

## RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 04/03/2017.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO  
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**FABRÍCIO MARÇAL SILVA DE SOUZA**

**VARIAÇÕES SAZONAIS DOS NÍVEIS PLASMÁTICOS DO  
ESTEROIDE SEXUAL 17 $\beta$ -ESTRADIOL (E2) EM FÊMEAS DE  
MATRINXÃ (*Brycon amazonicus*)**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia – Unesp, Campus de Ilha Solteira, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Animal.

Prof. Dr. Alexandre Ninhaus Silveira

Orientador

Profa. Dra. Crisiéle da Silva Ribeiro

Co-Orientadora

Ilha Solteira  
2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S729v Souza, Fabrício Marçal Silva de.  
Variações sazonais dos níveis plasmáticos do esteroide sexual 17 $\beta$ -estradiol (e2) em fêmeas de matrinxã (*brycon amazonicus*) / Fabrício Marçal Silva de Souza. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2016  
61 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Ciência e Tecnologia Animal, 2016

Orientador: Alexandre Ninhaus Silveira  
Co-orientador: Cristiéle da Silva Ribeiro  
Inclui bibliografia

1. Vitelogênese. 2. Estradiol. 3. Fatores ambientais.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** Variações sazonais dos níveis plasmáticos do esteróide sexual 17  $\beta$ -estradiol (E2) em fêmeas de Matrinxã (*Brycon amazonicus*).

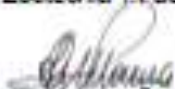
**AUTOR:** FABRICIO MARÇAL SILVA DE SOUZA  
**ORIENTADOR:** ALEXANDRE NINHAUS SILVEIRA  
**CO-ORIENTADORA:** CRISTIELE DA SILVA RIBEIRO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em CIÊNCIA E TECNOLOGIA ANIMAL, área: PRODUÇÃO ANIMAL, pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. ALEXANDRE NINHAUS SILVEIRA  
Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. LEONARDO SUSUMU TAKAHASHI  
Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena



Profa. Dra. RENATA GUIMARÃES MOREIRA WHITTON  
Departamento de Fisiologia Geral / Instituto de Biodinâmicas/USP, São Paulo-SP

Ilha Solteira, 04 de março de 2016

## **Dedicatória**

Dedico esta dissertação aos meus pais Aluizio Marçal e Noêmia Souza, a minha avó Maria do Carmo “in memoriam”, meus tios Nilza Silva e João Marques “in memoriam”, que com muito sacrifício e privações educaram a mim e meus irmãos, mostrando sempre o melhor caminho a ser seguido.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Aluizio Souza e Noêmia Souza, por proporcionarem todas as condições necessárias para minha formação, sempre com muito carinho e dedicação, apoiando e me alertando sobre minhas decisões.

A minha avó, Maria do Carmo “in memoriam”, por ter vivido e dedicado uma vida inteira a nossa família estando presente nos melhores momentos da minha vida enquanto estive nesse plano.

Aos meus tios e padrinhos, João Marques “in memoriam” e Nilza Marques, que apesar de distantes geograficamente, não se furtaram de acompanhar minha educação e de meus irmãos, e que nos momentos mais difíceis nunca deixaram que algo nos faltasse.

Aos meus irmãos, Toninho, Luca e Silva, pelo companheirismo e amizade verdadeira.

A minha noiva Dani que apesar de distante fisicamente pelas circunstâncias, se faz presente todos os dias em meus pensamentos, obrigado por tudo, principalmente pela paciência.

Aos meus amigos da “terrinha”, Sanderley e Caroline, por compartilharem alguns momentos da minha vida e terem dado o prazer do convívio nesses 2 anos em Ilha Solteira.

Aos meus amigos do Laboratório de Ictiologia Neotropical, Laíza, Jumma, Douglas, Amanda, Geovanna, Diógenes, Pricila, Maira, Luís, Patrícia, Renan, Raphael, Cristiane Bashiyo, pela receptividade que tive ao chegar em Ilha Solteira, companheirismo e ajuda na execução do meu experimento. E que esses dois anos sejam somente o começo de uma longa e produtiva amizade, obrigado pessoal.

A Gabriela Brambila por ter disponibilizado parte do seu tempo para me auxiliar com as análises no LAMEROA, sua ajuda foi de extrema importância, obrigado.

Ao meu orientador, Alexandre Ninhaus Silveira, primeiramente pelo voto de confiança e por ter dado a oportunidade para eu voltar a academia. Por ter aceitado a minha proposta de trabalho, me acompanhando e dando todas as condições para execução do projeto de pesquisa. Serei eternamente grato ao senhor.

A minha Co-orientadora, Profa. Dra. Crístiele da Silva Ribeiro, pelas dicas e esclarecimentos valiosos, pelo companheirismo, por ter viabilizado o acesso ao LAMEROA, além de me auxiliar nas coletas, muitíssimo obrigado.

A Professora Dra. Rosicleire Veríssimo pela receptividade, auxílio na primeira coleta e esclarecimento de dúvidas durante a execução do trabalho.

A Professora Dra. Renata Guimarães Moreira pela cordialidade e acesso ao LAMEROA, às contribuições enriquecedoras na qualificação, na ajuda com os kits e por ter aceitado o convite para compor a banca de defesa, contribuindo ainda mais para o refino do trabalho.

Ao Professor Dr. Igor Paiva por ter aceitado o convite para compor a banca de qualificação contribuindo de forma tamanha para melhoria da dissertação.

Ao Professor Dr. Leonardo Takahashi pela disponibilidade em participar da banca de defesa, e por acreditar que suas considerações serão importantes para conclusão do trabalho.

Ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Peixes Continentais (CEPTA/ICMBio) em nome do seu Coordenador o Dr. José Augusto Senhorini, pela possibilidade de utilização das instalações da Instituição, pelo fornecimento dos animais para o desenvolvimento do experimento e pelo apoio incondicional em todos os momentos da realização desta pesquisa. Muito obrigado!

Aos funcionários CEPTA/ICMBio Luís Alberto Gaspar “Gordo”, Dr. Cláudio Luiz Bock, Noel Donizetti Martins, Dalton Donizetti Machado, Arlindo Donizetti Lançoni e “Tim”, pois sem a ajuda e experiência de vocês seria uma missão impossível realizar este projeto, muito obrigado.

A EMATER/Pa por ter viabilizado a minha participação durante os dois anos de curso. Muito obrigado!!!

