcen.2012.07.02>.
- Chen, W., Ge, W., 2013. Gonad differentiation and puberty onset in the zebrafish: Evidence for the dependence of puberty onset on body growth but not age in females. *Molec. Reprod. Develop.* 80, 5, 384-392. <https://10.1002/mrd.22172>.
- Chu, L., Li, J., Liu, Y., Cheng, C.H., 2015. Gonadotropin Signaling in Zebrafish Ovary and Testis Development: Insights From Gene Knockout Study. *Mol Endocrinol.* 29, 12, 17431758. <https://10.1210/me.2015-1126>.
- Clemmons, D. R., Busby, W., Clarke, J. B., Parker, A., Duan, C., Nam, T. J., 1998. Modifications of insulin-like growth factor binding proteins and their role in controlling IGF actions. *Endocr. Jour.* 45, S1-8. https://doi.org/10.1507/endocrj.45.Suppl_S1.
- Costa, L. S. Ritmo diário de genes relacionados com o eixo somatotrópico e resposta gênica causada pela aplicação única de GH em tilápia. 2015. 98 f. Tese (doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras Minas Gerais, Minas Gerais, 2015.
- Cruz, E. M. V., Brown, C. L., 2009. Influence of the photoperiod on growth rate and insulinlike growth factor-I gene expression in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Journ. Fish. Biol.* 75, 130-141. <https://10.1111/j.1095-8649.2009.02271.x>.
- Dai, X. Y., Zhang, W., Zhuo, Z., He, Z., Yin, Z., 2015. Neuroendocrine regulation of somatic growth in fishes. *Sci. China Life Sci.* 58, 2, 137-147. <https://doi.org/10.1007/s11427-0154805-8>.
- Danilova, N., Krupnik, V.E., Sugden, D., Zhdanova, I.V., 2004. Melatonin stimulates cell proliferation in zebrafish embryo and accelerates its development. *FASEB J.* 18, 6, 7513. <https://10.1096/fj.03-0544fje>.
- Decressac, S., Grechez-Cassiau, A., Lenfant, J., Falcón, J., Bois, P., 2002. Cloning, localization and functional properties of a cGMP-gated channel in photoreceptor cells from fish pineal gland. *J. Pin. Res.* 33, 4, 225-233. <https://10.1034/j.1600-079x.2002.02922.x>.
- De-Santis, C., Jerry, D.R., 2007. Candidate growth genes in finfish—where should we be looking? *Aquac.* 272, 1-4, 22-38. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.08.036>.
- Dey, R., Bhattacharya, S., Maitra, S. K., Banerji, T. K., 2003. The Morpho-anatomy and Histology of the Pineal Complex in a Major Indian Carp, *Catla catla*: Identification of the Pineal Photoreceptor Cells and Their Responsiveness to Constant Light and Constant Darkness During Different Phases of the Annual Reproductive Cycle. *Endocr. Research.* 29, 4, 429-443, 2003. <https://doi.org/10.1081/ERC-120026949>.
- Duan, C., Ren, H., Gao, S., 2010. Insulin-like growth factors (IGFs), IGF receptors, and IGFbinding proteins: roles in skeletal muscle growth and differentiation. *Gen. Comp. Endocrinol.* 167, 344-351. <https://10.1016/j.ygcen.2010.04.009>.
- Ekström, P., 1984. Central neural connections of the pineal organ and retina in the teleost *Gasterosteus aculeatus* L. *Journ. Compar. Neurol.* 226, 3, 321-335. <https://10.1002/cne.902260303>.
- Ekström, P., Meissl, H., 1988. Intracellular staining of physiologically identified photoreceptor cells and hyperpolarizing interneurons in the teleost pineal organ. *Neurosc.* 25, 3, 10611070. [https://10.1016/0306-4522\(88\)90059-0](https://10.1016/0306-4522(88)90059-0).
- Ekstrom, P., Meissl, H., 1997. The pineal organ of teleost fishes, *Rev. Fish Biol. Fish.* 7, 199-284. <https://10.1023/A:1018483627058>.
- Elia, C., Trude, M. H., Maugars, G., Weltzien, F.A., Falcón, J., Fontaine, R., 2021. Effects of Melatonin on Anterior Pituitary Plasticity: A Comparison Between Mammals and Teleosts. *Front. Endocr.* 11.

- <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.605111>.
- El-Sayed, A. F.M. 2006. Tilapia culture. <https://10.1079/9780851990149.0000>.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Pesca e Aquicultura. 2007. Produção de tilápia: Mercado, espécie, biologia e recria. ISSN 0104-7633. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/34992/1/Circular45.pdf>.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Pesca e Aquicultura., 2001. Aquicultura. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/64747/1/aquicultura.pdf>.
- Esteban, M., Cuesta, A., Rodriguez, A., Meseguer, J., 2006. Effect of photoperiod on the fish innate immune system: a link between fish pineal gland and the immune system. J. Pineal Res. 41, 261-266 <https://10.1111/j.1600-079X.2006.00362.x>.
- Falcón J., 1999. Cellular circadian clocks in the pineal. Prog. Neurobiol. 58, 121-162. [https://10.1016/s0301-0082\(98\)00078-1](https://10.1016/s0301-0082(98)00078-1).
- Falcón J., Besseau, L., Boeuf, G., 2007. Molecular and cellular regulation of pineal organ responses. In: sensory systems neuroscience. Fish Physiol. 243-406. [https://10.1016/S1546-5098\(06\)25006-4](https://10.1016/S1546-5098(06)25006-4).
- Falcón J., Meissl H., 1981. The photosensory function of the pineal organ of the pike (*Esox lucius*, L.). correlation between structure and function. J. Comp. Physiol. 144, 127-137. <https://doi.org/10.1007>.
- Falcón J., Migau D H., Muñoz Z-cue To J. A. Carrillo M., 2010. Current knowledge on the melatonin system in teleost fish. Gen. Comp. Endocrinol., 165, 3, 469-482. <https://10.1016/j.ygcen.2009.04.026>.
- Falcón, J., Besseau, L., Fazzari, D., Attia, J., Gaildrat, P., Beauchaud, M., Boeuf, G., 2003. Melatonin modulates secretion of growth hormone and prolactin by trout pituitary glands and cells in culture. Endocrinol. 144, 10, 4648-58. <https://10.1210/en.2003-0707>.
- Falcón, J., Galarneau, K. M., Weller, J.L., Ron, B., Chen, G., Coon, S. L., Klein, D. C., 2001. Regulation of arylalkylamine N-acetyltransferase-2 (AANAT2, EC 2.3.1.87) in the fish pineal organ: evidence for a role of proteasomal proteolysis. Endocrinol. 142, 5, 1804-13. <https://10.1210/endo.142.5.8129>.
- Falcón, J., Laurence, B., Elodie, M., María, H., Masanori, N., Boeuf, G., 2011. Melatonin, the time keeper: biosynthesis and effects in fish. Cybium, 35, 1, 3-18.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations., 2020b. Top 10 species groups in global aquaculture 2018. <https://www.fao.org/3/ca9383en/CA9383EN.pdf>.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations., 2021. Top 10 species groups in global, regional and national aquaculture 2019. <https://www.fao.org/3/cb5012en/cb5012en.pdf>.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations., 2020a. The State of World Fisheries and Aquaculture. Sustainability in action. <https://www.fao.org/3/ca9229en/ca9229en.pdf>.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations., 2015. Culture aquatic species information programme *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/en/en_niletilapia.htm.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations., 2017. Social and economic performance of tilapia farming in Africa. <https://www.fao.org/3/i7258en/I7258EN.pdf>.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations., 2016. The state of world fisheries and aquaculture. <https://www.fao.org/3/i5555e/i5555e.pdf>.

- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations., 2022. Benchmarking species diversification in global aquaculture. <https://www.fao.org/3/cb8335en/cb8335en.pdf>.
- Filby, A. L., Aerle, R.V., Duitman, J., Tyler, C. R., 2008. The Kisspeptin/Gonadotropin Releasing Hormone Pathway and Molecular Signaling of Puberty in Fish, *Biolog. Reprod.* 78, 2, 278-289. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.107.063420>.
- Fuentes, E. N., Valdés, J. A., Molina, A., Björnsson, B. T., 2013. Regulation of skeletal muscle growth in fish by the growth hormone – Insulin-like growth factor system. *Gener. Compar. Endocrinol.* 192, 136-148. <https://10.1016/j.ygcen.2013.06.009>.
- Gaildrat, P., Becq, F., Falcón, J., 2002. First cloning and functional characterization of a melatonin receptor in fish brain: a novel one? *J. Pin. Res.* 32, 74-84. <https://10.1034/j.1600-079x.2002.1817.x>.
- Garcia-Lopez, A., Bogerd, J., Granneman, J.C., van Dijk, W., Trant, J.M., Taranger, G.L., Schulz, R.W., 2008. Leydig cells express FSH receptors in African catfish. *Endocrinol.* 150, 357-365. <https://doi.org/10.1210/en.2008-0447>.
- Henderson, R. J., Bell, M. V., ParK, M. T., Sargent, J. R., Falcón J., 1994. Lipid composition of the pineal organ from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Lipid*, 29, 311-317. <https://doi.org/10.1007/BF02537183>.
- Hut, R. A., Beersma, D. G. M., 2011. Evolution of time-keeping mechanisms: early emergence and adaptation to photoperiod. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 366, 2141-2154. <https://10.1098/rstb.2010.0409>.
- Imamura, S., Hur, S.P., Takeuchi, Y., Badruzzaman, M., Mahardini, A., Rizky, D., Takemura, A., 2022. Effect of short- and long-term melatonin treatments on the reproductive activity of the tropical damselfish *Chrysiptera cyanea*. *Fish Physiol Biochem.* 48, 253-262. <https://doi.org/10.1007/s10695-022-01051-x>.
- Imslund, A.K., Gunnarsson, S., Roth, B., Foss, A., Le Deuff, S., Norberg, B., Thorarensen, H., Helming, T., 2013. Long-term effect of photoperiod manipulation on growth, maturation and flesh quality in turbot. *Aquac.* 416-417, 152-160. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.09.005>.
- Jackson, S. D., 2009. Plant responses to photoperiod. *New Phytologist.* 181, 517-531. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02681.x>.
- Kasper, R. S., Shved, N., Takahashi, A., Reinecke, M., Eppler, E., 2006. A systematic immunohistochemical survey of the distribution patterns of GH, prolactin, somatolactin, β -TSH, β -FSH, β -LH, ACTH, and α -MSH in the adenohypophysis of *Oreochromis niloticus*, the Nile tilapia. *Cell. Tiss. Research.* 325, 2, 303-313. <https://10.1007/s00441005-0119-7>.
- Kautsky, N., Folke, C., Rönnbäck, P., Troell, M., Beveridge, M., Primavera, J., 2001. *Aquaculture. Encyc. Biod.* 1, 185-198. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-3847195.00307-5>.
- Kim, J. H., White, S. L., Devlin, R. H., 2015. Interaction of growth hormone overexpression and nutritional status on pituitary gland clock gene expression in coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *Chronob. Inter.* 32, 1, 113-127. <https://doi.org/10.3109/07420528.2014.958160>.
- Klein, D. C., Coon, S.L, Roseboom, P. H., Weller, J. L., Bernard, M., Gastel, J. A., Zatz, M., Iuvone, P. M., Rodriguez, I. R., Bégay, V., Falcón, J., Cahill, G. M., Cassone, V. M., Baler, R., 1997. The melatonin rhythm-generating enzyme: molecular regulation of serotonin N-acetyltransferase in the pineal gland. *Recent Prog Horm Res.* 52, 307-57.
- Knapp, R., Carlisle, S. L., 2011. Testicular function and hormonal regulation in fishes, in: *510 Hormon. Reproduc. Vertebr.* 43-63. <https://10.1016/B978-0-12-375009-9.10003-7>.
- Kuradomi, R. Y., Figueiredo, M. A., Lanes, C. F. C., Rosa, C. E., Almeida, D. V., Maggioni,

- R., Silva, M. D. P., Marins, L. F., 2010. GH overexpression causes muscle hypertrophy independent from local IGF-I in a zebrafish transgenic model. *Transgenic Research*. 20, 3, 513-521. <https://10.1007/s11248-010-9429-y>.
- Larsen, S.V., Imsland, A.K., Lohne, P., Pittman, K., Foss, A., 2011. Stepwise temperature regulation and its effect on growth, feeding and muscle growth patterns of juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquac. Int.* 19, 825-837. <https://doi.org/10.1007/s10499-010-9402-z>.
- Laurà, R., Magnoli, D., Zichichi, R., Guerrero, M. C., De Carlos, F., Suárez, A. Á., ... Germanà, A., 2011. The photoreceptive cells of the pineal gland in adult zebrafish (*Danio rerio*). *Microsc. Research. Techn.* 75, 3, 359-366. <https://10.1002/jemt.21064>.
- Leal, M. C., Cardoso, E. R., Nobrega, R.H., Batlouni, S. R., Bogerd, J., França, L. R., Schulz, R. W., 2009. Histological and Stereological Evaluation of Zebrafish (*Danio rerio*) Spermatogenesis with an Emphasis on Spermatogonial Generations, *Biology of Reproduction*. 81, 1, 177-187. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.109.076299>.
- Lei Nº 11.959, de 29 de Junho de 2009. Dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca, regula as atividades pesqueiras, revoga a Lei nº 7.679, de 23 de novembro de 1988, e dispositivos do Decreto-Lei nº 221, de 28 de fevereiro de 1967.
- Levavi-Sivan, B., Bogerd, J., Mananos, E.L., Gomez, A., Lareyre, J.J., 2010., Perspectives on fish gonadotropins and their receptors, *Gen. Comp. Endocrinol.* 165, 412-437. <https://10.1016/j.ygcen.2009.07.019>.
- Li, D., Lou, Q., Zhai, G., Peng, X., Cheng, X., Dai, X., Zhuo, Z., Shang, G., Jin, X., Chen, X., Han, D., He, J., Yin, Z., 2014. Hyperplasia and cellularity changes in IGF-1overexpressing skeletal muscle of crucian carp. *Endocr.* 155, 6, 2199-212. <https://10.1210/en.2013-1938>.
- Ma Y., Ladisa C., Chang, J.P., Habibi, H.R., 2020. Seasonal Related Multifactorial Control of Pituitary Gonadotropin and Growth Hormone in Female Goldfish: Influences of Neuropeptides and Thyroid Hormone. *Front. Endocrinol.* 11. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00175>.
- Mayer, I., 2000. Effect of long-term pinealectomy on growth and precocious maturation in Atlantic salmon, *Salmo salar* parr. *Aquatic. Liv. Resour.* 13, 3, 139-144. [https://10.1016/s0990-7440\(00\)01053-6](https://10.1016/s0990-7440(00)01053-6).
- Melamed, P., Eliahu, N., Ofir, M., Levavi-Sivan, B., Smal, J., Rentier-Delrue, F., Yaron, Z., 1995. The effects of gonadal development and sex steroids on growth hormone secretion in the male tilapia hybrid (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*). *Fish. Physiol. Biochem.* 14, 4, 267-277. <https://10.1007/bf00004065>.
- Melo, R. M. C., Martins, Y. S., Teixeira, E. A., Luz, R. K., Rizzo, E., Bazzoli, N., 2013. Morphological and quantitative evaluation of the ovarian recrudescence in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) after spawning in captivity. *Journ. Morphol.* 275, 3, 348-356. <https://doi:10.1002/jmor.20214>.
- Moussavi, M., Chang, J. P., Habibi, H.R., 2014. Seasonal effects of GnIH on basal and GnRH-induced goldfish somatotrope functions. *Jour. Endocr.* 223, 2, 191-202. <https://doi.org/10.1530/JOE-14-0441>.
- Navarro, F. K. S. P., Navarro, R. D., 2012. Importância do fotoperíodo no crescimento e na reprodução de peixes. *Rev. Bras. Reprod. Anim.* 36, 2, 94-99.
- Navarro, R. D., Souza, S.C., Bizarro, Y.W.S., Silva, R.F., Navarro, F.K.S.P., 2015. Effects of photoperiod on somatic growth and gonadal development in male Nile tilapia. *Act. Scient. Tech. Mar.* 37, 4, 381-385. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v37i4.26880>.

- Nelson, E. R., Habibi, H. R., 2013. Estrogen receptor function and regulation in fish and other vertebrates. *Gen Comp Endocrinol.* 1, 192, 15-24. <https://10.1016/j.ygcen.2013.03.032>.
- Ogawa S., Sivalingam M., Biran, J., Golan, M., Anthonysamy, R.S., Levavi-Sivan, B., Parhar, I.S., 2016. Distribution of LPXRFa, a gonadotropin-inhibitory hormone ortholog peptide, and LPXRFa receptor in the brain and pituitary of the tilapia. *J Comp Neurol.* 1, 524, 14, 2753-75. <https://10.1002/cne.23990>.
- Papah, M.B., Kisia, S.M., Ojoo, R.O., Makanya, A.N., Wood, C.M., Kavembe, G.D., Maina, J.N., Johannsson, O.E., Bergman, H.L., Laurent, P., Chevalier, C., Bianchini, A., Bianchini, L.F., Onyango, D.W., 2013. Morphological evaluation of spermatogenesis in Lake Magadi tilapia (*Alcolapia grahami*): A fish living on the edge. *Tissue and Cell*, 45, 6, 371-382. <https://doi.org/10.1016/j.tice.2013.06.004>.
- Parhar I.S., Ogawa S., Sakuma Y., 2004. Laser-captured single digoxigenin-labeled neurons of gonadotropin-releasing hormone types reveal a novel G protein-coupled receptor (Gpr54) during maturation in cichlid fish. *Endocrinol.* 145, 3613-3618. <https://10.1210/en.20040395>.
- Patiño, R., Sullivan, C.V., 2002. Ovarian follicle growth, maturation, and ovulation in teleost fish. *Fish. Physiol. Biochem.* 26, 57-70. <https://doi.org/10.1023/A:1023311613987>.
- Paullada-Salmerón, J.A., Cowan, M., Aliaga-Guerrero, M., Gómez, A.Z.S, Mañanos E., Munoz-Cueto, J. A., 2016. LPXRFa peptide system in the European sea bass: a molecular and immunohistochemical approach. *J Comp. Neurol.* 524, 1, 176-98. <https://10.1002/cne.23833>.
- Pereira, L.A. L., Amanajás, R. D., Oliveira, A. M., Silva, M. N. P., Val, A., L., 2021. Health of the Amazonian fish tambaqui (*Colossoma macropomum*): Effects of prolonged photoperiod and high temperature, *Aquac*, 541, 0044-8486. <https://10.1016/j.aquaculture.2021.736836>.
- Pillay, T.V.R. 1990. *Aquaculture principles and practices*. Oxford: Fishing News Books. https://search.library.uq.edu.au/primoexplore/fulldisplay?vid=61UQ&tab=61uq_all&docid=61UQ_ALMA21101520980003131&lang=en_US&context=L.
- Qian, Y., Yan, A., Lin, H., Li, W., 2012. Molecular characterization of the GHRH/GHRH-R and its effect on GH synthesis and release in orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochem. Molec. Biol.* 163, 2, 229-237. <https://doi:10.1016/j.cbpb.2012.06.004>.
- Quagio-Grassiotto, I., Grier, H., Mazzoni, T. S., Nóbrega, R. H., Arruda Amorim, J. P., 2011. Activity of the ovarian germinal epithelium in the freshwater catfish, *Pimelodus maculatus* (Teleostei: Ostariophysi: Siluriformes): Germline cysts, follicle formation and oocyte development. *Jour. Morph.* 272, 11, 1290-1306. <https://doi:10.1002/jmor.10981>.
- Reading, B.J., Andersen, L.K., Ryu, Y-W., Mushirobira Y., Todo, T., Hiramatsu, N., 2018. Oogenesis and Egg Quality in Finfish: Yolk Formation and Other Factors Influencing Female Fertility. *Fishes.* 3, 4, 45. <https://doi.org/10.3390/fishes3040045>.
- Regulation of fish gonadotropins, *Int. Rev. Cytol.* 225, 131-185. [https://10.1016/s00747696\(05\)25004-0](https://10.1016/s00747696(05)25004-0).
- Reindl, K. M., Sheridan, M. A., 2012. Peripheral regulation of the growth hormone-insulin-like growth factor system in fish and other vertebrates. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecul. Integrat. Physiol.* 163, 3-4, 231-245. <https://10.1016/j.cbpa.2012.08.003>.
- Reinecke, M., 2010. Influences of the environment on the endocrine and paracrine fish growth hormone-insulin-like growth factor-I system. *Journ. Fish. Biol.* 76, 6, 1233-1254. <https://10.1111/j.1095-8649.2010.02605.x>.

- Rescan, P.Y., 2001. Regulation and functions of myogenic regulatory factors in lower vertebrates. *Comp. Biochem. Physiol. B. Biochem. Mol. Biol.* 130, 1-12. [https://doi.org/10.1016/S1096-4959\(01\)00412-2](https://doi.org/10.1016/S1096-4959(01)00412-2).
- Rohr, D. H., Lokman, P. M., Davie, P. S., Young, G., 2001. 11-Ketotestosterone induces silvering-related changes in immature female short-finned eels, *Anguilla australis*. *Comp. Biochem. Physiol. - A Mol. Integr. Physiol.* 130, 701-714. [https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(01\)00402-0](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(01)00402-0).
- Sánchez-Vázquez, F. J., López-Olmeda, J. F., Vera, L. M., Migaud, H., López-Patiño, M. A., Míguez, J. M., 2019. Environmental Cycles, Melatonin, and Circadian Control of Stress Response in Fish, *Front. Endocr.* 10. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00279>.
- Schulz, R. W., França, L. R., Lareyre, J. J., LeGac, F., Chiarini-Garcia, H., Nobrega, R. H., Miura, T., 2010. Spermatogenesis in fish. *General and Comparative Endocrinology*. 165, 3, 390-411. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2009.02.013>.
- SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas., 2015. AQUICULTURA NO BRASIL: Séries estudos mercadológicos. [https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/4b14e85d5844cc99cb32040a4980779f/\\$File/5403.pdf](https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/4b14e85d5844cc99cb32040a4980779f/$File/5403.pdf).
- Seth, M., Maitra, S. K., 2010. Photoreceptor proteins and melatonin rhythm generating AANAT in the carp pineal: Temporal organization and correlation with natural photo-thermal cues. *Journ. Photoch. Photobiol. B: Biol.* 99, 1, 21-28. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2010.01>.
- Stuart, K.R., Drawbridge, M., 2012. The effect of photoperiod on larval culture performance of two marine finfish species. *Aquac.* 360-361, 54-57. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.07.017>.
- Taylor, J., Migaud, H., 2009. Timing and duration of constant light affects rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth during autumn–spring grow-out in freshwater. *Aquac Resear.* 40, 13, 1551-1558. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02260.x>.
- Taylor, J.F., Migaud, H., Porter, M.J.R., Bromage, N. R., 2005. Photoperiod influences growth rate and plasma insulin-like growth factor-I levels in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Gener. Compar. Endocr.* 15, 169-185. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2005.02.006>.
- Thomas, P., Pang, Y., Zhu, Y., Detweiler, C., Doughty, K., 2004. Multiple rapid progestin actions and progestin membrane receptor subtypes in fish. *Stero.* 69, 8-9, 567-573. <https://doi.org/10.1016/j.steroids.2004.05.0>.
- Vajargah, M.F., 2021. A review of the physiology and biology of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journ. Aquac. Mar. Biol.* 10, 5, 244-246. <https://doi.org/10.15406/jamb.2021.10.00328>.
- Veras, G. C., 2011. Fotoperíodos no comportamento locomotor e desenvolvimento de alevinos de tilapia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras Minas Gerais, Minas Gerais.
- Veras, G.C., Murgas, L.D.S., Zangeronimo, M.G., Oliveira, M.M., Rosa, P.V., Felizardo, V.O., 2013. Ritmos biológicos e fotoperíodo em peixes. *Arch. Zoot.* 62, 25-43.
- Watabe, S., 1999. Myogenic regulatory factors and muscle differentiation during ontogeny in fish. *J. Fish Biol.* 55, 1-18. <https://doi.org/10.1111/j.10958649.1999.tb01042.x>.
- Weltzien, F. A., Andersson, E., Andersen, Ø., Shalchian-Tabrizi, K., Norberg, B., 2004. The brain–pituitary–gonad axis in male teleosts, with special emphasis on flatfish (Pleuronectiformes). *Comparat. Biochem. Physiol. Part A: Molecul. Integrat. Physiol.* 137, 3, 447-477. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2003.11.007>.

- Yaron, Z., Gur, G., Melamed, P., Rosenfeld, H., Elizur, A., Levavi-Sivan, B., 2003. Regulation of fish gonadotropins. *Int Rev Cytol.* 225, 131-85. [https://doi.org/10.1016/s00747696\(05\)25004-0](https://doi.org/10.1016/s00747696(05)25004-0).
- Yumnamcha, T., Khan, Z. A., Rajiv, C., Devi, S. D., Mondal, G., Sanjita D.H., Bharali R., Chatteraj, A., 2017. Interaction of melatonin and gonadotropin-inhibitory hormone on the zebrafish brain-pituitary-reproductive axis. *Molec. Reprod. Develop.* 84, 5, 389-400. <https://10.1002/mrd.22795>.
- Zhang, Z., Lau, S.W., Zhang, L., Ge. W., 2015. Disruption of Zebrafish Follicle-Stimulating Hormone Receptor (*fshr*) But Not Luteinizing Hormone Receptor (*lhcg*) Gene by TALEN Leads to Failed Follicle Activation in Females Followed by Sexual Reversal to Males. *Endocr.* 156, 10, 3747-3762. <https://10.1210/en.2015-1039>.

CAPÍTULO 2:
DESEMPENHO, CRESCIMENTO MUSCULAR, REPRODUTIVO E METABOLISMO
ENERGÉTICO DAS TILÁPIAS DO NILO (*Oreochromis niloticus*) SOB
DIFERENTES FOTOPERÍODOS DURANTE TODO CICLO PRODUTIVO

1 INTRODUÇÃO

O crescimento, metabolismo e reprodução são regulados, na tilápia, pelo hipotálamo por meio da liberação do hormônio liberador do hormônio do crescimento (GHRH) que (MONTERO, 2000) estimula a pars distalis proximal da hipófise a liberar o GH (KASPER et al., 2006). O GH além de estar envolvido com o crescimento somático, está associado com o metabolismo de carboidratos e lipídios, o qual aumenta lipólise e os níveis plasmáticos de glicose (LADISA, MA; HABIBI, 2021).

O GnRH no hipotálamo sinaliza a pars distalis proximal da hipófise a liberar as gonadotropinas FSH e LH, as quais estão envolvidas com a gametogênese de peixes (WELTZEIN et al., 2004; FILBY et al., 2008). Flutuações periódicas das atividades fisiológicas são coordenadas pelos hormônios do eixo hipotálamo-hipófise-somatotrófico/gonadal, acompanhadas por alterações metabólicas (LADISA; MA; HABIBI, 2021).

O uso do fotoperíodo no cultivo de peixes tem sido uma técnica estudada, visto os bons resultados de desempenho que se tem observado em fotoperíodos longos. Tornando-se assim, um instrumento considerável para controle da fisiologia dos animais na piscicultura (RAD et al., 2006).

Em vista disso e da importância e ascensão do comércio de peixes no mundo e nacionalmente, em especial com a tilápia do Nilo, surge assim, a seguinte questão norteadora para construção desse trabalho: quais fase do ciclo de vida o fotoperíodo poderia estar coordenando a fisiologia do crescimento e reprodutiva? Sendo estas importantes variáveis na produção animal e que controle pode ser de fundamental importância no sistema de Aquicultura.

Assim, objetivamos identificar os padrões de crescimento somático por meio das relações de tamanho e massa corporal; crescimento muscular através da celularidade da fibra branca do músculo esquelético; mobilização energética pelos estoques de gordura e carboidratos e reprodução ao longo de toda a vida da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) submetida a diferentes fotoperíodos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Verificar a Influência do fotoperíodo sobre as variáveis de desempenho zootécnico da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) durante 6 meses de cultivo intensivo desde a fase de eclosão

□

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar o efeito dos fotoperíodos sobre a sobrevivência dos animais durante todo período experimental;
- Verificar os tamanhos, massa corporal, ganho de massa, taxa de crescimento específico, fator de condição quinzenalmente ao longo de todo o experimento;
- Averiguar os efeitos do fotoperíodo nas principais reservas energéticas no fígado;
- Averiguar os efeitos do fotoperíodo sob a celularidade do tecido muscular e gonadal mensalmente ao longo de todo o experimento;
- Verificar a taxa de inversão sexual (sexo fenotípico);
- Identificar o estágio de desenvolvimento gonadal (ovariana e/ou testicular).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ASPECTOS ÉTICOS E LOCAL DA PESQUISA

Todos os procedimentos de manejo e utilização de animais nas atividades de pesquisa descritas foram realizados de acordo com os princípios éticos exigidos pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA) e do Comitê de Utilização Animal da Universidade Federal da Paraíba (CEUA-UFPB) com protocolo 7981110321. A presente pesquisa está cadastrada no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen) sob o número de cadastro AC3A9D8.

