

# Estudo dos efeitos do fluxo de vazão natural e regulado pela represa de Três Marias - MG do rio São Francisco sobre a população e pesca seletiva do surubim via simulação computacional

Ademária Aparecida de Souza,<sup>1</sup> Solange Gomes F. Martins,<sup>2</sup> Paulo dos Santos Pompeu<sup>3</sup>

## 1 Introdução

Nas últimas décadas, tem-se observado uma crescente destruição das planícies de inundação através de barramentos, canalização, drenagem e desmatamento. Entende-se por planície de inundação as áreas sujeitas a alagamentos periódicos pelos rios durante as cheias (Junk et al, 1989). Esses ambientes são amplamente reconhecidos pela sua importância como hábitat de alimentação, reprodução e refúgio natural das comunidades de peixes de valor comercial e de maior porte, na sua maioria migradores de longa distância (Pompeu & Godinho, 2006). Portanto a destruição das planícies de inundação tem consequências diretas sobre a comunidade de peixes e afeta negativamente a produtividade pesqueira dos rios (Pompeu & Godinho, 2006).

A construção de barragens afeta diretamente as comunidades de peixes das planícies de inundação, visto que altera o nível de flutuação da água dos rios, modificando o ciclo sazonal de inundações. Com a construção de barragens, diminui-se a frequência de inundação das lagoas marginais a jusante, fazendo com que períodos de seca prolongada (ausência de inundações) se tornem mais frequentes (Pompeu & Godinho, 2006).

Dentre os peixes que habitam as áreas alagadas e que o sucesso reprodutivo, a sobrevivência das larvas e o recrutamento dependem das cheias, destacam-se as espécies de piracema ou migradores que são as de maior valor comercial, como o surubim *Pseudoplatystoma corruscans* (Spix & Agassiz, 1829).

Frente a este cenário, a aplicação de modelos que integrem os componentes biológicos, físicos e ambientais podem ser valiosas ferramentas para o gerenciamento ambiental. Recentemente Santos (2008) realizou uma simulação computacional para a dinâmica do surubim sujeita à pesca seletiva. O modelo proposto foi capaz de reproduzir eficientemente aspectos relativos à biologia do surubim sob ação de pesca seletiva. Apesar de satisfatória, a dinâmica proposta por Santos (2008) não considera os efeitos do nível hidrológico do rio sobre a população de surubim.

Assim, no presente trabalho foi simulado os efeitos do regime de cheias e secas sobre a reprodução e pesca seletiva do surubim, usando o modelo Penna (Penna, 1995), dados de vazões históricas relatados no trabalho de Pompeu & Godinho (2006), o modelo de crescimento de von Bertalanffy (Bertalanffy, 1938) e dados experimentais relativos à biologia e à pesca do surubim relatados por Mateus & Penha (2007); Godinho et al (1997); Sato et al (1997). Com isso pretende-se fornecer informações que subsidiem ações de manejo de vazão em rios regulados, visando a preservação das áreas alagáveis e enfatizar a importância da manutenção destas áreas inundáveis para a conservação dos estoques pesqueiros.

## 2 Dados experimentais

### 2.1 Dados relativos à pesca e à biologia do surubim

Mateus & Penha (2007) estudaram a dinâmica populacional de quatro espécies na bacia do rio Cuiabá, Pantanal norte. Para o surubim, os parâmetros populacionais estimados sob o efeito da pesca seletiva, são apresentados na tabela 1.

---

<sup>1</sup>Departamento de Ciências Exatas, UFLA. Agradecimento a FAPEMIG apoio financeiro. Contato: [ademaria-souza@yahoo.com.br](mailto:ademaria-souza@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Departamento de Ciências Exatas, UFLA. Contato: [solangemarti@gmail.com](mailto:solangemarti@gmail.com)

<sup>3</sup>Departamento de Biologia, UFLA. Contato: [pompeu@ufla.br](mailto:pompeu@ufla.br)

Tabela 1: Estimativas dos parâmetros populacionais para o estoque de surubim (*P. corruscans*) no rio Cuiabá, MT (Mateus & Penha, 2007).