Ao CEPTA/ICMbio.

Ao LAMEROA/USP.

A UNESP/Ilha Solteira pelo apoio e ensino durante toda a minha vida acadêmica



## RESUMO

O objetivo desse trabalho foi investigar a possível associação de variáveis ambientais, como o fotoperíodo, a concentração de oxigênio dissolvido, a temperatura da água, o pH, a condutividade, a transparência e a precipitação pluviométrica no ciclo reprodutivo anual de fêmeas de *Brycon amazonicus* mantidas em cativeiro. Para tal, foi avaliada a variação da concentração plasmática do Estradiol (E2) durante 1 ciclo reprodutivo e correlacionado com o conjunto das variáveis acima citadas. O experimento foi conduzido no Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Peixes Continentais (CEPTA/ICMBio), Pirassununga, Estado de São Paulo, entre os meses de maio de 2014 a abril de 2015. Para tal, foram utilizadas treze fêmeas microchipadas de *Brycon amazonicus* com 4 anos, massa de  $910 \pm 142.97$ g e comprimento total de  $39.79 \pm 1.83$ cm. Esses exemplares foram alimentados com ração extrusada, com 24% de proteína bruta, a uma taxa de 5% peso vivo/dia. As amostras de sangue foram coletadas mensalmente, sendo os reprodutores previamente anestesiados em solução de Fenoxietanol (0,4mL/L de água - Sigma Aldrich®). As amostras de plasma foram analisadas por ensaio imunoenzimático. Diariamente foram coletados os parâmetros de Oxigênio Dissolvido, pH, Transparência, Condutividade, Temperatura, Fotoperíodo e Precipitação Pluviométrica. Foi aplicada a análise exploratória multivariada de dados pelo método da Análise de Componentes Principais (PCA) com representação gráfica via Biplot, e uma vez que o conjunto dos dados não apresentou Normalidade (Teste de Shapiro-Wilk) foi aplicada a Correlação de Spearman e o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis com o auxílio do Software R (Package Spearman e Prcomp). O resultado da Análise de Componentes Principais sugere uma possível correlação da concentração plasmática do E2 de forma direta com o O<sub>2</sub>D e pH, ao mesmo tempo que pode estar inversamente correlacionada com o fotoperíodo, temperatura e precipitação pluviométrica, sendo pouco provável a associação com a condutividade e transparência da água. Essas evidências foram confirmadas pela Correlação de Spearman que demonstrou que os níveis plasmáticos do E2 tiveram correlação negativa com o Fotoperíodo ( $\rho = -0.41$ ,  $p < 0.05$ ), Precipitação Pluviométrica ( $\rho = -0.42$ ,  $p < 0.05$ ) e a Temperatura ( $\rho = -0.31$ ,  $p < 0.05$ ), sendo

observada uma correlação positiva com o pH ( $\rho = 0.38$ ,  $p < 0.05$ ) e o O<sub>2</sub>D ( $\rho = 0.28$ ,  $p < 0.05$ ), não havendo correlação com as variáveis analisadas de Transparência ( $p > 0.05$ ) e Condutividade ( $p > 0.05$ ). O perfil da concentração plasmática do E2 após a aplicação do teste de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ), ficou caracterizado por concentrações elevadas nos meses de maio/14 e setembro/14, com diminuição a partir de outubro/14 permanecendo em concentrações reduzidas até fevereiro, quando então é retomada a subida da concentração desses esteroides a partir de março/15. Os resultados obtidos neste estudo sugerem que a concentração plasmática do E2 está correlacionada com as variáveis ambientais de fotoperíodo, temperatura, precipitação pluviométrica, pH e O<sub>2</sub>D, com as concentrações mais elevadas desse esteroide encontradas no outono-inverno, e concentrações reduzidas entre a primavera-verão.

**Palavras-chave:** Vitelogênese. Estradiol. Fatores ambientais. Esteroides gonadais.

## ABSTRACT

The aim of this study was to investigate a possible association of environmental variables such as photoperiod, dissolved oxygen, water temperature, pH, conductivity, transparency and pluviosity, along the reproductive cycle of *Brycon amazonicus* females kept in captivity. For that, were correlated during one reproductive cycle, variations of plasmatic Estradiol (E2) concentration and all environment variables above. The experiment was conducted in CEPTA/ICMBio, Pirassununga, São Paulo State, from May 2014 to April 2015. Thirteen tagged females of *Brycon amazonicus* with four years olds were used, weighing  $910 \pm 142.97\text{g}$  with total length of  $39.79 \pm 1.83\text{cm}$ . These specimens were fed by extruded feed with 24% crude protein, using a ratio of 5% body weight. Blood sample were monthly collected and breeders were previously anesthetized by Fenoxietanol (0,4mL/L-Sigma Aldrich®) before each sampling. Plasmatic samples were analyzed by enzyme-linked immunosorbent assay. During all trial were recorded daily variables of Dissolved Oxygen, pH, Transparency, Conductivity, Temperature, Photoperiod and Pluviosity. A multivariate exploratory data analysis was applied by Principal Component Analysis (PCA) method and graphically represented via Biplot. As data were not normally distributed (Shapiro-Wilk Test), it was applied Spearman Correlation and Kruskal–Wallis test supported by Software R (Package Spearman and Prcomp). Principal Component Analysis results suggests a possible positive correlation between E2 plasmatic concentration with O<sub>2</sub>D and pH, while it may be inversely correlated with photoperiod, temperature and pluviosity, as well an unlikely association with conductivity and water transparency. These evidences were confirmed by Spearman correlation, which demonstrated that plasmatic levels of E2 had a negative correlation with photoperiod ( $\rho = -0.41$ ,  $p < 0.05$ ), Pluviosity ( $\rho = -0.42$ ,  $p < 0.05$ ) and temperature ( $\rho = -0.31$ ,  $p < 0.05$ ), a positive correlation with pH ( $\rho = 0.38$ ,  $p < 0.05$ ) and O<sub>2</sub>D ( $\rho = 0.28$ ,  $p < 0.05$ ), and no correlation with variables of Transparency ( $p > 0.05$ ) and Conductivity ( $p > 0.05$ ). The plasmatic profile of E2 concentration after Kruskal-Wallis test ( $p < 0.05$ ), was characterized by high concentrations in May/14 and September/14, with a decrease from October/14 staying in reduced concentrations until February/15, when became to rise its steroid

concentration from March/15. This study suggest that E2 plasmatic concentration is correlated with environmental variables of photoperiod , temperature , rainfall , pH and O2D , as well as high concentrations of this steroid are found in autumn-winter and low concentrations between spring-summer.