O experimento de cultivo foi realizado no laboratório de Carcinicultura do Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (CCHSA/UFPB), do Departamento de Ciência Animal - Campus Bananeiras, PB, Brasil.

3.2 MONTAGEM E INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE CULTIVO

O sistema de recirculação de aquicultura (RAS- Recirculation Aquaculture Systems) foi instalado numa sala com 9 caixas d'água de polietileno com capacidade de 1000L cada (Figura 1) com dimensões: diâmetro da base de 1,16m e altura sem tampa de 0,76m. Na busca de melhor suporte, declive, escoamento e deságua, no sistema, as caixas foram colocadas acima de tijolos e paletes, os quais ficaram arranjadas com alturas razoavelmente diferentes para melhor ação da gravidade. Essas estavam organizadas em fileiras compreendendo 3 vias de acesso para cada regime.

Figura 1 – Disposição do sistema de recirculação d'água utilizada no experimento de fotoperíodo – as tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) foram cultivados em nove caixas d'água de polietileno com capacidade de 1000L, organizadas em 3 fileiras.



Fonte: a autora, 2021.

3.2.1 Ciclo da água no sistema

Cada caixa estava integrada a um sistema de drenagem individual por meio de “air lift” feito com cano de PVC de 25mm, pedra porosa, mangueira de aquário e oxigênio (Figura 2B). Seu objetivo era movimentar o fluido, por meio de bolhas de ar e melhor drenar a água do fundo das caixas. O air lift estava conectado num dreno periférico, interligado a um dreno central, o qual desembocava numa caixa de 2000L responsável pela filtração da água (Figura 2A). Ambos os drenos de PVC apresentavam 50mm de diâmetro. Antes de desaguar na caixa, fluía em um balde, perfurado em sua base, contendo uma camada de 2 cm de lã acrílica e na sequência outra de 1cm de carvão ativado.

Figura 2 – Caixas de abastecimento e organização dos filtros do sistema de recirculação d`água utilizados no experimento de fotoperíodo – A) Caixas anexas (de abastecimento e biofiltro). B) Air lift. C) Biofiltro. (D) Substratos do biofiltro.



Fonte: a autora, 2021.

Essas camadas fizeram parte da filtragem física e química, respectivamente. A biológica, por sua vez, constituiu-se de substratos: tijolos, telhas e esponja. Esses foram dispostos em camadas, sendo as esponjas organizadas em rolos por toda a caixa. Para manter os rolos submersos, foi utilizado placas de PVC e bolsas de brita (Figura 3).

No objetivo de promover oxigenação e, portanto, diminuir a possível formação de zonas anóxicas, foram instalados 5 air lifts por toda a extensão da caixa. A caixa de filtragem integrou-se a uma caixa com capacidade de 500L responsável, após o processo de filtração, por abastecer todas as demais caixas (Figura 2A). Para tal, utilizou-se uma bomba d'água periférica ® (FERRARI), bivolt, com vazão de 1800L/h.

Figura 3 –Tipos de filtros utilizados no sistema de recirculação d`água



Fonte: a autora, 2021.

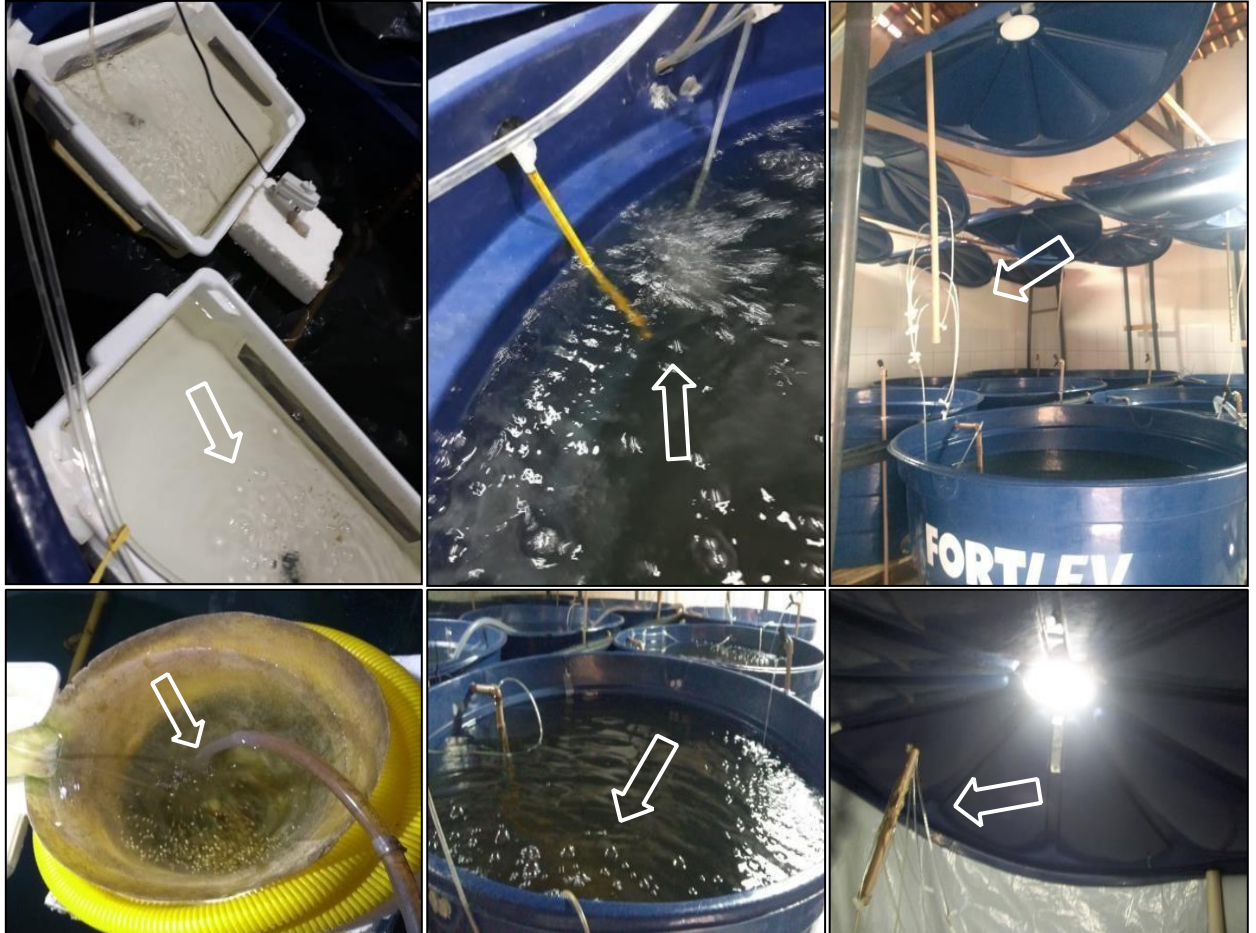
Nota: A) Filtro mecânico(lã), B) Biofiltros: telhas e tijolos, C) esponjas.

3.2.2 Sistema de aeração da água

A aeração foi fornecida por meio de um soprador modelo $\frac{3}{4}$ de H.P, tensão de 220V monofásico, 50/60 Hertz, vazão de $2.1\text{m}^3/\text{min}$. Para difusão do oxigênio dissolvido, foram instaladas mangueiras de plástico siliconadas de 4mm para aquário e pedras porosas, que foram distribuídas por todas as caixas e em toda caixa para melhor oxigenação (Figura 4).

Figura 4 – Aeração distribuída em todo sistema de recirculação d`água: nas incubadoras, berçários e caixas – as setas de contornos branco se referem

ao caminho percorrido pelo o ar nos canos e sua distribuição nas unidades de cultivo pelas mangueiras.



Fonte: a autora, 2021.

3.2.3 Sistema elétrico

A fonte de iluminação foi fornecida por luminárias led brancas frias de 12w para os três regimes de fotoperíodo (VERAS, 2011) posicionadas no centro das tampas numa altura aproximada de 60cm sobre a superfície da água. As caixas estavam cobertas e envoltas por lonas de polietileno para limitar qualquer entrada de iluminação do ambiente, facilitando também o isolamento dos grupos. O tempo de exposição a luz foi controlado por temporizadores digitais individuais.

3.3 REGIMES DE FOTOPERÍODO

O período experimental, sob influência do fotoperíodo, teve uma duração de 6 meses (180 dias) conforme as fases do desenvolvimento animal e peso médio de comercialização da tilápia do Nilo. A aclimação dos exemplares teve uma duração de 15 dias às condições experimentais.

Foram formados três grupos, dispostos em três fileiras referentes a cada regime de fotoperíodo com três caixas d'água para cada regime. As caixas estavam interligadas em fileiras (circuitos) para melhor organização do circuito elétrico, mantendo cada grupo de um dado regime de fotoperíodo isolado sem nenhuma intervenção dos demais fotoperíodos (Figura 1).

Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com três fotoperíodos (T1=24hClaro:0hEscuro; T2=18h C: 06h E e T3=12hC: 12h E) em triplicata. As luzes dos tratamentos T2 e T3 eram ligadas às 7:00h, sendo o primeiro desligado às 01:00h e a segundo às 19:00h. Já as unidades experimentais em que os peixes estiveram submetidos ao regime de 24 horas de luz, o T1, permaneceram ligadas durante todo período o experimental.

3.3.1 Transporte e povoamento dos embriões

Para a realização deste estudo foram utilizados peixes da espécie tilápia do Nilo doados pela empresa Aquicultura Lawrence, Jundia, RN, na fase de embriogênese. Os embriões foram coletados às 10h e transportados, em sacos plásticos, para as instalações do Laboratório de Carcinicultura. A aclimação e povoamento foi iniciada às 13:40 com término às 19h:20min

Na aclimação dos espécimes, os sacos de transporte foram colocados dentro da água do sistema de cultivo, em caixa térmica, permanecendo 30 min para equilíbrio térmico. Já para equilíbrio do pH e oxigênio, a água do saco foi adicionada lentamente à água da caixa térmica por 5 min, e liberação dos embriões (Figura 5A-B). Após esse procedimento, foram direcionados a desinfecção em banho com solução formalina a 10%. Com um auxílio de uma peneira pequena de plástico os ovos ficaram imersos nessa solução por um tempo de 30 segundos (SILVA et al., 2015) (Figura 5C), que foram contabilizados com o reforço de um cronômetro digital.

Logo depois a desinfecção, foram colocados em um recipiente contendo apenas água do sistema, no qual passaram por 3 lavagens com água do sistema para remoção

de possíveis resíduos da solução. Com auxílio de uma pipeta Pasteur, passaram por uma seleção de ovos férteis, descartando os inférteis para que procedesse uma contagem dos ovos para serem distribuídos nas incubadoras, que estavam instaladas dentro das caixas d'água de 1000L (Figura 5D-E).

Figura 5 – Povoamento dos embriões no sistema de recirculação d'água: aclimação, seleção e distribuição – A) Aclimação à água do cultivo. B) Embriões. C) Desinfecção. D) Lavagem. E) Seleção dos embriões.



Fonte: a autora, 2021.

Após povoamento e eclosão, foram coletados os animais para formação dos grupos de cada regime de fotoperíodo. A confirmação da eclosão e a diferenciação da fase juvenil, no qual os espécimes foram amostrados aleatoriamente, foi realizada com auxílio de uma peneira plástica, pipeta *Pasteur*, placa de Petri e lupa manual.

Diante das incertezas na identificação das fases, os animais foram vistos em microscópio estereoscópio modelo SÉRIE XT-3H no campo claro com um aumento de 20x. Foi utilizado um número amostral de 12 peixes, em triplicata, para cada grupo de cada regime de fotoperíodo.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DAS FASES DO DESENVOLVIMENTO ANIMAL

Para a diferenciação das fases do desenvolvimento da tilápia do Nilo foram utilizadas as características morfológicas descritas por Fujimura e Okada (2007) (Figura 6). As principais características são descritas a seguir.

A etapa de eclosão se caracteriza por diversas alterações anatômicas que podem ser vistas microscopicamente, como também macroscopicamente. Observase projeção da boca do peixe juntamente com o alongamento da mandíbula inferior, endireitamento da cabeça(reta), diferenciação dos arcos brânquias (III, IV, V, VI), pigmentação densa do olho, início da formação dos raios da nadadeira caudal dentre outras características.

A fase larval se divide em dois períodos: o desenvolvimento larval inicial e tardio. O primeiro é caracterizado pelo início da movimentação mandibular, opercular e das nadadeiras peitorais. As nadadeiras dorsal e anal, por sua vez, começam a se diferenciar, o vitelo começa ser absorvido e a bexiga natatória a inflar. O período larval tardio é definido pela absorção gradual do saco vitelínico, desenvolvimento completo da bexiga natatória e natação e formação de melanóforos no meio da nadadeira dorsal.

O período juvenil dos peixes inicia-se com a absorção completa do saco vitelínico finalizando com a primeira maturação dos gametas. Os estágios iniciais dessa fase foram caracterizados pelo início da alimentação exógena, aparecimento de uma mancha chamada “marca da tilápia” (BAREL et al., 1977; HOLDEN; BRUTON, 1992; FUJIMURA; OKADA, 2007). Esta desaparece gradativamente, e acredita-se que acompanha a maturação dos gametas (NAKAMURA; NAGAHAMA, 1985, 1989; FUJIMURA; OKADA, 2007).

A fase adulta refere-se aos animais com maturidade sexual, isto é, considera-se a partir da sua primeira reprodução.

Figura 6 – Fases do desenvolvimento da tilápia conforme características morfológicas.



Fonte: adaptado de Fujimura e Okada (2007).

3.5 CULTIVO DE PEIXES

3.5.1 Densidade de estocagem

Diante dos testes piloto realizados previamente ao experimento, percebeu-se uma alta taxa de mortalidade na fase inicial do desenvolvimento animal de mais de 50% de mortalidade em apenas uma semana. A alta taxa de mortalidade, especialmente durante o período larval, estima-se que 20 a 50% das larvas morrem nos primeiros 28 dias de cultivo (DELARETE; MURGAS; VICENTINI, 2009; BEZERRA et al., 2008). Outros de 6 a 19% morrem no período de pós-larva (BEZERRA et al., 2008), sendo que as taxas de mortalidade diminuem um pouco mais no período juvenil para cerca de 5% (WANG et al., 2020).

Nesse sentido, para a realização deste estudo, excedemos a população povoando o sistema com 4.800 animais. Dividiu-se os embriões em três grupos, referentes aos três fotoperíodos, os quais foram transferidos para incubadoras inseridas nas caixas d'água de 1000L cada, com volume útil de 930litros de água doce.

Cada caixa d'água continha uma incubadora artificial (Figura 7A) para cada fotoperíodo, com capacidade de 8L, sendo povoada com 1600 animais. Os embriões permaneceram nas incubadoras até confirmação da eclosão, e depois foram transferidos para berçários conforme sugere Silva et al (2015). As incubadoras foram feitas de fibras de vidro, formato de cone. Para melhor emergi-las, foi confeccionada uma base com conduíte e isopor. Os animais residentes nas incubadoras foram reabastecendo os berçários à medida que os animais iam morrendo, ao longo do período de aclimação. Os animais foram mantidos em condições constantes de temperatura (28°C), cada caixa continha um termostato (HEATER, 150W) (Figura 7C) e termômetro submerso para avaliação diária.

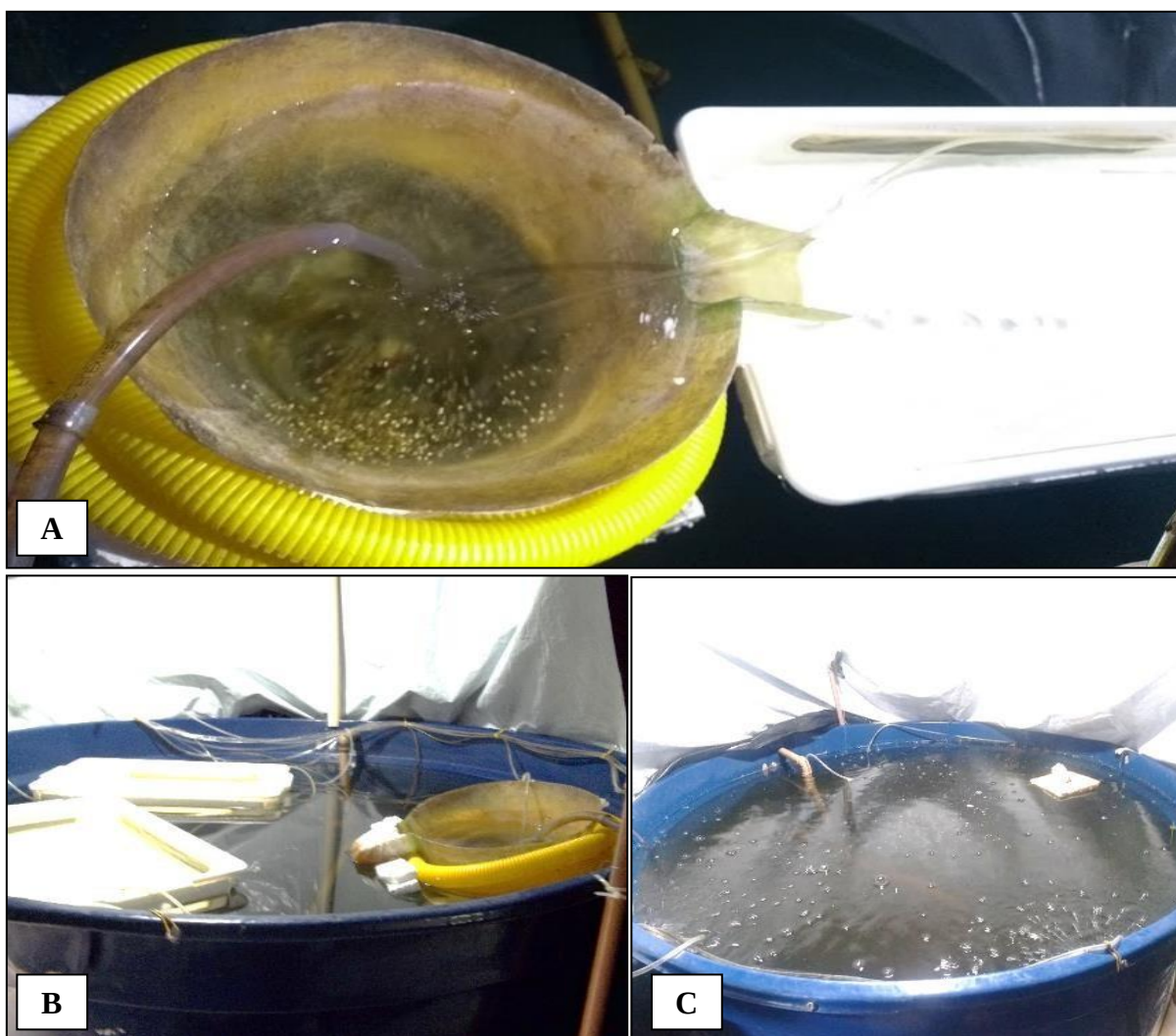
Berçário

O berçário era composto de bandejas plásticas com dimensões de 60 cm (comprimento) x 40,7 cm (largura) x 14 cm (altura) distribuídas em todas caixas d'água, constituindo-se a unidade experimental durante os 15 dias de aclimação. Cada caixa continha duas bandejas, com 100 larvas por bandeja (Figura 7B).

Caixas

Após o período de aclimação, os animais foram, com auxílio de uma rede, tirados das bandejas e distribuídos nas caixas. Efetuou-se uma redistribuição, tendo em vista a taxa de mortalidade considerável em algumas caixas, deixando-as com populações desiguais. Havendo dessa forma, uma nova e última reposição de animais. Mantemos assim, uma população de 1.278 (n=142 animais/caixa). Destes, utilizamos 483 animais para as análises biológicas (Figura 7C).

Figura 7 – Diferentes ambientes de cultivo dos animais durante o experimento de recirculação d'água – A) Incubadora. B) Berçário. C) Caixa d'água.



Fonte: A autora, 2021.

3.6 PARAMÊTROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

As unidades experimentais foram monitoradas diariamente em relação aos parâmetros: potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), temperatura por meio do PH-metro de bancada (LUCA-210), Oxímetro digital (MO-900) e termômetro de mercúrio fixado nas caixas, respectivamente. Os compostos nitrogenados como a amônia e nitrito foram aferidos através do fotocolorímetro de bancada (AT- 100PB); e a alcalinidade e dureza pelo método de titulação, mensurados semanalmente.

As trocas de água foram realizadas diariamente para manter a qualidade da água junto a ação do biofiltro. Entretanto, foram realizadas trocas parciais de água (até 50% do volume) quando os parâmetros ultrapassavam os padrões de normalidade, cujas faixas são: pH (6-7,5), oxigênio dissolvido (acima de 5mg/L), temperatura (27º-

32°C), amônia tóxica (abaixo de 0,1mg/L), nitrito (abaixo de 0,03mg/L), dureza (acima 20mg) e alcalinidade (acima 20mg mg/L) (EMBRAPA, 2016).

Pela manhã e à tarde se fazia a limpeza e sifonagem do fundo dos berçários, para remoção dos dejetos dos animais. A água utilizada na reposição advinha das instalações do laboratório no setor de Aquicultura.

3.7 DIETAS OFERTADAS DURANTE O DESENVOLVIMENTO DA TILÁPIA DO NILO

Os peixes foram alimentados, durante todo o período experimental, com alimentos artificiais doados pela empresa de nutrição animal GUARAVES, localizada na cidade de Guarabira, PB. As rações comerciais Aquavita foram específicas para atender as exigências nutricionais das tilápias submetidas ao sistema de criação intensiva, com oferta do teor proteico específico para as respectivas fases do cultivo e de desenvolvimento animal (Tabela 1).

Previamente à oferta da alimentação, a ração foi preparada com hormônio masculinizante para inversão sexual do animal. Para tanto, a ração foi preparada com hormônio masculinizante 17 alfa-metiltestosterona para inversão sexual do animal na dose de 60 mg/kg de ração.

A alimentação foi ofertada conforme preconiza Kubitzka (2006) para um sistema de recirculação (Tabela 1) nos horários de 8, 10, 12, 14 e 16h, após absorção do saco vitelínico pelas larvas. A ração foi fornecida manualmente até a saciedade aparente, espalhando-se pela superfície da água em diferentes locais das caixas para melhor distribuição, segundo Pontes et al (2010). Ainda na fase de berçário, após aumento da massa corporal, a oferta se deu nos horários de 8, 10, 14 e 16h. Posteriormente, na fase de recria, às 8, 12 e 16h.

Tabela 1 – Alimentação das tilápias de acordo com a fase de desenvolvimento

Fase do cultivo	Peso animal (g)	PB%	Tipo de ração	Frequência	Oferta
Berçário 1a	até 1	55	pó extrusada	5	<i>ad libitum</i>
Berçário1b início	1 até 5	45	peletizada	5	<i>ad libitum</i>
Berçário1b final	5 a 30	40	peletizada	4	<i>ad libitum</i>

Recria	30 a 100	36	peletizada	3	<i>ad libitum</i>
---------------	----------	----	------------	---	-------------------

Fonte: adaptada de Kubitza (2006).

Nota: PB %= Proteína Bruta %.

A cada mudança de ração, ofertava-se as rações associadas durante uma semana para adaptação do animal à nova ração e para que os peixes menores pudessem se alimentar. Como em sua maioria os peixes maiores se alimentam primeiro, a ração de maior grânulo (pellets) era fornecida primeiro (KUBITZA, 2006).

3.8 VARIÁVEIS DE DESEMPENHO ZOOTÉCNICO

3.8.1 Análise da taxa de sobrevivência e mortalidade

A taxa de sobrevivência dos animais foi calculada durante todo período experimental com acompanhamento diário, compreendendo todas as fases do desenvolvimento das tilápias.

Os corpos dos animais mortos observados diretamente nas unidades experimentais, principalmente no momento da sifonagem, foram removidos e registrados diariamente para análise de taxa de mortalidade. Os animais residentes foram considerados para análise da sobrevivência.

3.8.2 Biometria

A análise biométrica aconteceu quinzenalmente, durante o período de 6 meses. Contudo, só consideramos para análise de desempenho, as variáveis coletadas a partir do 45º dia de vida do animal por não apresentar dados devido à falta de alguns equipamentos específicos, a exemplo da balança de precisão para aferição da massa corpórea.

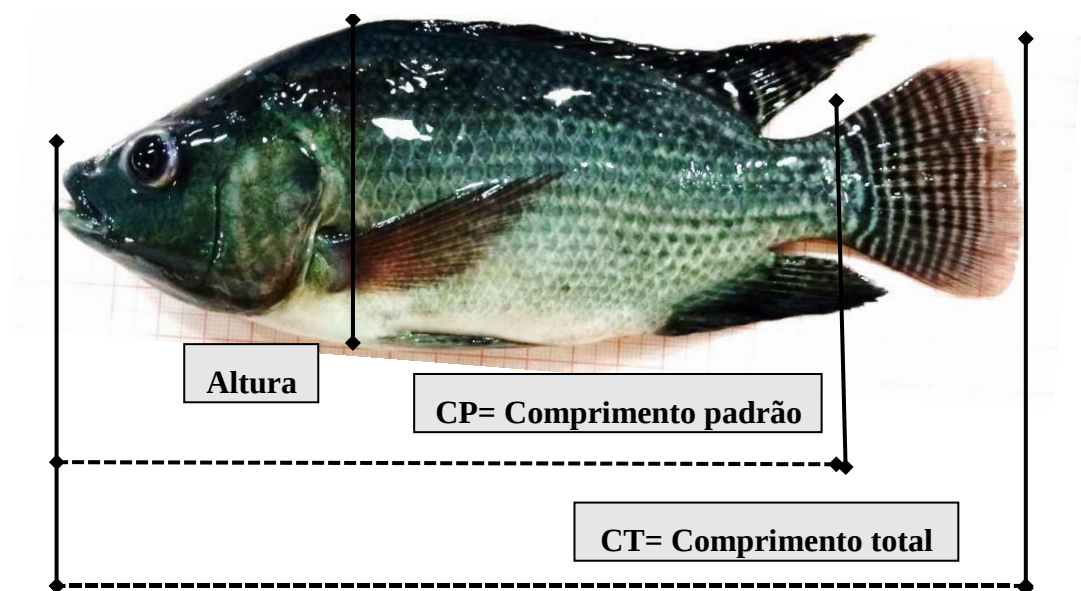
Os animais foram insensibilizados com óleo essencial de cravo-da-Índia por imersão (1 mL do óleo essencial de cravo-da-Índia em 19 mL de álcool etílico a 100% - essa mistura era aplicada na proporção de 1 mL para cada litro de água). A aferição da massa corporal só foi realizada após confirmação da anestesia a partir da visualização dos sinais como perda completa do equilíbrio do animal, ausência de natação, diminuição de movimentos operculares e de respostas a estímulos externos. Para

aferição da massa corpórea, os animais (n=30 por fotoperíodo) foram pesados numa balança eletrônica (Modelo 60001NF, com precisão de 0,1g, e capacidade máxima de 6000g). Para as medidas morfométricas, os peixes foram dispostos em papel milimetrado e fotografados para medição dos comprimentos, o qual foi determinado posteriormente através do software ImageJ 1.8.0 ® (National Institutes of Health, USA). Foram mensuradas três dimensões (Figura 8):

- **Comprimento Padrão (CP)** – correspondente a extremidade anterior da cabeça até o pedúnculo caudal;
- **Comprimento Total (CT)** – correspondente a extremidade anterior da cabeça até o final da nadadeira caudal;
- **Altura do Corpo (ALT)** – a frente do primeiro raio da nadadeira dorsal traça uma reta até a região ventral.

Os peixes mantiveram-se em jejum por um período de 24 horas anterior a biometria. Ao final desse procedimento, os peixes foram levados e mantidos em um tanque de recuperação que possuía aeração constante e temperatura controlada de 28°C até a recuperação completa, para então serem devolvidos as caixas.

Figura 8 - Medidas morfométricas da tilápia do Nilo



Fonte: A autora, 2021.

