



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO
MESTRADO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO

REPRODUÇÃO DA ESPÉCIE NATIVA *SERRASALMUS BRANDTHI*
(LÜTKEN 1875) E DA INTRODUZIDA *METYNNIS MACULATUS*
(KNER 1858) EM RESPOSTA À ALTERAÇÃO HIDROLÓGICA NO
BAIXO SÃO FRANCISCO

DANIEL ALVARES SILVEIRA DE ASSIS

São Cristóvão - SE

2014

DANIEL ALVARES SILVEIRA DE ASSIS

**REPRODUÇÃO DA ESPÉCIE NATIVA *SERRASALMUS BRANDTII*
(LÜTKEN 1875) E DA INTRODUZIDA *METYNNIS MACULATUS*
(KNER 1858) EM RESPOSTA À ALTERAÇÃO HIDROLÓGICA NO
BAIXO SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Sergipe como pré-requisito para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo F. G. Brito

São Cristóvão - SE

2014

TERMO DE APROVAÇÃO

REPRODUÇÃO DA ESPÉCIE NATIVA *Serrasalmus brandtii* (LÜTKEN 1875) E DA INTRODUZIDA *Metynnis maculatus* (KNER 1858) EM RESPOSTA À ALTERAÇÃO HIDROLÓGICA NO BAIXO SÃO FRANCISCO

por

DANIEL ALVARES SILVEIRA DE ASSIS

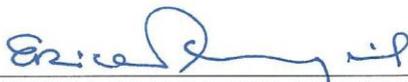
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Sergipe, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

APROVADA pela banca examinadora composta por



DR. MARCELO FULGÊNCIO GUEDES DE BRITO

Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da
Universidade Federal de Sergipe



DR^a ERICA MARIA PELLEGRINI CARAMASCHI

Universidade Federal do Rio de Janeiro



DR. ANDRÉ LINCOLN BARROSO DE MAGALHÃES

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

São Cristóvão/SE, 31 de julho de 2014

Assis, Daniel Alvares Silveira de

A848r Reprodução da espécie nativa *Serrasalmus brandtii* (Lütken 1875) e da introduzida *Metynnis maculatus* (Kner 1858) em resposta à alteração hidrológica no baixo São Francisco / Daniel Alvares Silveira de Assis ; orientador Marcelo F. G. Brito. – São Cristóvão, 2014.

48 f. : il.

Dissertação (mestrado em Ecologia e Conservação) –Universidade Federal de Sergipe, 2014.

1. *Serrasalminae*. 2. Maturação gonadal. 3. Bioinvasão. 4. Fecundidade. 5. Baixo São Francisco. I. Brito, Marcelo Fulgêncio Guedes de, orient. II. Título

CDU: 639.22:597.551.3

Dedico este trabalho aos meus pais
Antônio Isaac de Assis e Dayse Alvares
Roberto da Silveira e à minha noiva
Agair Juliete Cavalcante Carvalho pelo
apoio nas minhas escolhas.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, MCT/CNPq/PPBio (Proc. 558317/2009-0) e a UFG/FUNAPE/MCTI 001/2012 pelo suporte logístico e financiamento parcial para execução do trabalho.

À CAPES pela bolsa concedida.

A toda equipe do Centro Integrado de Recursos Pesqueiros e Aquicultura de Itiúba – 5ª CII, pertencente à Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), em especial ao Chefe Alexandre Delgado que disponibilizou toda a estrutura para o desenvolvimento do trabalho.

A Vinícius Dias Filho pelo planejamento e auxílio constante nas coletas.

A Anilvison Cavalcante Júnior pela proposta de parceria com a CODEVASF sem a qual nada disso seria possível.

Aos pescadores Tony e Binho e ao barqueiro "Tio" Mário (*in memoriam*) pelo auxílio nas coletas.

Aos membros da banca pelo aceite ao convite e todas as sugestões para melhoria do trabalho.

A meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Brito, que me guia, auxilia e engrandece no campo da ciência desde o terceiro período da graduação.

A toda a equipe do Laboratório de Cordados, Prof. Renato, Prof. Angélica, Anthony, Breno e Adilson que proporcionaram momentos de descontração e auxílio durante o andamento das disciplinas e do próprio projeto.

Ao pessoal da Ictiologia Marcélio, Carolina, Marlene, Pedro, Bruna, Laura, Tainara, Alexandre, Danillo, Thiago, Jamille e Jefferson que foram sempre prestativos em todas as campanhas.

À técnica Débora Matos pela confecção das lâminas histológicas.

A todos os Professores do Programa pela transmissão de conhecimento, fundamental para qualquer carreira acadêmica.

Aos Colegas e funcionários do Mestrado em Ecologia e Conservação, em especial à Secretária Juliana Cordeiro, sempre prestativa em todos os “pepinos” burocráticos.

A todos os amigos e familiares que estiveram ao meu lado durante esse percurso. Sem vocês eu nem estaria aqui.

MUITO OBRIGADO A TODOS!!!!