**Keywords:** Vitellogenesis. Estradiol. Environment factors. Gonadal steroids.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Eventos endócrinos ao longo eixo hipotalâmico-hipofisário-gonadal envolvidos na fase de desenvolvimento/vitelogênese (A) e fase de maturação final (B) em fêmeas de peixe.....  | 18 |
| Figura 2 - Representação esquemática do Modelo "Two Type Cell".....  | 21 |
| Figura 3 - Via Esteroidogênica ( $\Delta 4$ e $\Delta 5$ ) envolvida na biossíntese do E2 (vitelogênese) e 17,20-DHP (maturação).....  | 22 |
| Figura 4 - Regulação fotoneuroendócrina em peixes. Legenda: Seta amarela – estímulo luminoso; Seta azul – resposta fisiológica; Em vermelho – receptores de melatonina; APO – área pré-óptica hipotalâmica; NSC – núcleo supraquiasmático..  | 25 |
| Figura 5 - Exemplar de <i>Brycon amazonicus</i> . .....  | 31 |
| Figura 6 - Valores das concentrações plasmáticas do estradiol (média) e das variáveis ambientais (média e desvio-padrão) de fotoperíodo (A), temperatura (B), pH (C), O <sub>2</sub> D (D), precipitação pluviométrica (E), condutividade (F) e transparência da água (G) no período experimental. ....                | 37 |
| Figura 7 - Biplot da correlação entre as variáveis analisadas. Legenda: E2 – Estradiol; O <sub>2</sub> D – Oxigênio dissolvido; pH – potencial hidrogeniônico; Transp. – Transparência da água; Precip.- Precipitação pluviométrica; Temp.- Temperatura da água; Foto.- Fotoperíodo; Cond.- Condutividade da água..... | 41 |
| Figura 8 - Perfil anual da concentração plasmática do E2 (pg/mL) em fêmeas de <i>Brycon amazonicus</i> mantidas em cativeiro. ....   | 42 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Resultado da validação do Kit-ELISA IBL® E2 para o plasma sanguíneo de fêmeas de <i>Brycon amazonicus</i> . .....                                      | 40 |
| Tabela 2 - Coeficiente de Correlação de Spearman entre as variáveis ambientais e as concentrações plasmáticas do E2 em fêmeas de <i>Brycon amazonicus</i> . ..... | 42 |

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

|                              |   |
|------------------------------|---|
| GnRH                         | Hormônio Liberador de Gonadotrofina               |
| GTH                          | Hormônio Gonadotrófico                            |
| FSH                          | Hormônio Folículo Estimulante                     |
| LH                           | Hormônio Luteinizante                             |
| T                            | Testosterona                                      |
| E2                           | Estradiol   |
| 17 $\alpha$ -OHP             | 17 $\alpha$ -Hidroxiprogesterona                  |
| 17 $\alpha$ ,20 $\beta$ -DHP | 17 $\alpha$ ,20 $\beta$ - Dihidroxiprogestrona    |
| P450arom                     | Enzima Aromatase                                  |
| 20 $\beta$ -HSD              | Enzima 20 $\beta$ -Hidroxiesteroide Desidrogenase |
| MIS                          | Esteróide Indutor da Maturação                    |
| Temp                         | Temperatura da água (°C)                          |
| O <sub>2</sub> D             | Oxigênio Dissolvido (ppm)                         |
| Condut                       | Condutividade elétrica da água ( $\mu$ S/cm)      |
| Transp                       | Transparência da água (cm)                        |
| Val. Kit                     | Validação do Kit                                  |
| n                            | Unidade Experimental (peixe)                      |
| Vtg                          | Vitelogenina                                      |
| GV                           | Vesícula Germinativa                              |

## SUMÁRIO

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO</b>   | <b>14</b> |
| <b>2</b>     | <b>REVISÃO DA LITERATURA</b>  | <b>17</b> |
| <b>2.1</b>   | <b>Ciclo reprodutivo em peixes</b>  | <b>17</b> |
| <b>2.2</b>   | <b>Controle endócrino e biossíntese dos esteroides sexuais envolvidos na reprodução de peixes</b> | <b>19</b> |
| <b>2.3</b>   | <b>Fatores ambientais envolvidos na modulação da reprodução em peixes</b>                         | <b>22</b> |
| <b>2.4</b>   | <b>Caracterização da espécie <i>Brycon amazonicus</i></b>   | <b>32</b> |
| <b>3</b>     | <b>OBJETIVO GERAL</b>   | <b>32</b> |
| <b>3.1</b>   | <b>Objetivos Específicos</b>  | <b>29</b> |
| <b>4</b>     | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>  | <b>33</b> |
| <b>4.1</b>   | <b>Local de realização e condições de manejo</b>  | <b>33</b> |
| <b>4.2</b>   | <b>Coleta de material biológico</b>   | <b>33</b> |
| <b>4.2.1</b> | <i>Identificação dos espécimes e Coleta de Material Biológico</i>                                 | <b>33</b> |
| <b>4.2.2</b> | <i>Elisaimunoensaio (ELISA) e Validação do Kit Comercial</i>                                      | <b>35</b> |
| <b>4.3</b>   | <b>Coleta dos Dados Ambientais</b>  | <b>35</b> |
| <b>4.3.1</b> | <i>Variáveis físico-químicas da água</i>  | <b>35</b> |
| <b>4.3.2</b> | <i>Variáveis Meteorológicas</i>   | <b>36</b> |
| <b>4.4</b>   | <b>Análise Estatística</b>  | <b>36</b> |
| <b>5</b>     | <b>RESULTADOS</b>   | <b>37</b> |
| <b>6</b>     | <b>DISCUSSÃO</b>  | <b>43</b> |
| <b>6.1</b>   | <b>Correlação do fotoperíodo com a concentração plasmática do E2</b>                              | <b>43</b> |
| <b>6.2</b>   | <b>Correlação da temperatura e oxigênio dissolvido com a concentração plasmática do E2</b>        | <b>44</b> |
| <b>6.3</b>   | <b>Correlação do pH e pluviosidade com a concentração plasmática do E2</b>                        | <b>46</b> |
| <b>7</b>     | <b>CONCLUSÃO</b>  | <b>49</b> |
|              | <b>REFERÊNCIAS</b>  | <b>50</b> |



## 1 INTRODUÇÃO

O ciclo reprodutivo em peixes teleósteos é um evento sazonal, em que as participações de variáveis ambientais são mais perceptíveis em latitudes elevadas, com destaque para participação, da temperatura e fotoperíodo na reprodução deste grupo de animais. Há também a participação de fatores como feromônios, condição nutricional, disponibilidade de alimentos, interação social e fase lunar no controle endócrino deste evento (BROMAGE et al., 2001; PANKHURST; PORTER, 2003; ANDERSON et al., 2012;).