Parâmetros	surubim
Comprimento assintótico ( $L_\infty$ )	149,7 cm
Idade teórica em que o comprimento é zero ( $j_0$ )	-0,871 anos
Comprimento médio da 1ª maturação ( $L_{50}$ )	75,0 cm
Idade média da 1ª maturação ( $I_m$ )	4,60 anos

Sato et al (1997) verificaram uma relação linear entre a fertilidade e o peso corporal de fêmeas de surubim, expressa por:

$$b(P) = -890137 + 191079 \times P \quad (1)$$

sendo  $P$  o peso do indivíduo.

Segundo Godinho et al (1997) a relação entre peso e comprimento, para ambos os sexos de surubim é dada por:

$$P(L) = 0,001734 \times L^{3,335} \quad (2)$$

sendo  $P(L)$  o peso e  $L$  o comprimento do indivíduo.

## 2.2 Dados relativos à série de vazões históricas

Pompeu & Godinho (2006) avaliaram o impacto ambiental mediante a implantação da hidroelétrica de Três Marias, sobre a frequência de inundação das lagoas marginais localizadas na região do médio São Francisco reguladas pelo rio São Francisco. Para esta comparação utilizaram as séries de vazões históricas do rio São Francisco (Tabela 2).

Tabela 2: Fluxo de vazão ( $m^3 \times s^{-1}$ ) máxima do rio São Francisco na localidade de Manga, M.G. durante um período de 20 anos antes (1937-1957) e após (1983-2003) da implantação da barragem de Três Marias (Pompeu & Godinho, 2006).

Antes a construção da barragem Três Marias				Após a construção da barragem Três Marias			
Ano	vazão max	Ano	vazão max	Ano	vazão max	Ano	vazão max
1937	6680,84	1948	8342,62	1983	9030,60	1994	6399,80
1938	7431,11	1949	10163,49	1984	6101,83	1995	4429,09
1939	8316,04	1950	5738,14	1985	8568,39	1996	4524,47
1940	5877,95	1951	5622,56	1986	7544,86	1997	5449,68
1941	5439,44	1952	7934,22	1987	5223,73	1998	4261,38
1942	6256,75	1953	5347,57	1988	4261,38	1999	4524,47
1943	9347,32	1954	3882,65	1989	8717,88	2000	4880,46
1944	8880,53	1955	5853,40	1990	8276,24	2001	2825,95
1945	8409,19	1956	6557,42	1991	5831,21	2002	4858,60
1946	9752,30	1957	7291,39	1992	10494,00	2003	5067,67
1947	6965,00	-	-	1993	6352,79	-	-

## 3 Metodologia

Para simular os efeitos do regime de cheias e secas sobre a reprodução e a pesca seletiva de uma população de surubim, inicialmente foi adotado o mesmo procedimento introduzido por Santos (2008), ou seja, foram feitas adaptações ao modelo Penna (Penna, 1995) de acordo com as características biológicas dessa espécie. Tendo por base o relevante papel do regime hidrológico no funcionamento das planícies de inundação e a importância desses ambientes para a sobrevivência de descendentes de surubim e, para a produção pesqueira nessas várzeas e rios foi incorporado ao modelo proposto por Santos (2008) os dados de vazões máximas do rio São Francisco.

Considerou-se uma população de indivíduos “haplóides”, ou seja, reprodução assexuada, embora esta espécie se reproduza de forma sexuada. O estudo em questão trata do efeito da pesca seletiva sobre as características do crescimento sem distinção de machos e fêmeas. Cada indivíduo de uma população  $N(t)$ , sendo  $t$  uma etapa temporal, foi representado por uma palavra computacional de 64 bits, interpretada como o seu “genótipo”. Foi assumido que cada bit corresponde a um ano da vida do surubim que poderá sobreviver, no máximo, até 63 anos. O crescimento em função da idade é calculado segundo o modelo de von Bertalanffy

$$L(j) = L_{\infty} \times [1 - e^{K(j-j_0)}] \quad (3)$$

sendo  $L(j)$  o comprimento em cm,  $j$  a idade em anos,  $L_{\infty}$  o comprimento assintótico em cm,  $K$  a taxa de crescimento em  $\text{ano}^{-1}$  e  $j_0$  a idade teórica em que o comprimento é zero.