"O que sabemos é uma gota do Oceano que ignoramos."

Isaac Newton

SUMÁRIO

Lista de Figuras	9
Lista de Tabelas	10
Resumo	11
Abstract.....	12
Apresentação	13
Referências	18
ARTIGO	24
Introdução	24
Material e Métodos	26
<i>Área de estudo</i>	26
<i>Coleta</i>	26
<i>Procedimentos em laboratório</i>	27
<i>Índices biológicos</i>	28
<i>Coleta de dados abióticos</i>	28
<i>Análise estatística</i>	28
Resultados	29
<i>Fatores ambientais</i>	29
<i>Caracterização das espécies</i>	31
<i>Características reprodutivas</i>	34
Discussão	38
Agradecimentos	41
Literatura Citada	42

Lista de Figuras

- Figura 1 - Espécime da Pirambeba *Serrasalmus brandtii* coletado no Baixo São Francisco. Barra: 1cm..... 16
- Figura 2 - Espécime de Pacu "CD" *Metynnis maculatus* coletado no Baixo São Francisco. Barra: 1 cm..... 17
- Fig. 3 - Mapa da drenagem do Baixo São Francisco indicando as duas localidades amostradas (ponto) no presente estudo.27
- Fig. 4 - Valores médios da pluviometria (A), cota (B) e vazão (C) em Propriá (SE) antes (linha pontilhada) e depois (linha sólida) da construção da UHE Xingó no Baixo São Francisco.30
- Fig. 5 - Média mensal de pluviometria (A), temperatura do ar (B), vazão (C) e cota (D) no Baixo São Francisco entre julho de 2012 e dezembro de 2013.31
- Fig. 6 - Cortes histológicos corados em hematoxilina e eosina de ovários em desenvolvimento (a- *S. brandtii*, e- *M. maculatus*), ovários aptos a reprodução (b- *S. brandtii*, f- *M. maculatus*) e ovários em regeneração com detalhe dos folículos pós-ovulatório (estrela) (c- *S. brandtii*, g- *M. maculatus*) e atrésicos (asterísco) (d- *S. brandtii*, h- *M. maculatus*)33
- Fig. 7 - Cortes histológicos corados em hematoxilina e eosina de testículos em desenvolvimento (a- *S. brandtii*, c- *M. maculatus*) e aptos à reprodução (b- *S. brandtii*, d- *M. maculatus*)34
- Fig. 8 - Distribuição individual (pontos) e média (linha) do índice gonadossomático dos espécimes adultos de *Serrasalmus brandtii* (a-fêmeas; b-machos) e *Metynnis maculatus* (c-fêmeas; d-machos) no Baixo São Francisco entre julho de 2012 e dezembro de 2013.....36
- Fig. 9 - Proporção percentual de juvenis, adultos não-reprodutivos e adultos reprodutivos por período amostral na população de *Serrasalmus brandtii* (A) e *Metynnis maculatus* (B) coletados no Baixo São Francisco entre julho de 2012 e dezembro de 2013.37
- Fig. 10 - Relação do comprimento padrão sobre a fecundidade absoluta para *Metynnis maculatus* e *Serrasalmus brandtii* coletados no Baixo São Francisco entre julho de 2012 e dezembro de 2013.38

Lista de Tabelas

Tabela 1. Dados biométricos de comprimento padrão (CP), peso corporal (PC) e menor indivíduo reprodutivo (MIR) de *Metynnis maculatus* e *Serrasalmus brandtii* coletados no Baixo São Francisco entre julho de 2012 e dezembro de 2013.....32

Tabela 2. Média e desvio padrão dos índices gonadossomático (IGS), hepatossomático (IHS), de gordura celômica (IGC) e o fator de condição (K) por estágio de maturação gonadal em *Serrasalmus brandtii* e *Metynnis maculatus* coletado no Baixo São Francisco entre julho de 2012 e dezembro de 2013. F= fêmeas; M= machos35