Um dos primeiros relatos do envolvimento de variáveis ambientais na modulação da reprodução em peixes foi feito por Hoover (1937), que através da compressão do fotoperíodo anual em apenas 6 meses conseguiu antecipar em 90 dias a reprodução de trutas (*Salvelinus fontinalis*) quando comparado aos espécimes mantidos sob condições naturais. Posteriormente com a aplicação de diferentes fotoperíodos, Bromage et. al.(1984) mostraram ser possível antecipar ou prorrogar o período reprodutivo em truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), e para esta mesma espécie Duston e Bromage (1986) relataram que a exposição à diferentes regimes de fotoperíodo geravam um padrão no pico da Testosterona (T) e 17 $\beta$ -Estradiol (E2) em momentos distintos pós-exposição.

Sabe-se, que sob condições naturais, as variações fotoperiódicas são acompanhadas por modificações cíclicas na temperatura da água ao longo das estações climáticas. Para Van Der Kraak e Pankhurst (1996) a temperatura age na síntese, secreção e metabolismo hormonal, em que a elevação anormal desse variável pode comprometer a homeostase endócrina, uma vez que para a biossíntese dos esteroides sexuais há uma faixa de temperatura ótima.

King et al. (2003) demonstraram em *Salmo salar* os efeitos negativos de temperaturas elevadas na biossíntese do E2 causando a redução no diâmetro dos oócitos e lesões no córion, bem como a diminuição da fertilidade e sobrevivência embrionária, sendo que para esta mesma espécie Watts, Pankhurst e King (2004b) atribuíram a redução dos níveis plasmáticos do E2, à provável supressão da atividade da enzima aromatase (P450arom), responsável pela conversão de

andrógenos a estrógenos, devido à elevação da temperatura. Já Garcia-López et al. (2006) demonstraram que o sinergismo entre o fotoperíodo e a temperatura da água favoreceu a biossíntese do esteroide sexual em fêmeas de *Solea senegalensis*. Quando mantidas sob condições de fotoperíodo natural e temperatura constante apresentaram concentração de E2 menor em relação ao grupo mantido sob condições de flutuação natural de fotoperíodo e temperatura da água.

Em espécies tropicais há um número limitado de publicações no segmento da fisiologia ambiental (PANKHURST; PORTER, 2003), o que dificulta percepção dos fatores ambientais envolvidos no controle da reprodução dessas espécies, um vez que a maioria das publicações concentram-se em espécies de clima temperado e água fria, tais como: *Oncorhynchus mykiss* (BROMAGE et al., 1982; Duston e Bromage, 1986), *Dicentrarchus labrax* (PRAT et al., 1999), *Fundulus heteroclitus* (SHIMIZU, 2003), *Gadus morhua* (NORBERG et al., 2004) e *Melanogrammus aeglefinus* (DAVIE et al., 2007)

No ciclo reprodutivo, de acordo com Lubzens et al. (2010), o processo da vitelogênese caracteriza a primeira fase do ciclo reprodutivo, em que o desenvolvimento e o aumento do volume dos oócitos ocorrem pelo sequestro e incorporação da vitelogenina, uma glicolipofosfoproteína precursora do vitelo. Esse processo é mediado pelo hormônio folículo estimulante (FSH) e sob sua ação o esteroide sexual E2 é sintetizado pelas células foliculares ovarianas. Nessa fase o E2 assume ação biológica indispensável no processo de vitelogênese, pois ao ser carregado pelo sistema vascular até o fígado, estimula a síntese e secreção da vitelogenina pelos hepatócitos, que ao retornar para os ovários viabiliza o desenvolvimento oocitário, além de servir como substrato nutricional para o desenvolvimento embrionário e pré-larval. Esse evento biológico é considerado primordial para o sucesso da reprodução e geração de proles viáveis (NAGAHAMA et al., 1993; MYLONAS; FOSTIER; ZANUY, 2010; ALMEIDA, 2013).

No Brasil algumas espécies de origem amazônica, entre elas a matrinxã (*Brycon amazonicus*), foram introduzidas na região sudeste a partir da década de 60 visando o enriquecimento dos inúmeros reservatórios existentes nessa região, geograficamente transferidas de uma região de baixa latitude, para uma região de

latitude média em que as estações do ano são bem definidas e há uma maior amplitude de fotoperíodo e temperatura (DELARIVA; AGOSTINHO, 1999).

As informações sobre a ação neuromoduladora de fatores ambientais sobre eixo hipolâmico-hipofisário-gonadal em espécies nativas brasileiras são bastante limitadas, impossibilitando a visualização de repostas fisiológicas, que podem estar relacionadas com outras variáveis além do fotoperíodo e temperatura, como precipitação pluviométrica, condutividade, transparência, pH e oxigênio dissolvido.

Buscando um melhor entendimento sobre a participação de variáveis ambientais nos processos fisiológicos da reprodução, este trabalho teve por objetivo testar a hipótese da associação de variáveis ambientais (fotoperíodo, temperatura, oxigênio dissolvido, índice pluviométrico, condutividade, transparência e pH) com os níveis da concentração plasmática do esteroide gonadal E2 em fêmeas de *Brycon amazonicus* mantidas num sistema semi-intensivo de criação.

Esta é uma abordagem inédita no cenário fisiológico para espécies neotropicais transferidas de seu habitat natural para o sistema de cativeiro, e os resultados obtidos podem fornecer subsídios para a compreensão de pontos importantes e aplicáveis na área de conservação e produção de *B. amazonicus*, além de conhecimentos básicos da fisiologia desta espécie.