Além dessas variáveis de desempenho o ganho de massa (GM), taxa de crescimento específico (TCE, em %) e o fator de condição (K) foram calculados conforme Medina et al (2022)

3.8.3 Análises histomorfométricas

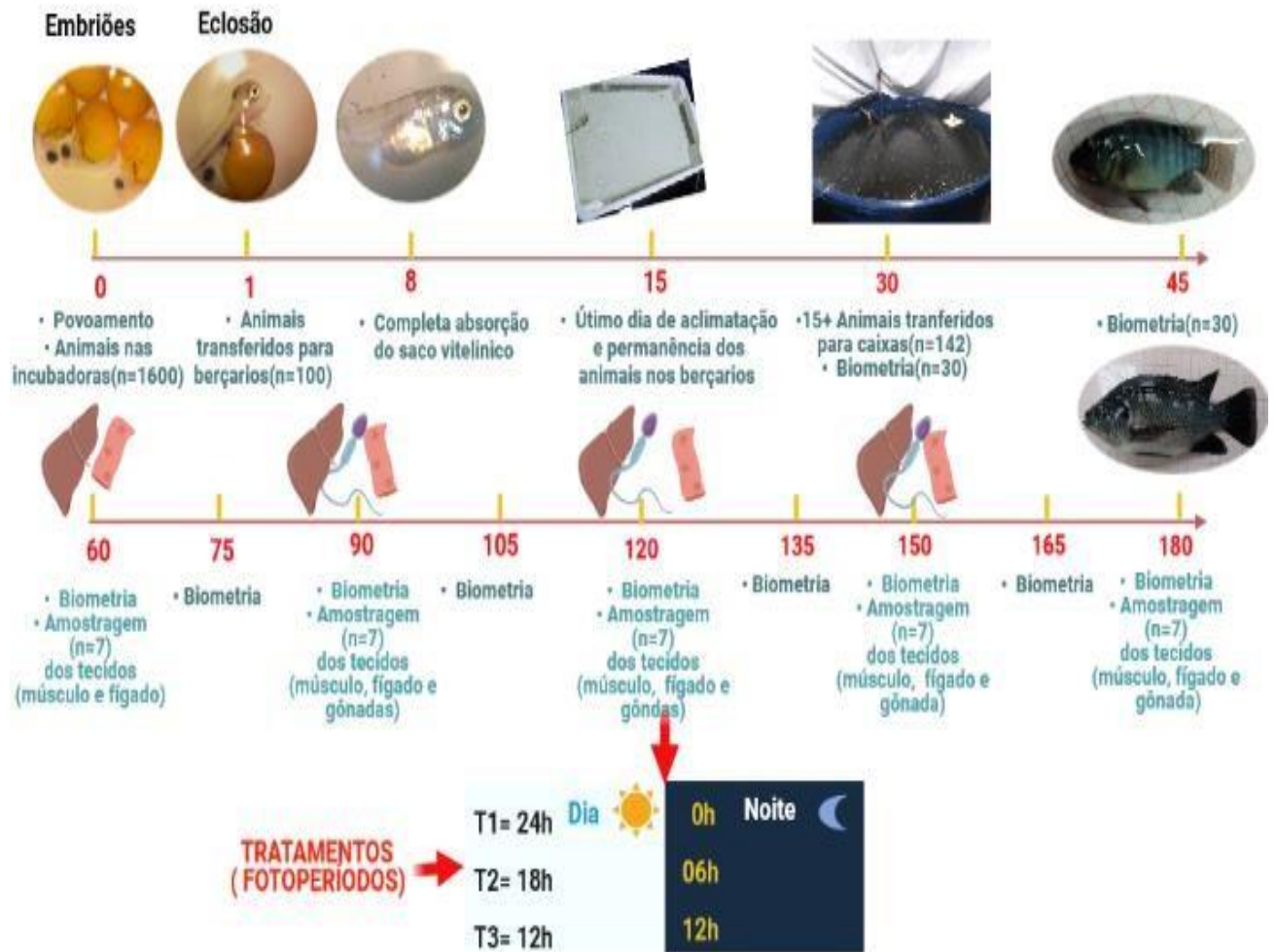
As amostras foram processadas no Laboratório de Histologia Animal (LHA), do Centro de Ciências Agrárias (CCA/UFPB), Departamento de Ciências Veterinárias - Campus II, Areia, PB, Brasil.

3.8.3.1 Eutanásia e extração dos tecidos

Foram sacrificados 7 animais por fotoperíodo para histologia, eutanasiados pela superdosagem do anestésico cravo da Índia. Foi diluído 1 mL do anestésico óleo essencial de cravo-da-Índia em 5 mL de álcool etílico a 100%, que foram adicionados a 1L de água do sistema de cultivo. Feito a transecção medular, a evisceração foi realizada a partir de uma incisão no ventre do peixe seguindo ao longo de todo o abdome até ao ânus.

Foram coletados os seguintes tecidos ou órgãos: músculo esquelético e fígado mensalmente após 2 meses de experimento; e as gônadas, a partir do terceiro mês de vida frente à dificuldade na identificação do tecido em peixes com menor desenvolvimento (Figura 9). Os peixes foram mantidos em jejum por um período de 24 horas anterior a eutanásia.

Figura 9 – Desenho experimental dos períodos de biometria e amostragem dos tecidos para análise histomorfométrica.



Fonte: A autora, 2021. BioRend.com

3.8.3.2 Processamento das amostras

Os tecidos foram fixados em solução de formol 10% em temperatura ambiente até análise. As análises seguiram a metodologia de Guerra (2017) e seguiram as etapas de desidratação, diafanização e impregnação em banhos de álcool com concentração crescente (70% até 100%) a cada 1 hora, xilol e inclusão em parafina, respectivamente. Os blocos foram cortados com auxílio do micrótomo rotativo automatizado (Leica, RM2255) na espessura de 5 µm e depois montados em lâminas de vidro.

As colorações usadas foram hematoxilina-eosina (HE) e ácido periódico de (PAS), a depender do objetivo da análise. As lâminas foram analisadas sob microscópio óptico Olympus BX-53 e as fotomicrografias capturadas na objetiva de 40x através da câmera Olympus DP73 auxiliadas pelo programa de imagens digitais Olympus CellSens Dimension.

3.8.3.3 Avaliações dos estoques de gordura e glicogênio hepático

Um único pesquisador realizou as mensurações para que não houvesse diversas interpretações e erros nos dados. Quanto ao glicogênio hepático, foram analisadas seis fotomicrografias de sete peixes de cada fotoperíodo (n=42 amostras por fotoperíodo), segundo metodologia adaptada de Moraes et al (2021). Foram definidos escores para avaliar o grau de estoques de glicogênio conforme intensidade de coloração do corante usado, o PAS. Este corante de cor magenta glicoproteínas, classificadas como substâncias PAS-positivas. Assim sendo, a classificação está de acordo com a positividade à coloração conforme metodologia modificada do escore semiquantitativo de Ishak et al (1995), organizada em: Grau 0 (ausência de positividade ou ausência de depósito), 1 (pouca positividade ou pouco depósito), 2 (positividade moderada ou depósito moderado) e 3 (positividade intensa ou depósito acentuado).

Em relação a avaliação da gordura hepática, seguimos o mesmo número amostral da análise anterior. O escore foi atribuído em função da quantidade e o tamanho dos vacúolos citoplasmáticos lipídicos presentes nos hepatócitos, sendo: 0 (ausência de esteatose), 1 (pouca esteatose), 2 (esteatose moderada) e 3 (esteatose avançada) (ISHAK et al., 1995).

3.8.3.4 Avaliação morfológica do músculo esquelético: crescimento hiperplásico e hipertrófico pós-embrião

Os segmentos do músculo esquelético foram extraídos da região dorsal, anterior a nadadeira dorsal e corados com HE. Para analisar a morfologia do músculo esquelético estimamos, através de um corte transversal do tecido, o diâmetro, medindo 100 fibras de cada animal (n=7 por fotoperíodo), segundo Almeida et al (2008). Assumindo assim, um número amostral de 700 fibras do músculo esquelético branco por tratamento. Classificamos as fibras de acordo com seu diâmetro em categorias com intervalo de 20µm, conforme sugere Dal Pai-Silva et al (2003) para tilápia. O diâmetro das fibras musculares foi medido por meio do software Image J.

3.8.3.5 Estadiamento das células germinativas e determinação do sexo

A determinação do sexo foi realizada por meio da identificação visual das características histológicas das amostras. Foram analisadas as fases do desenvolvimento reprodutivo de 6 cistos por peixe, segundo metodologia adaptada de Matta et al. (2002). O percentual para identificação das fases de desenvolvimento foi obtido pelo cálculo da área de cada fase da espermatogênese observada nos cistos, multiplicada por 100 e dividida pela área total (AMMAR et al., 2020). Utilizamos a classificação de Babiker e Ibrahim (1979) que descreve as fases da espermatogênese na tilápia do Nilo:

- 1= Imaturo** - presença especialmente das espermatogônias e alguns espermatócitos.
- 2= Em amadurecimento** - presença de aglomerados de espermatócitos e algumas espermátides.
- 3= Maduro** - presença de espermatogônias, espermátides e espermatócitos e alguns deste último na região mediana.
- 4= Maturação/desenvolvido** - presença das células germinativas em seus diferentes estágios, e abundância de espermatozóides.

Em relação as fêmeas, seguimos a categorização de Coward e Bromage (1998) na descrição da oogênese realizada na tilápia zilli, cujas etapas são:

- 1= Pré-vitelogenese** - presença de núcleo com filamentos de cromatina. O núcleo central contém vários nucléolos e filamentos de cromatina. Desenvolvimento dos folículos. Vesículas próximas a periferia do oócito.

2= Vitelogênese - surgimento de pequenos grânulos de gema na periferia do oócito, núcleo central, inúmeras vesículas/vacúolos dispersas por todo o oócito e a camada folicular torna-se mais desenvolvida.

3= Maturação - presença de grandes glóbulos de gema, distribuídos ao longo do oócito. O núcleo permanece centralizado e a camada folicular bem desenvolvida.

4= Migração da vesícula germinativa/maduro - migração da vesícula para a periferia do oócito (polo animal), ruptura da membrana nuclear e fagocitose da granulosa.

3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados de massa, comprimentos e altura foram analisados por meio de regressões. Testou-se diferentes regressões e considerou-se a significância individual de cada parâmetro e a que resultou em maior coeficiente de determinação (R). Realizamos teste de correlação de *Pearson* entre as variáveis de comprimento e massa. Para identificar diferenças estatísticas realizamos o teste F(ANOVA) e diferenças entre os grupos nos respectivos dias, realizamos o teste Kruskal Wallis com comparações múltiplas de *Conover*. Consideramos médias estatisticamente diferentes aquelas cujos resultados do teste estatístico foram menores que 0,05 ($p < 0,05$). Os dados foram analisados no programa IBM SPSS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MORTALIDADE DA TILÁPIA DO NILO

A mortalidade dos animais foi verificada diariamente pelo acompanhamento direto das unidades de cultivo. Organizamos os dados para análise em períodos com intervalos de 15 dias, comparando as médias, e verificamos diferenças estatísticas até o 30º dia. Ocorreu uma alta mortalidade nos primeiros 15 dias de vida do animal ($p<0,0001$), com mortes significativas ($p<0,0001$) até os 30 dias para o T3. Sendo dessa forma, considerado o período crítico de maior vulnerabilidade da tilápia a condições abióticas (Tabela 2).

Diferentes condições, no início da vida, podem interferir na sobrevivência e desenvolvimento normal do peixe. Porém, no decorrer do experimento, após os 30 primeiros dias, foi observado que as mortes identificadas foram ocasionais, com pouca incidência de mortalidade, sem diferenças estatísticas significativas entre os fotoperíodos.

Tabela 2 – Mortalidade (média $\pm$ desvio padrão) da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) submetida a diferentes fotoperíodos durante 180 dias de cultivo intensivo.

Dias pós eclosão	Tratamento			Valor p
	T1	T2	T3	
	Média $\pm$ DP	Média $\pm$ DP	Média $\pm$ DP	
Até 15º	10,66 $\pm$ 1,24c	44,66 $\pm$ 5,11b	119,33 $\pm$ 9,53a	0,0001
16º a 30º	1,00 $\pm$ 0,00b	9,00 $\pm$ 0,62b	22,66 $\pm$ 3,04a	0,0003
31º a 45º	7,33 $\pm$ 0,93a	7,00 $\pm$ 0,84a	9,66 $\pm$ 1,12a	0,8527
46º a 60º	1,00 $\pm$ 0,00a	1,00 $\pm$ 0,00a	0,00 $\pm$ 0,00a	0,9751
61º a 75º	1,33 $\pm$ 0,00a	0,33 $\pm$ 0,00a	1,66 $\pm$ 0,00a	0,9642
76º a 90º	0,66 $\pm$ 0,00a	0,00 $\pm$ 0,00a	0,66 $\pm$ 0,00a	0,9889
91º a 105º	0,33 $\pm$ 0,00a	0,00 $\pm$ 0,00a	0,33 $\pm$ 0,00a	0,9972
106º a 120º	0,33 $\pm$ 0,00a	0,66 $\pm$ 0,00a	1,00 $\pm$ 0,00a	0,9916
121º a 135º	0,00 $\pm$ 0,00a	0,33 $\pm$ 0,00a	1,00 $\pm$ 0,00a	0,9806
136º a 150º	1,00 $\pm$ 0,00a	0,33 $\pm$ 0,00a	4,00 $\pm$ 0,00a	0,7501
151º a 165º	0,33 $\pm$ 0,00a	0,33 $\pm$ 0,00a	1,66 $\pm$ 0,00a	0,9562
166º a 180º	0,00 $\pm$ 0,00a	1,33 $\pm$ 0,00a	0,33 $\pm$ 0,00a	0,9642

Fonte: a autora (2021).

Nota: As diferentes letras indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos considerando $p<0,05$. Fotoperíodos: T1=24Claro:0Escuro; T2=18C:06E; T3=12C:12E.

Os peixes em sua fase inicial de vida, possuem uma maior fragilidade às condições externas, podendo alcançar altos níveis de mortalidade. Em outro experimento que investigou os efeitos do fotoperíodo na tilápia, indivíduos pesando 0,02g submetidos aos fotoperíodos (C:E - 24:0, 18:6, 12:12 e 6:18), durante 60 dias, apresentaram diferenças estatísticas com alta taxas de sobrevivência para 24C:0E com 89% e baixa para o ciclo 12C:12E de 76%. Também foi feito outro experimento, com os mesmos regimes de fotoperíodo, por um período de 90 dias, em que peixes pesavam inicialmente entre 2,33 e 2,44g, não sendo observadas diferenças estatísticas entre os fotoperíodos. Contudo, observou-se que as larvas exibiram mortalidade máxima de 24% e juvenis de 5% (EL-SAYED; KAWANNA, 2004).

Ainda tratando-se de diferentes ciclos de luz (C:E-0:24, 6:18, 12:12, 18:6 e 24:0), larvas da piabanha-do-pardo (*Brycon insignis*) pensando inicialmente 2,44mg tiveram maior sobrevivência, massa e tamanho corporal, taxa de crescimento específico e fator de condição nos ciclos maiores de 6 horas luz (PEDREIRA; COSTA; SCHORER, 2018).

Os dados supracitados corroboram o presente estudo, tanto no tocante a idade do animal quanto ao fotoperíodo, apontando maior vulnerabilidade dos peixes nos primeiros dias de vida, tornando-se resistente ao longo do seu desenvolvimento. Bem como, exibindo maiores dados de mortalidade para os fotoperíodos mais curtos. No fotoperíodo longo, os animais apresentaram maior capacidade de resistir, talvez ao fato destes apresentam alguma resposta imune. Destacando a influência do período prolongado de luz artificial na fase inicial de vida dos peixes.

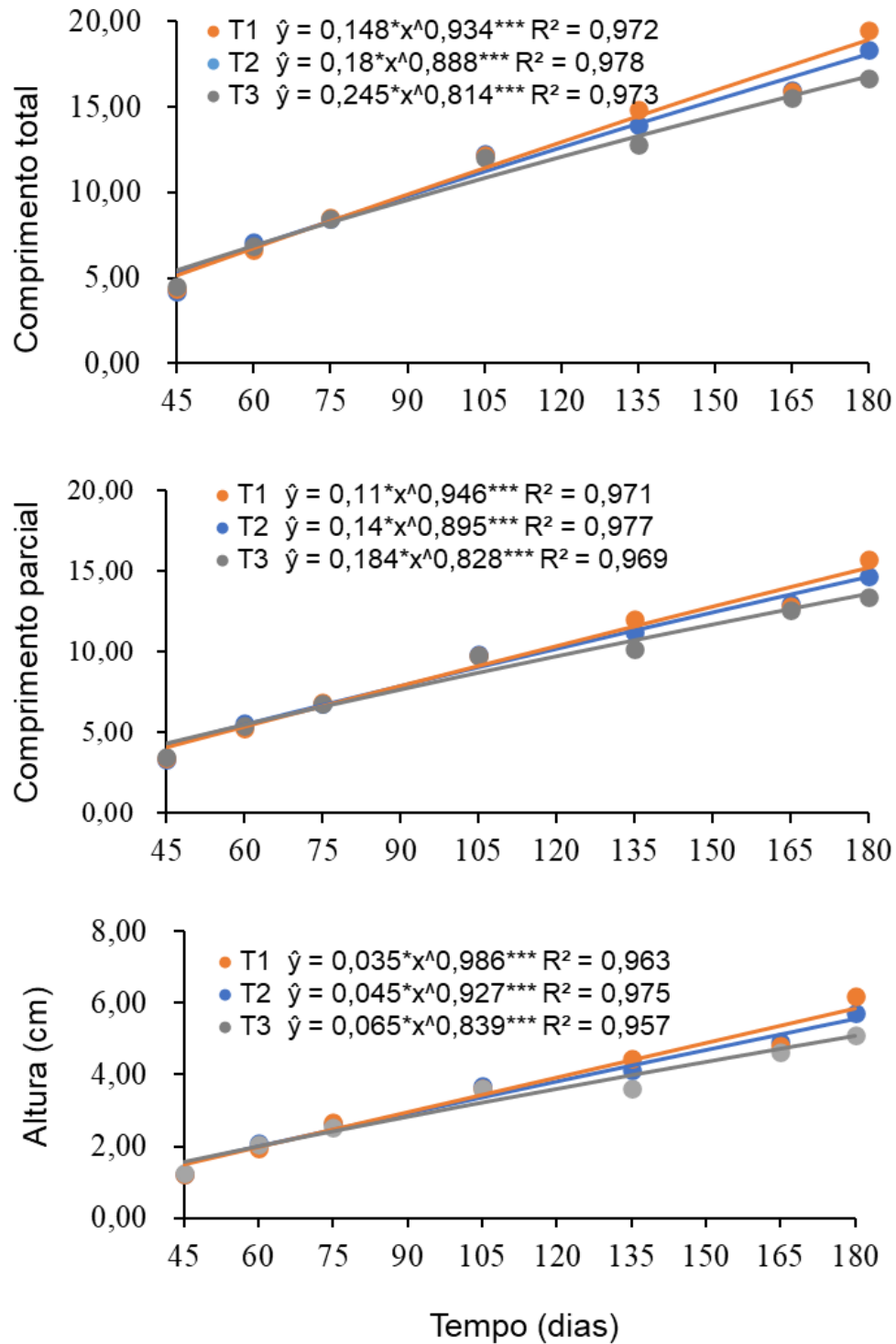
4.2 ANÁLISE DO DESEMPENHO, CRESCIMENTO SOMÁTICO E MUSCULAR

A Figura 10 ilustra o resultado da análise das médias morfométricas se ajustaram a uma função não linear exponencial, sendo possível estimar as médias de forma confiável. Infere-se, diante do exposto, que os dados de comprimentos estimados por meio da regressão podem ser maiores para os peixes do T1.

Simplificando as análises, diante da gama de medidas morfométricas, realizou-se análise de correlação de *Pearson* em relação aos fotoperíodos. Os scores se apresentam altamente significativos, com correlação positiva importante. A partir de

então, usamos a medida de comprimento total para estatística inferencial, tendo em vista que todos apresentaram correlação positiva (Tabela 3).

Figura 10 - Curvas de crescimento morfométrico da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) ajustados pelo modelo exponencial não linear.



Fonte: a autora (2021).

Nota: n=30. Fotoperíodos: T1=24Claro:0Escuro; T2=18C:06E; T3=12C:12E.

Tabela 3 - Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis massa corporal, comprimento padrão, comprimento total e altura de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) submetidas a diferentes fotoperíodos.

	T1				T2				T3			
	M	CT	CP	ALT	M	CT	CP	ALT	M	CT	CP	ALT
M	-	0,97**	0,97**	0,97**	-	0,93**	0,92**	0,94**	-	0,95**	0,94**	0,95**
CT	-	-	1,00**	0,99**	-	-	1,00**	0,99**	-	-	1,00**	0,99**
CP	-	-	-	0,99**	-	-	-	0,99**	-	-	-	0,99**
ALT												

Fonte: a autora (2021).

Nota: M=Massa, CT= comprimento total, CP= comprimento padrão e AL= altura. Fotoperíodos: T1=24Claro:0Escuro; T2=18C:06E; T3=12C:12E. n=30 peixes em triplicata para os fotoperíodos *significativa ao nível de 5% e ** de 1%.

Nesse sentido, os animais exibiram dados crescentes de comprimento total, e como os peixes estão em fase de crescimento é natural que se espere que as médias se apresentem crescente. Em relação ao comprimento total, houve diferenças estatísticas entre os tratamentos nos dias 135 ($p<0,002$) e 180 ($p<0,016$) pós-eclosão. O T1 apresentou os maiores comprimentos ($14,85\pm2,58$ e $19,52\pm2,99$ cm) em ambos os dias, respectivamente. O comprimento mínimo registrado foi no fotoperíodo T3 ($16,68\pm3,90$ cm) no dia 180. Segundo Kissil et al., (2001), Singh e Zutshi (2020) peixes expostos a longos fotoperíodos parecem recrutar melhor a energia metabólica para o crescimento somático.

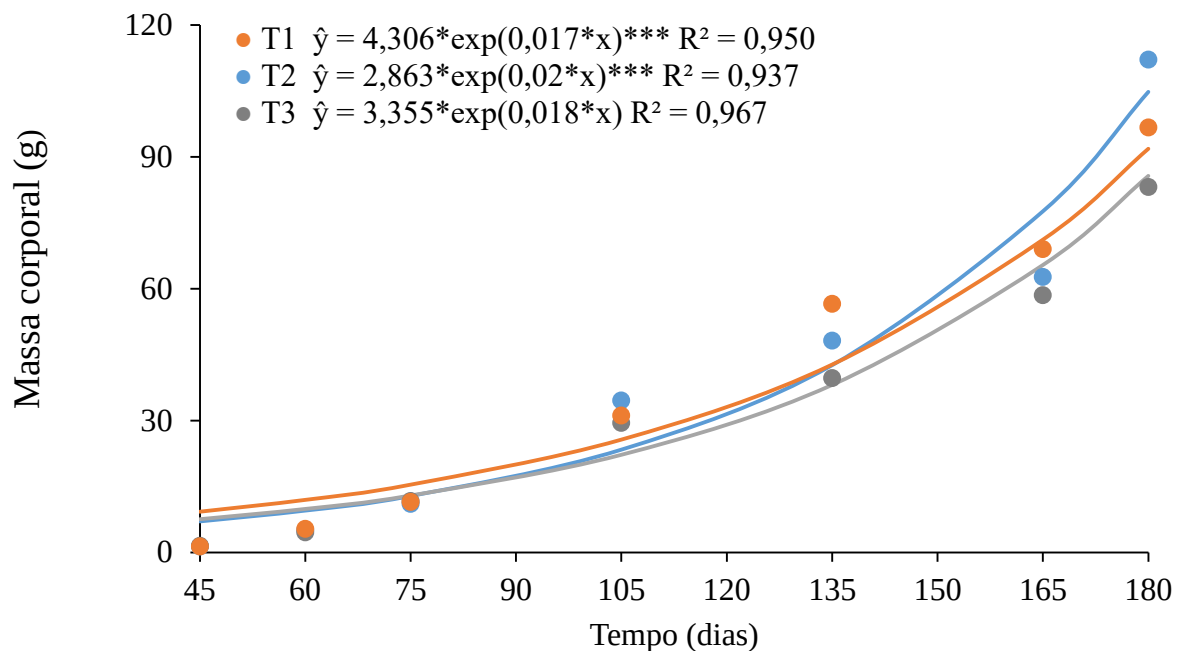
Resultado similar foi encontrado na pesquisa de Ayala et al. (2013) com pós-larvas da *Umbrina cirrosa* que apresentaram, ao longo de 111 dias pós-eclosão, maiores tamanhos para fotoperíodos de 16 e 24h de luz. Sendo ao final, o maior tamanho corporal descrito para o grupo de 24h de luz. De acordo com Rocha et al., (2005) o crescimento é uma variável primordial na piscicultura avaliada durante todo período de cultivo, podendo ser medida pela massa e ou/comprimento corporal.

Nesse sentido realizamos também a modelagem dos dados para massa corporal (Figura 11). No dia 135, as médias apresentaram diferenças estatísticas ($p<0,004$) e os animais do T1 tiveram as maiores massas registradas ($56,57\pm23,11$ g). Contudo, no dia 180, o T2 apresentou maiores resultados ($112,11 \pm 53,83$ g), mas sem diferenças estatísticas entre os grupos. Pode-se dizer que o T1

aparenta ter um maior potencial de ser o fotoperíodo em que os peixes mais jovens podem sofrer influência do fotoperíodo.

Segundo Kissil et al., (2001) Singh e Zutshi (2020) peixes podem apresentar menor aumento de massa corporal, nos menores fotoperíodos, por utilizarem mais energia frente as mudanças no ritmo endógeno que curtos fotoperíodos podem provocar. Alguns autores sugerem que o aumento da massa corporal em peixes submetidos a longos fotoperíodos, pode acontecer pela melhora do apetite, aumento da ingesta alimentar, maior digestibilidade e uma maior atividade física (GINES et al., 2004; CRUZ; BROWN, 2009; SINGH; ZUTSHI, 2020).

Figura 11 - Curvas de massa corporal ajustadas pelo modelo exponencial não linear



Fonte: a autora (2021).

Nota: n=30. Fotoperíodos: T1=24Claro:0Escuro; T2=18C:06E; T3=12C:12E.

Os dados de massa corporal do presente estudo estão em conformidade com estudo realizado por Rad et al. (2006), o qual ao final de 168 dias, com peixe pesando inicialmente 0,06g, apresentou diferenças significativas entre os tratamentos com maior peso médio registrado para os fotoperíodos de 24 e 20h de luz. Além da massa, maiores taxas de crescimento específico foram apontadas para esses fotoperíodos. No entanto, os menores resultados foram identificados no fotoperíodo natural.

A tabela 4 consta a análise descritiva e inferencial dos dados referentes ao ganho de massa corporal. Durante todo período experimental, não foi constatado diferenças significativas entre as médias.

Tabela 4- Ganho de massa(g) (média, desvio padrão, coeficiente de variação, mediana, quartis e valores máximos e mínimos) da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) submetida a diferentes fotoperíodos durante 180 dias de cultivo intensivo.

Dias de avaliação	Tratamento			Valor de p
	T1	T2	T3	
	Média ± DP (CV) Mediana (P25; P75)	Média ± DP (CV) Mediana (P25; P75)	Média ± DP (CV) Mediana (P25; P75)	
45	4,00 ± 1,97 (49,25) 3,80 (2,40; 5,20)	3,76 ± 2,14 (56,91) 3,50 (2,50; 4,70)	3,04 ± 1,93 (63,49) 2,70 (1,30; 5,00)	p = 0,202
60	6,10 ± 5,53 (90,66) 5,40 (3,00; 9,20)	5,92 ± 4,04 (68,24) 5,50 (3,30; 8,30)	7,10 ± 4,23 (59,58) 6,50 (3,70; 9,90)	p= 0,604
75	19,71 ± 15,55 (78,89) 15,40 (8,60; 33,40)	23,53 ± 10,67 (45,35) 23,90 (17,30; 30,00)	17,77 ± 15,76 (88,69) 15,80 (6,80; 27,40)	p= 0,322
105	25,40 ± 24,12 (94,96) 28,40 (12,40; 35,40)	13,67 ± 22,77 (166,57) 12,80 (-3,10; 36,60)	10,26 ± 27,47 (267,74) 6,20 (-11,00; 26,60)	p = 0,070
135	12,41 ± 44,83 (361,24) 9,30 (-26,80; 55,70)	14,47 ± 29,54 (204,15) 11,80 (-3,50; 25,50)	18,84 ± 25,54 (135,56) 16,30 (0,40; 32,80)	p= 0,475
165	27,73 ± 50,31 (181,43) 23,90 (-0,50; 64,00)	49,43 ± 67,89 (137,35) 49,70 (13,00; 85,10)	24,59 ± 56,26 (228,79) 19,60 (-15,10; 63,80)	p= 0,244
180	95,35 ± 39,30 (41,22) 91,40 (71,00; 131,50)	110,78 ± 53,89 (48,65) 110,90 (73,50; 148,70)	81,61 ± 46,26 (56,68) 72,20 (46,80; 112,20)	p = 0,097

Fonte: a autora (2021).