Resumo

Na região neotropical, os principais estímulos reprodutivos para peixes são pluviometria, temperatura e cheia dos rios. Modificações das características ambientais em consequência das ações antrópicas interferem diretamente na reprodução. O objetivo do presente estudo foi comparar a reprodução de *Serrasalmus brandtii* (nativa) e *Metynnis maculatus* (introduzida) e sua relação com a modificação hidrológica em uma área do Baixo São Francisco. Coletas bimestrais ocorreram de agosto/2012 a dezembro/2013 na calha principal do rio, entre Propriá (SE) e Porto Real do Colégio (AL) com redes de espera de distintas malhas. Dados de pluviometria, temperatura, cota e vazão do rio também foram obtidos. Os espécimes foram medidos, pesados e dissecados para caracterização do estágio de maturação gonadal, peso das gônadas, fígado e gordura celômica para cálculo do índice gonadossomático (IGS), hepatossomático e de gordura celômica. Uma porção do ovário esquerdo foi dissociada para cálculos de fecundidade e medição de ovócitos. *Serrasalmus brandtii* (109 fêmeas e 102 machos) não apresentou diferença significativa na razão sexual, diferente de *M. maculatus* (166 fêmeas e 259 machos), que apresentou 1.5 machos para cada fêmea (χ^2 : 20.3; $p < 0.05$). A assincronia entre os sexos, ausência de picos reprodutivos e falta de correlação entre IGS e características ambientais observada para *S. brandtii*, indicam prejuízos procedentes da modificação hidrológica. O novo ambiente parece não ter sido uma barreira na sincronia (Spearman: 0.72; $p < 0.05$) e no processo reprodutivo de *M. maculatus*. As pressões ambientais e a competição com espécies introduzidas podem ter resultado na maturação precoce de *S. brandtii* (fêmea: 105mm; macho: 92mm), devido aos prejuízos à sua população. Apesar da semelhança no tamanho do ovócito entre as espécies, a correlação positiva entre tamanho corporal e fecundidade absoluta (Pearson: 0.608; $p < 0.05$) possibilitou um maior número de ovócitos para *S. brandtii* (U : 398; $p < 0.05$), em virtude do seu maior porte. Ambas as espécies apresentaram estratégia oportunística, caracterizada pelo médio porte corporal e alto investimento reprodutivo, com desova parcelada, ovócitos pequenos e fecundidade relativa alta. A alta plasticidade de *M. maculatus* aliada à modificação fluvial facilitou seu estabelecimento. Medidas preventivas devem ser adotadas para minimizar seus impactos causados à fauna nativa.

Palavras-chave: Serrasalminae, maturação gonadal, fecundidade, bioinvasão.

Abstract

In the Neotropics, the major fishes reproductive stimuli are rainfall, temperature and flood. Environmental changes caused by humans affects reproduction directly. The aim of this study was to compare the differences in reproductive investment of *Serrasalmus brandtii* (native) and *Metynnis maculatus* (introduced) and its relationship with hydrologic modification in an area of Lower São Francisco. Bimonthly samples were conducted from December/2013 to August/2012 in the main channel of the river, between Propriá (SE) and Porto Real do Colégio (AL) with gillnets of different mesh. Rainfall, temperature, elevation and river flow data were also obtained. The specimens were measured, weighed and dissected to characterize the stage of gonadal maturation, gonad, liver and coelomic fat weight to calculate the gonadosomatic (GSI), hepatossomatic and coelomic fat index. A portion of the left ovary was dissociated to calculate fish fecundity and measurement of oocytes. *Serrasalmus brandtii* (109 females and 102 males) showed no significant difference in the sex ratio, however *M. maculatus* (166 females and 259 males) exhibited 1.5 males for each female (χ^2 : 20.3, $p < 0.05$). The asynchrony between the sexes, absence of reproductive peaks and lack of correlation between GSI and environmental characteristics observed in *S. brandtii* indicate losses coming from hydrologic modification. The new environment does not seems to have been a barrier in synchrony (Spearman 0.72, $p < 0.05$), and reproductive process of *M. maculatus*. Environmental pressures and competition with introduced species may have resulted in earlier maturation of *S. brandtii* (female: 105mm, male: 92mm) to compensate the losses in its population. Despite the similarity in oocyte size among the species, the positive correlation between body size and absolute fecundity (Pearson: 0.608, $p < 0.05$), allowed a greater number of oocytes in *S. brandtii* (U: 398, $p < 0.05$) due to its larger size. Both species have opportunistic strategy, characterized by medium-sized body and high reproductive output, with fractional spawning, small oocytes and high relative fecundity. The high colonizing ability of *M. maculatus* allied to river flow changes facilitated its establishment. Preventive measures should be taken to minimize their impacts on native fauna.

Key words: Serrasalminae, gonadal maturation, fecundity, bioinvasion.

Apresentação

A influência da variabilidade temporal e espacial do ambiente na evolução de características ecológicas das espécies propostas pela teoria do “habitat-templet”, postula que as pressões ambientais moldam a história de vida dos organismos (Southwood, 1977; 1988). Uma dessas características é o desencadeamento do processo reprodutivo, que está associado a estímulos ambientais através da ação sinérgica de um conjunto de fatores abióticos que ocasiona a maturação das gônadas (Wootton, 1990; Ribeiro & Moreira, 2012).

A luminosidade (horas/dia) é um dos principais gatilhos observados para peixes nas zonas temperadas onde ocorre uma maior amplitude anual (Migaud *et al.*, 2010). Para a região tropical, onde a luminosidade tem pouca variação nas diferentes estações do ano, a temperatura e a pluviometria são os principais estimuladores reprodutivos que induzem o desenvolvimento gonadal e a desova (Bailly *et al.*, 2008; Tedesco *et al.*, 2008).

No clássico estudo sobre a influência de parâmetros abióticos no processo reprodutivo, Kirschbaum (1979) realizou experimentos com a manipulação da precipitação, nível da água e condutividade visando estimular a desova de *Eigenmannia virescens*. A variação sinérgica de todos os parâmetros provocou a maturação e a desova. Entretanto, a manipulação isolada de apenas um dos fatores não estimulou o desenvolvimento gonadal, evidenciando a importância da ação conjunta de diversos atributos para o funcionamento como gatilho reprodutivo.

Os estímulos ambientais provocam alterações fisiológicas, que desencadeiam o desenvolvimento das células reprodutivas. As alterações dos fatores extrínsecos são percebidas e transmitidas para o hipotálamo, que secreta hormônios com ação no controle da reprodução. Nos machos os hormônios produzidos no hipotálamo estimulam a adenohipófise a produzir dopamina, que atua nos testículos provocando sua maturação (Bone & Moore, 2008). Nas fêmeas, além dos estímulos enviados aos ovários, há também a participação do fígado na produção e conversão dos recursos energéticos em vitelo, essencial para a nutrição do embrião, com a secreção de dopamina, estradiol e prostaglandina (Baldisserotto, 2009; Thomé *et al.*, 2012).

A grande variabilidade de características reprodutivas observada para os peixes foi expressa por Winemiller (1989) em três estratégias reprodutivas: oportunística, equilíbrio e

sazonal ou periódica. Espécies oportunistas apresentam corpo reduzido, desovas múltiplas durante todo o ano e são consideradas colonizadoras, apresentando vantagem reprodutiva em habitats perturbados. Já as espécies categorizadas em equilíbrio beneficiam-se em ambientes com limitação de recursos, por produzirem ovos grandes e apresentarem proteção à prole. As espécies da guilda periódica caracterizam-se pela alta fecundidade e estação reprodutiva curta, normalmente associada à sazonalidade ambiental.

A elevada riqueza de espécies, como na região Neotropical (Reis *et al.*, 2003; Nelson, 2006), possibilita que em um mesmo ambiente sejam encontradas espécies de distintas estratégias reprodutivas (Winemiller, 1989; 2005). Espécies filogeneticamente próximas podem exibir padrões diferentes, assim como espécies de grupos não aparentados podem apresentar padrões semelhantes (Vogel, 2012). Essa grande diversidade nos modos reprodutivos é importante, pois permite que as espécies utilizem o mosaico de biótopos (Garutti, 1989; Esteves & Aranha, 1999; Winemiller, 2005).

A adaptação da reprodução em função das condições impostas pelo ambiente (tática reprodutiva) pode ser observada através do deslocamento de recursos energéticos do crescimento para a reprodução (Monteiro *et al.*, 2007), assincronia reprodutiva (Mazzoni & Silva, 2006), extensão do período reprodutivo (Carnelós & Benedito-Cecílio, 2002) e desvio na razão sexual. Este último pode ocorrer em razão da modificação no nível de nutrientes do ambiente (Lopes *et al.*, 2000), bem como no deplecionamento dos estoques nativos decorrentes do aumento na pressão sobre a pesca (Barbieri *et al.*, 2004).

A alta plasticidade nas táticas reprodutivas para *Astyanax altiparanae* ao longo do curso de um rio foi observada por Garutti (1989) na bacia do rio Paraná. Diferenças na dinâmica hidrológica em diferentes trechos de rio (cabeceira, trecho médio e planície) ocasionaram modificações na tática reprodutiva, com alterações no período reprodutivo e tipo de desova resultando em uma maior eficiência na reprodução.

Visto que o ambiente exerce forte influência na reprodução, as modificações antrópicas podem interferir diretamente no sucesso reprodutivo (Agostinho *et al.*, 1992; 1993). Os barramentos de rios representam o mais alto impacto na dinâmica do sistema fluvial gerando uma heterogeneidade ambiental nas regiões a montante e a jusante da barragem (Junk & Mello, 1990). A transformação neste novo ambiente acarreta em alterações nos parâmetros físico-químicos da água (e.g. temperatura, vazão, oxigênio) podendo resultar em modificações na reprodução de algumas espécies. Peixes de baixa riqueza anteriores ao represamento podem encontrar no novo ambiente condições

favoráveis para a propagação, assim como espécies anteriormente representativas podem ter a população reduzida (Agostinho *et al.*, 1992; Mazzoni & Petito, 2012).

As cheias nos rios representam um importante evento para manutenção dos padrões biológicos e físico-químicos em um sistema fluvial (Junk *et al.*, 1989). O barramento de um rio gera um nivelamento da descarga hidrológica nos períodos de seca e cheia, alterando as flutuações sazonais e gerando um impacto de alto grau no ambiente (Junk & Mello, 1990).

A importância das cheias dos rios para a reprodução dos peixes é recorrente na literatura (Agostinho *et al.*, 2004; Pompeu & Godinho, 2006; Gubiani *et al.*, 2007; Bailly *et al.*, 2008). A reprodução pode ser comprometida para as espécies a jusante dos barramentos com alterações nos gatilhos reprodutivos e consequências negativas no seu recrutamento (Agostinho *et al.*, 1993; Normando *et al.*, 2014).

Espécies migratórias são as principais afetadas pelos represamentos, causados pela interrupção de suas rotas reprodutivas e eliminação de conexões do rio com as lagoas marginais (Sato *et al.*, 2003; Luz *et al.*, 2009). Este último fornece sítios de alimentação e abrigo, fundamentais para o desenvolvimento dos ovos e sobrevivência das larvas e juvenis (Bialetzki, 2007; Godinho & Kynard, 2009).

Além das modificações nos parâmetros abióticos, a construção de represas normalmente recebe espécies não-nativas como forma de compensação à perda da ictiofauna comercial (Agostinho *et al.*, 1992; Sato & Sampaio, 2005). A introdução de espécies afetam a ictiofauna nativa, interferindo nas principais interações ecológicas, como predação, competição e herbivoria (Fuller *et al.*, 1999; Córdova-Tapia *et al.*, 2014), reduzindo os estoques de populações locais ou até mesmo extinguiendo-as (Vitule, 2009).

Serrasalminae é uma subfamília de Characidae, sendo conhecidos popularmente como piranhas, pacus ou tambaquis. É endêmica da região Neotropical com 87 espécies (Eschmeyer & Fong, 2014). As espécies deste grupo têm como característica corpo alto, comprimido lateralmente com uma série de espinhos na quilha ventral (exceto em *Colossoma*, *Piaractus* e *Mylossoma*) e um espinho pré-dorsal (Britski *et al.*, 1988; Jégu, 2003). Seus representantes são encontrados nos variados biótopos dulcícolas, exceto pequenos riachos em florestas densas e áreas bentônicas de rios profundos (Gusmão-Pompiani *et al.*, 2009).

A pirambeba *Serrasalmus brandtii* (Lütken, 1875) (Figura 1) é uma espécie nativa da bacia do rio São Francisco, chegando a 22 cm de comprimento padrão (Britski *et al.*, 1988). Apresenta desova parcelada, reproduzindo-se durante o ano inteiro, com picos nos meses de chuva (Teles & Godinho, 1997). Assim como outras espécies de Serrasalminae, passa por mudança ontogenética na dieta, alimentando-se quando juvenil de insetos aquáticos, escamas e nadadeiras, alterando para piscívora quando adulta (Pompeu, 1999).



Figura 1 - Espécime da Pirambeba *Serrasalmus brandtii* coletado no Baixo São Francisco. Barra: 1cm

O pacu "CD" *Metynnis maculatus* (Kner, 1858) (Figura 2) é uma espécie herbívora nativa das bacias dos rios Amazonas e Paraguai (Zarske & Géry, 1999). Pode atingir cerca de 20 cm de comprimento padrão (Gomes *et al.*, 2012). Está amplamente distribuída em rios e reservatórios no Brasil (Dias *et al.*, 2005; Ramos *et al.*, 2008; Alves *et al.*, 2011). *Metynnis maculatus* apresenta como características reprodutivas a capacidade rápida de colonização, maturação precoce e reprodução contínua (Gomes *et al.*, 2012), correspondendo às características da estratégia oportunística (*sensu* Winemiller, 1989).



Figura 2 - Espécime de Pacu "CD" *Metynnis maculatus* coletado no Baixo São Francisco. Barra: 1 cm.

Filogeneticamente a subfamília Serrasalminae está dividida em três clados, sendo *Serrasalmus brandtii* e *Metynnis maculatus* espécies muito próximas e pertencentes ao clado 3 (Ortí *et al.*, 2008). Apesar de divergirem nos hábitos alimentares, ambas apresentam similaridades nos padrões reprodutivos, com desova parcelada durante todo o ano e presença de ovócitos adesivos (Teles & Godinho, 1997; Gomes *et al.*, 2012), o que pode gerar uma competição por sítios de desova entre elas.

Referências

Agostinho, A. A., Júlio Júnior, H. F. & Borghetti, J. R. 1992. Considerações sobre os impactos dos represamentos na ictiofauna e medidas para sua atenuação. Um estudo de caso: reservatório de Itaipu. *Revista Unimar*, 14: 89-107.

Agostinho, A. A., Mendes, V. P., Suzuki, H. I. & Canzi, C. 1993. Avaliação da atividade reprodutiva da comunidade de peixes dos primeiros quilômetros a jusante do reservatório de Itaipu. *Revista Unimar*, 15: 175-189.

Agostinho, A. A., Gomes, L. C., Veríssimo, S. & Okada, E. K. 2004. Flood regime, dam regulation and fish in the Upper Paraná River: effects on assemblage attributes, reproduction and recruitment. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 14: 11-19.

Alves, C. B. M.; Vieira, F.; Pompeu, P. S. 2011. Ictiofauna da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Pp. 226-241 In: Ministério do Meio Ambiente (Ed.). Diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Brasília, Ministério do Meio Ambiente.

Bailly, D., Agostinho, A. A. & Suzuki, H. I. 2008. Influence of the flood regime on the reproduction of fish species with different reproductive strategies in the Cuiabá river, upper Pantanal, Brazil. *River. Research Application*, 24: 1218–1229.

Baldisserotto, B. 2009. *Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura*. Santa Maria, Editora UFSM, 350p.

Barbieri, G., Salles, F. A., Cestarolli, M. A. & Teixeira-Filho, A. R. 2004. Estratégias reprodutivas do dourado, *Salminus maxillosus* e do curimatá, *Prochilodus lineatus* no Rio Mogi Guaçu, Estado de São Paulo, com ênfase nos parâmetros matemáticos da dinâmica populacional. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 26: 169-174.

Bialetzki, A., Ziober, S. R., Gomes, L. C. & Kipper, D. 2007. The importance of a marginal lagoon as a fish nursery in the upper Paraná River floodplain. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 19: 369-381.

Bone, Q. & Moore, R. H. 2008. *Biology of fishes*. New York, Taylor & Francis. 478p.

Britski, H. A., Sato, Y. & Rosa, B. S. 1988. *Manual de identificação de peixes da região de Três Marias: com chaves de identificação para os peixes da bacia do São Francisco*. Brasília, Câmara dos Deputados/Codevasf, 115p.

- Carnelós, R. C. & Benedito-Cecílio, E. 2002. Reproductive strategies of *Plagioscion squamosissimus* Heckel, 1840 (Osteichthyes, Sciaenidae) in the Itaipu reservoir, Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 45: 314-324.
- Córdova-Tapia, F., Contreras, M., Zambrano, L. 2014. Trophic niche overlap between native and non-native fishes. *Hydrobiologia*, 737(1): 1-11.
- Dias, A. C. M. I., Branco, C. W. C. & Lopes, V. G. 2005. Estudos da dieta natural de peixes no reservatório de Ribeirão das Lajes, Rio de Janeiro. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 27: 355-364.
- Eschmeyer, W. N. & Fong, J. D. 2014. Catalog of Fishes. Species by Family/Subfamily. Available from: <http://research.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/SpeciesByFamily.asp> (Acesso em 20/05/2014).
- Esteves, K. E. & Aranha, J. M. R. 1999. Ecologia trófica de peixes de riachos. *Oecologia Brasiliensis*, 6: 157-182.
- Fuller, P. L.; Nico, L. G. & Williams, J. D. 1999. Nonindigenous Fishes Introduced into Inland Waters of the United States. Special Publication 27. Bethesda, American Fisheries Society. 613 p.
- Garutti, V. 1989. Contribuição ao conhecimento reprodutivo de *Astyanax bimaculatus* (Ostariophysi, Characidae), em cursos de água da bacia do Rio Paraná. *Revista Brasileira de Biologia*, 49: 489-495.
- Godinho, A. L. & Kynard, B. 2009. Migratory fishes of Brazil: life history and fish passage needs. *River Reserch and Applications*, 25: 702–712.
- Gomes, I. D., Araújo, F. G., Albieri, R. J. & Uehara, W. 2012. Opportunistic reproductive strategy of a non-native fish, the spotted metynnis *Metynnis maculatus* (Kner, 1858) (Characidae, Serrasalminae) in a tropical reservoir in south-eastern Brazil. *Tropical Zoology*, 25: 2-15.
- Gubiani, E. A., Gomes, L. C., Agostinho, A. A. & Okada, K. O. 2007. Persistence of fish populations in the upper Paraná River: effects of water regulation by dams. *Ecology of Freshwater Fish*, 16: 191–197.

- Gusmão-Pompiani, P., Malabarba, L. R., Oliveira, C. & Quaqio-Grassiotto, I. 2009. Spermogenesis and spermatozoa ultrastructure in the Serrasalminae (Ostrariophysii: Characiformes) with further evidence on the relationships of the piranhas and pacus. *Neotropical Ichthyology*, 7: 385–394.
- Jegú, M. 2003. Serrasalminae. Pp. 182-196. In: Reis, R. E., Kullander, S. O., Ferrari Júnior, C. J. (Eds.) Check List of the Freshwater Fishes of South and Central America. Porto Alegre, Edipucrs.
- Junk, W. J. & Mello, J. A. S. N. 1990. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. *Estudos avançados*, 4: 126-143.
- Junk, W. J., Bayley, P. B. & Sparks, R. E. 1989. The floodpulse concept in river-floodplain systems. Pp. 110-127. In: Dodge, D. P. (Ed.) Proceedings of the international large river symposium (LARS). Ottawa, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences Special Publication.
- Kirschbaum, F. 1979. Reproduction of the weakly electric fish *Eigenmannia virescens* (Rhamphichthyidae, Teleostei) in captivity. I. Control of gonadal recrudescence and regression by environmental factors. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 4: 331–355.
- Lopes, C. A., Benedito-Cecílio, E. & Agostinho, A. A. 2000. The reproductive strategy of *Leporinus friderici* (Characiformes, Anostomidae) in the Paraná river basin: the effect of reservoirs. *Revista Brasileira de Biologia*, 60: 255-266.
- Luz, S. C. S., El-Deir, A. C. A., França, E. J. & Severi, W. 2009. Estrutura da assembléia de peixes de uma lagoa marginal desconectada do rio, no submédio Rio São Francisco, Pernambuco. *Biota Neotropica*, 9: 117-129.
- Mazzoni, R. & Silva, A. P. F. 2006. Aspectos da história de vida de *Bryconamericus microcephalus* (Miranda Ribeiro) (Characiformes, Characidae) de um riacho costeiro de Mata Atlântica, Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 23: 228-233.
- Mazzoni, R. & Petito, J. T. 2012. Distribuição, abundância e estrutura das populações de peixes antes e depois do represamento. In: Mazzoni, R., Caramaschi, E. P. & Iglesias-Rios, R. (Eds.) Usina Hidrelétrica de Serra da Mesa 15 anos de Estudos da Ictiofauna do Alto Tocantins, Rio de Janeiro, FURNAS.

- Migaud, H., Davie, A. & Taylor, J. F. 2010. Current knowledge on the photoneuroendocrine regulation of reproduction in temperate fish species. *Journal of Fish Biology*, 7:, 27-68.
- Monteiro, V., Benedito, E. & Domingues, W. M. 2007. Efeito da estratégia de vida sobre as variações no conteúdo de energia de duas espécies de peixes (*Brycon hilarii* e *Hypophthalmus edentatus*), durante o ciclo reprodutivo. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 29: 151-159.
- Nelson, J. S. 2006. *Fishes of the World*. Hoboken, John Wiley & Sons, Inc. 601 p.
- Normando, F. T., Santiago, K. B., Gomes, M. V. T., Rizzo, E. & Bazzoli, N. 2014. Impact of the Três Marias dam on the reproduction of the forage fish *Astyanax bimaculatus* and *A. fasciatus* from the São Francisco River, downstream from the dam, southeastern Brazil. *Environmental Biology of Fishes*, 97: 309-319.
- Ortí, G., Sivasundar, A., Dietz, K. & Jégu, M. 2008. Phylogeny of the Serrasalminidae (Characiformes) based on mitochondrial DNA sequences. *Genetics and Molecular Biology*, 31: 343-351.
- Pompeu, P. S. 1999. Dieta da pirambeba *Serrasalmus brandtii* Reinhardt (Teleostei, Characidae) em quatro lagoas marginais do rio São Francisco, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 16: 19-26.
- 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: 427-433.
- Ramos, I .P., Vidotto-Magnoni, A. P. & Carvalho, E. D. 2008. Influence of cage fish farming on the diet of dominant fish species of a Brazilian reservoir (Tietê River, High Paraná River basin). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 20: 245-252.
- Reis, R. E., Kullander, S. O. & Ferrari JR., C. J. 2003. Check List of the Freshwater Fishes of South and Central America. Porto Alegre, Edipucrs, 729p.
- Ribeiro, C. S. & Moreira, R. G. 2012. Fatores ambientais e reprodução dos peixes. *Revista da biologia*, 8: 58-61.

Sato, Y., Bazzoli, N., Rizzo, E., Boschi, M. B. & Miranda, M. O. T. 2003. Impacto a jusante do reservatório de Três Marias sobre a reprodução do peixe reofílico curimatá-pacu (*Prochilodus argenteus*). Pp. 327-346. In: Godinho, H. P. & Godinho, A. L. (Eds.) Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais. Belo Horizonte, PUC Minas.

Sato, Y. & Sampaio, E. V. 2005. A ictiofauna na região do alto São Francisco, com ênfase no reservatório de Três Marias, Minas Gerais. In: Nogueira, M. G., Henry, R. & Jorcin, A. (Eds.) Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata. São Carlos, RIMA.

Southwood, T. R. E. 1977. Habitat, the templet for ecological strategies? *Journal of Animal Ecology*, 46: 337-365.

Southwood, T. R. E. 1988. Tactics, strategies, and templets. *Oikos*, 52: 3-18.

Tedesco, P. A., Hugueny, B., Oberdorff, T., Dürr, H. H., Mérigoux, S. & Mérona, B. 2008. River hydrological seasonality influences life history strategies of tropical riverine fishes. *Oecologia*, 156: 691-702.

Teles, M. E. O. & Godinho, H. P. 1997. Ciclo reprodutivo da pirambeba *Serrasalmus brandtii* (Teleostei, Characidae) na represa de Três Marias, rio São Francisco. *Revista Brasileira de Biologia*, 57: 177-184.

Thomé, R. G., Domingos, F. T. T., Santos, H. B., Martinelli, P. M., Sato, Y., Rizzo, E. & Bazzoli, N. 2012. Apoptosis, cell proliferation and vitellogenesis during the folliculogenesis and follicular growth in teleost fish. *Tissue and Cell*, 44: 54-62.

Vitule, J.R.S. 2009. Introdução de peixes em ecossistemas continentais brasileiros: revisão, comentários e sugestões de ações contra o inimigo quase invisível. *Neotropical Biology and Conservation*, 4(2): 111-122.

Vogel, C. 2012. Estratégias de história de vida de peixes neotropicais em diferentes tipos de habitat. Unpublished MSc. Dissertation, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 85p.

Winemiller, K. O. 1989. Patterns of variation in life history among South American fishes in seasonal environments. *Oecologia*, 81: 225-241.

Winemiller, K. O. 2005. Life history strategies, population regulation and implications for fisheries management. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52: 872-885.

Wootton, R. J. 1990. Ecology of teleost fishes. London, Chapman & Hall. 404p.

Zarske, A. & Géry, J. 1999. Revision der neotropischen Gattung *Metynnis* Cope, 1878. 1. Evaluation der Typus-exemplare der nominellen Arten (Teleostei: Characiformes: Serrasalminidae). Zoologische Abhandlungen, 50: 169-216.

ARTIGO

Represas podem facilitar o estabelecimento de espécies não-nativas a jusante? O exemplo da reprodução de uma espécie nativa e não-nativa de Serrasalminae na região Neotropical¹

Introdução

A eficiência da colonização e da estabilidade populacional nos distintos ambientes estão intimamente relacionadas ao sucesso reprodutivo (Suzuki & Agostinho, 1997). Este sucesso depende dos recursos alocados e dos locais e períodos mais favoráveis para reprodução, que são determinados através das condições ambientais (Wootton, 1990).

Na região Neotropical os principais estímulos reprodutivos estão relacionados às chuvas, cheias e temperatura (Ribeiro & Moreira, 2012). Esses estímulos provocam alterações fisiológicas, que desencadeiam o desenvolvimento das células reprodutivas (Bone & Moore, 2008). Assim, modificações nas características ambientais decorrentes das ações antrópicas interferem diretamente no sucesso reprodutivo, bem como na distribuição das espécies (Humphries & Winemiller, 2009).

A construção de barragens na calha principal de um rio altera a dinâmica do sistema fluvial e rompe a continuidade do rio (Starford & Ward, 2001). Estas modificações geram uma mudança radical no sistema hídrico transformando trechos lóticos em lênticos, com controle da vazão a jusante do barramento (Junk & Wantzen, 2004) e alteração do processo natural dos pulsos de inundação (Junk & Wantzen, 2004). Como peixes dependem de estímulos ambientais para desencadear a desova, modificações na dinâmica do ambiente exercem influência direta na reprodução (Bailly *et al.*, 2008; Ribeiro & Moreira, 2012). As mudanças ocorrem desde alterações nas táticas reprodutivas (Monteiro *et al.*, 2007), até consequências mais extremas como a interrupção do processo reprodutivo (Normando *et al.*, 2014).

A construção de represas pode vir acompanhada da introdução de espécies não-nativas para compensar a diminuição dos estoques de espécies comerciais (Sato & Sampaio, 2005). A mudança provocada pelo barramento possibilita às espécies não-nativas uma adaptação mais fácil que as nativas (Arthington *et al.*, 1999), sendo que as

¹ - Artigo escrito de acordo com as normas da revista Neotropical Ichthyology.

consequências negativas estão frequentemente associadas aos estoques das populações nativas (Johnson *et al.*, 2008; Orsi & Britton, 2014). A competição das espécies invasoras com as nativas provocam reduções na abundância, podendo, em casos mais graves, resultar em extinções locais (Latini & Petrere Jr., 2004; Gurevitch & Padilla, 2004). Uma vez estabelecidas, a alta plasticidade e forte invasibilidade das espécies não-nativas dificultam sua eliminação do local invadido (Souza *et al.*, 2009; Vitule, 2009). Juntas, a modificação antrópica e as invasões biológicas representam a principal ameaça à biota aquática (Ricciardi & Rasmussen 1999; Dudgeon *et al.*, 2006).

Na Bacia do rio São Francisco há registro de 16 espécies introduzidas (Alves *et al.*, 2011), dentre elas *Metynnis maculatus* (Kner, 1858), nativa das bacias dos rios Amazonas e Paraguai (Zarske & Géry, 1999), sendo o primeiro registro para a bacia no trecho Submédio (Luz *et al.*, 2009). É uma espécie herbívora que apresenta rápida capacidade de colonização, maturação precoce e reprodução contínua (Gomes *et al.*, 2012), o que a tornou amplamente distribuída em outros rios e reservatórios do Brasil (Dias *et al.*, 2005; Ramos *et al.*, 2008; Alves *et al.*, 2011).

A única espécie nativa da bacia do rio São Francisco e filogeneticamente próxima a *M. maculatus* é *Serrasalmus brandtii* (Lütken, 1875) (Alves *et al.*, 2011). É uma espécie de médio porte alcançando 22 cm de comprimento padrão (Britski *et al.*, 1988). Apresenta desova parcelada, reproduzindo-se durante o ano inteiro, com picos nos meses de chuva (Teles & Godinho, 1997). