

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS  
PESQUEIROS E ENGENHARIA DE PESCA**

**ROGERIO ANDERSON DRUZIAN**

Pequena Central Hidrelétrica afeta a estrutura populacional do  
Lambari do Rabo Vermelho, *Astyanax* aff. *fasciatus*

Toledo

2018

**ROGERIO ANDERSON DRUZIAN**

Pequena Central Hidrelétrica afeta a estrutura populacional do  
Lambari do Rabo Vermelho, *Astyanax* aff. *fasciatus*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de Mestrado e Doutorado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus Toledo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Gilmar Baumgartner

Orientador II : Dr. Eder A. Gubiane

Toledo

2018

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Dp Druzian, Rogerio Anderson  
Pequena Central Hidrelétrica afeta a estrutura populacional do Lambari do rabo vermelho, *Astyanax aff. fasciatus* / Rogerio Anderson Druzian; orientador Gilmar Baumgartner; coorientador Éder Andre Gubiane. -- Toledo, 2018.  
25 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Toledo) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, 2018.

1. Fator de Condição. 2. Índice de Atividade Reprodutiva-IAR. 3. Captura por Unidade de Esforço-CPUE. I. Baumgartner, Gilmar, orient. II. Andre Gubiane, Éder, coorient. III. Título.

Pequena Central Hidrelétrica afeta a estrutura populacional do  
Lambari do Rabo Vermelho, *Astyanax aff. fasciatus*

**RESUMO**

Recentemente no Brasil começaram a ser construídas Pequenas Centrais Hidrelétricas em rios de pequena ordem para aumentar a capacidade energética, e com isso, o rio São Francisco Verdadeiro foi barrado para a formação do reservatório da PCH São Francisco. O objetivo deste trabalho foi verificar se a formação do reservatório da PCH São Francisco, alterou positivamente a estrutura populacional de *Astyanax aff. fasciatus*. As coletas trimestrais dos peixes foram realizadas em três sítios amostrais, com redes de espera, nas fases pré e pós enchimento. Foram verificadas diferenças significativas na abundância, nos sítios do reservatório e jusante. Na estrutura em tamanho, observou-se maior frequência de indivíduos de menor tamanho a jusante e no reservatório, após a formação deste. Com relação à atividade reprodutiva, houve redução da intensidade no reservatório no período imediatamente após o represamento. Quanto ao fator de condição no reservatório e na jusante foram verificadas alterações positivas. Deste modo, concluímos que a implantação da PCH São Francisco influenciou positivamente a abundância, estrutura em tamanho e fator de condição de *A. aff. fasciatus*, o que está relacionado à maior disponibilidade de alimento e habitats após o barramento.

**Palavras-chave:** Fator de Condição; Índice de Atividade Reprodutiva; Captura por Unidade de Esforço, ictiofauna.

Small Hydroelectric Power Plant affects the population structure of  
Lambari of the Red Tail, *Astyanax* aff. *Fasciatus*

**ABSTRACT**

Recently in Brazil began to be built small hydroelectric plants on small rivers order to increase energy capacity. The São Francisco real river was barred to form the reservoir of PCH São Francisco. The aim of this work was to verify if the reservoir of PCH São Francisco, changed the population structure of *Astyanax* aff. *fasciatus*. Quarterly samples of fish were held at three sampling sites, with gillnets, in phases before and after the filling of the reservoir. Significant differences were observed in the abundance in the reservoir and downstream sites. In size structure, higher frequency of smaller individuals downstream and into the reservoir, after the formation of this. With respect to reproductive activity, there was a reduction of the intensity in the reservoir in the period immediately after the construction of the dam. As for the condition factor in the reservoir and downstream were observed positive changes. Therefore, we conclude that the PCH São Francisco influenced positively the abundance and size structure and the condition factor of *A. aff. fasciatus*, which is related to the greater availability of food and habitats after the construction of the dam.

**Keywords:** condition factor; Index of reproductive activity; Catch per unit effort, ichthyofauna.

## Sumário

Introdução .....	7
Material e Métodos .....	8
Resultados .....	13
Discussão.....	20
Referências.....	23

## Introdução

A construção de usinas hidrelétricas gerando barramentos em rios é uma ação antrópica que causa impactos aos ecossistemas aquáticos (Mérona & Albert, 1999; Agostinho *et al.*, 2007; Araújo *et al.*, 2013; Normando *et al.*, 2014; Novaes *et al.*, 2014; Holcomb *et al.*, 2015; Affonso *et al.*, 2015; Poff e Schmidt, 2016 Oliveira *et al.*, 2018). Com o enchimento do reservatório, os habitats que existiam anteriormente são alterados, sendo alguns extintos, como por exemplo, corredeiras, poços, lagoas marginais e canais, enquanto novos habitats podem ser formados, como bancos de areia, zonas de macrófitas e galhadas (Agostinho *et al.*, 2007). A montante da barragem a velocidade da água é amplamente alterada, deixando de ter fluxo lótico, se tornando um ambiente lântico (Bazzoli *et al.*, 1991; Lowe-McConnell, 1999; Agostinho *et al.*, 2007; Agostinho *et al.*, 2016; Cooper *et al.*, 2016). A jusante do barramento o antigo rio sofre mudanças, principalmente devido à alteração na vazão natural de água (World Commission of Dams, 2000; Cooper *et al.*, 2016), além do que as espécies de peixes migradores não conseguem completar seu ciclo migratório, sendo impedidas pela barragem de alcançar as cabeceiras dos rios e não se reproduzem (Agostinho *et al.*, 2007; 2016; Cooper *et al.*, 2016; Souza *et al.*, 20018).

Após o barramento existe uma tendência de reestruturação das espécies de peixes no reservatório (Agostinho *et al.*, 2007), algumas espécies podem ser prejudicadas, enquanto outras se beneficiam. Entre as espécies que podem ser beneficiadas estão aquelas que possuem desova parcelada, desovando várias vezes dentro do mesmo ciclo reprodutivo (Vazzoler, 1996; Lowe-McConnell, 1999), ou que apresentam ciclo de vida precoce, em que os recrutas rapidamente se tornam aptos à reprodução (Vazzoler, 1996). Essas características são apresentadas principalmente por peixes de pequeno porte (Agostinho *et al.*, 2016), entre eles os lambaris do gênero *Astyanax*.

O rio São Francisco Verdadeiro foi barrado para a formação do reservatório da PCH São Francisco, e neste rio, a maioria das espécies de peixes são de pequeno porte, dentre elas destaca-se *A. fasciatus*. Esta espécie, vulgarmente conhecida como lambari do rabo vermelho é pertencente à família Characidae e possui ampla distribuição, sendo encontrada em bacias hidrográficas da América do Sul e América do Norte (Graça e Pavanelli, 2007), comumente habita lagoas e rios e apresenta preferência alimentar por detritos em águas de fluxo lótico e vegetais e larvas de insetos em fluxo lântico, aproveitando-se da planície de inundação nas cheias (Hahn *et al.*, 2004).