## 7 CONCLUSÃO

Levando-se em conta o que foi observado neste estudo, concluímos que frente às condições ambientais observadas durante o período experimental:

- as concentrações plasmáticas do esteroide sexual E2 em fêmeas de *B. amazonicus* mantidas em cativeiro, num sistema de produção semi-intensivo, estão correlacionadas de forma direta e simultânea com as variáveis ambientais de pH e oxigênio dissolvido da água e de forma inversa às variáveis fotoperíodo, temperatura da água e precipitação pluviométrica, não havendo associação com a transparência e condutividade da água;
- o perfil endócrino da concentração plasmática do E2 em fêmeas de *Brycon amazonicus* ficou caracterizado por concentrações elevadas nas estações climáticas de outono-inverno (maio/14 e setembro/14), redução e estabilização em baixas concentrações a partir da primavera-verão (outubro/2014 - fevereiro/15), com a retomada na elevação da concentração desse esteroide no outono (março/15-abril/15) seguinte.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. L. Endocrinologia aplicada na reprodução de peixes. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, Belo Horizonte, v. 37, n. 2, p. 174–180, 2013.
- ANDERSON, K. et al. Effect of thermal challenge on plasma gonadotropin levels and ovarian steroidogenesis in female maiden and repeat spawning Tasmanian Atlantic salmon (*Salmo salar*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 334-337, p. 205–212, 2012.
- ARANTES, F. P. et al. Profiles of sex steroids , fecundity , and spawning of the curimatã-pacu *Prochilodus argenteus* in the São Francisco River , downstream from the Três Marias Dam , Southeastern Brazil. **Animal Reproduction Science**, Amsterdam, v. 118, p. 330–336, 2010.
- BAIRD, C. A química das águas naturais. In: BAIRD, C. (Ed.). **Química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. p. 441–445.
- BARBIERI, G., SALLES, F. A., CESTAROLLI, M. A. Influência de fatores abióticos na reprodução do dourado, *Salminus maxillosus* e do curimatã *Prochilodus lineatus* do Rio Mogi Guaçu (Cachoeira de Emas, Pirassunungaa/SP). **Acta Limnológica Brasiliensia**, São Carlos, v. 12, p. 85–91, 2000.
- BAYARRI, M. J. et al. Effect of photoperiod manipulation on daily rhythms of melatonin and reproductive hormones in caged European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). **Fish Physiology and Biochemistry**, Dordrecht, v. 28, n. 1-4, p. 37–38, 2003.
- BJÖRNSSON, B. T. et al. The interrelation between photoperiod, growth hormone, and sexual maturation of adult Atlantic salmon (*Salmo salar*). **General and Comparative Endocrinology**, Maryland Heights, v. 93, n. 1, p. 70–81, 1994.
- BON, E. et al. Effects of Accelerated Photoperiod Regimes on the Reproductive Cycle of the Female Rainbow Trout: I—Seasonal Variations of Plasma Lipids Correlated with Vitellogenesis. **Fish Physiology and Biochemistry**, Dordrecht, v. 118, n. 1, p. 143–154, 1999.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Boletim estatístico da pesca e aquicultura 2011**. Brasília, 2011.
- BROMAGE, N. et al. Broodstock management, fecundity, egg quality and the timing of egg production in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 100, n. 1-3, p. 141–166, 1992.
- 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**, Amsterdam, v. 197, p. 63–68, 2001.

BROMAGE, N. R. et al. The effects of constant photoperiods on the timing of spawning in the rainbow trout. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 43, n. 1-3, p. 213–223, 1984.

BROMAGE, N. R.; WHITEHEAD, C.; BRETON, B. Relationships between serum levels of gonadotropin, oestradiol-17 beta, and vitellogenin in the control of ovarian development in the rainbow trout. II. The effects of alterations in environmental photoperiod. **General and Comparative Endocrinology**, Maryland Heights, v. 47, n. 3, p. 366–376, 1982a.

BROMAGE, N. R.; WHITEHEAD, C.; BRETON, B. Relationships between serum levels of gonadotropin, oestradiol-17 $\beta$ , and vitellogenin in the control of ovarian development in the rainbow trout. **General and Comparative Endocrinology**, Maryland Heights, v. 47, n. 3, p. 366–376, jul. 1982b.

BROWN-PETERSON, N. J. et al. A Standardized Terminology for Describing Reproductive Development in Fishes. **Marine and Coastal Fisheries**, Bethesda, v. 3, n. 1, p. 52–70, jan. 2011.

CABRITA, E.; ROBLES, V.; HERRÁEZ, P. **Methods in reproductive aquaculture: marine and freshwater species**. Boca Raton: CRC, 2008.

CORREIA, T.G.; NARCIZO, A.M.; BIANCHINI, A.; MOREIRA, R.G. Aluminium as an endocrine disruptor in female Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Comparative Biochemistry and Physiology – Part C: Toxicology and Pharmacology**, Miami, v.151, p.461-466, 2010

DAVIE, A. et al. Inhibition of sexual maturation in tank reared haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) through the use of constant light photoperiods. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 270, n. 1-4, p. 379–389, 2007.

DAVIE, A.; PORTER, M. J. R.; BROMAGE, N. R. Photoperiod manipulation of maturation and growth of Atlantic cod (*Gadus morhua*). **Fish Physiology and Biochemistry**, Dordrecht, v. 28, n. 1-4, p. 399–401, 2003.

DAVIES, B.; BROMAGE, N.; SWANSON, P. The Brain – Pituitary – Gonadal Axis of Female Rainbow Trout *Oncorhynchus mykiss*: Effects of Photoperiod Manipulation. **General and Comparative Endocrinology**, Dordrecht, v. 115, p. 155–166, 1999.

DELARIVA, R. L.; AGOSTINHO, A. A. Introdução de espécies : uma síntese comentada. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 21, n. 2, p. 255–262, 1999.

DEVLIN, R. H.; NAGAHAMA, Y. Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 208, p. 191–364, 2002.

DUSTON, J.; BROMAGE, N. Photoperiodic mechanism and rhythms of reproduction in the female rainbow trout. **Fish Physiology and Biochemistry**, Dordrecht, v. 2, n. 1-4, p. 35–51, 1986.

ELISIO, M.; CHALDE, T.; MIRANDA, L. A. Effects of short periods of warm water fluctuations on reproductive endocrine axis of the pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) spawning. **Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology**, Philadelphia, v. 163, n. 1, p. 47–55, 2012.

ENDAL, H. P. et al. Effects of continuous additional light on growth and sexual maturation in Atlantic salmon, *Salmo salar*, reared in sea cages. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 191, p. 337–349, 2000.

ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos de limnología**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FALCÓN, J. et al. Melatonin effects on the hypothalamo-pituitary axis in fish. **Trends in Endocrinology and Metabolism**, Oxford, v. 18, n. 2, p. 81–88, 2007.

FALCÓN, J. et al. Current knowledge on the melatonin system in teleost fish. **General and Comparative Endocrinology**, Dordrecht, v. 165, n. 3, p. 469–482, 2010.

FILHO, E. Z.; WEINGARTNER, M. Técnicas de indução da reprodução de peixes migradores. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, Belo Horizonte, v.31, n.3, p.367-373, 2007. Disponível em: <<http://www.cbra.org.br/pages/publicacoes/rbra/download/367.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2016.

FONTES, L. P. C. et al. Influência da chuva sobre os parâmetros físico-químicos na água da lagoa do IFMT – BELA VISTA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 3, 2012, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2012.

FROMM, P. O. A review of some physiological and toxicological responses of freshwater fish to acid stress. **Environmental Biology of Fishes**, Dordrecht, v. 5, n. 1, p. 79–93, 1980.

GARCÍA-LÓPEZ, A. et al. Disruption of gonadal maturation in cultured Senegalese sole *Solea senegalensis* Kaup by continuous light and/or constant temperature regimes. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 261, n. 2, p. 789–798, 2006.

GOMES, L. de C.; URBINATI, E. C. Matrinxã (*Brycon amazonicus*). In: BALDISSEROTTO, B.; GOMES, L. de C. (Ed.). **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. 2. ed. Santa Maria: UFSM, 2010. p. 149–174.

HAINFELLNER, P. et al. Gonadal steroids levels and vitellogenesis in the formation of oocytes in *Prochilodus lineatus* (Valenciennes) (Teleostei: Characiformes). **Neotropical Ichthyology**, São Paulo, v. 10, n. 3, p. 601–612, 2012.

HALA, D. et al. Constraints-based stoichiometric analysis of hypoxic stress on steroidogenesis in fathead minnows, *Pimephales promelas*. **Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v. 215, n. 10, p. 1753–1765, 2012.

HALLDORSSON, O.; HAUX, C.; BJORNSSON, T. Photoperiod control of sexual maturation of the Atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus* L.: plasma thyroid hormone and calcium levels. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 166, n. 1, p. 117–140, 1998.

HANSEN, T. et al. Growth, gonadal development and spawning time of Atlantic cod (*Gadus morhua*) reared under different photoperiods. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 203, n. 1-2, p. 51–67, 2001.

HONJI, R. M. **Caracterização endócrina durante o ciclo reprodutivo da tabarana *Salminus hilarii* (Characiformes: Characidae), em três ambientes distintos: natural, impactado e cativeiro**. 2007. 228 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41135/tde-23102007-174509/pt-br.php>>. Acesso em: 12 fev. 2016.

HOOVER, E. E. Experimental modification of the sexual cycle in trout by control of light. **Science**, Washington, v. 86, n. 2236, p. 425–426, 1937.

IBL, G. **Instruções de uso Kit 17B-Estradiol ELISA (RE52041)**. [S. l.: s. n.], 2010.

IKUAT, K. et al. **Effects of acidification on fish reproduction**. 1976. Disponível em: <<http://www.lib.noaa.gov/retiredsites/japan/aquaculture/proceedings/report28/ikuta.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2016.

ISEKI, K. K.; NEGRÃO, J. A.; CASTRUCCI, A. M. DE L. Variações sazonais nos níveis plasmáticos dos estróides sexuais (17 Beta-Estradiol e Testosterona) durante o ciclo reprodutivo de (*Piaractus mesopotamicus*). **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, [S.l.], v. 12, p. 151–162, 2008.

IZEL, A. C. U.; MELO, A. S. **Criação de matrinxã (*Brycon cephalus*) em barragens no Amazonas**. Manaus: Embrapa, 2003. 2 p. (Comunicado técnico, 20). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAA-2009-09/12534/1/Com-Tec-20.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2016.

KAGAWA, H.; YOUNG, G.; NAGAHAMA, Y. Estradiol-17 beta production in isolated amago salmon (*Oncorhynchus rhodurus*) ovarian follicles and its stimulation by gonadotropins. **General and Comparative Endocrinology**, Dordrecht, v. 47, n. 3, p. 361–365, 1982.



KING, H. R. et al. Effect of elevated summer temperatures on gonadal steroid production, vitellogenesis and egg quality in female Atlantic salmon. **Journal of Fish Biology**, Chichester, v. 63, n. 1, p. 153–167, 2003.

KING, H. R.; PANKHURST, N. W.; WATTS, M. Reproductive sensitivity to elevated water temperatures in female Atlantic salmon is heightened at certain stages of vitellogenesis. **Journal of Fish Biology**, Chichester, v. 70, n. 1, p. 190–205, 2007.

KUBTIZA, F. Qualidade da água na produção de peixes - Parte I. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 45, 1998, p. 36–41, 1998.

KUBTIZA, F. **Qualidade da água no cultivo de peixes e camarões**. Jundiaí: F. Kubtiza, 2003. 228 p.

LANDRY, C. A. et al. Long term hypoxia suppresses reproductive capacity in the estuarine fish, *Fundulus grandis*. **Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology**, Philadelphia, v. 148, n. 2, p. 317–323, 2007.

LEHNINGER, A. L. Enzimas. In: LODI, W. R. N. (Ed.). **Lehninger princípios de bioquímica**. 4. ed. São Paulo: Sarvier, 2006. p. 190–230.

LU, X. et al. Hypoxia disrupts gene modulation along the brain-pituitary-gonad (BPG)-liver axis. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Maryland Heights, v. 102, n. 1, p. 70–78, 2014.

MAITRA, S. K. et al. Melatonin: A potent candidate in the regulation of fish oocyte growth and maturation. **General and Comparative Endocrinology**, Dordrecht, v. 181, p. 215–222, 2013.

MARTINOVIC, D. et al. Hypoxia alters gene expression in the gonads of zebrafish (*Danio rerio*). **Aquatic Toxicology**, Amsterdam, v. 95, n. 4, p. 258–272, 2009.

MELO, A. R.; STIPP, N. A. . A Piscicultura em Cativeiro como Alternativa Econômica para as Áreas Rurais. **Geografia**, Londrina, v. 10, n. 2, p. 175–193, 2001.

MERCANTE, C. T. J. et al. Qualidade da água em pesque-pague da região Metropolitana de São Paulo (Brasil): Avaliação através de fatores abióticos (período seco e chuvoso). **Acta Scientiarum - Biological Sciences**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 1–7, 2005.