Nota: n=30 peixes em triplicata para os fotoperíodos. As diferentes letras indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos considerando $p < 0,05$. Fotoperíodos: T1=24Claro:0Escuro; T2=18C:06E; T3=12C:12E.

Em relação a taxa de crescimento específico, diferença significativa ($p < 0,037$) foi registrada entre os tratamentos, apenas, no dia 180 (Tabela 5). Maior média foi registrada no T2 ($3,20 \pm 0,74$). Resultados semelhantes obtidos no presente trabalho, foram detectados em tilápias jovens, o ganho de massa e taxa de crescimento tilápias não apresentaram diferenças estatísticas entre os fotoperíodos. Contudo, na

fase larval exibiram diferenças estatísticas significativas com maior TCE e ganho de massa nos ciclos de 18 e 24h de luz (EL-SAYED; KAWANNA, 2004).

Tabela 5 - Taxa de crescimento específico (média, desvio padrão, coeficiente de variação, mediana, quartis e valores máximos e mínimos) tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) submetida a diferentes fotoperíodos durante 180 dias de cultivo intensivo.

Dias de avaliação	Tratamento			Valor de p
	T1	T2	T3	
	Média ± DP (CV) Mediana (P25; P75)	Média ± DP (CV) Mediana (P25; P75)	Média ± DP (CV) Mediana (P25; P75)	
45	8,92 ± 3,55 (39,80) 9,35 (6,66; 11,83)	8,98 ± 4,54 (50,56) 8,96 (6,83; 12,22)	7,19 ± 4,10 (57,02) 7,00 (3,41; 10,09)	p= 0,193
60	4,66 ± 4,84 (103,86) 5,07 (2,70; 7,32)	5,16 ± 3,55 (68,80) 5,68 (3,34; 7,32)	6,56 ± 3,74 (57,01) 6,26 (3,92; 7,69)	p= 0,215
75	3,37 ± 2,71 (80,42) 2,74 (1,70; 5,70)	3,84 ± 1,68 (43,75) 4,13 (3,23; 4,49)	2,63 ± 2,53 (96,20) 3,10 (1,57; 4,40)	p= 0,172
105	1,84 ± 2,77 (150,54) 2,13 (0,96; 3,26)	1,13 ± 1,90 (168,14) 1,09 (-0,35; 2,84)	1,12 ± 3,36 (300,00) 0,62 (-0,95; 3,35)	p = 0,128
135	0,57 ± 3,41 (598,25) 0,48 (-1,62; 3,38)	0,67 ± 1,94 (289,55) 0,77 (-0,27; 2,21)	1,53 ± 2,29 (149,67) 1,42 (0,05; 2,05)	p= 0,332
165	2,84 ± 6,04 (212,68) 2,59 (-0,04; 5,73)	3,35 ± 7,45 (222,39) 4,51 (1,37; 6,22)	1,66 ± 5,76 (346,99) 1,90 (-1,65; 5,42)	p= 0,305
180	3,13 ± 0,49 (15,65) ^(ab) 3,24 (2,87; 3,46)	3,20 ± 0,74 (23,13) ^(a) 3,32 (2,94; 3,52)	2,89 ± 0,59 (20,42) ^(b) 2,91 (2,55; 3,26)	p= 0,037*

Fonte: a autora (2021).

Nota: n=30 peixes em triplicata para os fotoperíodos. As diferentes letras indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos considerando p<0,05. Fotoperíodos: T1=24Claro:0Escuro; T2=18C:06E; T3=12C:12E.

Resultados similares foram encontrados na espécie dourada (*Pagrus major*) com peso inicial em torno de 1g e final de 30g. Os dados de ganho de massa, sobrevivência e taxa de crescimento específico mostraram-se maiores para os grupos dos ciclos de 16 e 24h de luz. Investigou-se também concentrações de glicose e cortisol, não detectando diferenças entre os fotoperíodos (BISWAS et al., 2006). Além de mostrarem menor ocorrência de doenças fúngicas, truta (*Salvelinus fontinalis*) com peso inicial aproximado de 150g, apresentou um crescimento

significativo e maior taxa de sobrevivência nos fotoperíodos prolongados após 138 dias (LUNDOVA et al., 2018).

A relação massa/tamanho apresentada a partir do fator de condição não apresentou diferenças estatísticas entre os grupos (Tabela 6). O fator de condição é um parâmetro que reflete a condição de bem estar do peixe (RIDANOVIC; NEDIC; RIDANOVIC, 2015) podendo refletir seu estado nutricional (VAZZOLER, 1996; GOMIERO et al., 2009). Valores altos sugerem que o peixe se encontra mais pesado do que um peixe do mesmo comprimento (LE CREN, 1951; FROESE, 2006; FREITAS et al. 2017; OLIVEIRA et al., 2020).

Tabela 6 - Fator de condição (média, desvio padrão, coeficiente de variação, mediana, quartis e valores máximos e mínimos) da tilápia submetida a diferentes fotoperíodos durante 180 dias de cultivo intensivo.

Dias de avaliação	Tratamento			Valor de p
	T1	T2	T3	
	Média ± DP (CV) Mediana (P25; P75)	Média ± DP (CV) Mediana (P25; P75)	Média ± DP (CV) Mediana (P25; P75)	
45	3,61 ± 1,59 (44,04) 3,52 (2,24; 4,80)	3,85 ± 1,46 (37,92) 3,88 (2,89; 4,23)	4,17 ± 2,78 (66,67) 3,36 (2,68; 4,99)	p= 0,826
60	5,30 ± 7,00 (132,08) 3,30 (2,25; 4,62)	2,98 ± 1,27 (42,62) 2,85 (2,00; 4,09)	3,67 ± 2,55 (69,48) 3,06 (1,63; 5,44)	p= 0,420
75	4,41 ± 5,67 (128,57) 3,03 (2,42; 4,05)	3,72 ± 1,72 (46,24) 3,69 (2,36; 4,29)	4,26 ± 2,60 (61,03) 3,49 (2,46; 5,74)	p= 0,493
105	4,31 ± 6,04 (140,14) 2,75 (2,33; 3,95)	4,14 ± 2,92 (70,53) 3,57 (2,21; 5,63)	3,46 ± 2,65 (76,59) 2,82 (1,59; 4,27)	p = 0,367
135	4,29 ± 5,60 (130,54) 3,06 (1,94; 4,82)	3,84 ± 2,41 (62,76) 3,03 (2,25; 4,32)	5,30 ± 6,36 (120,00) 3,71 (1,90; 5,73)	p= 0,811
165	4,14 ± 4,60 (111,11) 3,22 (1,24; 4,42)	3,99 ± 4,32 (108,27) 2,61 (1,62; 3,91)	3,42 ± 2,08 (60,82) 2,98 (1,83; 4,73)	p= 0,822
180	2,89 ± 2,34 (80,97) 2,31 (1,66; 3,08)	4,34 ± 3,46 (79,72) 3,25 (1,39; 6,11)	4,08 ± 3,00 (73,53) 3,52 (2,34; 4,17)	p= 0,108

Fonte: a autora (2021).

Nota: n=30 peixes em triplicata para os fotoperíodos. As diferentes letras indicam diferenças estatísticas 83 entre os tratamentos considerando p<0,05. Fotoperíodos: T1=24Claro:0Escuro; T2=18C:06E; T3=12C:12E.

Diferentes fotoperíodos têm sido usados para regular o crescimento, o qual recebe também influência endógena pela ação complexa de hormônios, especificamente do GH e IGFs (ROYCE, 1972). O GH sofre modulação dos fatores ambientais como salinidade do meio, alimentação (AYSON; TAKEMURA, 2006; COSTA, 2015) da temperatura, fotoperíodo e outros (BJÖRNSSON et al., 1989; KIM; WHITE; DEVLIN, 215).

O crescimento somático envolve o aumento no tamanho dos tecidos corporais. Para o crescimento ocorrer o organismo depende da ingesta de alimentos e da assimilação de seus nutrientes para seu desenvolvimento (LI et al., 2014). Apesar de ser facilmente avaliado indiretamente através da massa corporal, a medida das fibras musculares traz informações mais direta visto que o tecido muscular esquelético compõe em torno de 30-80% do peso vivo do peixe. Sendo assim, o músculo esquelético é o órgão que melhor representa o tamanho do animal (WEATHERLEY; GILL, 1987; ZIMMERMAN; LOWERY, 1999).

O crescimento pós-embrionário muscular dos peixes geralmente é contínuo e acontece através dos processos hiperplásico (aumento do número de fibras musculares) e hipertrófico (aumento do diâmetro das fibras musculares). Na hiperplasia, as fibras musculares aumentam em número pelo recrutamento de novas fibras e sua produção perdura quando atingem em torno de 40% do seu comprimento máximo corporal. O processo de hipertrofia origina-se da fusão entre células satélites e fibras musculares que resultam no aumento quantitativo de núcleos e das miofibrilas, podendo ser identificado pelo aumento no diâmetro da fibra (JOHNSTON, 1999; JOHNSTON, 2004; MARECO, 2012).

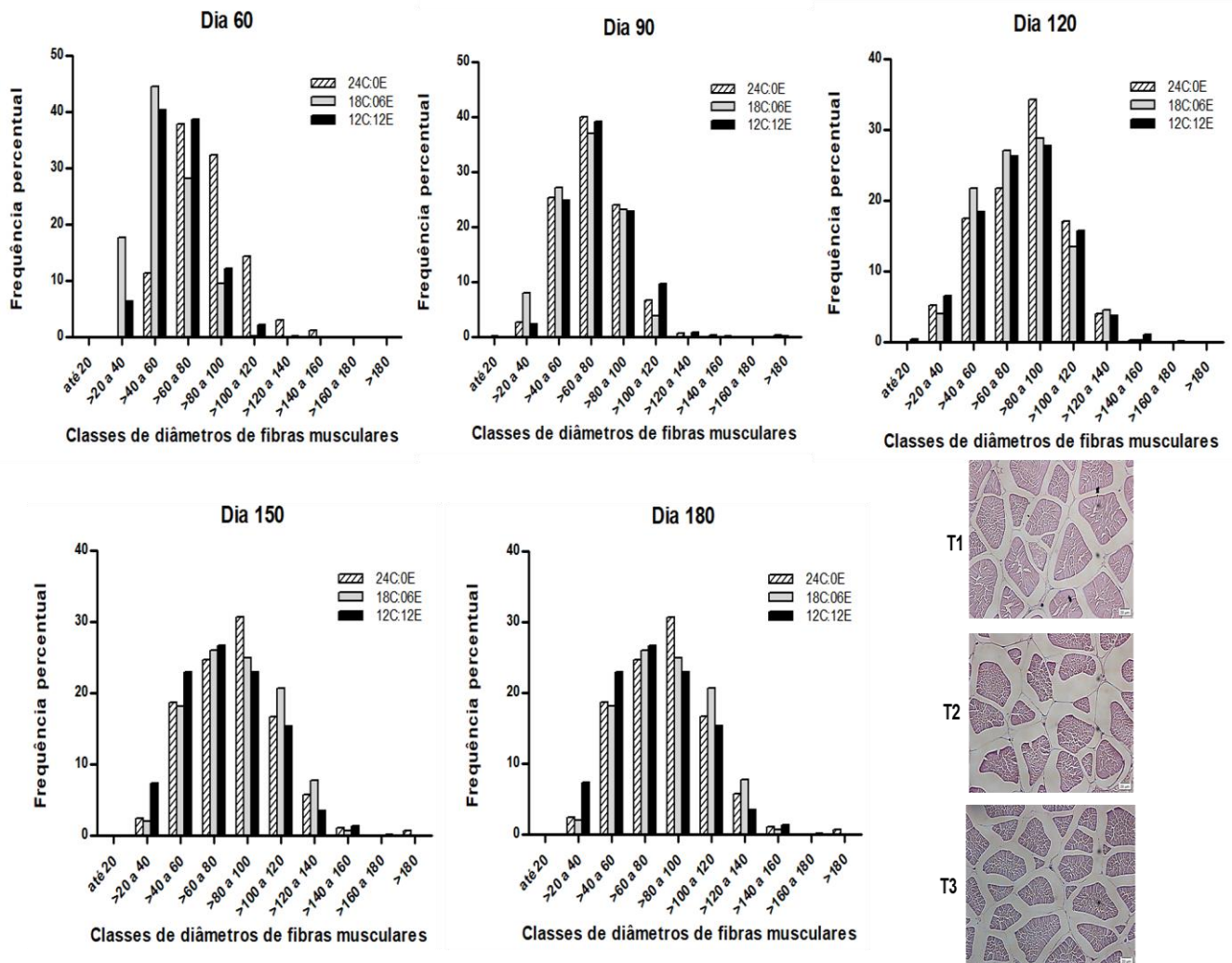
Segundo Zimmerman e Lowery (1999) alguns pesquisadores assumem o crescimento hiperplásico quando as fibras musculares apresentam diâmetro menor que 20µm e hipertrofia quando possuem maior diâmetro. A hipertrofia está associada ao aumento da massa muscular (WEATHERLEY et al., 1988; FERNANDEZ et al., 2000; PAI-SILVA et al., 2003).

Nesse sentido, em termos de celularidade do músculo esquelético, os animais do presente estudo desenvolveram, em todos os tratamentos, fibras com diâmetro maior que 180µm que começaram a ser identificadas a partir do dia 90 (Figura 12) Organizamos as fibras em categorias/classes de acordo com os diâmetros (até 20, >20 a 40, >40 a 60, >60 a 80, >80 a 100, >100 a 120, >120 a 140, >140 a 160, >160

a 180 e $>180\mu\text{m}$) e registramos sua frequência. Houve uma frequência maior nas classes de comprimento <40 e $\geq 120\mu\text{m}$ (Figura 12).

Figura 12 – Distribuição de frequência (%) das classes de diâmetros de fibras musculares brancas da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) submetida a diferentes fotoperíodos durante 180 dias de cultivo intensivo.

k



Fonte: a autora (2021).

Nota: As colunas representam a frequência de fibras brancas em cada classe de diâmetro (n=7 peixes). Fotomicrografia do tecido muscular da tilápia do Nilo do dia 180. Hematoxilina-eosina. Fotoperíodos: T1=24Claro:0Escuro; T2=18C:06E; T3=12C:12E.

Aos 60 dias de cultivo, a frequência de fibras brancas foi maior nos diâmetros entre >40 e $<100\mu\text{m}$ ($T1=37\%$ na classe >60 a 80 ; $T2=44\%$ e $T3=40\%$ na classe >40 a $60\mu\text{m}$), com maior no percentual no T2 e maior diâmetro no T1. Nas classes de menores diâmetros observou-se uma porcentagem maior (>20 a $40\mu\text{m}$) no T2 (17%), sem frequência registrada para o T1. Nenhuma fibra excedeu o tamanho de $140\mu\text{m}$.

Aos 90 dias, as maiores frequências de fibras foram identificadas nas categorias >40 e $<100\mu\text{m}$ com maior frequência na classe >60 a $80\mu\text{m}$ ($T1=40\%$, $T2=37\%$ e $T3=39\%$). Houve um desaparecimento das fibras menores através da diminuição na porcentagem das fibras da categoria >20 a 40 quando comparada ao do dia 60 ($T1=2\%$, $T2=8\%$ e $T3=2\%$) com maior porcentagem para o T2. Além disso, registrou-se percentual na classe de menor diâmetro (até $20\mu\text{m}$, com $0,1\%$). Os tratamentos T1 e T2 excederam o diâmetro de $180\mu\text{m}$ ($0,3$ e $0,1\%$, respectivamente).

Constata-se diante desses resultados, um padrão tendencioso de aumento no diâmetro da fibra ao longo dos dias, como observa-se no dia 120, em especial no T1. As fibras apresentam-se com maiores frequências nos diâmetros entre >60 e $<100\mu\text{m}$, com frequência maior na classe >80 a $100\mu\text{m}$ ($T1=34\%$, $T2=28\%$ e $T3=27\%$). Na classe >20 a $40\mu\text{m}$, o padrão continuou similar ao anterior ($T1=5\%$, $T2=4\%$ e $T3=6\%$) com menores porcentagens. Contudo, registramos uma frequência de $0,4\%$ na menor classe (até $20\mu\text{m}$) para o T3. Na categoria de >160 a $180\mu\text{m}$, o T3 apresentou frequência de $0,1\%$.

No dia 150, as maiores frequências foram registradas nas classes de diâmetro >60 e $>100\mu\text{m}$, sendo a maior porcentagem registrada no T1 ($T1=30\%$ >80 a $100\mu\text{m}$; $T2=26\%$ e $T3=26\%$ >60 a $80\mu\text{m}$). Na categoria >20 a $40\mu\text{m}$, ainda, registramos frequências ($T1=2\%$, $T2=2\%$ e $T3=7\%$) com aumento para o T3. O T1 apresentou frequência na classe $>180\mu\text{m}$ ($0,6\%$).

Já no dia 180, as maiores frequências foram identificadas entre >60 e $>100\mu\text{m}$, (na classe >60 a $80\mu\text{m}$ o T1 apresentou $=16,8\%$, $T2=22,8\%$ e $T3=31,2\%$; o T1 $=23,7\%$, $T2=25,5\%$ $T3=30,7\%$, na classe >80 a $100\mu\text{m}$). Na categoria >20 a $40\mu\text{m}$, o T1, exibiu as maiores porcentagens ($T1=3\%$, $T2=0,5\%$ e $T3=2\%$). Os tratamentos T1, T2 e T3 apresentaram fibras acima de $180\mu\text{m}$ ($0,3\%$, $0,2\%$ e $0,2\%$, respectivamente).

Nota-se ao longo dos dias, que a tilápia tende a crescer ao longo do seu desenvolvimento por hipertrofia, devido ao aumento crescente do diâmetro das fibras, principalmente influenciada pelo fotoperíodo. Contudo, no início do desenvolvimento

houve um aumento na porcentagem de fibras menores (até 20 e >20 a 40µm) que foi diminuindo/desaparecendo ao longo dos dias. Assim, pode-se sugerir uma contribuição da hiperplasia por possível maior recrutamento no início da vida. Esse padrão de crescimento também foi observado na dourada *Sparus aurata* durante todo seu desenvolvimento. Houve predominância do crescimento hiperplásico, em fibras brancas, nas primeiras semanas de vida, com regressão do número de fibras na fase jovem. Na fase jovem e adulta, houve predominância de crescimento hipertrófico (ROWLERSON et al., 1995).

O músculo de peixe é composto por tipos diferenciados de fibras, organizadas separadamente. As fibras vermelhas estão localizadas superficialmente e as brancas, profundamente. Posto que a massa profunda do músculo atinge em torno de 90% do volume total, acredita-se que o tamanho corporal aconteça majoritariamente pelo crescimento das fibras brancas (WEATHERLEY; GILL, 1989; ZIMMERMAN; LOWERY, 1999).

As fibras brancas são rápidas, que geram uma força de contração curta, forte e usam o metabolismo anaeróbico da glicogenólise. As vermelhas são fibras musculares lentas que recobrem as fibras brancas, e são responsáveis por uma contração lenta que se sustenta por um longo período. É descrito que a fibra vermelha possui alto teor de mitocôndrias, baixa atividade miofibrilar da ATPase, e utilizam o metabolismo aeróbico cujo combustível são os carboidratos, lipídios e aminoácidos (JOHNSTON; DAVISON; GOLDSPIK et al., 1977; ALAMI- DURANTE et al., 2010; LI et al., 2014).

As fibras vermelhas são recrutadas em situações que demandam uma menor velocidades, a exemplo da locomoção básica. As fibras brancas são recrutadas em natação de explosão, a exemplo de situações de fuga contra predadores (ROME et al., 1988; JOHNSTON et al., 1997; GUREVICH; SIEGEL; CURRIE, 2014).

As fibras musculares possuem um padrão de quantidade e tamanho de fibras e é comumente mencionado como parâmetros que avaliam a celularidade. Modificações na razão entre os mecanismos de hipertrofia e hiperplasia são avaliadas através da celularidade do músculo esquelético, sendo um importante fator na avaliação da qualidade do pescado (JOHNSTON, 1999; JOHNSTON et al., 2000; STOIBER et al., 2002).

No período de larva, o calafate *Umbrina cirrosa* apresentou hipertrofia aumentada de fibras brancas no fotoperíodo 16C:8E. Já o recrutamento de novas fibras

foi registrado no ciclo de 24h de luz. No final do experimento, aos 11 dias, a hipertrofia ocorreu em todos os fotoperíodos (24C, 16C:8E, 12C:12E e 6C:18E). Mas a hiperplasia permaneceu alta no fotoperíodo 24C (Ayala et al., 2013).

Juvenis de trairão *Hoplias intermedius* apresentaram diferenças estatísticas entre fotoperíodos 0C:24E, 6C:18E, 12C:12E e 18C:6E em relação ao diâmetro de fibras brancas do músculo esquelético, durante 90 dias. Os fotoperíodos 6C:18E e 18C:6E tiveram maior frequência no maior diâmetro (>50). No entanto, esses animais possuem hábito noturno, dificultando as associações entre as espécies diurnas como a tilápia (RAMOS et al., 2018).

Juvenis de alabote *Hippoglossus hippoglossus*, de hábito diurno, submetidos a dois fotoperíodos (12C:12E e 24C) apresentaram aumento do diâmetro da fibra branca no maior fotoperíodo, apontando um crescimento hipertrófico (LOHNE et al., 2011). No peixe *Atractoscion nobilis* foi observado, em 93% do crescimento hiperplásico foi diminuindo com aumento do comprimento, associado ao crescimento do músculo por hipertrofia (ZIMMERMAN; LOWERY, 1999).

O crescimento inicial de vida do peixe por hiperplasia favorece relevantemente o comprimento padrão da espécie. Durante o processo de recrutamento, as fibras são pequenas e pelo aumento da superfície de contato com o meio, facilitam a assimilação de aminoácidos e remoção metabólica dos resíduos celulares contribuindo para seu desenvolvimento. As fibras que atingem valores entre 120 a 270µm, em peixes, são caracterizadas como fibras de tamanho crítico, pela diminuição da área de superfície. É sugerido que a hiperplasia prolongada contribui para que o animal atinja um excelente comprimento final (WEATHERLEY, 1990; ZIMMERMAN; LOWERY, 1999). Além destas funções de crescimento, o GH atua sobre o metabolismo e gera uma gama de respostas sobre o organismo como mobilização de proteínas, lipólise, glicogenólise, gliconeogênese e hiperfagia (BJÖRNSSON, 1997).

O GH em salmões do Atlântico pesando 28g apresentaram altos níveis plasmáticos de GH por dois meses aproximadamente, em luz constante, em comparação ao fotoperíodo natural. Durante 1 mês, apresentaram concentrações menores em relação ao ciclo natural até o final do experimento. Apesar disso, durante todo o período experimental, foi observado aumento de massa corporal e taxa de crescimento específico. Contudo, essas variáveis não obtiveram correlação entre os níveis plasmático do GH (HANDELAND et al., 2003). Por não continuar a apresentar o

padrão dos níveis plasmáticos até o final do experimento, o peixe pode ter desenvolvido algum ajuste endógeno de liberação.

Sobre esse contexto na espécie tilápia do Nilo, foi observado em juvenis que a exposição fotoperíodo mais longos como 18:06 (C:E) aumentou significativamente a deposição de proteína no filé. Já os peixes submetidos aos menores fotoperíodos e também a ausência de luz apresentaram valores bastantes baixos no tocante ao acúmulo de proteína corporal (VERAS et al., 2014).

Talvez, isso se deve por essa espécie apresentar uma maior atividade metabólica durante o dia, tendo em vista que é um animal de comportamento diurno. Adicionalmente a essa questão, foi observado que em condições de temperatura controlada os machos e fêmeas da tilápia do Nilo apresentaram, exclusivamente, maior atividade alimentar durante o dia (TOGUYENI et al., 1997).

No entanto, o estudo de Biswas, Endo e Takeuchi (2002) revelou que o aumento da luz pode provocar redução do metabolismo e consequente ganho de energia. Os autores observaram que a tilápia do Nilo com massa corporal entre 8,6 e 9,5g consumiam altas concentrações de oxigênio expostas aos menores ciclos de luz, de 3 e 6h. Além de que, o maior gasto de energia registrado foi para o grupo de 3h de luz e o menor, para o de 24h de luz. Esse padrão de respostas se manteve em peixes pesando 102 e 107g. Os resultados do presente estudo corroboram esses achados pois o T1 e T2 apresentaram maiores massas.

Nessa perspectiva, há de se considerar uma modulação metabólica resultante da presença do fotoperíodo. Sendo assim, incluímos a atuação da melatonina, considerada um mediador neuroendócrino do fotoperíodo. Tendo em vista sua relevância direta na regulação do metabolismo energético em função da duração do escotoperíodo (escuro), o qual regula sua síntese (CIPOLLA-NETO et al., 2014).

A melatonina endógena na tilápia do Nilo possui uma ritmicidade circadiana comum a maioria dos animais. Contudo, após passar de um ciclo de 6h claro e escuro para um total escuro, se manteve sem nenhum padrão de ritmo, com alta concentração. (MARTÍNEZ-CHAVEZ et al., 2008), sustentando seu papel com uma molécula que integra informações ambientais aos processos fisiológicos e comportamentais (CIPOLLA-NETO et al., 2014).

Seguindo a discussão de atuação metabólica da melatonina, tilápias tratadas com melatonina, pensando 2,8g, exibiram diferenças estatísticas significativas quando

comparada ao controle, mesmo submetidas a um fotoperíodo natural. A massa, tamanho, fator de condição e taxa de crescimento específico se apresentaram reduzidos (SINGH; TRIPATHI et al., 2012).

Resultados similares foram detectados no tratamento crônico de melatonina por 10 dias em peixes dourados *Carassius auratus*, reduzindo significativamente a massa corporal e taxa de crescimento específico. A melatonina foi administrada diariamente 1h antes da escotofase (escuro) e, quanto aos estoques energéticos, apresentou redução do glicogênio e lipídio hepático, porém com diferenças estatísticas significativas para o lipídio em comparação ao grupo com solução salina. Demonstrando assim, atuação da melatonina no metabolismo energético (DELAHUNTY; OLCSE; VLAMING, 1980).

Os organismos possuem sistemas de controle fisiológicos que mantem suas variáveis reguladas dentro de faixas de normalidade. Os peixes possuem esses mecanismos que ajustam sua fisiologia e metabolismo às modificações externas, equilibrando a ingesta, o armazenamento e o gasto de energia, por exemplo. Em vista disso, a maior parte dos animais trabalham diurnamente concentrando a captação e a ingestão de energia. Para tanto, observa-se alta sensibilidade a insulina, glicólise hepática, síntese de glicogênio e aumento da gordura adiposa. No período noturno atuam mobilizando os estoques de energia corporal por meio da glicogenólise hepática e lipólise do tecido adiposo (SAARELA; REITER, 1994; CIPOLLA-NETO et al., 2014).

4.3 ANÁLISE DOS ESTOQUES DE GLICOGÊNIO E LIPÍDIOS HEPÁTICOS

O fígado é um órgão relevante no metabolismo, essencial para o crescimento dos peixes. Nele, há o armazenamento de lipídios e glicogênio necessários para suprir as demandas do organismo na ausência de alimentos (BARCELLOS et al., 2010; ZOU et al., 2016).