Sua biologia reprodutiva é característica, com migrações de curta distância para desova, apresenta primeira maturação precoce (4,7 cm para fêmeas e machos), se reproduz por amplo período, entre agosto e fevereiro, e não apresenta cuidado parental (Suzuki *et al.*, 2004; Graça e Pavanelli, 2007), características típicas de espécies estrategistas oportunistas (Winemiller, 1989).

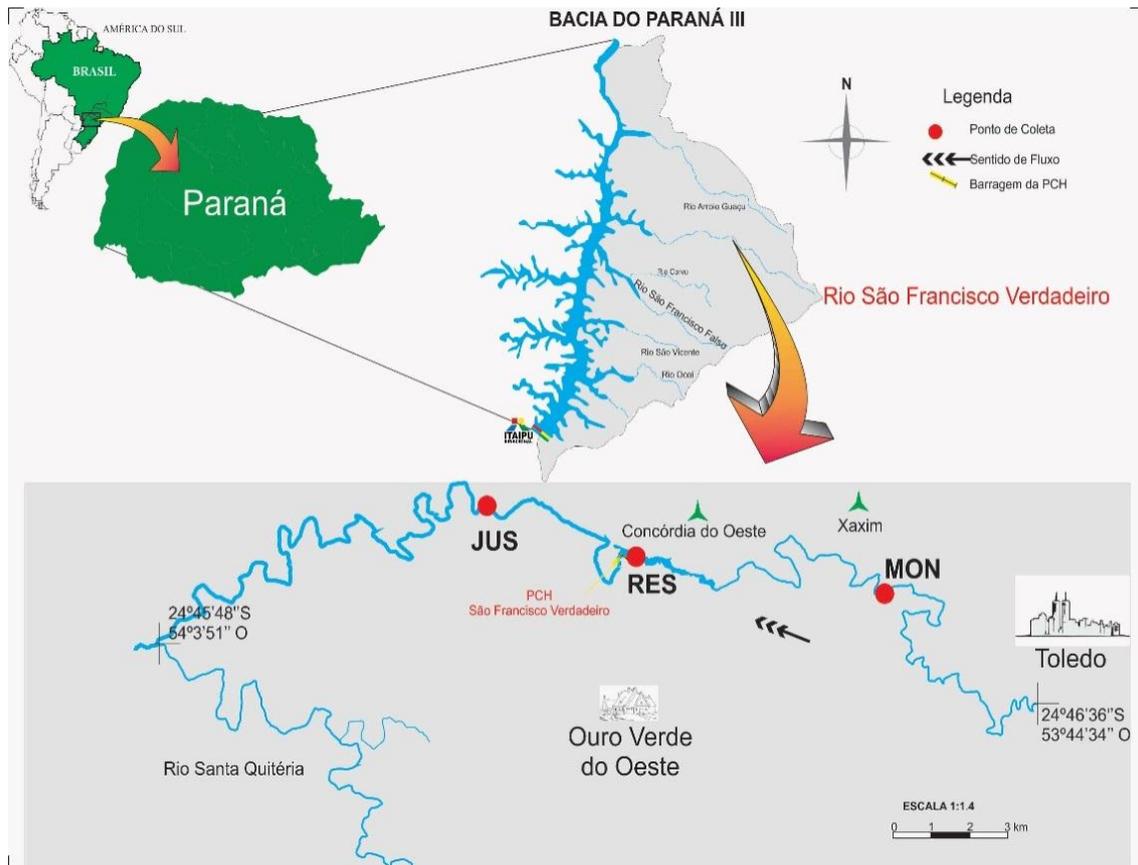
Considerando as características desta espécie, este trabalho teve como objetivo verificar se a formação do reservatório da Pequena Central Hidrelétrica (PCH) São Francisco, alterou a estrutura populacional de *A. fasciatus*. Deste modo, as hipóteses aqui testadas foram de que a formação do reservatório da PCH São Francisco influenciou positivamente na: I) abundância, II) estrutura em tamanho, III) atividade reprodutiva, e IV) fator de condição desta espécie.

### **Material e Métodos**

O rio São Francisco Verdadeiro, localizado inteiramente no estado do Paraná, nasce no município de Cascavel e desemboca no reservatório de Itaipu, no município de Entre Rios do Oeste. A sua área de drenagem é de 2.219,1 km<sup>2</sup>, abrange os municípios de Cascavel, Toledo, Ouro Verde do Oeste, São José das Palmeiras, Entre Rios do Oeste, Marechal Cândido Rondon e Pato Bragado (Gubiani *et al.*, 2010).

A Pequena Central Hidrelétrica (PCH) São Francisco está localizada entre os municípios de Toledo e Ouro Verde do Oeste (latitude 24° 43' 56,72" e longitude de 53° 53' 32,81") e conta com um reservatório com extensão aproximada de 4 km, a profundidade máxima do reservatório é aproximadamente 20 metros. A tomada de água para as duas unidades geradoras é através de dois tubos de adução, que captam água da superfície até 5 metros de profundidade, e destina a água pela tubulação por 70 metros de desnível, até alcançar a duas turbinas tipo Francis, com potência total de 14,0 MW. O vertedouro da barragem é tipo Vão Livre, que permite a passagem de água superficial (Genesis energética S/A, 2018).

Para testar as hipóteses e alcançar os objetivos, foram estabelecidos três sítios de amostragem na área de influência da PCH São Francisco, sendo: 1) montante do reservatório - MON, 2) local onde foi formado o reservatório - RES e 3) jusante da casa de força - JUS (Fig. 1).



**Fig. 1-** Localização dos sítios de amostragem na área de influência da PCH São Francisco, rio São Francisco Verdadeiro: MON = Montante, RES = Reservatório e JUS = Jusante.

Fonte: Éder André Gubiani

As coletas foram realizadas trimestralmente pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Pesqueiros e Limnologia (GERPEL), da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, entre dezembro de 2007 e setembro de 2010, considerada a fase de pré-enchimento do reservatório (Pré), dezembro de 2010 e setembro de 2013, denominada primeira fase pós-enchimento (Pós I) e de dezembro de 2013 a setembro de 2016, denominada segunda fase pós-enchimento (Pós II). Em todos os três períodos o tempo de amostragem foi similar (36 meses e 12 coletas cada).