Como os parâmetros de crescimento diferem de espécie para espécie e de indivíduo para indivíduo, foi inserido no modelo o traço fenotípico. Além do “genótipo”, cada indivíduo da população, ao contrário dos modelos em geral, terão um valor específico para a taxa de crescimento  $K$ . Uma palavra computacional de 64 bits, diferente daquela que representa o “genótipo” do indivíduo, denominada “fenótipo”, vai definir o valor de  $K$ . A taxa de crescimento ( $K$ ) de cada indivíduo é dada por  $\theta/128$ , em que  $\theta$  é o número de bits 1 no “fenótipo” do indivíduo.

A maturação vai depender do comprimento do indivíduo. À medida em que ele cresce, torna-se maturo com uma probabilidade dada por  $1/(1 + \exp(\beta_m(L - L_{50}))$  em que  $\beta_m$  é o coeficiente de inclinação da curva de maturidade,  $L$  o comprimento do indivíduo e  $L_{50}$  o comprimento de primeira maturação sexual. O comprimento  $L_{50}$  foi calculado pela seguinte expressão  $L_{50} = \beta_1 \times K \times L_{\infty}$ , sendo  $K$  a taxa de crescimento do indivíduo,  $L_{\infty}$  o comprimento assintótico e  $\beta_1$  uma constante de proporcionalidade (He & Stewart, 2001). A partir do momento em que o indivíduo torna-se maturo, ele gera  $b$  filhos a cada reprodução segundo a equação 1.

Para obter o “genótipo” do filho, é feita uma cópia do “genótipo” da mãe, onde é inserido um número  $M$  de mutações deletérias em diferentes bits escolhidos aleatoriamente. Se um bit, dentre os  $M$  escolhidos, for zero no “genótipo” da mãe, ele passará a ser 1 no “genótipo” do filho. Por outro lado, se for 1 no “genótipo” da mãe, ele permanecerá 1 no “genótipo” do filho. O fenótipo dos filhos diferem do fenótipo do genitor com uma probabilidade de 50%. Neste caso, um bit escolhido aleatoriamente no fenótipo do filho, sofre uma mutação. Se o bit escolhido for 0 no “fenótipo” da mãe, ele passará a ser 1 no “fenótipo” do filho, ou vice-versa.

Cada indivíduo poderá morrer pelo acúmulo de mutações deletérias (Limiar  $T$ ), por restrições ambientais e competição entre indivíduos (fator de Verhulst clássico e modificado), ou morrer por pesca seletiva.

A probabilidade de morte dos peixes adultos é dada pelo fator Verhulst clássico  $P_l(t) = N(t)/N_{max}$ , em que  $N(t)$  é o tamanho da população no tempo  $t$  e  $N_{max}$  o número máximo de indivíduos que o ambiente suporta. Neste caso, a capacidade de carga do ambiente não será afetada pelas cheias, visto que os adultos abandonam as planícies ainda no período da cheia, movendo-se para novas áreas não necessariamente vantajosas em relação à alimentação, mas desejáveis por garantir sua sobrevivência (Pompeu & Godinho, 2006). No caso de larvas e jovens, o nível hidrológico do rio é uma característica ambiental relacionada a capacidade do indivíduo sobreviver devido a ocorrência ou ausência de cheias. Tal fato, é introduzido no modelo por meio do fator de Verhulst modificado que depende da vazão do rio São Francisco (Tabela 2). Uma vez que cada etapa temporal nessas simulações é medida em anos, considerou-se a vazão máxima anual. A probabilidade de morte de larvas e jovens, é dada por

$$P_l(t)^* = \frac{N(t)}{N_{max}^*} = \frac{N(t)}{N_{max}(1/(1 + \exp(-0,002 \times (v - 5000))))} \quad (4)$$

em que,  $v$  é a vazão do rio,  $N(t)$  o tamanho da população no tempo  $t$ ,  $N_{max}^*$  o número máximo de indivíduos que o ambiente suporta em função da vazão do rio.

Cada peixe tem 52% de probabilidade de ser encontrado (Mateus & Penha, 2007), e daí, capturado (pescado) com probabilidade dada por  $1/(1 + \exp(-0,1 \times (L - 75)))$ , em que  $L$  o comprimento,  $\beta_s$  o coeficiente de inclinação da curva de seletividade (Santos, 2008).

A partir de uma população com estrutura etária estável foi simulado a evolução temporal da população de surubim para o período de 1937 a 1957 e 1983 a 2003, considerando quatro situações: antes (1937-1957) da construção da barragem Três Marias sem e com pesca; após (1983-2003) a construção da barragem Três Marias sem e com pesca.