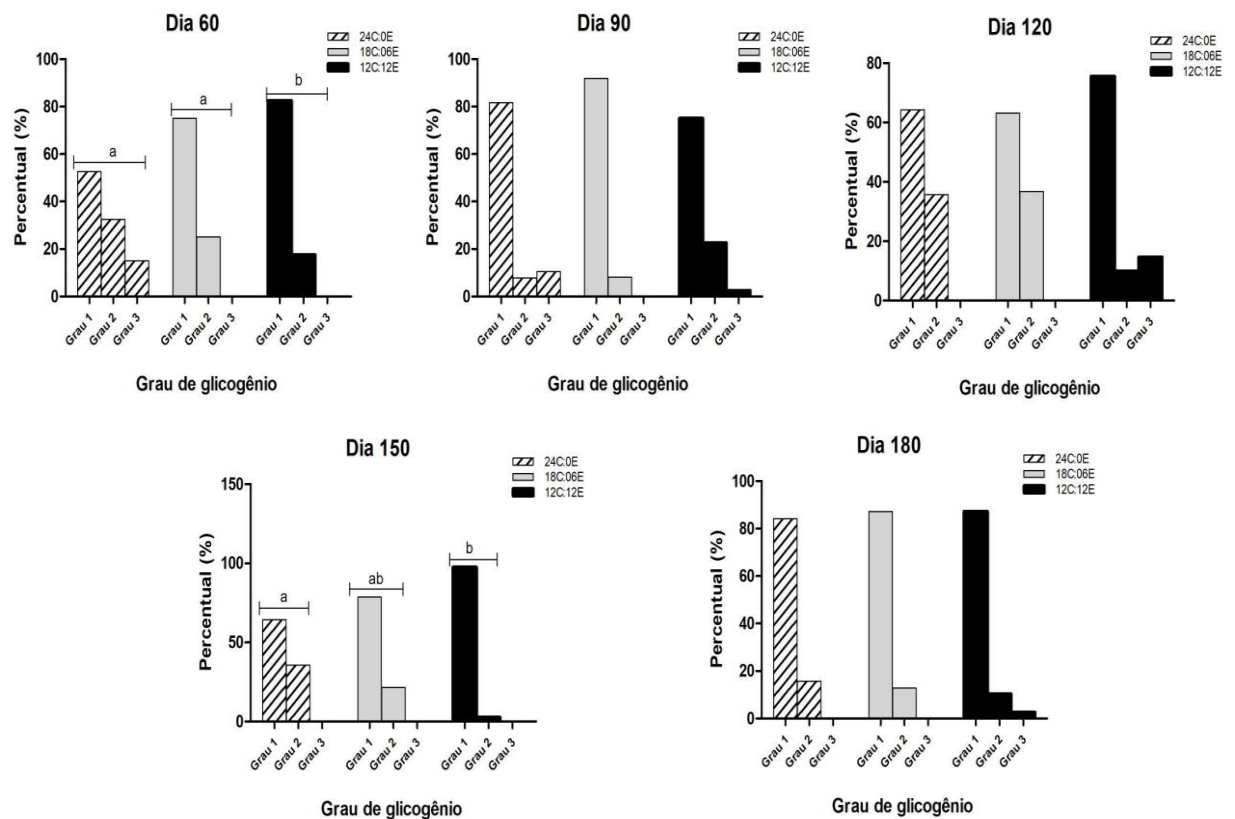
Nessa perspectiva, na busca de avaliar os estoques energéticos no fígado da tilápia, a expomos a manipulação do fotoperíodo, o qual alterou os níveis de glicogênio hepático entre os tratamentos (Figura 13). Ao longo dos dias, houve maiores frequências no grau 1, em ambos os tratamentos. Demonstrando assim, poucas reservas de glicogênio nos animais.

Nos dias 60 e 150, houve diferenças estatísticas ($p < 0,005$ e $0,001$, respectivamente) entre as médias dos percentuais. No dia 60, foi registrada maior

frequência no grau 1, tendo o T1(52%) menor e o T3(82%), maior frequência. No grau 3, de acentuado acúmulo, o 1 exibiu um percentual de 15%. Já os demais tratamentos não tiveram registros de estoques. No dia 150, as frequências seguiram o mesmo padrão da análise anterior. As maiores porcentagens foram vistas no grau 1, em que o T1(64%) apresentou menor e o T3(97%), maior frequência. Contudo, não tivemos registros de estoques no grau 3.

Diante desses resultados, o T1 mostrou-se maiores depósitos frente aos demais fotoperíodos, ao longo de todo ciclo experimental, com diferenças estatísticas nos períodos iniciais e finais do cultivo. Talvez, as maiores frequências observadas no T1, seja pelo fato da melatonina está ligada a mobilização energética, diminuindo seu efeito na presença de luz. Segue-se essa mesma afirmação para o T3, o qual pode ter tido maior mobilização pela ação da melatonina.

Figura 13 – Distribuição de frequência (%) dos graus de depósito do glicogênio hepático da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) submetida a diferentes fotoperíodos durante 180 dias de cultivo intensivo.



Fonte: a autora (2021).

Nota: n=7 peixes. As colunas representam a frequência dos graus de depósito de glicogênio. Diferentes letras indicam diferenças estatísticas entre as médias dos percentuais dos tratamentos considerando $p < 0,05$. Fotoperíodos: T1=24C:0E; T2=18C:06E; T3=12C:12E.

Em condições de normalidade no cultivo há o aumento de glicogênio hepático em truta arco-íris, diminuindo em condições estressantes de densidade. Ao serem tratadas com melatonina, há um aumento observado em peixes estressados (CONDE-SIEIRA et al., 2014). Também foi observado um padrão similar de aumento do glicogênio hepático no peixe *Carassius auratus* tratado com melatonina em comparação ao tratado em solução salina. Outro grupo de peixes foi pinealectomizado e constatou-se redução dos níveis de glicogênio (DELAHUNTY; OLCESSE; VLAMING, 1980).

Em relação a avaliação da gordura hepática, foram observadas diferenças entre os fotoperíodos ao longo dos dias, exceto no último dia (Figura 14). No dia 60, houve diferenças estatísticas ($p < 0,002$) entre os grupos, em que o T1 exibiu maior porcentagem (46%) no grau 1 e o T3 (31%) no grau 3, evidenciando, dessa forma, maior acúmulo de gordura no T3. No dia 90, as diferenças estatísticas ($p < 0,012$) foram encontradas entre o T1 e T3, os quais apontaram maiores percentuais (41% e 40%) nos graus 1 e 3, respectivamente. No dia 120, as diferenças estatísticas ($p < 0,015$) foram encontradas entre o T1 e T2 que apresentaram maiores frequências (32% e 33%) no grau 1 e 2, respectivamente. No dia 150, as diferenças estatísticas ($p < 0,001$) foram encontradas nos tratamentos T1, T2 e T3. O T1 e T3 apresentaram as maiores porcentagens (89% e 76%) nos graus 0 e 3, respectivamente.

Diante desses resultados, o T1 mostrou-se com maiores frequências entre os graus 0 e 1 ao longo de todos os dias. Contudo, o T3 exibiu maiores frequências entre os graus 2 e 3. Nesse sentido, o T1 mostrou menores acúmulos de gordura hepática, contrário ao T3 que apresentou esteatose moderada a acentuada. Corroborando os nossos dados, Medaka *Oryzias latipes* apresentou maior acúmulo de gordura no fígado, após o 14º e o 28º dia de análise, para período de 10h em comparação ao de 14h luz (FUJISAWA et al., 2021). Tendo assim, uma maior mobilização dos estoques de lipídios para os ciclos maiores de luz.

Na busca de identificar a associação da melatonina na regulação periférica do metabolismo lipídico hepático, apetite e crescimento, a nível molecular, peixe-zebra foi tratado com melatonina durante 10 dias. Foi identificado, no tocante ao metabolismo de gordura, diminuição na expressão do mRNA SREBP, PPAR α , β e γ . No crescimento corporal, houve diminuição na expressão do *igf-1*. E por último, aumento na expressão

do mRNA da leptina e MC4R, como redução da ingesta alimentar. Indicando assim, ação direta ou indireta da melatonina nesses processos (PICCINETTI et al., 2013).

Isso explica o maior acúmulo de gordura no T3, pelo fato da maior exposição a ausência de luz e consequente maior atuação da melatonina endógena da tilápia. Esses dados corroboram estudo de Zou et al. (2016), o qual apresentou diminuição de triglicerídeos e aumento de glicogênio hepático em *Paralichthys olivaceus* (600g) para o maior fotoperíodo, de 16h luz. Quanto a ingesta alimentar, peixe-zebra adulto tratado com melatonina diminuiu a expressão cerebral dos genes responsáveis pela produção de substâncias anorexígenas, a leptina e pró-opiomelanocortina (POMC) (MONTALBANO et al., 2018).

A reprodução e o crescimento envolvem alterações na fisiologia das gônadas, do crescimento e metabolismo. Para espermatogênese e oogênese acontecerem, alta carga de energia metabólica é recrutada (LADISA; MA; HABIBI, 2021). Os peixes, em sua fase reprodutiva, usam a energia utilizada para o crescimento e redirecionam para reprodução, uma vez que esse processo demanda uma alta energia. A energia pode ser obtida dos alimentos ou do armazenamento em alguns tecidos. Caso as reservas sejam insuficientes, a proteína é recrutada e utilizada para o fornecimento de energia (COWARD; BROMAGE, 1999; ORLANDO et al., 2017). O músculo esquelético de peixes é o tecido de maior estocagem de proteínas, as quais podem ser usadas como combustível para produção energética (WANG et al., 2011; LI et al, 2014).

Machos do peixe-dourado (*Carassius auratus*) no estágio de pós desova, período de crescimento máximo, revelaram aumento no metabolismo de carboidratos, sugerindo a manutenção do crescimento e os processos anabólicos via glicogênio nessa fase. Na fase de recrudescência tardia gonadal (fase maturação), observou aumento do metabolismo lipídico. Assim, o metabolismo de gordura é essencial nos estágios finais da espermatogênese (LADISA; MA; HABIBI, 2021).

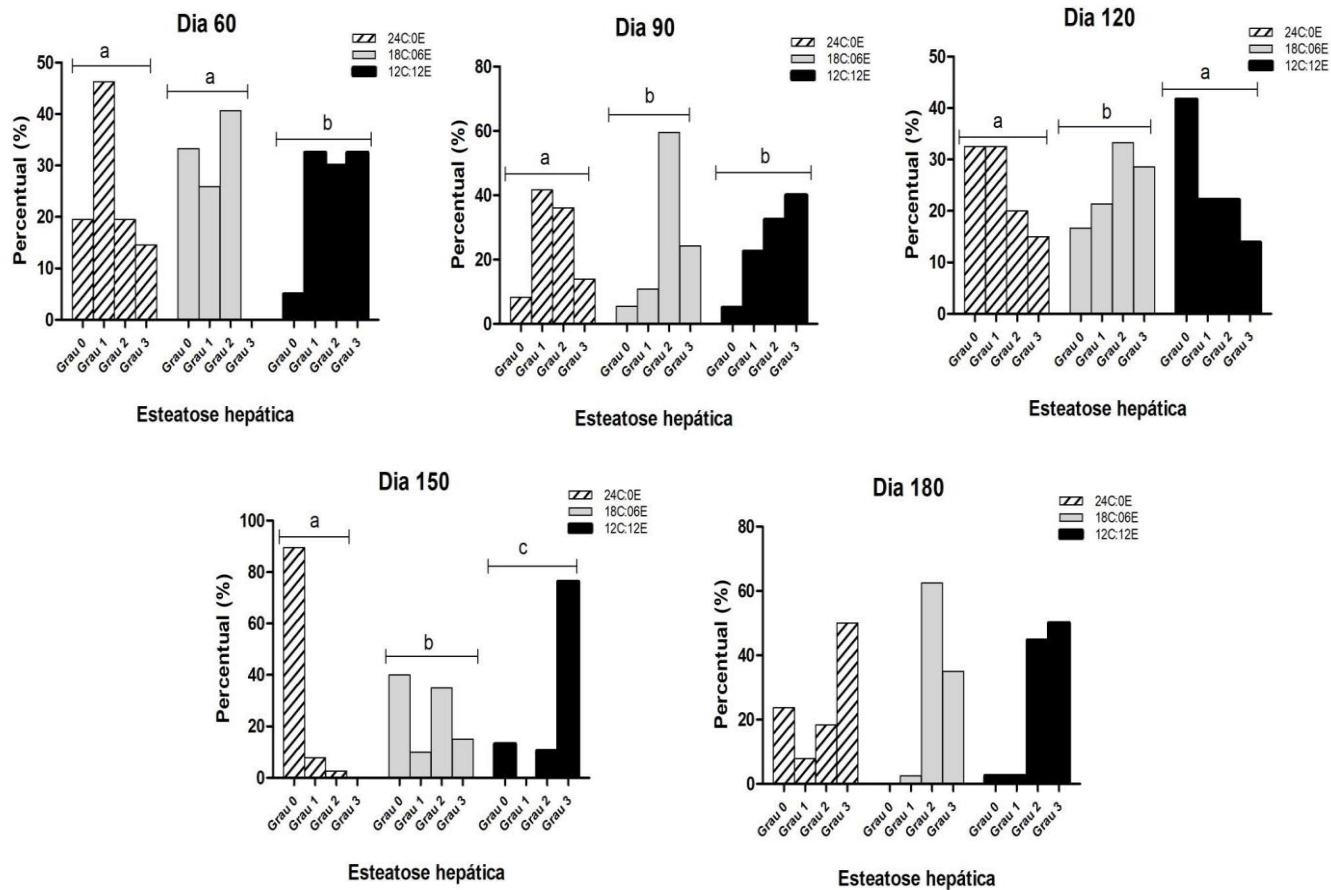
Assim sendo, os resultados de estoques de lipídios e glicogênio estão associados aos dados de crescimento e maturação sexual. Interpretamos o aumento na produção e consequente aumento no depósito de glicogênio que pode ser usada como principal fonte de energia usada para o crescimento, visto que o T1 apresentou maiores resultados no crescimento somático, muscular e acúmulo de glicogênio.

Já o T3 resultou em menores dados de crescimento somático e esquelético, em contrapartida exibiu maior depósito de gordura e tendência para o desenvolvimento

gonadal, podendo ser usado também para produção dos hormônios sexuais. Durante a gonadogênese em peixes, reservas energéticas são mobilizadas para o desenvolvimento gonadal, a qual recruta gorduras via hepática (NASSOUR; LEGER, 1989; CLEVELAND et al., 2012; AYALA et al., 2021). Os espermatozoides parecem requerer a energia proveniente do metabolismo dos lipídios para sua motilidade (TANAKA et al., 2004).

Ainda não existem dados experimentais consistentes das vias envolvidas na regulação do fotoperíodo e a fisiologia do crescimento e metabólica, com dados bastante conflitantes entre os peixes. Haja vista também as diferenças de respostas fisiológicas, comportamentais e de desenvolvimento entre as diversas espécies. Nesse sentido, acompanhamos o efeito do fotoperíodo da tilápia durante seu ciclo produtivo buscando compreender diferenças entre os ciclos de luz, identificar sensibilidade dos peixes durante seu desenvolvimento, regulação no crescimento e balanço energético. São pistas bastante relevantes que podem ser usadas para avaliar a condição fisiológica do animal para melhor aplicação na aquicultura.

Figura 14 – Distribuição de frequência (%) dos graus de esteatose hepática da tilápia (*Oreochromis niloticus*) submetida a diferentes fotoperíodos durante 180 dias de cultivo intensivo.

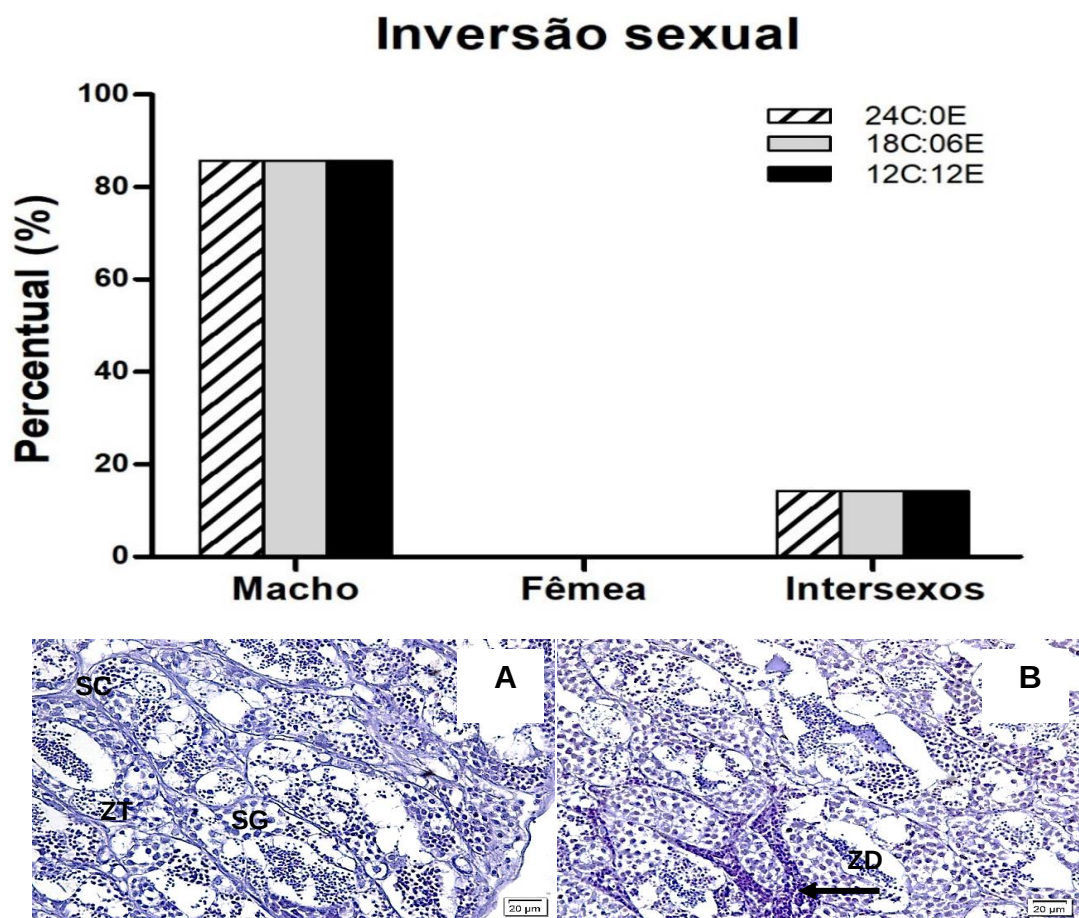


Nota: n=7 peixes. As colunas representam a frequência dos graus esteatose. Diferentes letras indicam diferenças estatísticas entre as médias dos percentuais dos tratamentos considerando $p < 0,05$. Fotoperíodos: T1=24C:0E; T2=18C:06E; T3=12C:12E.

4.4 SEXAGEM E DESENVOLVIMENTO GONADAL

Ao final do experimento, a análise histológica dos cortes das gônadas revelou informações sobre identificação sexual e estadiamento do desenvolvimento reprodutivo. As tilápias apresentaram porcentagem de inversão sexual 85,7% para machos fenotípicos e 14,3% intersexo para todos os tratamentos. O tecido predominante observado no intersexo foi o testicular, com poucos fragmentos de células semelhantes as foliculares dispersas no parênquima. Os animais tiveram as mesmas porcentagens para os fotoperíodos (Figura 15).

Figura 15 - Avaliação da inversão sexual da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) submetida a diferentes fotoperíodos em sistema de cultivo intensivo.



Fonte: a autora (2021).

Nota: Fotomicrografia das gônadas da tilápia do Nilo (n=7 peixes). As colunas representam a frequência do sexo. A) machos. B) Intersexo (seta indica tecido diferencial). SG (espermatogônia),

SC (espermatócito), ST (espermátide) ZD (espermatozoide). Hematoxilina-eosina. Fotoperíodos: T1=24Claro:0Escuro; T2=18C:06E; T3=12C:12E.

A inversão sexual é um processo realizado na piscicultura e busca favorecer o sexo com maior potencial de crescimento, dependendo da espécie. Para tanto, é feita aplicação de hormônio o mais precoce possível, quando o animal ainda está sexualmente indiferenciado. No caso da tilápia, acontece num intervalo de 15 dias após eclosão, com inversão para machos os quais possuem um crescimento mais rápido pois recrutam a energia metabólica que seria usada para a reprodução. Além da inversão eliminar a reprodução favorecendo tamanhos mais homogêneos na unidade de cultivo (MACINTOSH et al., 1985; ROTHBARD et al., 1987; PIFERRER, 2001; BEARDMORE et al., 2001; TOGUYENI et al., 2002; OMEJE, LAMBRECHTS; BRINK, 2020).

Além da manipulação do fotoperíodo favorecer muitas funções dos peixes como crescimento, tem sido registrado modulação na reprodução, maturação sexual, desova e determinação do sexo (RAD et al., 2006). Sobre esse último, larvas de *Leuresthes tenuis* submetidas a partir de 1 semana pós eclosão aos fotoperíodos 15C:9E e 12C:12E revelaram uma quantidade maior de fêmeas para o maior fotoperíodo (BROWN; BAUMANN; CONOVER et al., 2014).

Tilápias alimentadas com ração contendo 17 alfa metiltestosterona após 9 dia de vida, durante 11 dias, foram expostas aos fotoperíodos 0C:24E, 2C:22E, 6C:18E, 12C:12E, 16C:8E, 18C:6E, 22C:2E e 24C:0E. Nesse estudo, foi registrado 100% de reversão para os ciclos 12C:12E e 8C:16E. O ciclo de 6C:18E revelou uma inversão de 87% de machos e 10% intersexo. De acordo com esses dados, podemos observar que ciclos longos de luz podem diminuir o efeito do hormônio (VARADARAJ; KUMARI; PANDIAN, 1994). Esses resultados apresentaram resultados semelhantes ao presente estudo, com reversão menor que 90% exceto pelas ausências de diferenças entre os fotoperíodos.

No que corresponde a maturidade, o *Xiphophorus maculatus* apresentou maturidade precoce aos 3 meses de vida do desenvolvimento animal no maior fotoperíodo, o 18C:6E. Foi registrado alta taxa de espermátides maduras e espermatozoides (SINGH; ZUTSHI, 2020). O desenvolvimento das gônadas também pode ser avaliado através do índice gonodossomático (IGS), que se associa com aumento da massa corporal. Isto é, o aumento do índice indica maturação das células,

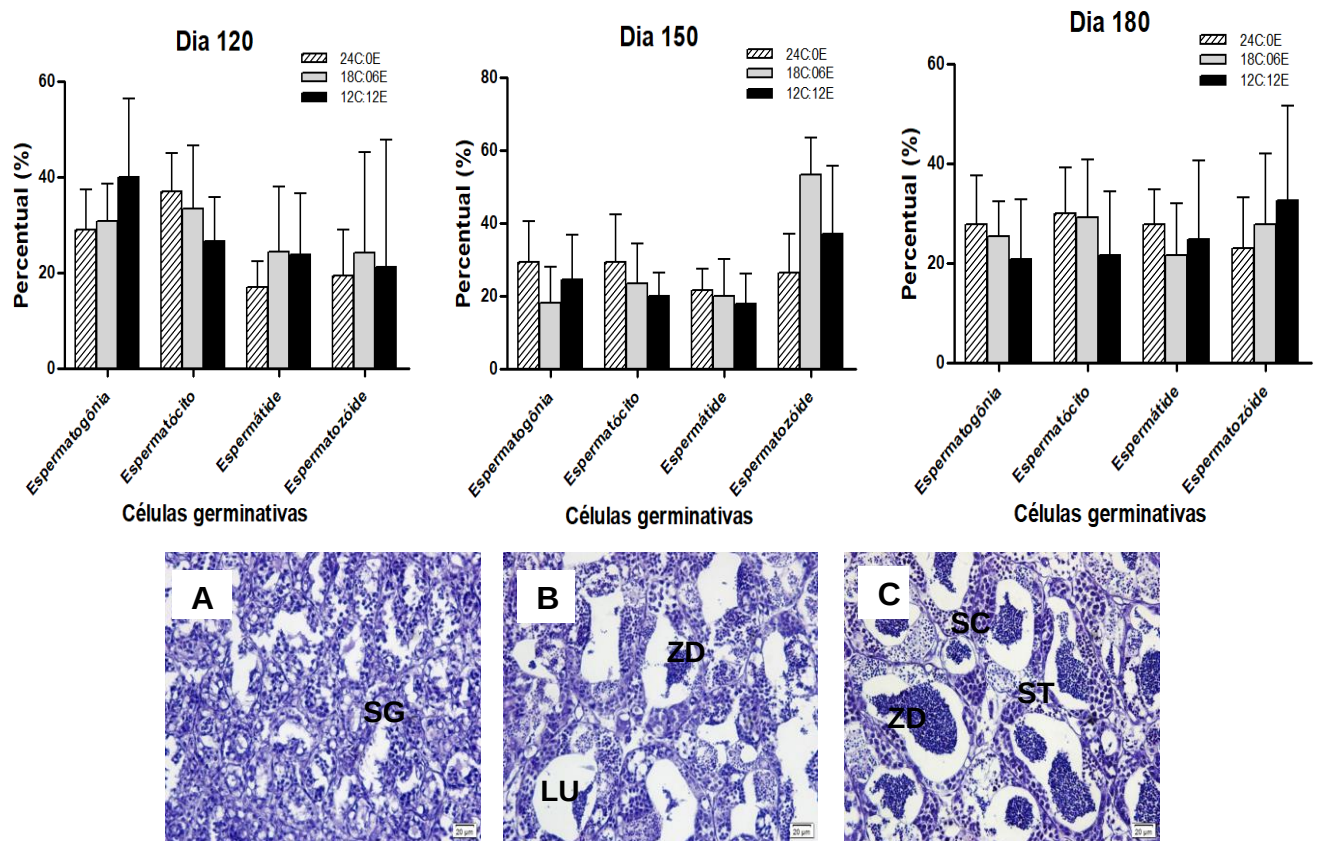
o qual está relacionado ao ocorrer o aumento da massa das gônadas (BABIKER; IBRAHIM, 1979).

No estudo de Rad et al., (2006) cujo objetivo era retardar a maturação sexual e melhorar o crescimento somático em tilápia do Nilo, exibiu alta taxa de crescimento e massa corporal para o maior fotoperíodo, de 24h luz, ao longo de 160 dias. Registrou-se também IGS e tamanho do oócito observando menores resultados para 24C, em comparação ao natural (controle), com diferenças estatísticas. Demonstrando-se dessa forma, maior crescimento para maior fotoperíodo, em contrapartida um atraso no desenvolvimento das gônadas. O peixe *Xiphophorus maculatus* submetido aos fotoperíodos 9C:15E, 18C:6E e 10C:14E mostrou diferença estatística significativa, em relação ao IGS e maturação sexual, entre os tratamentos. O IGS e maturação sexual, em machos e fêmeas, apresentaram-se mais altos para maior fotoperíodo, o 18C:6E (SINGH; ZUTSHI, 2020).

Os testículos estão organizados em pares na cavidade celomática dorsal aos órgãos digestivos. São alongados e se unem na sua porção caudal para formar o ducto espermático, que desemboca seu conteúdo espermático na papila urogenital. Internamente, na tilápia, os testículos são formados por lóbulos seminíferos que se anastomosam e esvaziam dorsalmente no duto eferente e posterior ao ducto espermático. O epitélio seminífero dos lóbulos é composto de cistos de células germinativas, nos mais variados estágios do desenvolvimento (LEAL et al., 2009).

A fim de traçarmos uma linha do tempo do estágio de maturação sexual, as coletas foram realizadas mensalmente. Contudo, iremos descrever os dados das coletas realizadas entre os dias 120 a 180, pois, em sua maioria, as células germinativas estavam na fase indiferenciada e de espermatogônia na coleta anterior ao dia 120. Nesse sentido, os animais encontravam-se na fase imatura do desenvolvimento gonadal, em que os testículos exibiam um arranjo celular desorganizado, sem os compartimentos lobulares definidos.

Figura 16 - Distribuição de frequência (%) de células germinativas de machos da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) submetidos a diferentes fotoperíodos durante 180 dias de cultivo intensivo.



Fonte: a autora (2021).

Nota: Fotomicrografia das gônadas da tilápia do Nilo (n=7 peixes). As colunas representam a frequência de células germinativas em machos. A) espermatogônias. B) peixes maduros. C) peixes amadurecidos. SG (espermatogônia), SC (espermatócito), ST (espermátide) ZD (espermatozoide), LU (lúmen) Hematoxilina-eosina. Fotoperíodos: T1=24Claro:0Escuro; T2=18C:06E; T3=12C:12E.

O epitélio seminífero apresentou maiores percentuais da área de cistos de espermatogônias (T1-28%, T2-30% e T3-40%) e espermatófitos (T1-37%, T2-33% e T3-26%) para todos os tratamentos, no dia 120. Bem como menores taxas de cistos de espermatozoides (T1-19%, T2-24% e T3-21%). Nesse aspecto, todos os grupos se encontravam na fase maduro do desenvolvimento gonadal, tendo o T1 menores percentuais, a exemplo da presença de espermatozoides, que indicam menor avançado de fase (Figura 16).

Os peixes se encontraram em maturação, em razão de apresentarem as maiores porcentagens dos cistos de espermatozoides no dia 150 (T1-26% T2-53% e T3-37%) com menor porcentagem para o T1. No dia 180, os espermatozoides mostraram-se menores taxas em relação a coleta anterior (T1-23% T2-27% e T3-32%). Nesse último dia é possível sugerir, pelos dados decrescentes, os primeiros sinais de que os animais pudessem estar entrando na fase de regressão (Figura 16).

Os resultados apresentados por Martínez-Chávez et al. (2021), após 90 dias de vida, tilápias do Nilo expostas aos fotoperíodos 12C:12E e 24C não apresentaram diferenças estatísticas quanto ao desenvolvimento gonadal. Nesse período, os animais se encontravam no seu estágio de maturação, pois possuíam altas taxas de espermatozoides. No dia 118, ainda se observou machos no estágio maduro no ciclo de 24C, estando os animais do ciclo 12C:12E em estágios mais avançados da fase de maturação. Nesse sentido, esses dados se mostraram similares ao da presente pesquisa, cujo processo de espermatogênese mostrou indícios de atraso no fotoperíodo mais longos.