MIDDAUGH, D. P. et al. **Reproductive seasonality in teleosts: environmental influences**. Boca Raton: CRC Press, 1990. 254 p.

MORAN, L. A. et al. Mecanismos enzimáticos. In: **Bioquímica**. 5. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013. p. 164–196.

MOREIRA, R. G. **Esteróides gonadais, proteína, lipídios plasmáticos e hepáticos em relação ao ciclo reprodutivo do dourado *Salminus maxillosus* (Valenciennes, 1840)(Pisces Characiformes: Characidae)** de ambiente natural. 1999. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

MYLONAS, C. C.; FOSTIER, A.; ZANUY, S. Broodstock management and hormonal manipulations of fish reproduction. **General and Comparative Endocrinology**, Dordrecht, v. 165, n. 3, p. 516–34, 1 fev. 2010.

MYLONAS, C.; ZOHAR, Y. Use of GnRHa-delivery systems for the control of reproduction in fish. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, Dordrecht, p. 463–491, 2000.

NAGAHAMA, Y. et al. Molecular endocrinology of oocyte growth and maturation in fish. **Fish Physiology and Biochemistry**, Dordrecht, v. 11, n. 1-6, p. 3–14, jul. 1993.

NAGAHAMA, Y. Endocrine regulation of gametogenesis in fish. **International Journal of Developmental Biology**, Bilbao, v. 229, n. 1994, p. 217–229, 1994.

NAGAHAMA, Y.; YAMASHITA, M. Regulation of oocyte maturation in fish. **Development, Growth & Differentiation**, Richmond, v. 50, p. S195–S219, 2008.

NAIME, R.; FAGUNDES, R. S. Controle da qualidade da água do Arroio Portão Portão, RS. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 32, n. 1, p. 27–35, 2005.

NORBERG, B. et al. Effects of photoperiod on sexual maturation and somatic growth in male Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). **Comparative Biochemistry and Physiology**, Philadelphia, v. 129, n. 2-3, p. 357–365, 2001.

NORBERG, B. et al. Photoperiod regulates the timing of sexual maturation, spawning, sex steroid and thyroid hormone profiles in the Atlantic cod (*Gadus morhua*). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 229, n. 1-4, p. 451–467, 2004.

OGAWA, K. et al. Effects of acid stress on reproductive functions in immature carp, *Cyprinus carpio*. **Water Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 130, n. 1-4, p. 887–892, 2001.

PANKHURST, N. W.; KING, H. R. Temperature and salmonid reproduction: Implications for aquaculture. **Journal of Fish Biology**, Chichester, v. 76, p. 69–85, 2010.

PANKHURST, N. W.; MUNDAY, P. L. Effects of climate change on fish reproduction and early life history stages. **Marine and Freshwater Research**, Clayton, p. 1015–1026, 2011.

PANKHURST, N. W.; PORTER, M. J. R. Cold and dark or warm and light: Variations on the theme of environmental control of reproduction. **Fish Physiology and Biochemistry**, Philadelphia, v. 28, n. 1-4, p. 385–389, 2003.

PETRINO, T. R.; LIN, Y. W. P.; WALLACE, R. A. Steroidogenesis in *Fundulus heteroclitus*. **General and Comparative Endocrinology**, Dordrecht, v. 76, n. 2, p. 230–240, 1989.

PIZANGO PAIMA, E. G.; PEREIRA FILHO, M.; OLIVEIRA PEREIRA, M. I. DE. Composição corporal e alimentar do matrinxã, *Brycon cephalus*, na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 31, n. 3, p. 509–520, 2001.

PORTER, M. J. et al. The use of cage lighting to reduce plasma melatonin in Atlantic salmon (*Salmo salar*) and its effects on the inhibition of grilising. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 176, n. 3-4, p. 237–244, 1999.

PRAT, F. et al. Effects of constant short and long photoperiod regimes on the spawning performance and sex steroid levels of female and male sea bass. **Journal of Fish Biology**, Chichester, v. 54, p. 125–137, 1999.

QUAGUIO-GRASSIOTTO, I.; WILDNER, D. D.; ISHIBA, R. Gametogênese de peixes : aspectos relevantes para o manejo reprodutivo. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, Belo Horizonte, p. 181–191, 2013.

RAFF, H.; BRUDER, E. D. Steroidogenesis in human aldosterone-secreting adenomas and adrenal hyperplasias: effects of hypoxia in vitro. **American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism**, Bethesda, v. 290, n. 1, p. E199–E203, 2006.

REIS, R. E.; KULLANDER, S. O.; FERRARIS, C. J. **Check list of the freshwater fishes of South and Central America**. Porto Alegre: Ed. PUCRS, 2004. 729 p.

RIBEIRO, C.; GUIMARÃES, R. Fatores ambientais e reprodução dos peixes. **Revista da Biologia**, São Paulo, v. 8, p. 58–61, 2012. Disponível em: <[https://www.google.com.br/search?q=Fatores+ambientais+e+reprodu%C3%A7%C3%A3o+dos+peixes&ie=utf-8&oe=utf-8&gws\\_rd=cr&ei=qchBVo\\_eF4GcwgSc3p7ABQ](https://www.google.com.br/search?q=Fatores+ambientais+e+reprodu%C3%A7%C3%A3o+dos+peixes&ie=utf-8&oe=utf-8&gws_rd=cr&ei=qchBVo_eF4GcwgSc3p7ABQ)>. Acesso em: 15 fev. 2015.

RODRÍGUEZ, L. et al. Changes in plasma levels of reproductive hormones during first sexual maturation in European male sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) under artificial day lengths. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 202, n. 3-4, p. 235–248, 2001.

ROMAGOSA, E. et al. Reproductive cycle of male matrinxã, *Brycon cephalus*. **Brazilian Journal Morphology Science**, Campinas, v. 17, n. 17, p. 101–105, 2000.

ROMAGOSA, E. et al. Seleção e caracterização de fêmeas de matrinxã , *Brycon cephalus* , induzidas a reprodução. **Boletim do Instituto da Pesca**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 139–147, 2001. Disponível em: <[ftp://ftp.sp.gov.br/ftpcesca/27%5B2%5D-art\\_03.pdf](ftp://ftp.sp.gov.br/ftpcesca/27%5B2%5D-art_03.pdf)>. Acesso em: 15 fev. 2015.