Após todos os indivíduos terem sido testados para reprodução e morte, a idade dos sobreviventes é incrementada de uma unidade e seu comprimento e peso atualizados de acordo com as equações 3 e 2, respectivamente concluindo-se uma etapa temporal. Em nossas simulações os parâmetros biológicos  $L_\infty$  e  $j_0$  assumiram os valores da tabela 1 e os demais parâmetros do modelo os seguintes valores:

$N_o$	$T$	$N_{max}$	$M$	$\beta_1$	$\beta_m$
10.000	1	100.000	1	3,8	0,5

Foi obtido por meio do modelo as séries temporais do número de filhotes, tamanho da população, biomassa da população, biomassa desovante, captura em peso e número de indivíduos capturados para cada uma das quatro situações simuladas. Os valores médios destas variáveis foram calculados com os seus respectivos intervalos de confiança por meio da metodologia bootstrap usando o método percentil, com 10.000 amostras. Para realizar as simulações foi utilizado a linguagem de programação C, com o compilador gcc e para as análises estatísticas o software R.

## 4 Resultados e Discussão

Na figura 1 são apresentados o fluxo de vazão máxima anual obtido experimentalmente por Pompeu & Godinho (2006), a evolução temporal do número de filhotes, do tamanho da população, da biomassa desovante (ton), da captura (ton), do número de indivíduos capturados, da biomassa da população (ton), obtidos nas simulações para os períodos de 1937 a 1957 (antes da UHE) e 1983 a 2003 (após a UHE) para a população de surubim sem e com pesca seletiva.

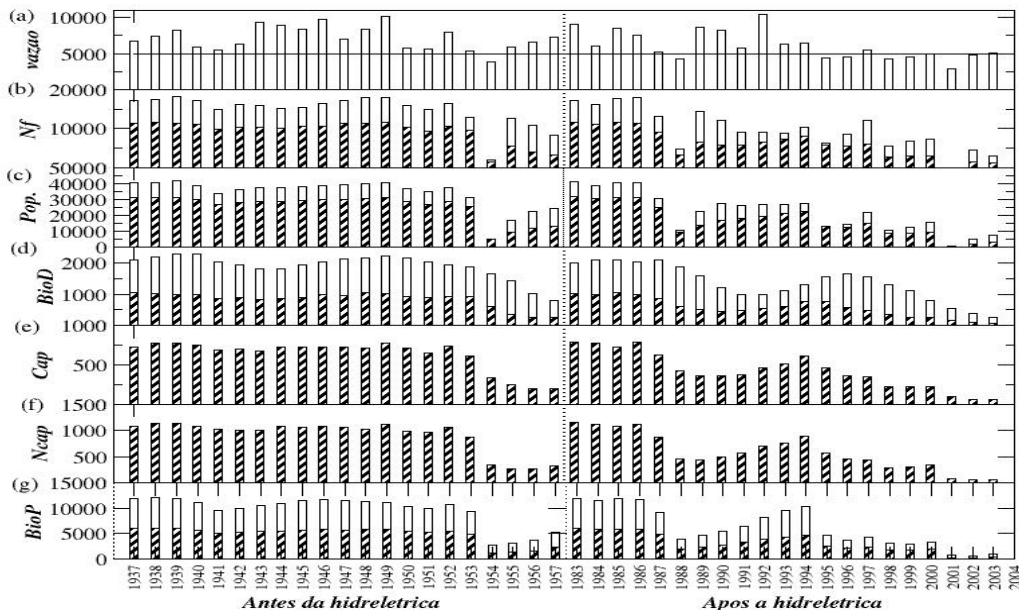


Figura 1: Em branco, sem pesca. Hachurado, com pesca seletiva. (a) Histograma do fluxo de vazão máxima. Linha contínua = vazão mínima em que estabelece a conexão da calha principal do rio São Francisco com algumas planícies de inundação. (b) Número de filhotes. (c) Tamanho da população. (d) Biomassa desovante em toneladas. (e) Captura em toneladas. (f) Número de indivíduos capturados. (g) Biomassa da população em toneladas.