Melatonina sintética, adicionada em cultura de células cerebrais, mostrou no dourado *Carassius auratus* níveis altamente baixos de expressão dos genes *kiss1* e *gpr54* (receptor). Esses diminuía os níveis de expressão, à medida que aumentara a dosagem (CHOI et al., 2015). Nesse contexto, fotoperíodos longos podem diminuir níveis de hormônios sexuais e contribuir para atrasos no desenvolvimento das gônadas. Assim como tem corroborado o estudo de Chang; Hu; Tang (1992), o qual expôs machos da espécie *Plecoglossus altivelis*, cujo peso inicial foi 29g, a dois fotoperíodos (16C e 8C) durante 16 semanas de tratamento. Foi revelado maior IGS, testosterona plasmática e 17a-hidroxiprogesterona no ciclo de 8h luz, com maiores picos entre a 12ª e 14ª semanas. Inclusive, se tem sugerido o uso da melatonina em rações como uma forma de manipular o fotoperíodo, já que tilápias tiveram menores

taxas de IGS e espermatozóides nos peixes alimentados contendo melatonina comparado ao controle (sem melatonina) (KIM; PARK; KWON, 2017).

Sabendo que a sinalização Kiss-GPR54 controla a reprodução por estimular a secreção do GnRH no hipotálamo de peixes (IRWIG et al., 2004; MESSENGER et al., 2005; COLLEDGE 2009; CHOI et al., 2015), os animais de menor fotoperíodo exibiram um adiantamento do desenvolvimento gonadal pelo fato de, possivelmente, terem um tempo maior de exposição a ação da melatonina. Complementando esses dados, tilápias *Oreochromis mossambicus* apresentaram diminuição significativa de espermatócitos, espermátides precoce e tardia, diâmetro do lúmen e número de células de Sertoli no ciclo de 24C em relação ciclo natural (KONKAL; GANESH, 2020).

Segundo Brown-Peterson et al., (2011) o ciclo reprodutivo de peixes teleósteos machos pode ser diferenciado em fases: imatura, amadurecimento, madura e regressão. Os machos se encontram imaturos quando apresentam no tecido seminífero, apenas, as espermatogônias e lóbulos sem lúmen. No amadurecimento, há organização das células germinativas no formato de cistos. Há formação, ao longo de todo o lóbulo, de cistos de espermatogônias, espermatócitos, espermátides e espermatozoides sendo este último tipo celular que se encontra no lúmen lobular em discreta quantidade. Na fase madura/desova, os peixes contêm grande quantidade de espermatozoides no lúmen lobular e no ducto espermático. E por fim, a fase de regressão. Nela, pode-se observar a presença de lúmen, alguns espermatozoides residuais, espermatogônias, e ausência de cistos. A duração de cada fase é espécie específica.

Nossos achados apresentam um panorama geral das respostas fisiológicas dos principais sistemas de interesse na produção animal, em todo ciclo produtivo. Os resultados mostram duas principais informações. Quando se pretender manipular a maturação sexual por meio de alteração do fotoperíodo, os ciclos 18C:06E e 12C:12E parece ser mais tendencioso ao adiantamento da maturação a partir do terceiro mês de vida do animal. Porém, quando o foco for crescimento muscular e esquelético, o ciclo de luz contínua, 24C, parece desempenhar melhores resultados. É relevante considerar os danos que condições artificiais de luz possam vir a provocar na biologia do animal, de modo a submetê-los as melhores condições possíveis de cultivo (PEREIRA, 2021).

Devido a problemas de recursos e logísticos não foi possível ter uma compreensão da ação hormonal nessas condições de fotoperíodo sob a fisiologia do

crescimento, reprodução e metabólica. Nesse sentido, o ciclo luz contínua atuando no eixo somatotrópico/reprodutor precisa ser explorado de maneira mais detalhada, buscando informações combinadas nos níveis moleculares, hormonais e de atividades fisiológicas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os achados da presente pesquisa sugerem que a tilápia do Nilo possui diferentes performances a depender dos regimes de fotoperíodo e em resposta ao estágio de desenvolvimento. Seu cultivo, em condições manipuladas de fotoperíodo, indicou maior vulnerabilidade do animal a mortalidade nos primeiros 30 dias de vida para ciclo 12 e 18h luz. Podendo não ser interessante submetê-los, nessa fase inicial do seu desenvolvimento, a ciclos menores de luz.

Com relação ao desempenho, o fotoperíodo de luz contínua, propiciou melhores resultados na criação dos animais na fase adulta com aumento de massa corporal e crescimento hipertrófico do músculo esquelético. No que tange a maturação das gônadas, os ciclos menores, de 18C:06E e 12C:12E, tendem a adiantar a maturação.

Nesse sentido, o fotoperíodo de 24h luz apresentou ser o melhor fotoperíodo ao se tratar do crescimento somático e muscular do animal. Já para reprodução, os menores ciclos de luz contribuíram para melhores resultados. Por esses motivos, é importante, a priori, entender os mecanismos biológicos das espécies para embasar e ampliar o uso das tecnologias de iluminação na aquicultura de modo favorável; a considerar melhores desempenhos, redução de custos e menor interferência ambiental.

REFERÊNCIAS

- ALAMI-DURANTE, H. et al. Skeletal muscle growth dynamics and expression of related genes in white and red muscles of rainbow trout fed diets with graded levels of a mixture of plant protein sources as substitutes for fishmeal. **Aquaculture**, v.303, n.1-4, p.50-58, 2010.
- ALMEIDA, F.L.A. Differential expression of myogenic regulatory factor MyoD in pacu skeletal muscle (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg 1887: Serrasalminae, Characidae, Teleostei) during juvenile and adult growth phases. **Micron** n.39, p.13061311, 2008.
- AMMAR, I. B. et al. Constant long photoperiod inhibits the onset of the reproductive cycle in roach females and males. **Fish. Physiol. Bioch**, v.46, n.1, p.89-102, 2020.
- ANTHEAROWLERSON, et al. Differentiation and growth of muscle in the fish *Sparus aurata* (L): II. Hyperplastic and hypertrophic growth of lateral muscle from hatching to adult. **Journal of Muscle Research and Cell Motility**, v.16, p.223-236, 1995.
- AYALA, M.D. et al. Muscle development and body growth in larvae and early postlarvae of shi drum, *Umbrina cirrosa* L., reared under different larval photoperiod: muscle structural and ultrastructural study. **Fish Physiol Biochem** v.39, p.807–827, 2013.
- AYALA, M.D. et al. The Effect of 17 α -Ethinylestradiol and GPER1 Activation on Body and Muscle Growth, Muscle Composition and Growth-Related Gene Expression of Gilthead Seabream *Sparus aurata* L. **International. Journal Molecular Sciences**, v. 22, 2021.
- AYSON, F. G.; TAKEMURA, A. Daily expression patterns for mRNAs of GH, PRL, SL, IGF-I and IGF-II in juvenile rabbitfish, *Siganus guttatus*, during 24-h light and dark cycles. **General and Comparative Endocrinology**, v.149, n.3, p.261-268, 2006.
- BABIKER, M. M; IBRAHIM, H. Studies on the biology of reproduction in the cichlid *Tilapia nilotica* (L.): gonadal maturation and fecundity. **Journal of Fish Biology**, 14(5), p.437-448, 1979.
- BARCELLOS, L.J.G. et al. The effects of fasting on cortisol, blood glucose and liver and muscle glycogen in adult jundiá *Rhamdia quelen*. **Aquaculture** v.300, p.231-236. 2010.
- BEARDMORE, J.A; MAIR, G.C; LEWIS R.I. Monosex male production in finfish as exemplified by tilapia: Applications, problems, and prospects. **Aquaculture**, 197: p.283-301, 2001.
- BEZERRA, K. S. et al. Crescimento e sobrevivência da tilápia chitralada submetida a diferentes fotoperíodos. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v.43, n.6, p.737-743. 2008.
- BISWAS, A.K. et al. Effect of photoperiod manipulation on the growth performance and stress response of juvenile red sea bream (*Pagrus major*). **Aquaculture**, v.258, p.350-

BISWAS, A.K; ENDO, M; TAKEUCHI, T. Effect of different photoperiod cycles on metabolic rate and energy loss of both fed and unfed young tilapia *Oreochromis niloticus*: Part I, **FISHERIES SCIENCE**, v.68, p.465-477, 2002.

BISWAS, A.K; TAKEUCHI, T. Effect of different photoperiod cycles on metabolic rate and energy loss of fed and unfed adult tilapia *Oreochromis niloticus*: **Part II. Fisheries Science**, v.68: p.543-553. 2002.

BJÖRNSSON, B. T. The biology of salmon growth hormone: from daylight to dominance. **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 17, n.1-6, p.9-24, 1997.

BJÖRNSSON, B.T. et al. Photoperiod and temperature affect plasma growth hormone levels, growth, condition factor and hypoosmoregulatory ability of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) during parr-smolt transformation. **Aquaculture**, n.82, p.77-91, 1989.

BROWN, E. E; BAUMANN, H; CONOVER, D. O. Temperature and photoperiod effects on sex determination in a fish. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v.461, p.39-43, 2014.

BROWN-PETERSON, N.J. et al. A Standardized Terminology for Describing Reproductive Development in Fishes. **Marine and Coastal Fisheries**, v.3, n.1, p.5270, 2011.

CHANG, C.F; HU, H.J; TANG, H.C. Effects of photoperiod and temperature on testicular development in male ayu, *Plecoglossus altivelis* **Environmental Biology of Fishes**, v.34, 1992.

CHOI, C.Y. et al. Time-related effects of various LED light spectra on reproductive hormones in the brain of the goldfish *Carassius auratus*. **Biological Rhythm Research**, 2015, v.46, n.5, p.671-682, 2015.

CIPOLLA-NETO, J. ET AL. Melatonin, energy metabolism, and obesity: a review. **J. Pineal Res.**, v.56, p.371-381, 2014.

CLEVELAND, B.M. et al. Effects of feeding level and sexual maturation on carcass and fillet characteristics and indices of protein degradation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture** v.338, p.228-236, 2012.

COLLEDGE W.H. Kisspeptins and GnRH neuronal signalling. **Trends Endocrinol Metab**, v.20, p.115-121, 2009.

CONDE-SIEIRA M, et al. Oral administration of melatonin counteracts several of the effects of chronic stress in rainbow trout. **Domest Anim Endocrinol**, v.46:p.26-36, 2014.

COWARD, K; BROMAGE, N. R. Histological classification of oocyte growth and the dynamics of ovarian recrudescence in *Tilapia zillii*. **Journal of Fish Biology**, v.53, n.2, p.285-302,1998.

COWARD, K; BROMAGE, N. R. Spawning frequency, fecundity egg size and ovarian histology in groups of *Tilapia zillii* maintained upon two distinct food ration sizes from first feeding to sexual maturity. **Aquatic Living Resources**, v.12:p.11-22,1999.

CRUZ, E. M. V.; BROWN, C. L. Influence of the photoperiod on growth rate and insulinlike growth factor-I gene expression in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Journal of Fish Biology**, v.75, p.130-141, 2009.

DAL PAI-SILVA, M., CARVALHO, R. F., PELLIZZON, C. H., & DAL PAI, V. Muscle growth in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): histochemical, ultrastructural and morphometric study. **Tissue and Cell**, v.35, n.3, p.179-187, 2003.

DELAHUNTY, G. et al. Effects of pinealectomy and melatonin treatment on liver and plasma metabolites in the goldfish, *Carassius auratus*. **General and Comparative Endocrinology**, v.35, n.2, p.99-109, 1978.

DELAHUNTY, G; OLCESSE, J; VLAMING, V. Photoperiod effects on carbohydrate metabolites in the goldfish, *Carassius auratus*: role of the pineal and retinal pathways, **Rev Can Biol**, v.39, n.3, p.173-80, 1980.

DELARETE, D.C., MURGAS, L.D.S., VICENTINI, B. Growth and Survival of Tilapia *Oreochromis Niloticus* (Linnaeus, 1758) Submitted to Different Temperatures during the Process of Sex Reversal. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, n.3, p.895-902, 2009.

EL-SAYED, A.F. M.; KAWANNA, M. Effects of photoperiod on the performance of farmed Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: I. Growth, feed utilization efficiency and survival of fry and fingerlings. **Aquaculture** v.231, p.393-402, 2004.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Noções para piscicultura familiar: qualidade de água, 2016.

FERNANDEZ, D.A et al., 2000. Muscle fibre types and size distribution in subantartic notothenioid fishes. **J.Fish Biol**, v.56,p.1295-1311, 2000.

FILBY, A. L., AERLE, R.V., DUITMAN, J., TYLER, C. R..The Kisspeptin/Gonadotropin-Releasing Hormone Pathway and Molecular Signaling of Puberty in Fish. **Biolog. Reprod.** v.78, n.2, p.278-289, 2008.

FREITAS, T.M.S.; PRUDENTE, B.S.; MONTAG, L.F.A. Length-weight relationship in ten fish species from the Nhamundá River, the Amazon Basin, Brazil. **Acta Amazonica**, v.47: p.75-78, 2017.

FROESE, R. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. **Journal of Applied Ichthyology**, v.22, p.241-253, 2006.

FUJIMURA, K; OKADA, N. Blackwell Publishing Asia Development of the embryo, larva and early juvenile of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae). **Development. Growth Differentiation**, v.49, p.301-324, 2007.

FUJISAWA K. et al. Seasonal variations in photoperiod affect hepatic metabolism of medaka (*Oryzias latipes*). **FEBS Open Bio**, v.11, n.4, 2021.

GINES, R. et al. The effects of long-day photoperiod on growth, body composition and skin color in immature gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). **Aquac Res**, v.35, p.1207-1212, 2004.

GOMIERO, L.M., VILLARES JUNIOR, G.A. BRAGA, F.M.S. Length-weight relationship and condition factor for *Oligosarcus hepsetus* (Cuvier, 1829) in Serra do Mar State Park - Santa Virgínia Unit, Atlantic Forest, São Paulo, Brazil. **Biota Neotrop.**, v.10, n.1, 2009.

GUREVICH, D; SIEGEL, A; CURRIE, P. D. Skeletal Myogenesis in the Zebrafish and Its Implications for Muscle Disease Modelling. **Vertebrate Myogenesis**, v.49-76, 2014.

HANDELAND, S.O. et al. Osmoregulation and growth in a wild and a selected strain of Atlantic salmon smolts on two photoperiod regimes. **Aquaculture**, v.222, p.29-43, 2003.

IRWIG, M.S. et al. Kisspeptin activation of gonadotropin releasing hormone neurons and regulation of KiSS-1 mRNA in the male rat. **Neuroendocrinology**, v. 80, p.264272, 2004.

ISHAK, K. et al. Histological grading and staging of chronic hepatitis. **J Hepatol**, v.22, n.6, p.696-9, 1995.

JOHNSTON, I. A. Muscle development and growth: potential implications for flesh quality in fish. Atlantic, p.99-115, 1999.

JOHNSTON, I.A. et al. Temperature and developmental plasticity of muscle phenotype in herring larvae. **J Exp Biol**, v. 200, p.849-868, 1997.

JOHNSTON, I.A. et al. Muscle fibre density in relation to the colour and texture of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). **Aquaculture**, v.189, p.335-349, 2000.

KASPER, R. S et al. A systematic immunohistochemical survey of the distribution patterns of GH, prolactin, somatolactin, β -TSH, β -FSH, β -LH, ACTH, and α -MSH in the adenohypophysis of *Oreochromis niloticus*, the Nile tilapia. **Cell. Tiss. Research**, v.325, n.2, p.303-313, 2006.

KIM, J. H.; WHITE, S. L.; DEVLIN, R. H. Interaction of growth hormone overexpression and nutritional status on pituitary gland clock gene expression in coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. **Chronobiology International**, v. 32, n.1, p.113-127, 2015.

KIM, J.H; PARK, J. W; KWON, J. Y. Effects of exogenous melatonin on the reproductive activities of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Biological Rhythm Research**, v.49, n.3, p.392-404, 2017.

KISSIL, G.W. et al. Long photoperiod delayed spawning and increased somatic growth in gilthead seabream (*Sparus aurata*). **Aquaculture**, v.200, p.363-379, 2001.

KONKAL, P; GANESH, C.B. Continuous Exposure to Light Suppresses the Testicular Activity in Mozambique Tilapia *Oreochromis mossambicus* (Cichlidae). **Journal of Ichthyology**, v. 60, n.4, p.660-667, 2020.

KUBITZA, F. Questões frequentes dos produtores sobre a qualidade dos alevinos de tilápia. **Panorama da Aquicultura**, v.16, n.97, 2006.

KUBITZA, F. Sistema de recirculação: sistema fechado com tratamento e reúso da água. **Panorama da Aquicultura**, v.16, n.95, p.15-22, 2006.

LADISA, C., MA, Y; HABIBI, H. R. Seasonally related metabolic changes and energy allocation associated with growth and reproductive phases in the liver of male goldfish (*Carassius auratus*). **Journal of Proteomics**, v.241, 2021.

LE CREN, E.D. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonadal weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). **Journal of Animal Ecology**, v.20, p. 201-219, 1951.

LEAL, M.C. et al. Histological and Stereological Evaluation of Zebrafish (*Danio rerio*) Spermatogenesis with an Emphasis on Spermatogonial Generations, **Biology of Reproduction**, v.81, n.1, p.177-187, 2009.

LI, D. et al. Hyperplasia and Cellularity Changes in IGF-1-Overexpressing Skeletal Muscle of Crucian Carp, **Endocrinol**, v.155, n.1, p.2199-2212, 2014.

LOHNE, P. et al. Interactive effect of photoperiod and temperature on the growth rates, muscle growth and feed intake in juvenile Atlantic halibut. **Aquacul Resear**, v.43, v.2, p.187-197, 2011.

LUNDOVA, K. et al. The effects of a prolonged photoperiod and light source on growth, sexual maturation, fin condition, and vulnerability to fungal disease in brook trout *Salvelinus fontinalis*. **Aquaculture Research**. v.50, p.1-12, 2018.

MACINTOSH, D, VARGHESE, T; SATYANARAYANA, G. Hormonal sex reversal of wild-spawned tilapia in India. **J. Fish Biol.**, v.26, p.87-94, 1985.

MARECO, E. A. **Efeitos da temperatura na expressão de genes Relacionados ao crescimento muscular em tilápias do nilo (*Oreochromis niloticus*) linhagem gift**. 2012. 63 f. Dissertação (mestrado em Biologia) - Universidade Estadual Paulista São Paulo, São Paulo, 2012.

MARTÍNEZ-CHAVEZ, C. C. et al. Clock-Controlled Endogenous Melatonin Rhythms in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and African Catfish (*Clarias gariepinus*). **Chronobiology International**, v.25, n.1, p.31-49, 2008.

MARTÍNEZ-CHÁVEZ, C.C. et al. R. Effects of continuous light and light intensity on the growth performance and gonadal development of Nile tilapia. **Rev.Bras. Zootec**, v.50, 2021.

MATTA, S.L. P. et al. The Goitrogen 6-n-Propyl-2-Thiouracil (PTU) Given during Testis Development Increases Sertoli and Germ Cell Numbers per Cyst in Fish: The Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Model. **Endocrin**, v.143, n.3, p.970-978, 2002.

MEDINA, L. S. Sistema de recirculação aquícola: relações peso-comprimento e fatores de condição de quatro espécies de peixes tropicais. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, 2022.

MESSAGER, S. et al. Kisspeptin directly stimulates gonadotropin-releasing hormone release via G protein-coupled receptor 54. **Proc Natl Acad Sci USA**, v.102, p.17611766, 2005.

MONTALBANO, G. et al. Melatonin treatment suppresses appetite genes and improves adipose tissue plasticity in diet-induced obese zebrafish. **Endocrine**, 2018.

MONTERO, M. et al. Molecular evolution of the growth hormone-releasing hormone/pituitary adenylate cyclase-activating polypeptide gene family. Functional implication in the regulation of growth hormone secretion. **Journal of Molecular Endocrinology Society for Endocrinology**, n. 25, v. 2, p.157-168, 2000.

MORAES, L.R. et al. Methionine supplementing effects on intestine, liver and uterus morphology, and on positivity and expression of Calbindin-D28k and TRPV6 epithelial calcium carriers in laying quail in thermoneutral conditions and under thermal stress. **PLoS One**, v.16, n.1, p.1-22, 2021.
n.116, 2004.

NAKAMURA, M; NAGAHAMA, Y Differentiation and development of Leydig cells, and changes of testosterone levels during testicular differentiation in tilapia *Oreochromis niloticus*. **Fish Physiol. Biochem.** v.7, p.211-219, 1989.

NAKAMURA, M; NAGAHAMA, Y. Steroid producing cells during ovarian differentiation of the Tilapia, *Sarotherodon niloticus*. **Dev. Growth Differ.** v.27, n6, p.701–708, 1985.

NASSOUR, I.; LEGER, C.L. Deposition and mobilisation of body fat during sexual maturation in female trout (*Salmo gairdneri richardson*). **Aqua Liv. Res**, v.2, p.153159, 1989.

OLIVEIRA, M.S.B. et al. 2020. Length-weight relationship and condition factor for twelve fish species from the Igarapé Fortaleza basin, a small tributary of the Amazonas River estuary. **Acta Amazonica**, v.50, p.8-11, 2020.

OMEJE V.O; LAMBRECHTS, H; BRINK, D. Use of Pawpaw (*Carica papaya*) Seed in Tilapia Sex Reversal. **Reviews in Agricultural Science**, v.8, p.230-242, 2020.

ORLANDO, T.M.et al. Reproductive performance of female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets with different digestible energy levels. **R. Bras. Zootec**, v.46, n.1, p.1-7, 2017.

PEDREIRA, M.M; COSTA, D.C.; SCHORER, M.The influence of the photoperiod on productive performance and survival of piabanha-of-Pardo (*Brycon vonoi*), hatchery. **Ciência Rural**, v.48, n.1, 2018.

PEREIRA, L. A. L, et al. Health of the Amazonian fish tambaqui (*Colossoma macropomum*): Effects of prolonged photoperiod and high temperature. **Aquaculture**, v.541, 2021.

PICCINETTI, C.C. Melatonin and Peripheral Circuitries: Insights on Appetite and Metabolism in Danio Rerio. **Zebrafish**, v.10, n.3, 2013.

PIFERRER, F. Endocrine sex control strategies for the feminization of teleost fish. **Pineal Res.**, v.56, p.371-381, 2014.

RAD, F. et al. Effects of different long-day photoperiods on somatic growth and gonadal development in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). **Aquaculture**, v.255, n.1-4, p.292-300, 2006.

RAMOS, S.E. et al. Cannibalism, growth performance, and body composition of giant trahira juveniles under different photoperiods. **Pesq. agropec. Bras**, v.53, n.6, p.664-672, 2018.

RIDANOVIC, S; NEDIC, Z.; RIDANOVIC, L. First observation of fish condition from Sava river in Bosnia and Herzegovina. **Journal of Survey in Fisheries Sciences** v.1, n.2, p.27-32, 2015.

ROCHA, M. A. et al. Uso do fator de condição alométrico e de fulton na comparação de carpa (*Cyprinus carpio*), considerando os sexos e idade. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v.26, n 3, p.429-434, 2005.

ROME, L.C. et al. Why animals have different muscle fibre types. **Nature**, v.335, p.824-827, 1988.

ROTHBARD, S, MOAV, B; YARON, Z. Changes in steroid concentrations ontogenesis in tilapia. **Aquaculture**, v.61, p.59-74, 1987. .

ROYCE, W. F. Introduction to the fishery science. New York: Academic Press, 1972
 SAARELA, S; REITER, R. J. Function of melatonin in thermoregulatory processes. **Life Sciences**, v.54, n.5, p.295-311, 1994.

SAARELAS, REITERRJ. Function of melatonin in thermo-regulatory processes. **Life Sci**;v.54, p.295–311, 1994.

SILVA et al. Tilápia-do-Nilo: criação e cultivo em viveiros no estado do Paraná. Curitiba: GIA, 2015. Disponível em:<<https://gia.org.br/portal/wpcontent/uploads/2017/12/Livro-pronto.pdf>>. Acessado em 20 de setembro de 2019.

SINGH, A; ZUTSHI, B. Photoperiodic effects on somatic growth and gonadal maturation in Mickey Mouse platy, *Xiphophorus maculatus* (Gunther, 1866). *Fish Physiol Biochem*, 46, p.1483-1495, 2020.

SINGH, R.; SINGH, A. K.; TRIPATHI, M. Melatonin Induced Changes in Specific Growth Rate, Gonadal Maturity, Lipid and Protein Production in Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758). **Asian Australasian Journal of Animal Sciences**, v.25, n.1, p.37-43, 2012.

STOIBER, W. et al. Cellularity changes in developing red and white fish muscle at different temperatures: simulating natural environmental conditions for a temperate freshwater cyprinid. **J Exp Biol**, v.205, n.16, p.2349–2364, 2002.

JOHNSTON, I.A; DAVISON, W; GOLDSPINK, G. Energy-metabolism of carp swimming muscles. **J Comp Physiol**, v.114, n.2, p.203-216, 1977.

TANAKA, H.et al. Ketone bodies could support the motility but not the acrosome reaction of mouse sperm. **International Journal of Andrology**, v.27: p.172-177, 2004.

Temperature Chan in Fish Larvae. **American Fisheries Society Symposium**, v.85, teoria e prática. Nupélia, Maringá, p.169, 1996.

TOGUYENI, A. et al. Feeding behaviour and food utilisation in tilapia, *Oreochromis niloticus*: Effect of sex ratio and relationship with the endocrine status. **Physiology and Behavior**, v. 62, n. 2, p. 273-279, 1997.

TOGUYENI, A. et al. Influence of sexual phenotype and genotype , and sex ratio on growth performances in tilapia , *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v.207, p.249-261, 2002.

VARADARAJ, K; KUMARI, S. S; PANDIAN, T. J. Comparison of Conditions for Hormonal Sex Reversal of Mozambique Tilapias. **The Progressive Fish-Culturist**, v.56, n.2, p.81-90, 1994.

VAZZOLER, A.E.A.M. Biologia da reprodução de peixes teleósteos:

VERAS, G. C. et al. Efeito do fotoperíodo sobre a composição do filé de juvenis de tilápia do Nilo. **Ciência Animal Brasileira**, v. 15, n. 2, p.168-173, 2014.

VERAS, G. C. **Fotoperíodos no comportamento locomotor e desenvolvimento de alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. 2011. 98 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras Minas Gerais, Minas Gerais, 2011.

WANG, J. et al. Molecular characterization of the MuRF genes in rainbow trout: Potential role in muscle degradation. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol*, v.158, n.3, p.208–215, 2011.

WANG, K et al. Effects of light intensity and photoperiod on the growth and stress response of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a recirculating aquaculture system. **Aquaculture and Fisheries**, article in press, 2020.

WEATHERLEY A, GILL H. **Biology of fish growth**. San Diego, CA: Academic Press, 1987.

WEATHERLEY, A. Approaches to understanding fish growth. **Trans Am Fish Soc**, v.119, p.662-672, 1990.

WEATHERLEY, A.H., GILL, H.S., LOBO, A.F., Recruitment and maximal diameter of axial muscle fibres in teleost and their relationship to somatic growth and ultimate size. **J. Fish Biol.** 33, p.851-859, 1988.

WEATHERLEY, A; GILL, H. The role of muscle in determining growth and size in teleost fish. **Experientia**, v.45, p.875-878, 1989.

WELTZIEN, F. A. et al. The brain–pituitary–gonad axis in male teleosts, with special emphasis on flatfish (Pleuronectiformes). *Comparat. Biochem. Physiol. Part A: Molecul. Integrat. Physiol.* v.137, n.3, p.447-477. 2004.

ZIMMERMAN, A. M; LOWERY, M. S. Hyperplastic development and hypertrophic growth of muscle fibers in the white seabass (*Atractoscion nobilis*). **Journal of Experimental Zoology**, v.284, n.3, p.299-308, 1999.

ZOU, H. et al. Influence of long (16L:8D) and short (8L:16D) photoperiods on blood metabolites and hepatic metabolism in Olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. **SpringerPlus**, v.5, n1, 2016.

APÊNDICES

APÊNDICE 1= Artigo 1

**Efeito do fotoperíodo na sobrevivência de larvas da tilápia nilótica
(*Oreochromis Niloticus*) submetidas a diferentes fotoperíodos**

**Effect of photoperious on survival of nilotic tilapia larvae (*Oreochromis
Niloticus*) submitted to different photoperiouses**

DOI:10.34117/bjdv6n6-217

Recebimento dos originais: 09/05/2020

Aceitação para publicação: 09/06/2020

Márcia Dantas dos Santos

Doutoranda em Ciências Fisiológicas pela Universidade Federal da Paraíba

Instituição: Universidade Federal da Paraíba

Endereço: Cidade Universitária Campus 1, Castelo Branco, João Pessoa-PB, Brasil.