Para a captura na fase Pré foram utilizadas redes de espera de malha simples (2,5; 3,0; 4,0 e 5,0 cm de entre nós não adjacentes), todas com 10 metros de comprimento, expostas nas margens (Fig.2).



**Fig. 2-** Revista e retirada de rede de espera com 10 metros de comprimento exposta na margem.

Nas fases pós-enchimento, foi incluído um conjunto de redes no sítio reservatório, exposto na superfície (Fig.3). As redes foram instaladas às 16 horas e retiradas na manhã seguinte, revistadas às 22:00 e 08:00 horas, ficando expostas por aproximadamente 16 horas. Este protocolo de amostragem foi aprovado pelo Comitê de Ética em experimentação Animal da Unioeste (Material Suplementar 1).



**Fig. 3-** Bateria de rede de superfície exposta no reservatório da PCH São Francisco Verdadeiro.

Os peixes, depois de capturados foram eutanasiados em solução de Benzocaína (250mg/L) (Okamura *et al.*, 2010), e conservados em gelo até a análise. A identificação foi efetuada segundo Graça & Pavanelli (2007), e exemplares testemunhos foram depositados na Coleção Ictiológica do Gerpel (Voucher CIG 1287).

De todos os exemplares foram obtidos: comprimento total (Lt), comprimento padrão (Ls), peso total (Wt), peso das gônadas (Wg), sexo e estágio de desenvolvimento gonadal. A determinação dos sexos e dos estágios de desenvolvimento gonadal foi efetuada através da inspeção macroscópica das gônadas, observando-se o tamanho, a forma e a possibilidade de visualização dos ovócitos, conforme metodologia proposta por Vazzoler (1981 e 1996).

A abundância foi determinada através da captura por unidade de esforço (CPUE) para cada amostra obtida segundo King (2005). Como captura, foi considerado o número de indivíduos (CPUE<sub>n</sub>) e o peso total capturado (CPUE<sub>b</sub>), sendo o esforço dado para cada 1000 metros quadrados de rede em 16 horas de exposição. Assim tem-se:

$$CPUE = \frac{C}{E} * 1000$$

Onde:

CPUE<sub>n</sub>, b = número de indivíduos (ou biomassa) capturados por 1000m<sup>2</sup> de redes\*16h;

C = número de exemplares (ou biomassa capturada);

E = esforço de pesca utilizado (em m<sup>2</sup> de rede\*16h).

Para estabelecer a estrutura em tamanho, a amplitude de variação de comprimento foi dividida em 11 classes, segundo fórmula de Sturges (Sokal e Rohlf, 1981) sendo: (6,0-6,9; 7,0-7,9; 8,0-8,9; 9,0-9,9; 10,0-10,9; 11,0-11,9; 12,0-12,9; 13,0-13,9; 14,0-14,9; 15,0-15,9; 16,0-16,9 cm). O cálculo da porcentagem de indivíduos por classe foi realizado, dividindo o número de fêmeas capturadas pertencente a classe *i*, pelo número total de fêmeas capturadas, e o resultado multiplicado por 100.

A intensidade reprodutiva foi avaliada através do Índice de Atividade Reprodutiva (IAR), adaptado de Vazzoler (1996) e Baumgartner *et al.* (2016), para as fêmeas. Assim tem-se:

$$IAR = \frac{\ln CPUE_n N_i \left( \frac{n_i}{\sum n_i} + \frac{n_i}{CPUE_n N_i} \right) \frac{RGS_i}{RGS_e}}{\ln Nm \left( \frac{nm}{\sum n_i} + 1 \right)} * 100$$

Onde:

CPUE<sub>n</sub> = CPUE<sub>n</sub> na unidade amostral **i**;

n<sub>i</sub> = n°. de fêmeas em reprodução na unidade amostral **i**;

N<sub>m</sub> = n°. de fêmeas na maior unidade amostral;

nm = n°. de fêmeas em reprodução na unidade amostral com maior **n**;

RGS<sub>i</sub> = RGS médio das fêmeas em reprodução na unidade amostral **i**;

RGS<sub>e</sub> = maior valor individual da RGS;

RGS = peso dos ovários\*100/peso total.

A atividade reprodutiva foi considerada nula (IAR ≤ 2), incipiente (2 < IAR ≤ 5), moderada (5 < IAR ≤ 10), intensa (10 < IAR ≤ 20) e muito intensa (IAR > 20), segundo Vazzoler (1996).

Como o Índice de Atividade Reprodutiva (IAR), necessita um número mínimo de indivíduos (Suzuki & Agostinho, 1997), foi necessário agrupar os dados por ano, ao invés de trimestre, tendo sido utilizadas apenas as fêmeas, como empregado por Agostinho *et al.* (1991) e Baumgartner *et al.* (2016).

A higidez, foi avaliada para fêmeas, através do Fator de Condição total, segundo Vazzoler (1996), Assim tem-se:

$$K = \frac{W_t}{L_t^b}$$

Onde:

K = Fator de Condição Total

W<sub>t</sub> = Peso Total

L<sub>t</sub> = Comprimento Total

<sup>b</sup> = Coeficiente angular da regressão W<sub>t</sub>/L<sub>t</sub>

### *Análise de dados*

Os resultados foram submetidos à checagem dos pressupostos utilizando o teste de Levine e Shapiro-Wilk, e no caso da CPUE, que não atendeu à estes pressupostos os dados foram transformados em Raiz Quadrada. Para a verificação de diferenças significativas, os dados foram comparados utilizando-se a Análise de Variância Unifatorial (*One-Way Anova*), e quando encontradas diferenças significativas foi aplicado o teste de *Tukey* (Zar, 1999). Todos os testes foram realizados ao nível de 5% de significância, utilizado o software *Statistica 7.1* (Statistica 2017).

### **Resultados**

No sítio Montante não foram verificadas diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) para biomassa média capturada, sendo que no primeiro período pós-enchimento (Pós I) houve redução na abundância, aumentando posteriormente. A mesma tendência de redução pôde ser observada para a CPUE<sub>n</sub>, também não sendo verificada diferença significativa ( $P > 0,05$ ) (Tab.1).

No sítio Reservatório foram verificadas diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) tanto para CPUE<sub>n</sub>, como para CPUE<sub>b</sub>, o que caracteriza um aumento na abundância média capturada, tanto para biomassa, quanto para número de indivíduos na segunda fase (Pós II) após o enchimento do reservatório. Foi registrada no período Pré uma CPUE<sub>b</sub> de  $2,23 \pm 0,25$  kg/1000m<sup>2</sup> de redes\*16h, enquanto no período Pós II foi de  $3,19 \pm 0,22$  kg/1000m<sup>2</sup> de redes\*16h. Para CPUE<sub>n</sub> as médias foram de  $15,77 \pm 1,70$  indivíduos/1000m<sup>2</sup> de redes\*16h no período Pré e de  $29,38 \pm 2,47$  indivíduos/1000m<sup>2</sup> de redes\*16h no período Pós II (Tab.1).