ROUBACH, R.; GOMES, L. C. O uso de anestésicos durante o manejo de peixes. **Revista Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 66, p. 37–40, 2001. Disponível em: <<http://www.ib.unicamp.br/comissoes/sites/www.ib.unicamp.br.site.comissoes/files/teste%20de%20anestésicos%20em%20peixes.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2016.

RUFFINO, M. L.; ROUBACH, R. A pesca e aquicultura na Amazônia brasileira. In: ZAMUDIO, H. B. et al. (Ed.). **Amazonía y agua: desarrollo sostenible en el siglo XXI**. Espanã: Unesco Etxea, 2010. p. 249–257.

SCOTT, A.; SUMPTER, J.; HARDIMAN, P. Hormone changes during ovulation in the rainbow trout ( *Salmo gairdneri* Richardson). **General and Comparative Endocrinology**, Dordrecht, v. 134, p. 128–134, 1983.

SETHILKUMARAN, B.; YOSHIKUNI, M.; NAGAHAMA, Y. A shift in steroidogenesis occurring in ovarian follicles prior to oocyte maturation. **Molecular and Cellular Endocrinology**, Shannon, v. 215, p. 11–18, 2004.

SHIMIZU, A. Effect of photoperiod and temperature on gonadal activity and plasma steroid levels in a reared strain of the mummichog (*Fundulus heteroclitus*) during different phases of its annual reproductive cycle. **General and Comparative Endocrinology**, Dordrecht, v. 131, n. 3, p. 310–324, 2003.

SUMPTER, J. Reproductive seasonality in teleosts: Environmental influences. In: MUNRO, A. D.; SCOTT, A.; LAM, T. J. (Ed.). **General concepts of seasonal reproduction**. Boca Raton: CRC Press, 1990. p. 13–28.

TARANGER, G. L. et al. Mechanisms underlying photoperiodic effects on age at sexual maturity in Atlantic salmon, *Salmo salar*. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 44, p. 47–60, 1999.

TENA-SEMPERE, M. et al. Comparative insights of the kisspeptin/kisspeptin receptor system: Lessons from non-mammalian vertebrates. **General and Comparative Endocrinology**, Dordrecht, v. 175, n. 2, p. 234–243, 2012.

THOMAS, P. et al. Reproductive endocrine dysfunction in Atlantic croaker exposed to hypoxia. **Marine Environmental Research**, Clayton, v. 62, n. SUPPL. 1, p. 249–252, 2006.

THOMAS, P.; RAHMAN, M. S. Extensive reproductive disruption, ovarian masculinization and aromatase suppression in Atlantic croaker in the northern Gulf of Mexico hypoxic zone. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, New York, v. 279, n. 1726, p. 28–38, 2012.

VAN DER KRAAK, G.; PANKHURST, N. W. Temperature effects on the reproductive performance of fish. In: In: WOOD, C. M.; MCDONALD, D. G. (Eds.). **Global warming implications for freshwater and marine fish**. Cambridge: University Press, 1996. p. 159–176.

VAZZOLER, A. E. A. de M. **Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática**. Maringá: Ed. da UEM, 1996.

VERONEZ, B. P. **Análise da influência da precipitação pluviométrica e do uso do solo sobre a qualidade da água em microbacias hidrográficas no nordeste paraense, Amazônia oriental**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2011.

WATTS, M.; PANKHURST, N. W.; KING, H. R. Maintenance of Atlantic salmon (*Salmo salar*) at elevated temperature inhibits cytochrome P450 aromatase activity in isolated ovarian follicles. **General and Comparative Endocrinology**, Dordrechth, v. 135, n. 3, p. 381–390, 2004a.

WATTS, M.; PANKHURST, N. W.; KING, H. R. Maintenance of Atlantic salmon (*Salmo salar*) at elevated temperature inhibits cytochrome P450 aromatase activity in isolated ovarian follicles. **General and Comparative Endocrinology**, Dordrecht, v. 135, n. 3, p. 381–390, 2004b.

WHITEHEAD, C. et al. The effects of alterations in photoperiod on ovarian development and spawning time in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique**, Les Ulis, v. 18, n. 4, p. 1035–1043, 1978.

WU, R. S. S. et al. Aquatic hypoxia is an endocrine disruptor and impairs fish reproduction. **Environmental Science and Technology**, Dordrecht, v. 37, n. 6, p. 1137–1141, 2003.

WU, R. S. S. Effects of hypoxia on fish reproduction and development. **Fish Physiology**, Maryland Heights, v. 27, p. 79-141, 2009.

YARON, Z. Endocrine control of gametogenesis and spawning induction in the carp. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 129, n. 1-4, p. 49–73, jan. 1995.

YARON, Z.; LEVAVI-SIVAN, B. Endocrine Regulation of Fish Reproduction. In: **Encyclopedia of fish physiology: from genome to environment**. London: Elsevier, 2011. v. 2, p. 1500–1508.

YOUNG, G.; KAGAWA, H.; NAGAHAMA, Y. Evidence for a decrease in aromatase activity in the ovarian granulosa cells of amago salmon (*Oncorhynchus rhodurus*) associated with final oocyte maturation. **Biology of Reproduction**, Madison, v. 29, n. 2, p. 310–315, 1983.

YOUNG, G.; UEDA, H.; NAGAHAMA, Y. Estradiol-17 beta and 17 alpha, 20 beta-dihydroxy-4-pregnen-3-one production by isolated ovarian follicles of amago salmon (*Oncorhynchus rhodurus*) in response to mammalian pituitary and placental hormones and salmon gonadotropin. **General and Comparative Endocrinology**, Dordrecht, v. 52, n. 2, p. 329–335, 1983.

ZANIBONI FILHO, E.; WEINGARTNER, M. Técnicas de indução da reprodução de peixes migradores. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, Belo Horizonte, v. 31, p. 367–373, 2007.

ZANUY, S. et al. Genetic , hormonal and environmental approaches for the control of reproduction in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L ). **Aquaculture**, Amsterdam, v. 202, p. 187–203, 2001.

ZOHAR, Y. et al. Neuroendocrinology of reproduction in teleost fish. **General and Comparative Endocrinology**, Dordrecht, v. 165, n. 3, p. 438–55, 2010.

ZOHAR, Y.; MYLONAS, C. C. Endocrine manipulations of spawning in cultured fish: from hormones to genes. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 197, n. 1-4, p. 99–136, 2001.