E-mail: marciadantas04@hotmail.com

Bernadete de Oliveira Costa

Graduanda em Agroindústria pela Universidade Federal da Paraíba

Instituição: Universidade Federal da Paraíba

Endereço: Sítio Varzante, S/N, Tacima - PB, Brasil

E-mail: oliveirabell45@gmail.com

Silvana da Silva Vicente

Graduanda em Agroindústria pela Universidade Federal da Paraíba

Instituição: Universidade Federal da Paraíba

Endereço: Sítio pombo Tacima-PB, Brasil

E-mail: silvasill42@gmail.com

Raniele da Silva Ferreira

Graduanda em Agroindústria pela Universidade Federal da Paraíba

Instituição: Universidade Federal da Paraíba

Endereço: Severino Pereira da Cunha, Loteamento Flórida, Remígio - PB, Brasil

Email: raniiferreirall@gmail.com

Thais Estefany Sinésio da Silva

Técnica em aquicultura pelo colégio Agrícola Vidal de Negreiros.

Instituição: Universidade Federal da Paraíba

Endereço: Sítio Dois Irmãos, Zona Rural, Pirpirituba- PB, Brasil

E-mail: thaisestefy@gmail.com

Brazilian Journal of Development

Marino Eugênio de Almeida Neto

Doutor em Psicobiologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Instituição: Universidade Federal da Paraíba
Endereço: Campus Universitário III, João Pessoa, S/N, Bananeiras - PB, Brasil.
E-mail: marinoalmeida@yahoo.com.br

Ian Porto Gurgel do Amaral

Doutor em Biologia pela University of St Andrews
Instituição: Universidade Federal da Paraíba
Endereço: Cidade Universitária Campus I, Castelo Branco, João Pessoa-PB, Brasil.
E-mail: ianamaral@cbiotec.ufpb.br

RESUMO

A tilápia tornou-se o peixe mais importante e significativo na produção de pescados do Brasil, observando tal importância, muito tem se pesquisado objetivando melhorar ainda mais o desempenho do animal. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do fotoperíodo na sobrevivência de larvas de tilápia Nilótica (*Oreochromis niloticus*) submetidas a diferentes fotoperíodos (12/12h claro:escuro, 18/06h claro:escuro e 24h claro controlado, C:E, C1:E1, C:C, respectivamente) durante 7 dias de experimento. Para tanto, montou-se um sistema de recirculação com 9 caixas d'água de polietileno (1000l/cada), sendo 3 caixas para cada fotoperíodo, as quais continham 2 incubadoras de garrafa PET cada, sendo estas povoadas com 111 ovos. Tendo assim, um total 1.998 embriões. Os parâmetros de qualidade da água mantiveram-se dentro da normalidade. Para análise da sobrevivência realizou-se o teste do Qui-quadrado, a fim de verificar as frequências absoluta, relativa e possíveis diferenças entre os fotoperíodos e dias. Contudo, não observou-se diferença estatística entre os fotoperíodos C:E, C1:E1 e C:C ($p < 0,4990$), mas entre os dias ($p < 0,0001$), com uma alta taxa de mortalidade entre os dias, precisamente no 2º dia. Assim, não foi observado diferença estatisticamente significativa entre os fotoperíodos na sobrevivência das larvas durante uma semana de cultivo.

Palavras chave: luz; produção; tilápia; mortalidade

ABSTRACT

Tilapia has become the most important and significant fish in fish production in Brazil, observing such importance, much has been researched aiming to further improve the animal's performance. In this sense, the objective of this work was to evaluate the effect of the photoperiod on the survival of Nilotic tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae submitted to different photoperiods (12 / 12h clear; dark, 18 / 06h clear; dark and 24h light controlled, C: E, C1: E1, C: C, respectively) during 7 days of experiment. For this purpose, a recirculation system was set up with 9 polyethylene water tanks (1000l / each), with 3 boxes for each photoperiod, which contained 2 PET bottle incubators each, these being populated with 111 eggs. Thus having a total of 1,998 embryos. The water quality parameters remained within the normal range. For the analysis of survival, the Chi-square test was performed in order to verify the absolute, relative frequencies and possible differences between photoperiods and days. However, there was no statistical difference between photoperiods C: E, C1: E1 and C: C ($p < 0.4990$), but between days ($p < 0.0001$), with a high mortality rate between days, precisely on

the 2nd day. Thus, there was no statistically significant difference between the photoperiods in larvae survival during one week of cultivation.

Keywords: light; production; Tilapia; mortality.

1 INTRODUÇÃO

O setor de pesca e a aquicultura são capazes de fornecer alimento de alta qualidade e, de gerar emprego tanto em países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento, e por isso é considerado pela ONU como atividades relevantes para a segurança alimentar sustentável do planeta (ARANA, 1999).

Durante as últimas décadas a piscicultura brasileira vem sofrendo transformações, tendo se firmado como importante atividade no agronegócio (FIRETTI; GARCIA; SALES, 2007). Nos anos 90 a produção de tilápia posicionou o Brasil entre os maiores produtores do mundo (SCHUEFER, 2017).

A tilápia tornou-se o peixe mais importante e representativo na produção de pescados do Brasil com um total estimado de 75.000 toneladas no ano de 2002 (KUBITZA, 2003). No grupo das tilápias (*Oreochromis spp*) tem destaque a tilápia do nilo (*O. niloticus*), que em termos mundial é o segundo peixe mais produzido, sendo precedido somente pela produção de carpas (*Cyprinus carpio*) (ZIMMERMANN; FITZSIMMONS, 2004).

As tilápias são originárias da África, e teve sua introdução no Brasil em 1971 (MAINARDES-PINTO, 2000). A produção comercial de tilápia apresenta um aumento em todo o mundo e, do ponto de vista da produção em cativeiro, a cultura de tilápia é o que mais cresce no mundo e na atualidade é a segunda mais cultivada no mundo, e a primeira no Brasil (OLIVEIRA et al., 2007). Com a modernização e a intensificação do aumento de produção em reservatórios, tanques-redes e em viveiros escavados teve-se um aumento de produção de tilápia Nilótica em dez anos, entre 2005 e 2015 de 223% (EMBRAPA, 2017).

Nesse contexto, vendo assim a importância do crescimento do comércio de peixes no Brasil e no mundo, em especial a tilápia Nilótica, muito tem se pesquisado com objetivo de melhorar o desempenho do animal durante o ciclo produtivo. E o uso do fotoperíodo tem sido uma ferramenta que atua diretamente sobre o crescimento, por meio de sua influência sobre ritmos endógenos (ENDAL et al., 2000) e por intermédio de fotostimulação direta do eixo somatotrófico (FALCON et al., 2010).

Nessa perspectiva, o objetivo da pesquisa foi averiguar os efeitos do fotoperíodo sobre a sobrevivência da tilápia Nilótica durante a fase larval do desenvolvimento animal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de fotoperíodo foi realizado no laboratório de Piscicultura do Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (CCHSA/UFPB). O projeto foi submetido ao Comitê de Ética de Utilização Animal (CEUA/UFPB) com número de inscrição 7435020618.

2.1 MONTAGEM DO SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA

Realizou-se um sistema de recirculação com 9 caixas d'água de polietileno com capacidade de 1000 litros cada, sendo usado 3 caixas para cada fotoperíodo. Cada caixa estava integrada a um sistema de drenagem individual por meio de *air lift*, conectado a um dreno central, desembocando-se numa caixa de 2000 litros, responsável para filtração biológica. Esta constituiu-se de camadas de tijolos, telhas e espumas. A filtração química e física deu-se por meio de carvão ativado e lã acrílica, respectivamente. Integrou-se ao sistema uma caixa com capacidade de 500 litros responsável, após o processo de filtração, por abastecer todas as demais. Para tanto, utilizou-se uma bomba d'água periférica, com vazão de 1800litros/h. Para manutenção constante da temperatura em 28°C, cada caixa compunha de um termostato e termômetro submerso para avaliação diária (Figura 1).

A aeração foi fornecida por meio de um soprador modelo ¾ de H.P, tensão de 220V monofásico, vazão de 2,1 m³/min. Para difusão do oxigênio dissolvido, instalou-se mangueiras de plástico siliconadas de 4mm para aquário e pedras porosas, as quais foram distribuídas por todas as caixas. A fonte de iluminação para os três fotoperíodos (12/12h claro:escuro, 18/06h claro:escuro e 24h claro, sendo C:E, C:Er, C:C, respectivamente), foi fornecida por luminárias led de 12w e controlada por temporizadores digitais.

Figura 1 - Sistema de recirculação utilizada no experimento.



Fonte: acervo da pesquisa, 2019.

Nota: A) Sistema de recirculação com 9 caixas d'água de polietileno. B) Caixa de 2000 litros, responsável pela filtração da água.

2.2 CULTIVO DOS ANIMAIS

O sistema foi povoado com 1.998 embriões, doados da Piscicultura São José, município de Bananeiras (PB). Os espécimes foram transportados em sacos plásticos, aclimatados por 30 minutos à água do sistema, em caixa térmica. Em seguida, foram lavados e desinfetados em banho com solução formalina 10% por um período de 30s (Silva et al, 2015). Com a ajuda de uma peneira de plástico os ovos ficaram imersos nessa solução por um tempo de 30 segundos, e em seguida foram contados. Logo depois foram passados para um recipiente contendo água do sistema por onde, com um auxílio de uma pipeta Pasteur, passaram por uma seleção de ovos férteis e lavagem para remoção de possíveis resíduos da solução, descartando assim os inférteis para que procedesse uma contagem dos ovos. Posteriormente foram distribuídos nas incubadoras, de garrafa PET, que estavam instaladas dentro das caixas d'água. Cada caixa possuía termostato, duas incubadoras, sendo estas povoadas com 111 ovos cada e bandejas de plásticos para povoamentos após eclosão dos embriões. A aeração foi promovida por meio de pedra porosa (Figura 2).

Figura 2- Estrutura interna do sistema de recirculação e seleção de ovos para povoamento.



Fonte: acervo da pesquisa, 2019.

Nota: A) Parte interna da caixa com bandejas de plásticos, aeração, incubadoras e termostato. B) Desinfecção dos mos com solução formalina 10%. C) Seleção de ovos férteis D) Incubadora de PET.

Os parâmetros potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido(OD), e temperatura foram aferidos diariamente por meio PHmetro de bancada ® (LUCA-210), Oxímetro digital ® (MO-900), e termômetro de mercúrio, respectivamente. Os compostos nitrogenados foram analisados utilizando o Fotcolorímetro de bancada ® (AT- 100PB), e a alcalinidade pelo método de titulação, os quais foram mensurados a cada três dias, os quais se mantiveram entre os padrões de normalidade.

2.3 TAXA DE MORTALIDADE

A água das incubadoras foram trocadas duas vezes ao dia, pela manhã e tarde. Após eclosão completa dos embriões, as larvas foram transferidas para bandejas plásticas conforme sugere Silva et al (2015). Nesse período verificou-se a taxa de mortalidade por meio de observações dos corpos presentes nas unidades experimentais, durante 7 dias de experimento. Os indivíduos mortos foram retirados e registrados diariamente, contados para análise da mortalidade, e os residuais foram os sobreviventes considerando-os para análise da taxa de sobrevivência.

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análise da sobrevivência realizou-se o teste do Qui-quadrado de Pearson, com grau de liberdade igual a 1 e probabilidade de erro de 5% através do PROC FREQ do pacote estatístico SAS (2001), a fim de verificar as frequências absoluta e relativa, e possíveis diferenças entre os fotoperíodos e dias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tilápia é uma espécie bastante resistente sobrevivendo as mais variadas condições ambientais. Contudo, na fase inicial do seu desenvolvimento apresenta uma alta taxa de mortalidade, devido maior fragilidade desta faixa etária às condições do sistema de incubação artificial (LITTLE et al. 1995).

Nesse contexto, verificou-se que a sobrevivência dos peixes, na primeira semana de vida, não apresentou diferenças significativas entre os fotoperíodos, a partir do teste do Qui-Quadrado, com $p > 0.490$. Contudo, em relação aos dias verificou-se diferenças estatisticamente significativas com $p < 0.0001$, com mortalidade significativa, em especial no 2º dia de vida do animal (Tabela 1).

Tabela 1 - Taxa de sobrevivência de exemplares da tilápia Nilótica durante 7 dias de experimento sob fotoperíodos C:E, C:E₁ e C:C.

		1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*
C:E	(n)	666	282	224	219	211	217	216
	(%)	10.77	4.56	3.62	3.54	3.41	3.51	3.49
C:E ₁	(n)	666	282	249	244	236	217	217
	(%)	10.77	4.62	4.03	3.95	3.65	3.51	3.52
C:C	(n)	666	282	242	234	207	207	207
	(%)	10.77	4.56	3.91	3.75	3.35	3.35	3.35
Total	(n)	1998	850	715	697	644	641	640
Valor de p								
Fotoperíodo							0.4990	
Dias							<0.001	

Fonte: a autora (2019).

Nota: Valores apresentados em frequência absoluta e relativa. Peixes em triplicata para os três fotoperíodos. Teste utilizado Qui-quadrado considerando o valor de $p < 5\%$.

Foram consideradas algumas questões para que o ambiente de cultivo apresentasse em ótima condição, como: controle dos parâmetros de qualidade da água; a quantidade ideal dos ovos a serem incubados respeitando-se um quarto do fundo do recipiente conforme sugere

Brazilian Journal of Development

Silva et al (2015); e os embriões permaneceram na coluna d'água, por meio da acção promovida pela pedra porosa, e assim evitando excesso de fricção entre os ovos.

No entanto, a incubadora não foi atrelada ao sistema de recirculação. Contudo, a literatura preconiza que os ovos da tilápia Nilótica podem ser incubados em qualquer recipiente que permita uma movimentação suave dos ovos na coluna de água (BROMAGE; ROBERTS, 1995). Dessa forma, a taxa de renovação não foi considerada e, talvez esta tenha contribuído para alta mortalidade dos animais em todos os fotoperíodos, no 2º dia de vida e, a partir deste, os animais continuaram morrendo, porém, com taxas menores. Pode-se atribuir esse resultado ao momento que os animais já estavam nas bandejas de plástico com água circulante.

Segundo Bromag; Roberts (1995) sobre sistemas de recirculação, recomenda-se ter um controle da temperatura como também da qualidade de água, que é de extrema importância para o sucesso da eclosão e incubação de ovos/embriões de tilápia Nilótica.

Nesse contexto, nessa fase inicial do desenvolvimento da tilápia Nilótica os animais são bem vulneráveis e exigem cuidados bastante intensivos para um melhor cultivo e produção animal. É importante ressaltar que nos sistemas de produção outros fatores afetam a produtividade de ovos e larvas, sendo estes integrados a peculiaridades reprodutivas da espécie, como o hábito reprodutivo não simultâneo e a baixa fecundidade (LITTLE et al., 1993). Contudo, esses aspectos podem ser minimizados diante de um manejo cauteloso e equipado de todo o sistema.

4 CONCLUSÕES

Os fotoperíodos C:E, C:L:E e C:C não afetaram, estatisticamente, a sobrevivência das larvas durante uma semana de cultivo. Contudo, observou-se alta taxa de mortalidade nessa fase do desenvolvimento animal, especificamente no 2º dia de vida do animal.

Testar situações de fotoperíodos em variadas espécies, para conhecer seus efeitos na sobrevivência é apenas uma das possibilidades a serem contempladas por aqueles que se interessam pela produção de tilápias. A continuidade deste tipo de pesquisa contribuirá para o acréscimo de informações úteis ao desenvolvimento da produção e na qualidade do pescado dentro da área de piscicultura.

REFERÊNCIAS

- ARANA, L.V. **Aquicultura e Desenvolvimento Sustentável: subsídios para a formulação de políticas e de desenvolvimento da aquicultura brasileira**. p.310. 1999.
- BRASIL, Ministério do planejamento, desenvolvimento e gestão. **Evolução da piscicultura no Brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva de tilápia**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_2328.pdf>.
- BROMAGE, N. R.; ROBERTS, R. J. **Broodstock management and egg and larval quality**. Blackwell Science.
- EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Pesca e aquicultura. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/21621836/producao-de-tilapia-no-brasil-cresce-223-em-dez-anos>>. Acesso em: 20 de setembro de 2019.
- ENDAL, H.P., et al. Effects of continuous additional light on growth and sexual maturity in Atlantic salmon *Salmo Salar*, reared in sea cages. **Aquaculture**, v.191, p. 205-214. 2000.
- FALCON, J. et al. Current knowledge on the melatonin system in teleost fish. **General and Comparative Endocrinology**, v.165, n. p.469-482, 2010.
- FIRETTI, R.; GARCIA, S. M.; SALES, D. S. Planejamento estratégico e verificação de riscos na piscicultura. **Pesquisa & Tecnologia**, v.4, n.2. 2007.
- KUBITZA, F. A evolução da tilapicultura no Brasil: produção e mercados. **Panorama da Aquicultura**, v.13, n.76, p.25-35, 2003.
- LITTLE, D. C.; LIN, C. K.; TURNER W. A. Commercial scale tilapia fry production in Thailand. **Journal of the World Aquaculture**, v.26, n.4, p.21-24 1995.
- MAINARDES-PINTO, C. S. R. et al. Masculinização da Tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, utilizando diferentes rações e diferentes doses de 17 α -metiltestosterona. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.3, p. 654-659, 2000.
- OLIVEIRA, E.G. et al. Produção de tilápia: Mercado, espécie, biologia e recria. **Circular Técnica**, v.45, n.12, p.1-12, 2007.
- SILVA et al. **Tilápia-do-Nilo: criação e cultivo em viveiros no estado do Paraná**. Curitiba: GIA. 2015. Disponível em:<<https://gia.org.br/portal/wp-content/uploads/2017/12/Livro-pronto.pdf>>. Acessado em 20 de setembro de 2019.
- ZIMMERMANN, S.; FITZSIMMONS, K. **Tilapicultura intensiva**. In: CYRINO, J. E. P. URBINATI, E. C. FRACALOSI, D. M. CASTAGNOLLI, N. **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**, São Paulo: Tec Art, p. 239-266, 2004.

APÊNDICE 2= Artigo 2

Diversitas Journal

ISSN 2525-2515

DOI: 10.48017/Diversitas_Journal-V5i2-1769

Volume 5 Número 2 (jul./set. 2021) pp: 1609–1621.

https://periodicos.ufal.edu.br/diversitas_journal/

© Diversitas Journal



Mortality rate of newly hatched larvae of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) submitted to different photoperiods

Página | 3209

Mortalidade de larvas recém-eclodidas da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) submetidas a diferentes fotoperíodos

Márcia Dantas dos Santos¹; Bernadete de Oliveira Costa²;
Jucilene Pereira de Sousa³; Neila Lidiany Ribeiro⁴;
Marino Eugênio de Almeida Neto⁵; Ian Porto Gurgel do Amaral⁶

¹ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6704-1771>; Doctorate candidate: Universidade Federal de Paraíba - UFPB, João Pessoa, PB, Researcher: E-mail: marciadantas04@hotmail.com

² ORCID: <https://orcid.org/0000-0004-7864-0610>; Agronomy undergraduate student: Universidade Federal de Paraíba - UFPB, João Pessoa, PB, Researcher: E-mail: bernadete03@gmail.com

³ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4221-6127>; Doctorate candidate: Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza, CE, Researcher: E-mail: jucilene.angelina@gmail.com

⁴ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6410-0400>; Researcher: Instituto Nacional de Saúde - INSA, Campina Grande, PB, Researcher: E-mail: neila03@hotmail.com

⁵ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4271-7177>; Teacher: Universidade Federal de Paraíba - UFPB, João Pessoa, PB, Teacher, Researcher: E-mail: marinoalmeida@ufpb.edu.br

⁶ ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-0400-0410>; Teacher: Universidade Federal de Paraíba - UFPB, João Pessoa, PB, Teacher, Researcher: E-mail: ianamaral@ufpb.edu.br

Tudo o que está impresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos seus autores.

Recebido em 20/02/2021; aceite em 13/07/2021; publicado em 01/08/2021. Copyright © Autor, 2021.

ABSTRACT: Fish farming is a growing area in the aquaculture industry. Brazil is among the five largest tilapia producers in the world, with a production of 622 thousand tons in 2017. Tilapia has been intensively cultivated and improved through more efficient cultivation techniques. In this study, the objective was to evaluate the mortality rate of newly hatched larvae of Nile tilapia reared three photoperiods (12Light:12Dark, 12L:0D, and 0L:12D) during 5 days of cultivation. For this purpose, a recirculation system with 3 water tanks was set up, with 2 buckets per group containing 200L of freshwater. After the embryos hatched, the larvae were transferred to buckets (2 trays per tank, 4 = 20 larvae/tray), with 200 larvae per photoperiod. Water quality parameters were monitored and maintained in the ideal ranges between treatments. However, temperature ($p = 0.004$) and pH values ($p = 0.008$) for the 12L:0D photoperiod were lower than those observed for the 0L:12D photoperiod. A high mortality rate was observed in the first days of culture, specifically on the second day, for all photoperiods. However, there was a decrease in mortality throughout the experiment, with little variation in the mortality rate for the remainder of the experiment. In this context, it appears that the influence of the photoperiod on the survival of the fish seems to be related to the age of the animal.

KEYWORDS: Tilapia farming, Survival, Light stimulation.

RESUMO: A piscicultura é uma área em potencial desenvolvimento na área de aquicultura. O Brasil encontra-se entre os cinco maiores produtores de tilápia, no mundo, atingindo uma produção de 622 mil toneladas, em 2017. Tilápia tem sido intensamente cultivada e melhorada através de técnicas de cultivo mais eficientes. Neste estudo, o objetivo foi avaliar a taxa de mortalidade de larvas recém-eclodidas da tilápia do Nilo submetidas a três fotoperíodos (12Luz:12Escuridão, 12L:0E e 0L:12E) durante 5 dias de cultivo. Para tanto, montou-se um sistema de recirculação com 3 tanques d'água, tendo 2 baldes por grupo contendo 200L de água doce. Após eclodirem os embriões, as larvas foram transferidas para bacias (2 bandejas por tanque d'água, 4 = 20 larvas/bandeja), com distribuição de 200 larvas por fotoperíodo. Os parâmetros de qualidade da água foram monitorados e mantidos dentro das faixas ideais entre os tratamentos. Porém, os valores de temperatura ($p = 0,004$) e pH ($p = 0,008$) para o fotoperíodo 12L: 0E foram menores do que os observados para o fotoperíodo 0L: 12E. Observou-se alta mortalidade nos primeiros dias de cultivo, especificamente no segundo dia, para todos os fotoperíodos. Contudo, verificou-se uma diminuição da mortalidade ao longo do experimento, com pouco variação da taxa de mortalidade para o restante do experimento. Neste contexto, parece que a influência do fotoperíodo, sobre a sobrevivência do peixe, parece estar relacionada à idade do animal.

PALAVRAS-CHAVE: Cultivo de tilápia, Sobrevivência, Estimulação luminosa.

MORTALITY RATE OF NEWLY HATCHED LARVAE OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) SUBMITTED TO
DIFFERENT PHOTOPERIODS

MORTALIDADE DE LARVAS RECÉM-ECLODIDAS DA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) SUBMETIDAS A
DIFERENTES FOTOPERÍODOS

SANTOS, Mircia Dantas dos; COSTA, Bernadete de Oliveira; SOUZA, Juliana Ferreira da; KIEKHO, Stella Lidiane;
ALMEIDA NETO, Marcos Eugênio da; AMARAL, Ian Faria Gurgel de

INTRODUCTION

Página | 3110

Aquaculture is an ancient production model that originated in Asia. Currently, it is understood as a primary activity to address the population's nutritional deficiency. This is because it generates an excellent source of animal protein and because it creates job opportunities and revenues (ROCHA; RODRIGUES, 2015). This industry not only supplies protein-rich foods to a large and growing market but also indirectly reduces the pressure on the least sustainable fish populations from a production standpoint (BURGGREN *et al.*, 2015).

In 2015, 167.2 million tons of fish were produced, the majority of which came from fishing, with 55.9 million and 75.5 million coming from cultivation by aquaculture worldwide, respectively (FAO, 2016). In 2016, world fish production reached 171 million tons, with carp and tilapia as the main fish species in terms of production (FAO, 2016).

Tilapia are originally from Africa and arrived in Brazil around 1871 (MAINARDES-PINTO, 2000). They were initially introduced in dam reservoirs with the intention of restocking and consequent promotion for artisanal fishing and food security for local populations (EMBRAPA, 2015). There are several species of tilapia, and each has positive and negative characteristics according to the growing environment. Initially, in Brazil, *Tilapia rendalli* was introduced, which was later replaced by Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) which showed greater weight gain and growth in addition to good meat quality (DRUZIAN *et al.*, 2015). Tilapia are tolerant to heat, thus farming is especially successful in hot climates, with Nile tilapia usually grown in open ponds or hydrographic basins at temperatures of 30 to 35°C (BURGGREN *et al.*, 2015).

The total production of tilapia in Brazil reached 557 thousand tons in 2017, based on data published in 2018 by the Brazilian Association of Pisciculture, amounting to 31.7% of the total fish production in Brazil. This volume of production places Brazil among the world's four largest tilapia producers.

Tilapia larviculture corresponds to the most delicate period in the production chain, as it is from this stage that the best desired quality and animal production indexes are obtained (MEURER *et al.*, 2005). It is at this moment that the process of sexual

MORTALITY RATE OF NEWLY HATCHED LARVAE OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) SUBMITTED TO DIFFERENT PHOTOPERIODS

MORTALIDADE DE LARVAS RECÉM-ECLODIDAS DE TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) SUBMETIDAS A DIFERENTES FOTOPERÍODOS

TAYLOR, Mirian Dantas dos; COSTA, Bernadete de Oliveira; SOUSA, Jussara Feres da; KIKKIO, Nelly Lidiane; ALMEIDA NETO, Márcio Eugênio da; AMARAL, Jan Faria Gurgel da

reversion takes place, a technique that produces a phenotypically monosex population, with the main purpose of controlling population density in the cultivation unit (BEARDMORE *et al.*, 2001).

Página | 3211

Density is an important factor in intensive fish farming, so it must be conducted in a planned manner, managed with technical and scientific criteria and guided by legal guidelines, to ensure the sustainable development of the activity (AYROZA; FURLANETO; AYROZA, 2009). Intensive cultivation, in aquaculture, is based on the offer of balanced food and with high-density rates following regular and frequent monitoring of the physical-chemical parameters of the water. These elements are crucial for the success of intensive farming in fish farming (EL-SAYED, 2009).

Also, research on photoperiod has been identified as a possible way of improving fish farming (TAYLOR; MIGAUD, 2008; BIZARRO, 2015). Photoperiod corresponds to the duration of the light time over the 24-hour cycle (BROMAGE *et al.*, 2001), and it influences the development and survival of the animal, as light helps both in feeding strategy and in stimulating metabolic activities of several fish species, including Nile tilapia species (REYNALTEZTATAJE *et al.*, 2006). Research in Nile tilapia juveniles treated in different photoperiods has shown better results such as increased protein synthesis and decreased fat accumulation in photoperiod 16h light 8h dark (16L:8D) (VERAS *et al.*, 2015). A study carried out with fry showed better growth and increased mass in the larger light cycles, at 16L:8D and 24L:0D compared to photoperiods with extended dark periods (VERAS *et al.*, 2016).

In this context and considering some benefits of the photoperiod the objective of this research was to verify the mortality rate of newly hatched Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae submitted to different photoperiods in an intensive cultivation system for 5 days.

MATERIAL AND METHODS

Location and ethics

To carry out this study, intensive cultivation systems were set up under different photoperiods at the Shrimp Laboratory of the Center for Human, Social and Agrarian

MORTALITY RATE OF NEWLY HATCHED LARVAE OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) SUBMITTED TO
DIFFERENT PHOTOPERIODS

MORTALIDADE DE LARVAS RECÉM-ECLODIDAS DA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) SUBMETIDAS A
DIFERENTES FOTOPERÍODOS

SANTOS, Mircia Dantas de; COSTA, Bernadete de Oliveira; SOUSA, Juliana Ferreira de; KISSINO, Nelly Lidiane;
ALMEIDA NETO, Marlene Eugênia de; ANARAL, Jan Faria Gurgel de

Science at the Federal University of Paraíba, Brazil (CCHSA / UFPB). This is located in the city of Bananeiras, Paraíba, Brazil, which, according to the 2010 Census of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), has an area of 256km², an altitude of 552m above sea level, a latitude of 6°55'0" and a longitude West 32°0'30" (IBGE, 2017).