No sítio Jusante também foram verificadas diferenças significativas na abundância ( $P < 0,05$ ), tanto para a CPUE<sub>n</sub> como para CPUE<sub>b</sub>, sendo que para ambas os maiores valores foram registrados após o enchimento do reservatório (Tab.1). Para CPUE<sub>n</sub> no período Pré foi registrado o menor valor ( $2,37 \pm 1,06$  indivíduos/1000m<sup>2</sup> de redes\*16h) e no período Pós I ( $17,39 \pm 3,53$  indivíduos/1000m<sup>2</sup> de redes\*16h) o maior. Para a CPUE<sub>b</sub> o menor valor foi também registrado no Pré-enchimento ( $0,32 \pm 0,14$  kg/1000m<sup>2</sup> de redes\*16h), enquanto o maior foi registrado no Pós II ( $3,14 \pm 0,46$  kg/1000m<sup>2</sup> de redes\*16h).

**Tab. 1-** Resultado da Análise de Variância Unifatorial aplicada aos dados transformados de Captura por unidade de esforço CPUE<sub>n</sub> (indivíduos/1000 m<sup>2</sup> rede\*16hs) e CPUE<sub>b</sub> (kg/1000 m<sup>2</sup> rede\*16hs), em função dos períodos e sítios de amostragem.

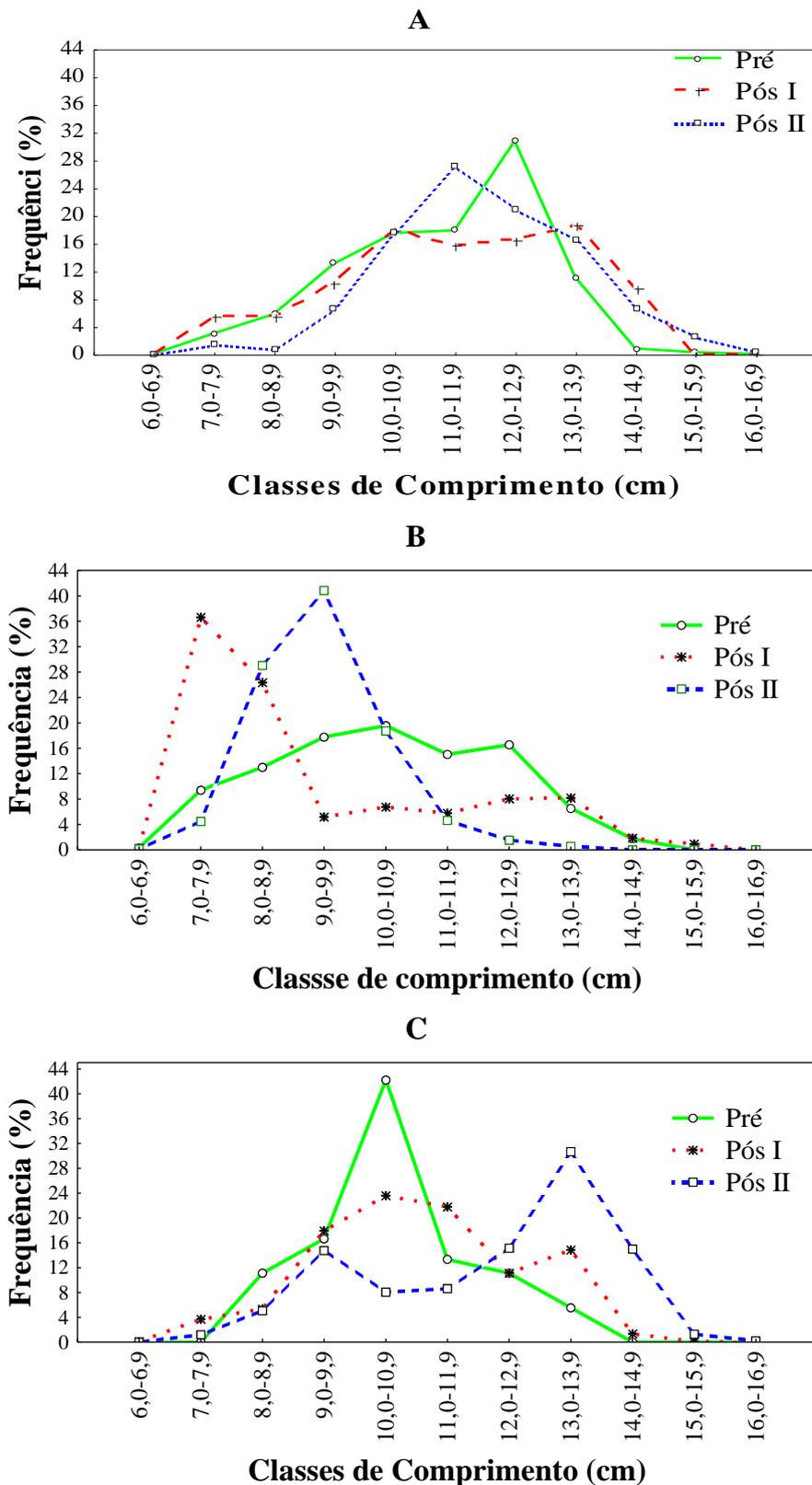
CPUE	Pré	Pós I	Pós II	(p)
	<i>Montante</i>			
n	20,72 ± 3,30 <sup>a</sup>	11,75 ± 2,08 <sup>a</sup>	19,65 ± 2,77 <sup>a</sup>	0,057
b	3,17 ± 0,57 <sup>a</sup>	2,00 ± 0,33 <sup>a</sup>	3,48 ± 0,45 <sup>a</sup>	0,074
	<i>Reservatório</i>			
n	15,77 ± 1,70 <sup>a</sup>	21,39 ± 4,47 <sup>a</sup>	29,38 ± 2,47 <sup>b</sup>	0,014
b	2,23 ± 0,25 <sup>a</sup>	2,07 ± 0,32 <sup>a</sup>	3,19 ± 0,22 <sup>b</sup>	0,011
	<i>Jusante</i>			
n	2,37 ± 1,06 <sup>a</sup>	17,39 ± 3,53 <sup>b</sup>	17,16 ± 2,40 <sup>b</sup>	0,001
b	0,32 ± 0,14 <sup>a</sup>	2,69 ± 0,53 <sup>b</sup>	3,14 ± 0,46 <sup>b</sup>	0,001

\*Letras distintas na mesma linha e cor vermelha indicam diferenças significativas (p<0,05).