Observa-se na figura 1 (a) que a magnitude dos picos das cheias dos 20 anos anteriores à implantação da UHE Três Marias, apresentou apenas um ciclo hidrológico (1954) que não ocorreu a inundação das lagoas marginais (vazão inferior à  $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$ ), e nos 20 anos posteriores a implantação da hidroelétrica a ocorrência de eventos de grandes cheias foi mais raro, acarretando o isolamento destas lagoas por vários anos, ou seja seca prolongada (1988, 1995, 1996, 1998, 1999, 2000, 2001 e 2002).

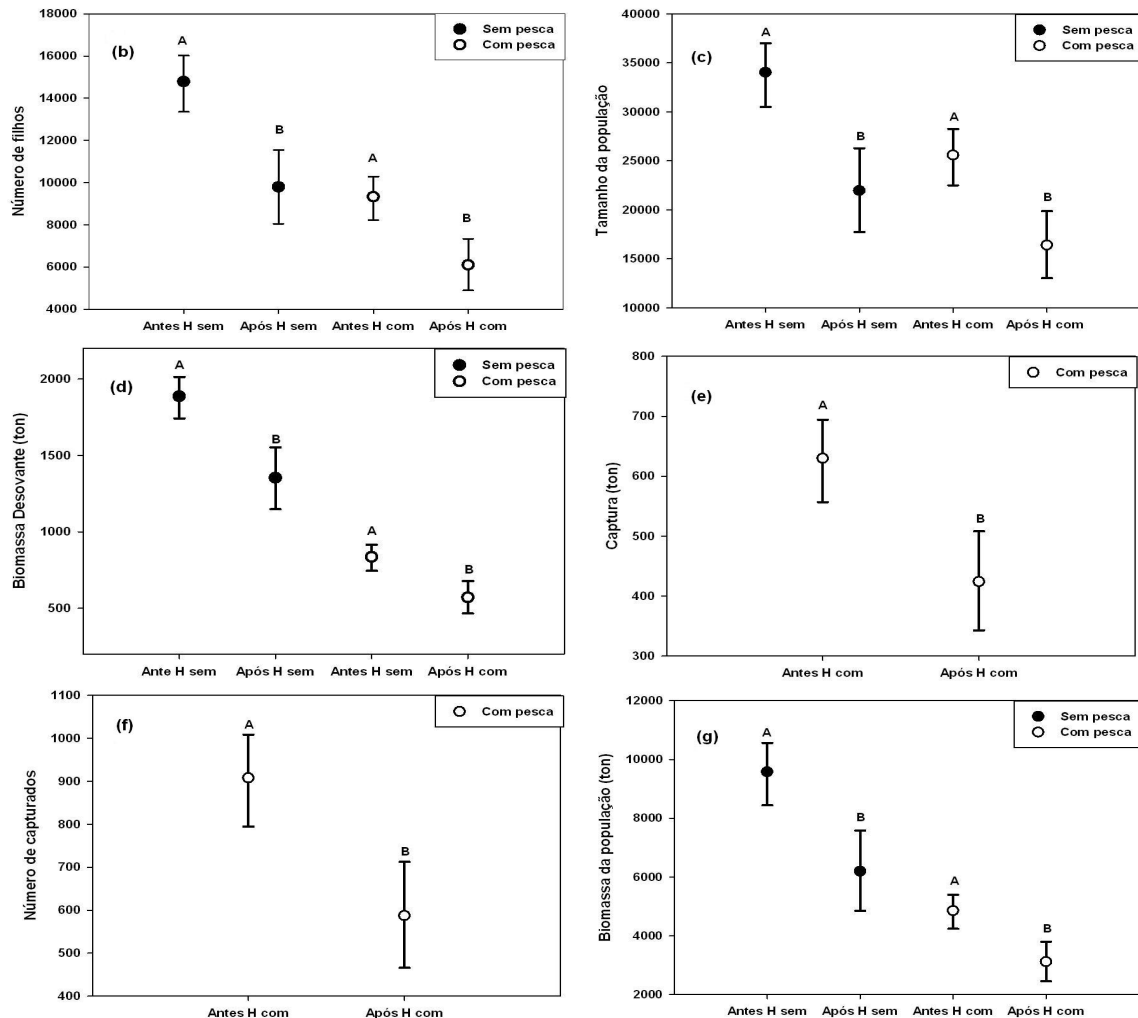


Figura 2: Média ● (sem pesca) ○ (com pesca) com o respectivo intervalo de 95% de confiança (barras). (b) Número de filhotes. (c) Tamanho da população. (d) Biomassa desovante em toneladas. (e) Captura em toneladas. (f) Número de indivíduos capturados. (g) Biomassa da população em toneladas.