Página | 3117

The animals were kept under controlled conditions and all handling was carried out following the ethical principles required by the National Council for Animal Experimentation Control (CONCEA) and the experiments were performed after approval by the Animal Use Committee of the Federal University of Paraíba (CEUA-UFPB) under protocol number 7981110321/ 2021.

Experimental set-up

The experimental design was entirely random, with three photoperiod treatments in triplicate: 12 hours of light and 12 hours of the dark - 12L:12D; 12 hours of light and 6 hours of the dark - 12L:6D; and 24 hours of light and 0 hours dark - 24L:0D).

The *Oreochromis niloticus* embryos used in the experiment were acquired from the fish farm São José at Bananeiras, Paraíba, Brazil. The specimens were carried in plastic bags, with water and oxygen, to the laboratory.

Before seedling, the embryos were acclimatised for 60 minutes to the system water, in a thermal box, for gradual adaptation to the physical and chemical conditions of the water. Subsequently, they were washed and disinfected in a bath with 10% formalin solution for 60 seconds (SILVA *et al.*, 2015). Then they were transferred to a container with water from the system which, with the aid of a Pasteur pipette, underwent a thorough selection to remove residue from the washing solution and to obtain fertile eggs. The embryos were counted and distributed in polyethylene bottle incubators that were installed in the water tanks.

After hatching, considered the 1st day of the experiment, dead animals were removed and the hatched animals were measured and transferred to nurseries, according to the density described in Silva *et al.* (2015). Each of the three replicate water tanks

MORTALITY RATE OF NEWLY HATCHED LARVAE OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) SUBMITTED TO
DIFFERENT PHOTOPERIODS

MORTALIDADE DE LARVAS RECÉM-ECLODIDAS DA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) SUBMETIDAS A
DIFERENTES FOTOPERÍODOS

SANTOS, Mircia Dantas dos; COSTA, Bernadete de Oliveira; SOUSA, Juliana Ferreira dos; RIBEIRO, Mafra Ediney;
ALMEIDA NETO, Marcos Eugênio dos; ALMEIDA, Jan Faria Gurgel de

contained 2 nursery trays with 60 fish per tray), amounting 528 larvae per photoperiod. In the morning and afternoon, the nurseries were cleaned and dead animals were counted and removed from the tanks.

Página | 321

Water recirculation system and photoperiod regime

The water recirculation system was divided into three photoperiod regimes, each containing three 1000L polyethylene water tanks, which were fed by a 2000L reservoir and another 300L allocated inside the cultivation room and connected to the system. Chemical, physical and biological filtration of the water in the 2000L reservoir was carried out. The second reservoir (300L) fed the entire system with the aid of a 1200L/h peripheral water pump (Ferrari®, Acquaump®).

For temperature control and monitoring, each box was equipped with a thermostat and a submerged thermometer. The oxygen was maintained using a radial air blower (model SR58107AA01) with a power of 94 HP with a flow rate of 2.1m³/min. Silicone hoses with porous stones were installed into each tank to diffuse the air from the blower. A digital oximeter (Instrutherm®, MO-800, Brazil) and the pH-meter (Tecnopon®, LUCA-210, Brazil) were used to monitor oxygen and pH levels. Ammonia concentration was analysed using a bench-top photocolormeter (Alfakit® AT-100PB), and the alkalinity level by the titration method, both were measured weekly.

LED lamps (12W, LLUM Bronacarte, Slim LED) were used as a light source as described by Veras (2011) and were controlled by digital timers to obtain three photoperiods. The lights of the experimental periods 12L:12D and 12L:6D were switched on at 7 am and 1 am, respectively. The lights in the 24L:0D tanks remained on across the experiment.

Mortality rate

For mortality rate in the tanks during the 8 days interval, a casualty in each tank was recorded every day. Dead larvae were removed with the aid of a Pasteur pipette.

MORTALITY RATE OF NEWLY HATCHED LARVAE OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) SUBMITTED TO DIFFERENT PHOTOPERIODS

MORTALIDADE DE LARVAS RECÉM-ECLODIDAS DA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) SUBMETIDAS A DIFERENTES FOTOPERÍODOS

SANTOS, Miria Dantas dos; COSTA, Bernadete de Oliveira; SOUSA, Juliana Ferreira de; KESKIO, Heikki Lilliand; ALMEIDA NETO, Marcos Eugênio de; ANARAL, Ian Faria Chagel de

Statistical analysis

Página | 3214

To compare the averages of the physical-chemical parameters of the water, we used the ANOVA test, and to verify possible differences between the photoperiods, we applied the *post-hoc* Tukey test. We verified the average of the absolute number of deaths using the Chi-square test. Statistical significance was set at 0.05. Statistical analyses were performed using the IBM SPSS Statistics 21 program.

RESULTS AND DISCUSSION

Water parameters

Water quality parameters were measured daily and the results are described in Table 1. The parameters remained within the recommended range for Nile tilapia cultivation. However, the tanks in the 12L:00D photoperiod had a higher temperature ($p = 0.004$) and lower pH values (0.008) compared to the 24L:0D photoperiod.

Table 1. Water parameters (mean $\pm$ standard deviation) during the experiment.

Water parameter	Mean $\pm$ standard deviation			p-value	Recommended range
	12L:12D	12L:0D	24L:0D		
Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	27.88 $\pm$ 0.28 **	27.56 $\pm$ 0.22 *	27.24 $\pm$ 0.13 *	0.004	25-30
Dissolved oxygen (mg/L)	2.15 $\pm$ 1.15 *	3.55 $\pm$ 1.05 *	3.55 $\pm$ 0.25 *	0.299	>3
pH	6.10 $\pm$ 0.12 **	6.17 $\pm$ 0.17 *	6.27 $\pm$ 0.15 *	0.008	6.0-6.5
Ammonia (mg/L)	0 *	0 *	0 *	1	<0.1
Alkalinity (CaCO_3/L mg/L)	55.55 $\pm$ 1.15 *	55.55 $\pm$ 2.50 *	55.55 $\pm$ 1.15 *	0.299	>20

The p-value for ANOVA test. Same superscript letters mean statistically equal means according to the Tukey post-test. Different letters mean statistically different means.

The temperature of thermal comfort for the development of tilapia is between 25 and 30 $^{\circ}\text{C}$, with adaptation to temperatures lower than 15 $^{\circ}\text{C}$ or higher than 35 $^{\circ}\text{C}$. Although tilapia is a rustic species, which means it is more resistant to handling,

MORTALITY RATE OF NEWLY HATCHED LARVAE OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) SUBMITTED TO DIFFERENT PHOTOPERIODS

MORTALIDADE DE LARVAS RECÉM-ECLODIDAS DA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) SUBMETIDAS A DIFERENTES FOTOPERÍODOS

SANTOS, Mircia Dantas dos; COSTA, Bernadete de Oliveira; SOUSA, Juliana Ferreira dos; RIBEIRO, Nêlla Lúcia; ALMEIDA NETO, Marcos Eugênio dos; AMARAL, San Faria George da

variations in water quality and density (SEBRAL, 2016). Tilapia cultivation performs better with dissolved oxygen concentrations above 3 mg L⁻¹ (MERCANTE *et al.*, 2007). The pH for the well-being of the species should be in the range of 8.0 to 8.5. pH values 7.5 and above 10.5 significantly contribute to high mortality rates (KUBITZA, 2000).

Ammonia and alkalinity were also analysed (Table 1). Both parameters were maintained under recommended concentrations, with no statistical differences between the photoperiods. No toxic ammonia concentrations were detected, which must be lower than 0.1mg/L and the alkalinity greater than 50mg of CaCO₃/L (EMBRAPA, 2016).

If not maintained within the recommended range, water quality significantly affects the animals' cultivation performance (EMBRAPA, 2016). The success of aquaculture enterprises depends strongly on the quality of the water in which the animals live (ARIDE *et al.*, 2007). The relationships between physical and chemical patterns need to be well understood to be able to properly manage the cultivation units and to contribute to the improvement of this activity (MERCANTE *et al.*, 2007). Thus, it is necessary to constantly control the quality of the water in which they are kept, as this will be a determining factor for better performance and growth of the animals. Failure to maintain the water parameters within the recommended range usually results in stress to the fish which increases the possibility of the occurrence of diseases and low survival rates (SEBRAL, 2015). In the present experiment, temperature, dissolved oxygen, pH, toxic ammonia and alkalinity remained within the recommended range for the cultivation of tilapia, and at values comparable between groups, which allowed the analysis of mortality based on the difference in photoperiod with a slight influence and environmental factors.

Mortality rates

There was an increase in mortality in the first days of tilapia life (Table 2), but no statistical differences were observed between the means of the photoperiods. Throughout the days, mortality remained similar between photoperiods until the end of the experiment, with low variation.

Página | 3215

MORTALITY RATE OF NEWLY HATCHED LARVAE OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) SUBMITTED TO DIFFERENT PHOTOPERIODS

MORTALIDADE DE LARVAS RECÉM-ECLODIDAS DA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) SUBMETIDAS A DIFERENTES FOTOPERÍODOS

SANTOS, Mircia Dantas dos; COSTA, Soraide de Oliveira; SOUZA, Joãoane Pereira de; KISSIRO, Nelly Lúcia; ALMEIDA NETO, Marcos Eugênio de; AMARAL, Jan Faria Gurgel de

Table 2. Average absolute mortality of Nile tilapia submitted to 8 days under 12L:12D, 12L:06D, and 24L:00D photoperiod regimes.

Página | 3216

Days post-hatch	12L:12D	12L:06D	24L:00D	Chi-square p-value
1	122 ± 0	122 ± 0	122 ± 0	0,88
2	18 ± 8	12 ± 9	18 ± 7	0,88
3	8 ± 2	2 ± 1	2 ± 1	0,87
4	8 ± 2	2 ± 2	1 ± 1	0,81
5	2 ± 7	7 ± 6	8 ± 9	0,81
6	0 ± 0	0 ± 1	0 ± 1	1,00
7	0 ± 0	0 ± 1	0 ± 1	1,00
8	0 ± 1	1 ± 2	1 ± 1	0,81
9	0 ± 0	0 ± 1	0 ± 1	1,00
Sum	133 ± 9	134 ± 9	133 ± 9	1,00

The data show that the initial period after the hatch is a critical phase for cultivation, which shows the importance of improving management techniques to result in lower mortality rates and better growth of tilapia in production plants. In line with the data, a mortality rate of around 28% and 1%, respectively, were reported in post-larvae and fingerlings of tilapia submitted to 24h light photoperiod (DEZERRA *et al.*, 2008).

Following the same perspective, tilapia fry submitted to different photoperiods (0L, 6L, 12L, 18L, and 24L) did not show statistical differences with the survival rate, with a high mortality rate for all groups (VERAS, 2016), thus evidencing a possible influence of the photoperiod to the age of the animal, which seems to be more influenced by the time of exposure to light (EL-SAYED; KAWANNA, 2009).

In the early stage of Nile tilapia development, they are particularly vulnerable and require intensive care for better animal development and growth. It is important to emphasize that in the production systems other factors affect the productivity of tilapia larvae, which are integrated with the reproductive peculiarities of the species, such as weight rank, nutrition, handling and stocking density of the breeders. Also, the environmental parameters are important during this phase of development such as temperature, salinity, hardness, pH, water flow and animal handling (MARENGONI; WILD, 2014).

MORTALITY RATE OF NEWLY HATCHED LARVAE OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) SUBMITTED TO
DIFFERENT PHOTOPERIODS

MORTALIDADE DE LARVAS RECÉM-ECLODIDAS DA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) SUBMETIDAS A
DIFERENTES FOTOPERÍODOS

SANTOS, Mircia Dantas dos; COSTA, Bernadete de Oliveira; SOUSA, Jucilene Ferreira de; RIBEIRO, Nalla Lidiane;
ALMEIDA NETO, Marcos Eugênio de; AMARAL, Jan Faria Gomes de

Tilapia is a very resistant species surviving to a comparatively wide range of environmental conditions. However, in the initial phase of their development, they may have low survival rates, due to their greater fragility in this stage of life due to the conditions of artificial incubation (ÁVILA; ROMAGOSA, 2004). Thus, concerning the perspective of cultivation, a dynamic balance of all these factors must be sought in a viable and sustainable manner and, thus, meet the social, environmental and economic needs of the fish cultivation (ARANA, 2004; MERCANTE et al., 2007).

Therefore, fish farmers must take special care during the post-hatch stage, so that economic success can be achieved. The periodic analysis and maintenance of the climatic, biotic, abiotic and management factors in the ideal range are of importance to obtain a lower mortality rate and higher fish growth rate (LEIRA et al., 2017). Research aiming at the influence of the photoperiod in the development, survival and acotechnical performance of fish will contribute to the improvement of rearing techniques for the production of animals of commercial interest. And thus, offer a quality of fish products, especially Nile tilapia, which has great aquaculture potential (SANTOS et al., 2020).

CONCLUSIONS

The photoperiods 12L:12D, 12L:00D and 24L:00D did not statistically affect the survival of Nile tilapia larvae during the 9 days of the experiment. However, a high mortality rate was observed in the first days of the animal's life, especially on the 2nd day of life. However, there was a decrease in mortality for the remainder of the experiment, with little variability in death rates, to the early days of cultivation. Thus, given the data described and reported in the literature, the influence of the photoperiod on the biology of the fish seems to be linked to the age of the animal.

AGRADECIMENTOS

We thank FAPESQ for the doctorate scholarship received by Mircia Dantas dos Santos. We also thank the Shrimp Laboratory of the Center for Human, Social and

MORTALITY RATE OF NEWLY HATCHED LARVAE OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) SUBMITTED TO DIFFERENT PHOTOPERIODS

MORTALIDADE DE LARVAS RECÉM-ECLODIDAS DA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) SUBMETIDAS A DIFERENTES FOTOPERÍODOS

SANTOS, Mircia Dantas dos; COSTA, Bernadete de Oliveira; SOUSA, Juliana Fereira de; KISSIRO, Nelly Lidiane; ALMEIDA NETO, Marcos Eugênio de; AMARAL, San Ferte Gurgel de

Agrarian Sciences at the Federal University of Paraíba, Brazil (OCHA / UFPB) for providing their research facilities for the experiments.

Página | 3218

REFERÊNCIAS

1. ANUÁRIO PEIXE BR DA PISCICULTURA. Brasil é o 4º maior produtor mundial de Tilápia. 2019. Available at: <https://www.peixebr.com.br/anuario2019/>. Access on 9 jun, 2020.
2. ARANA, L.V. *Fundamentos de agricultura*. Florianópolis: Editora Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. p.896. Access on 11 jun, 2020.
3. ARIDE, P. H. R.; ROUBACH, R.; VAL, A. L. Tolerance response of tambaqui *Colomesoma macropomum* (Cuvier) to water pH. *Aquaculture Research*, v.32, n.06, p.322-329, 2007. DOI: [org/10.1111/j.1365-2109.2007.01688.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01688.x). Access on 10 mar, 2020.
4. ÁVILA, M. C.; ROMAGOSA, E. Efeito do choque térmico quente em ovos de tilápia Nilotica (*Oreochromis niloticus*): tempo pós-fertilização e duração do processo na sobrevivência das larvas. *Boletim do Instituto de Pesca*, São Paulo, n.61, v.1, p.33-39, 2009. Available at: https://www.pesca.sp.gov.br/Carrillo_61_1.pdf. Access on 01 nov, 2020.
5. AYROZA, D. M. M. R.; FURLANETO, F. P. S.; AYROZA, L. M. S. Regularização de projetos de cultivo de peixes em tanques-redes no estado de São Paulo. *Panorama da aquicultura*, v.16, n. 89, p.1-2, 2006. Available at: https://www.pesca.sp.gov.br/regularizacao_tanque_redes.pdf. Access on 01 mar, 2020.
6. BEARDMORE, J.A.; MAIR, G.C.; LEWIS, R.I. Mono-sex male production in finfish as exemplified by tilapia: applications, problems, and prospects. *Aquaculture*, v.197, n.1, p.225-201, 2001. Available at: [doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00390-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00390-7). Access on 11 de agosto, 2020.
7. BEZERRA, R. S. et al. Crescimento e sobrevivência da tilápia chitralada submetida a diferentes fotoperíodos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40 n.6, p.787-793, 2006. Available at: <https://scor.sci.embrapa.br/index.php/pab/article/view/76/3631>. Access on 02 nov, 2020.
8. BIZARRO, Y. W. S. Efeito do fotoperíodo na glicemia, cortisol, parâmetros hematológicos e nos índices reprodutivos de machos de tilápia (*Oreochromis niloticus*) 33 Linhagem Gift. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências Animais) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Available at: https://repositorio.unb.br/bitstream/10422/17010/1/2018_YvonildoWladimirGaldanhaBizarro.pdf. Access on 10 set, 2020.
9. BROMAGE, N.; PORTER, M.; RANDALL, C. The environmental regulation of maturation in farmed finfish with special reference to the role of photoperiod and melatonin. *Aquaculture*, v.197, p.63-82, 2001. DOI: [10.1016/S0044-8486\(01\)00388-x](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00388-x). Access on 02 nov, 2020.

MORTALITY RATE OF NEWLY HATCHED LARVAE OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) SUBMITTED TO DIFFERENT PHOTOPERIODS

MORTALIDADE DE LARVAS RECÉM-ECLODIDAS DA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) SUBMETIDAS A DIFERENTES FOTOPERÍODOS

SANTOS, Mircia Dantas dos; COSTA, Bernadete de Oliveira; SOUSA, Juliana Pereira da; KISSIRO, Mella Lilianny; ALMEIDA NETO, Marcos Eugênio da; AMARAL, Jan Ferte Gurgel de

10. SUGGREN, W.W. Developmental changes in oxygen consumption and hypoxia tolerance in the heat and hypoxia-adapted tabasco line of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus*, with a survey of the metabolic literature for the genus *Oreochromis*. *Journal of Fish Biology*. v.54, n.3, p.755-777, 2019. DOI:10.1111/jfb.13993. Acesso em 19 ago, 2020.
11. DRUZIAN, J.I. et al. Influência da dieta suplementada com óleo de soja na composição centesimal do perfil lipídico de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista do Instituto Adolfo Lutz*. v.71, n.1, p.55-62, 2012. Available at: <https://periodicos.saude.sp.gov.br/index.php/RIAL/article/view/55503/51226>. Acesso em 05 nov, 2020.
12. EL-SAYED, A. F. M.; KAWANNA, M. Effects of photoperiod on the performance of farmed Nile tilapia *Oreochromis niloticus* I. Growth, food utilization efficiency and survival of fry and fingerlings. *Aquaculture*, v.281, n.1-2, p.355-365, 2009. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2008.11.012. Acesso em 19 ago, 2020.
13. EL-SAYED, A.F. M. *Tilapia culture*. Alexandria: Academic Press, 2006. p509. Available at: <https://www.cabi.org/bookshop/book/5750251880148/>. Acesso em 12 set, 2020.
14. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Gerenciamento genético da tilápia nos cultivos comerciais. Palmas, TO, 2013. Available at: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1059705/1/CNPAB2013doc28.pdf>. Acesso: em em 15 de junho, 2020.
15. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Noções para Piscicultura Familiar: Qualidade de água. 2016. Available at: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/143043/1/QUALIAG-UA-ONLINE.pdf>. Acesso em 9 julho, 2020.
16. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Culture aquatic species information programme *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). 2015. Available at: http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis_niloticus/en. Acesso em 10 ago, 2020.
17. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. El estado mundial de la pesca y la acuicultura cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. 2018. Available at: <http://www.fao.org/3/i8340ca/i8340CE.pdf>. Acesso em: 11 de agosto, 2020.
18. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The state of world fisheries and aquaculture. 2018. Available at: <http://www.fao.org/3/i8340ca/i8340CE.pdf>. Acesso em 15 mai, 2020.
19. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. Available at: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/boianaciras/panorama>. Acesso em 20 mai 2020.
20. HUBITZA, F. Qualidade da água, sistemas de cultivo, planejamento da produção, manejo nutricional e alimentar e sanidade. Parte 1. *Panorama da Aquicultura*. v.10, n.35, p.51-56, 2000. Available at: http://www.aquasimagem.com.br/docs/Pan35_Hubitza.pdf. Acesso em 05 set, 2020.

Página | 3219

MORTALITY RATE OF NEWLY HATCHED LARVAE OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) SUBMITTED TO DIFFERENT PHOTOPERIODS

MORTALIDADE DE LARVAS RECÉM-ECLODIDAS DA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) SUBMETIDAS A DIFERENTES FOTOPERÍODOS

SANTOS, Mirela Dantas dos; COSTA, Soraide de Oliveira; SOUSA, Juliana Ferreira de; KESSELO, Stella Lúcia; ALMEIDA NETO, Márcio Eugênio de; AMARAL, Ian Faria Gurgel de

21. LEIRA, M.H. et al. Qualidade da água e seu uso em piscicultura. *PUBVET*, v.11, n.1, p.11-17, 2017. DOI: 10.22255/PUBVET.V11N1.11-17. Acesso em 02 set, 2020.
22. MAINARDES-PINTO, C. S. R. et al. Masculinização da tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, utilizando diferentes rações e diferentes doses de 17 α -methyltestosterone. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.50, n.8, p. 629-638, 2000. DOI:10.1590/S1516-83592000000800008. Acesso em 15 març, 2020.
23. MARENGONI, N.G.; WILD, M.B. Sistemas de produção de pós-larvas de tilápia do Nilo. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 18, n. 4, p.263-276, 2018. DOI:10.18158/1858-1871/asp.v18n4p263-276. Acesso em 11 mar, 2020.
24. MERCANTE, C. T. J. et al. Qualidade da água em viveiro de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*): caracterização diurna de variáveis físicas, químicas e biológicas, São Paulo, Brasil. *Revista Biokos*, v. 21, n. 2, p. 78-88, 2007. Available at: https://www.academia.edu/80864023/Qualidade_da_%C3%A1gua_em_viveiro_de_Til%C3%A1pia_do_Nilo_Oreochromis_niloticus_caracteriza%C3%A7%C3%A3o_diurna_de_vari%C3%A1veis_f%C3%ADicas_qu%C3%ADmicas_e_biol%C3%B3gicas_S%C3%A3o_Paulo_Brasil. Acesso em 02 set, 2020.
25. MEURER, F. et al. Fontes práticas suplementadas com aminoácidos e minerais para a tilápia do Nilo durante a reversão sexual. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.54, n.1, p.1-6, 2009. DOI: 10.1590/S1516-83592009000100001. Acesso em 1 jun, 2020.
26. REYNALTE-TATAJE, D. et al. Influência do fotoperíodo no crescimento e sobrevivência de pós-larvas de piracanjuba *Brycon orbignyanus* (Valenciennes, 1840) (Osteichthyes, Characidae). *Acta Scientiarum*, v.24, n.2, p.488-493, 2002. Available at: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciBiolSci/article/view/2817/2223>. Acesso em 11 març, 2020.
27. ROCHA, I.; RODRIGUES, J. A aquicultura e a oferta mundial de proteína de origem animal. Associação Brasileira de Criadores de Camarão. 2019. Available at: <http://abccam.com.br/site/a-aquicultura-e-a-oferta-mundial-de-proteinas-de-origem-animal/>. Acesso em 17 de ago, 2020.
28. SANTOS, M. D. et al. Efeito do fotoperíodo na sobrevivência de larvas da tilápia nilótica (*Oreochromis Niloticus*) submetidas a diferentes fotoperíodos. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n.9, p.85263-85268, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n9-217. Acesso em 10 set, 2020.
29. SEBRAE. O serviço brasileiro de apoio às micro e pequenas empresas. Aquicultura no Brasil. Série estudos mercadológicos. 2019. Available at: [http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bda/bda.nsf/%5B1c53d329cc88c82090a00778f/\\$File/3908.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bda/bda.nsf/%5B1c53d329cc88c82090a00778f/$File/3908.pdf). Acesso em 16 ago, 2020.
30. SEBRAE. O serviço brasileiro de apoio às micro e pequenas empresas. Criação de tilápias em viveiros escavados. Guia Técnico-Empreendedor na Criação de Tilápias em Viveiros. 2016. Available at: [https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bda/bda.nsf/%5B1a572cc5109b5b2afcc299065b/\\$File/7708.pdf](https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bda/bda.nsf/%5B1a572cc5109b5b2afcc299065b/$File/7708.pdf). Acesso em 1 jun, 2020.

Página | 3220

MORTALITY RATE OF NEWLY HATCHED LARVAE OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) SUBMITTED TO DIFFERENT PHOTOPERIODS

MORTALIDADE DE LARVAS RECÉM-ECLODIDAS DA TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) SUBMETIDAS A DIFERENTES FOTOPERÍODOS

SANTOS, Mircia Dantas dos; COSTA, Bernadete de Oliveira; SOUSA, Juliana Ferreira da; KISSIRO, Nelly Lidiane; ALMEIDA NETO, Márcio Eugênio da; AMARAL, Ivo Fátima Gurgel da

81. SILVA, G.F. et al. Tilápia-do-Nilo: criação e cultivo em viveiros no estado do Paraná. Curitiba: GIA, 2013, 230p. Available at: <https://gia.org.br/porta1/wpcontent/uploads/2017/12/Livro-pronto.pdf>. Access on 20 de jun, 2020.
82. TAYLOR, J.; MIGAUD, H. Timing and duration of constant light affects rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth during autumn-spring grow-out in freshwater. *Aquaculture Research*, v.20, n.12, p.1331-1332, 2009. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2009.02260.x. Access on 15 març, 2020
83. VERAS, G. C. et al. Efeito de fotoperíodo sobre a composição do filé de juvenis de tilápia do Nilo. *Ciência Animal Brasileira*, v. 13, n. 2, p.162-172, 2019. DOI: 10.1590/1508-6591v13i22269. Access on 29 nov 2020.
84. VERAS, G. C. et al. Effect of photoperiod on locomotor activity, growth, feed efficiency and gonadal development of Nile tilapia. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.22, n.12, p.244-248, 2018. DOI: 10.1590/S1516-83592018001200002. Access on 10 dec, 2020.
85. VERAS, G. C. Fotoperíodos no comportamento locomotor e desenvolvimento de alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). 2011. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras Minas Gerais, Minas Gerais, 2011. Available at: http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/2262/1/TESE_Fotoper%20e%20desenvolvimento%20comportamento%20locomotor%20e%20desenvolvimento%20de%20alevinos%20de%20tilapia%20do%20Nilo%20e%20Oreochromis%20niloticus%20.pdf. Access on 29 nov 2020.
86. VERAS, L.D.S. et al. Fotoperíodo sobre parâmetros fisiológicos relacionados ao estresse em alevinos de tilápia-do-nilo. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.63, n.3, p.1452-1460, 2015. DOI: 10.1590/S0102-08352015000300025. Access on 2 març, 2020.

Página | 3221

ANEXO

ANEXO 1



Universidade
Federal da
Paraíba

Comissão de Ética no
Uso de Animais



CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "AVALIAÇÃO DO RELÓGIO BIOLÓGICO E CRESCIMENTO MUSCULAR MODULADO PELO FOTOPERÍODO EM JUVENIS E ADULTOS DA TILÁPIA-DO-MILÓ (*Oreochromis niloticus*)", protocolada sob o CEUA nº 7981110321 (000000), sob a responsabilidade de **Ian Porto Gurgel do Amaral** - que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino - está de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, com o Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, bem como com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi **aprovada** pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal da Paraíba (CEUA/UFPB) na reunião de 28/05/2021.

We certify that the proposal "EVALUATION OF THE BIOLOGICAL CLOCK AND MUSCLE GROWTH MODULATED BY PHOTOPERIOD IN JUVENILE AND ADULT NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*)", utilizing 1107 Fishes (males or females), protocol number CEUA 7981110321 (000000), under the responsibility of **Ian Porto Gurgel do Amaral** - which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, subphylum Vertebrata (except human beings), for scientific research purposes or teaching - is in accordance with Law 11.794 of October 8, 2008, Decree 6899 of July 15, 2009, as well as with the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA), and was **approved** by the Ethic Committee on Animal Use of the Federal University of Paraíba (CEUA/UFPB) in the meeting of 05/28/2021.

Finalidade da Proposta: **Pesquisa (Acadêmica)**

Vigência da Proposta: de 06/2021 a 09/2022

Área: **Ciência Animal**

Origem: **Laboratório de Aquicultura CCHSA**

Espécie: **Peixes**

Sexo: **Machos ou Fêmeas**

Idade: **0 a 6 meses**

N: **1107**

Linhagem: **Tilápia nêotica - Chitralada**

Peso: **0 a 500 g**

Local do experimento: Laboratório de Carcinicultura do Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (CCHSA/UFPB) - Campus Bananeiras, PB, Brasil.

João Pessoa, 02 de junho de 2021

Prof. Dra. Jailane de Sousa Aquino
Coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais
Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Carlos Augusto Alanis Clemente
Vice-Coordenador da Comissão de Ética no Uso de Animais
Universidade Federal da Paraíba