No sítio montante, comparando-se as três fases, verificou-se pouca alteração na estrutura em tamanho (Fig.4), sendo que na fase Pré a maior frequência foi de indivíduos na classe de comprimento de 12,0 a 12,9 cm (30%), verifica-se também que 78,2% dos indivíduos apresentam comprimento entre 9,0 a 12,9 cm (Fig.4 A). Na fase Pós I a frequência foi mais equitativa entre as classes, destacando-se a classe de 13,0-13,9 cm (18,7%), enquanto que 68,0% dos indivíduos capturados encontravam-se em comprimentos de 10,0 a 13,9 cm. Já na fase Pós II, a classe que mais se destacou foi de 11,0 a 11,9 cm (27%), sendo que 81% dos indivíduos capturados encontravam-se entre 10,0 a 13,9 cm (Fig.4 A).

No sítio Reservatório foi observada uma alteração maior na estrutura em tamanho, quando comparadas as fases, sendo que na fase Pré a frequência foi mais distribuída entre as classes, com maior abundância para a classe de 10 a 10,9 cm (19,5%). Na fase Pós I, o tamanho médio foi o menor entre as fases, sendo que 36,6% dos indivíduos estiveram na classe de 7,0 a 7,9 cm, enquanto que na fase Pós II, 40,8% dos indivíduos capturados estiveram na classe 9,0 a 9,9 cm (Fig.4 B).

Na Jusante, também se percebe uma alteração na estrutura em comprimento, porém diferente daquela observada no Reservatório. Na fase Pré a maior frequência de indivíduos foi registrada para a classe de 10,0 a 10,9 cm (42,2%), na fase Pós I o predomínio também foi nesta classe, porém com uma frequência menor (21,8%). Já na fase Pós II, percebe-se um aumento no tamanho médio com 30,6% dos indivíduos pertencentes à classe de 13,0 a 13,9 cm (Fig.4 C)

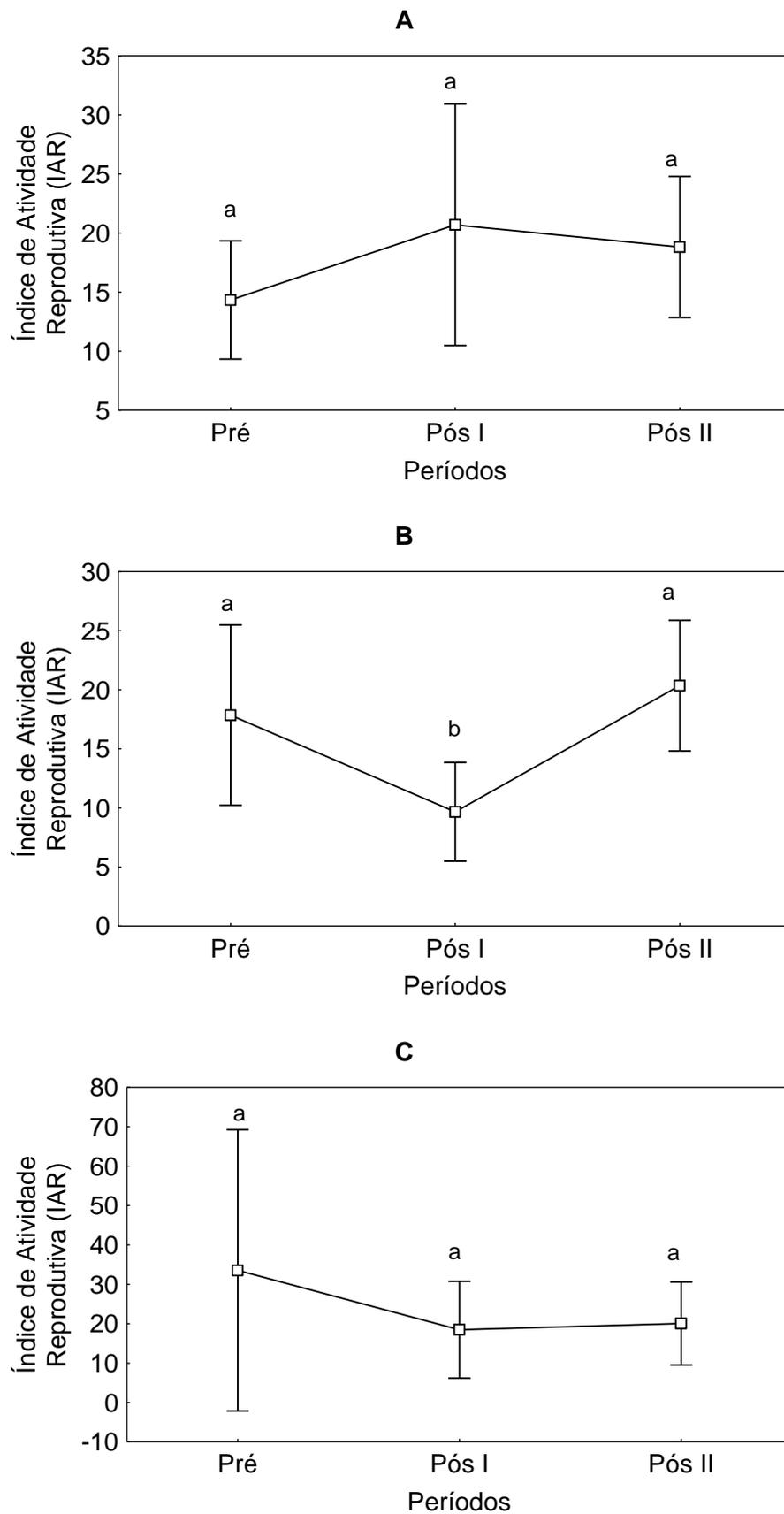


**Fig. 4-** Porcentagem de fêmeas de *Astyanax fasciatus* de dezembro de 2007 a setembro de 2016 agrupados por classes de comprimento total (cm) para as três áreas de influência da PCH São Francisco Verdadeiro, (A = MON; B= RES; C= JUS).

Com relação ao Índice de Atividade Reprodutiva (IAR), no sítio Montante, não foi verificada diferença significativa entre as fases ( $p>0,05$ ), porém é possível verificar que houve um aumento na atividade após o barramento. Nas fases Pré e Pós II a atividade reprodutiva foi considerada intensa (14,34 e 18,82 respectivamente), enquanto que na fase Pós I ela foi considerada muito intensa (20,69) (Fig. 5 A).