Os impactos negativos dessa diferença, entre esses dois sistemas (regime hidrológico natural e da UHE Três Marias), é verificada nos resultados das simulações. Comparando-se esses dois sistemas observa-se que o número de filhotes (Figuras 1 e 2 (b)), o tamanho da população (Figuras 1 e 2 (c)), a biomassa desovante (Figuras 1 e 2 (d)), a captura (Figuras 1 e 2 (e)), o número de indivíduos capturados (Figuras 1 e 2 (f)), a biomassa da população (Figuras 1 e 2 (g)), apresentaram maior valor médio para o regime hidrológico natural sem e com pesca seletiva devido a maior frequência de inundação das lagoas marginais nesse período. É observado nas simulações que a ausência de cheias, decorrente da regulação da vazão por parte da usina hidrelétrica de Três Marias, levou a uma redução do estoque pesqueiro da espécie migradora como observado experimentalmente por Pompeu & Godinho (2006). Comparando os intervalos de confiança obtidos para a situação 2 (antes UHE com pesca) com a situação 3 (após UHE sem pesca) observa-se que o número de filhotes, o número de indivíduos da população e biomassa desovante não diferem entre si, ou seja a ausência de grandes cheias provoca uma redução no estoque pesqueiro como

se a população estivesse sendo explorada pela pesca seletiva.

Como observado nas simulações o aumento do nível das cheias proporciona um acréscimo na produção de peixes. Esta relação direta entre a área alagada e a produção pesqueira foi observado por (Pompeu & Godinho, 2006).

## 5 Conclusão

Os resultados obtidos no modelo evidenciam o sincronismo entre aumento do nível hidrológico, inundação das planícies e aumento do estoque e captura da espécie migradora que vive em rios com planície de inundação. Este sincronismo já foi observado experimentalmente em diversos trabalhos, assim enfatizando a importância da manutenção destas áreas inundáveis para o estoque pesqueiro.

Desse modo, é necessário que o setor hidroelétrico com o subsídio técnico-científico das instituições governamentais competentes (agências ambientais, universidades), desenvolva regimes operacionais que atendam não somente a demanda de energia, mas também a manutenção do estoque pesqueiro.

## Referências

- Bertalanffy, L.V., 1938. A quantitative theory of organic growth. *Human Biological*. 10 (2), 181-213.
- Godinho, H.P., Miranda, M.O.T., Godinho, A.L., Santos, J.E. Pesca e biologia do *Pseudoplatystoma corruscans* no rio São Francisco. In: Miranda, M.O.T. *Surubim*. Belo Horizonte: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1997. p.27-42 (Coleção Meio Ambiente. Série de Estudos: Pesca, 19).
- He, J.X., Stewart, D.J., 2001. Age and size at first reproduction of fishes: predictive models based only on growth trajectories. *Ecology*. 82 (3), 784-791.
- Junk, W.J., Bayley, P.B., Sparks, R.E., 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 106, 110-127.
- Mateus, L.A.F., Penha, J.M.F., 2007. Dinâmica populacional de quatro espécies de grandes bagres na bacia do rio Cuiabá, Pantanal norte, Brasil (*Siluriformes*, *Pimelodidae*). *Revista Brasileira de Zoologia*. 24, 87-98.
- Penna, T.J.P., 1995. A bit string model for biological aging. *Journal of Statistical Physics*. 78 (5-6), 1629-1633.
- Pompeu, P.S.; Godinho, H.P., 2006. Effects of extended absence of flooding on the fish assemblages of three floodplain lagoons in the middle São Francisco River, Brazil. *Neotropical Ichthyology*. 4(4):427-433.
- Santos, R.V.R., 2008. Simulação dos efeitos da pesca seletiva sobre as características de crescimento do surubim *Pseudoplatystoma corruscans* (Spix & Agassiz, 1829) (Pisces: Pimelodidae) 46p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras.
- Sato, Y., Cardoso, E.L., Sallum, W.B., Godinho, H.P., 1997. Indução experimental da desova do surubim *Pseudoplatystoma corruscans*. In: Miranda, M. O. T. *Surubim*. Belo Horizonte: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. p.69-79 (Coleção Meio Ambiente. Série de Estudos: Pesca, 19).