O comportamento inverso pode ser observado para o sítio reservatório onde no período Pré-enchimento a atividade reprodutiva foi considerada como intensa (17,85), enquanto na fase Pós I a atividade foi classificada como moderada (9,67), e no período Pós II ela foi classificada como muito intensa (20,36). Percebe-se que a atividade reprodutiva no período Pós I diferiu significativamente dos outros períodos ( $p<0,05$ ) (Fig. 5 B).

Quando analisada a jusante, a atividade reprodutiva ao longo do tempo variou de muito intensa (33,54) na fase Pré, a intensa (18,47) na fase Pós I, e na fase Pós II a atividade reprodutiva foi considerada como muito intensa (20,10), entretanto, não houve diferença significativa ( $p>0,05$ ) (Fig. 5 C).

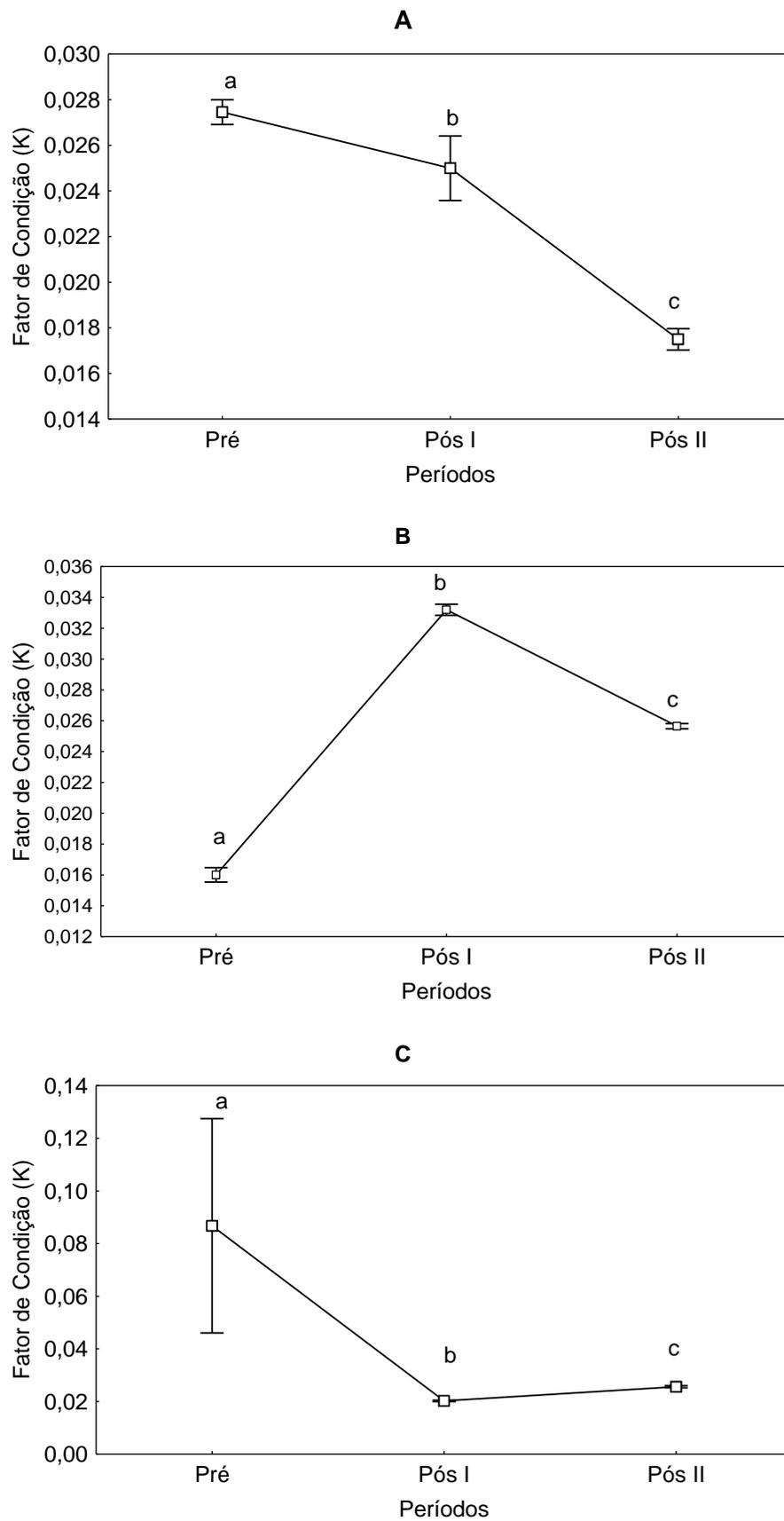


**Fig. 5** - Média e erro padrão do Índice de Atividade Reprodutiva de fêmeas de *Astyanax fasciatus* agrupados por períodos de dezembro de 2007 a setembro de 2016, para as três áreas de influência da PCH São Francisco Verdadeiro, (**A** = MON; **B**= RES; **C**= JUS).

Quanto ao fator de condição, no sítio Montante, foi verificada diferença significativa entre as fases ( $p < 0,05$ ), sendo possível verificar uma diminuição do fator de condição com o passar dos períodos. O maior valor observado (0,027) em Pré e o menor valor (0,017) em Pós II (Fig. 6 A).

No sítio onde foi formado o reservatório também foram verificadas diferenças estatísticas significativas entre as fases ( $p < 0,05$ ), no primeiro período após a formação do reservatório houve um aumento no valor do fator de condição, Pré ( $K=0,016$ ) para Pós I ( $K=0,033$ ) e no Pós II houve um decréscimo ( $k=0,025$ ), porém, não sendo próximo ao observado antes da formação do reservatório (Fig. 6 B).

A jusante da casa de força, assim como no reservatório, houve diferença significativa entre as fases ( $p < 0,05$ ), antes da formação do reservatório os indivíduos possuíam higidez superior à encontrada após a formação da barragem. No Período Pré ( $k=0,086$ ), após a formação Pós I ( $k=0,020$ ) e no período Pós II ( $k=0,025$ ) (Fig. 6 C).



**Fig. 6** - Média e erro padrão do Fator de Condição de fêmeas de *Astyanax fasciatus* agrupados por períodos de dezembro de 2007 a setembro de 2016, para as três áreas de influência da PCH São Francisco Verdadeiro, (A = MON; B= RES; C= JUS).

## Discussão

No caso da PCH São Francisco, a ausência de diferença significativa nas CPUEn e CPUEb para *Astyanax aff. fasciatus* a montante do reservatório, indica que a interrupção do rio São Francisco Verdadeiro, pela implantação da barragem não afetou a abundância desta espécie. Alguns autores relatam pequenas alterações na estrutura a montante, sendo que Araújo *et al.* (2013), que avaliaram os períodos pré e pós-enchimento do reservatório de Lajeado, no Tocantins e verificaram que no trecho a montante houve pouca variação na estrutura das espécies de peixes.

A manutenção do fluxo natural (lótico) a montante de reservatórios de hidrelétricas, segundo Agostinho *et al.* (2016), é o que garante condições de alimentação e reprodução para as espécies reofílicas, o que poderia explicar a manutenção da abundância de *A. fasciatus*, após o enchimento do reservatório.

Por outro lado, variações significativas com aumento da abundância na área represada pelo barramento do rio, como verificado na presente análise, foram registradas nos reservatórios das hidrelétricas de Rosana, Três Irmãos, Jordão e Corumbá (Agostinho *et al.*, 1999; 2007; 2008; 2016). O aumento da abundância na área represada, segundo Agostinho *et al.* (2016), se deve à transformação do ambiente lótico em lêntico, que aumenta a disponibilidade de recursos alimentares devido ao aumento da disponibilidade de nutrientes, e o consequente aumento da produtividade primária. Como citado por Hahn *et al.*, (2004) espécies forrageiras apresentam plasticidade alimentar, deste modo ficou evidente que *A. fasciatus* se aproveitou desta disponibilidade de recursos alimentares mais vantajosos após a formação do reservatório, e assim aumentou a abundância.

Alterações significativas na abundância como verificado na jusante da PCH São Francisco, praticamente não são relatadas na literatura, uma vez que estudos de pequenas barragens são escassos, principalmente com espécies não migradoras. Possivelmente, a elevação da abundância de *A. fasciatus* a jusante da barragem esteja relacionada com a operação da usina, já que o fluxo de água é variável, e dependente da geração de energia, o que estaria simulando períodos de seca e cheia que naturalmente ocorriam na região. Como a operação da PCH é contínua e as variações de fluxo são em números muito maiores do que aconteciam naturalmente no curso do rio, a espécie recebeu mais estímulos para se reproduzir, aumentando significativamente as capturas por unidade de esforço em número e biomassa.

Em relação à estrutura em tamanho, pouca variação foi verificada no sítio montante, sendo que a frequência de tamanho, foi mais homogeneamente distribuída entre as classes, o que se deve à manutenção das características naturais do rio de antes do represamento. Já na área represada, percebe-se claramente que após o represamento os tamanhos médios foram menores e mais frequentes, tanto no Pós I, como no Pós II. Este resultado aponta que houve uma maior ocupação por indivíduos de menor porte, ou seja, o recrutamento foi maior no período pós enchimento. De acordo com Agostinho *et al.* (2007) e Agostinho *et al.* (2016) existe uma tendência de ocupação de reservatórios por indivíduos menores, principalmente de espécies oportunistas como *A. fasciatus*, que aproveitou a disponibilidade de novos habitats e recursos alimentares.

Variações similares à do reservatório também ocorreram para esta espécie na jusante, sendo que, após a formação do reservatório, foi registrada maior presença de indivíduos em classes de comprimento menores. Apesar deste comportamento ser similar ao do reservatório, na jusante, a espécie não se aproveitou de novos habitats. Essa alteração pode estar associada principalmente à variação de fluxo, mas também devido ao alimento exportado pelo reservatório.

De acordo com os resultados, ficou evidente que houve atividade reprodutiva durante todo o período de análise, e, em todos os locais amostrados. Na montante e jusante houve variação na intensidade reprodutiva, porém as mesmas não foram significativas, evidenciando que nesses locais, a implantação da PCH São Francisco, não influenciou na intensidade da reprodução. Por outro lado, no reservatório, houve diferenças significativas no Índice de Atividade Reprodutiva, sendo que, no período Pós I ela foi moderada e nos períodos Pré e Pós II ela foi intensa. Este resultado evidencia que, no primeiro período após o enchimento do reservatório, houve uma redução na intensidade reprodutiva na área alagada.

A explicação mais plausível para este fato é que, conforme relatam Suzuki & Agostinho (1997) e Baumgartner *et al.* (2016) espécies do gênero *Astyanax*, apresentaram maior Índice de Atividade Reprodutiva a jusante da Barragem das usinas de Salto Segredo e Salto Santiago, respectivamente, indicando que elas preferem ambientes com características lóticis para a reprodução, deste modo, no caso de *A. fasciatus* na PCH São Francisco a desova ocorreu a montante (já que houve aumento da atividade reprodutiva neste local) e a prole derivou para dentro do reservatório, onde encontrou condições adequadas para o seu desenvolvimento, o que determinou um aumento da abundância neste local após o barramento.

A explicação mais plausível para a redução do grau de hígidez das fêmeas a montante do reservatório, após o fechamento do mesmo, seria de que neste local os indivíduos estariam alocando mais em crescimento, do que propriamente em reservas para a reprodução, já que neste local as condições de fluxo foram mantidas.

No reservatório o fator de condição aumentou no período Pós I, o que está relacionado ao aumento de nutrientes e alimentos disponíveis com a formação do reservatório, e como esta espécie possui plasticidade alimentar, ela se aproveitou do recurso alimentar mais abundante neste período. Além disso Lizama e Ambrósio (2002) sugerem que elevados valores de fator de condição, são encontrados para peixes que estão em fase de crescimento rápido, direcionando o alimento ingerido para o crescimento do corpo, o que foi verificado para *A. fasciatus* no reservatório na fase Pós I, onde foram registrados muitos indivíduos em classes de comprimento menores, que estariam acumulando energia primeiro para o crescimento e posterior reprodução. Por outro lado, Agostinho *et al* (2007) sugere uma tendência decrescente na concentração de nutrientes culminando na redução da produtividade primária com o passar do tempo, o que poderia explicar a redução do fator de condição no período Pós II.

Na jusante do barramento a atividade reprodutiva se manteve elevada, a espécie utilizou recursos alimentares para a reprodução. Quando peixes estão empregando energia na reprodução é verificada diminuição no fator de condição, pois indivíduos estão utilizando recursos alimentares para a formação de ovócitos e não para a construção do corpo.

Deste modo, os resultados nos permitem concluir que a implantação da PCH São Francisco influenciou positivamente a abundância de *A. fasciatus* no reservatório e jusante, o que permite dizer que a primeira hipótese foi confirmada. Em relação à estrutura em tamanho, verifica-se também que houve influência positiva a jusante e no reservatório, de modo que estes ambientes foram ocupados principalmente por indivíduos menores, que com o tempo aumentaram o tamanho médio da população, evidenciando que a segunda hipótese também foi confirmada. Por outro lado, a terceira hipótese foi rejeitada, já que a jusante e montante a atividade reprodutiva não sofreu alteração significativa e no reservatório, logo após a formação, houve uma redução da intensidade da reprodução. A quarta hipótese também foi confirmada, apesar de no montante o fator de condição ter diminuído para a espécie, mas na jusante e reservatório houve influência positiva.

### Referências

- Affonso, IP, Azevedo, RF, Santos, NLC, Dias, RM, Agostinho, AA, Gomes, LC. Pulling the plug: strategies to preclude expansion of dams in Brazilian rivers with high priority for conservation. *Nat Conserv.* 2015; (3): 199-203.
- Agostinho, A.A, Pelicice, FM, Gomes, LC. Dams and the fish fauna of the neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Braz. J. Biol.* 2008; (68): 1119-132.
- Agostinho, AA, Gomes, LC, Pelicice, F.M. *Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil.* Maringá: Eduem; 2007.
- Agostinho, AA, Gomes, LC, Santos, NCL, Ortega, JCG, Pelicice, FM. Fish assemblages in Neotropical reservoirs: Colonization patterns, impacts and management. *Am fish s s.* 2016; (173): 26-36.
- Agostinho, AA, Miranda, LE, Bini, LM, Gomes, LC, Thomaz, SM, Suzuki, H. I. Patterns of colonization in neotropical reservoirs, and prognoses on aging. *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications.* 1999; (1): 227-65.
- Araújo, ES, Marques, EE, Freitas, IS, Neuberger, AL, Fernandes, R, Pelicice, FM. Changes in distance decay relationships after river regulation: similarity among fish assemblages in a large Amazonian river. *Ecol. Freshw. Fish.* 2013; (2): 1-10
- Baumgartner, MT, Silva, PRL, Baumgartner, G. Population structure and reproductive biology of *Astyanax gymnodontus* (characiformes: characidae), a poorly known endemic fish of the Iguaçú River basin, Brazil. *Rev. Biol. Trop.* 2016; (64): 69-77.
- Bazzoli, N, Rizzo, E, Chiarini-Garcia, H, Ferreira, RMA. Ichthyofauna of the Paranaíba River in the area to be flooded by the Bocaina reservoir. *Ciência e Cultura.* 1991; (43): 451-53.
- Cooper, AR, Infante, DM, Wehrly, KE, Wang, L, Brenden, TO. Identifying indicators and quantifying large- scale effects of dams on fishes. *Ecol. Indic.* 2016; (61): 646-57.
- Genesis Energética S/A, [http://www.silea.com.br/genesis/a-hidreletrica\\_acesso\\_em\\_04/06/2018](http://www.silea.com.br/genesis/a-hidreletrica_acesso_em_04/06/2018).

- Graça, WJ, Pavanelli, CS. Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes. Maringá: Eduem; 2007.
- Gubiani, EA, Daga, VS, Frana, VA, Graça, WJ. Fish, Toledo urban streams, São Francisco Verdadeiro River drainage, upper Paraná River basin, state of Paraná, Brazil. Check List. 2010; (6): 45-48.
- Hahn, NS, Fugi, R, Adrian, IF. Trophic ecology of the fish assemblages. In: Thomaz, S. M., Agostinho, A. A.; Hahn, N. S. (Ed). The Upper Paraná River and its Floodplain: physical aspects, ecology and conservation. Leiden, The Netherlands: backhuys Publishers. 2004; (1): 247-69.
- Holcomb, JM, Nichols, RB, Gangloff, MM. Effects of small dam condition and drainage on stream fish community structure. Ecol. Freshw. Fish . 2015; (32): 1-12.
- King, M. Fisheries biology: assessment and management. Fishing News Books, Blackwell Science. 2005.
- Lowe-McConnell, RH. Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais. São Paulo: Edusp; 1999.
- Mérona, B, Albert, F. 1999. Ecological monitoring of fish assemblages downstream of a hydroelectric dam in French Guiana (South America). Regulated Rivers: Research e Management. 1999; (15): 339-51.
- Normando, FT, Santiago, KB, Gomes, MVT, Rizzo, E, Bazzoli, N. Impact of the Três Marias dam on the reproduction of the forage fish *Astyanax bimaculatus* and *Astyanax fasciatus* from the São Francisco River, Downstream from the dam, southeastern Brazil. Environ Biol Fishes . 2014; (97): 309-19.
- Novaes, JLC, Moreira, SIL, Freire, CEC, Sousa, MMO, Costa, RS. Fish assemblage in a semi arid Neotropical reservoir: composition, structure and patterns of diversity and abundance. Braz. J. Biol.. 2014; (74): 290-301.
- Okamura, D, Araújo, FG, Rosa, PV, Freitas, RTF, Murgas, LDS, Cesar, MP. Effect of benzocaine concentration and fish size on anesthesia and recovery in Nile tilapia. Revista Brasileira de Zootecnia. 2010; (39): 971-76.
- Oliveira, AG, Baumgartner, MT, Gomes, LC, Dias, RM, Agostinho, AA. Long-Term effects of flow regulation by dams simplify fish functional diversity. Fresh. Biol. 2018; (00): 1-13

- Poff, NL, Schmidt JC. How dams can go with the flow: Small changes to water flow regimes from dams can help to restore river ecosystems. *Science*. 2016; (353): 1099-100
- Sokal, RR. e Rohlf, FJ. *Biometry*. New York, W. H. Freeman 1981.
- Statistica. Tibco Software 7.1. 281 Summer St. Boston, MA, USA; 2017.
- Suzuki, HI, Agostinho, AA. Reprodução de peixes do reservatório de Segredo. In A. A. Agostinho, & L. C. Gomes (Eds.). *Reservatório de Segredo: Bases Ecológicas para o Manejo*. Maringá: Eduem. 1997; (1): 163-82.
- Suzuki, HI, Vazzoler, AEAM, Marques, EE, Lizama, MAP, Inada, P. Reproductive ecology of the fish assemblage. In: Thomaz, SM, Agostinho, A.A, Hahn, NS. (Ed). *The Upper Paraná River and its Floodplain: physical aspects, ecology and conservation*. Leiden, The Netherlands: backhuys Publishers. 2004; (1): 271-92.
- Vazzoler, AEAM. *Biologia da Reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. Maringá: Eduem; 1996.
- Vazzoler, AEAM. *Manual de métodos para estudos biológicos sobre populações de peixes: Crescimento e Reprodução*. Brasília: CNPq, Programa nacional de zoologia, 1981.
- Winemiller, KO. Patterns of variation in life history among South American fishes in seasonal environments. *Acta Oecol* . 1989; (2): 225-41.
- World Commission Dams (WCD). *Dams and development: a new framework for decision – making*. The report of the World Commission on Dams. London: Sterling: Earthscan Publishing; 2000.
- Zar, JH. *Biostatistical Analysis*. New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River; 1999.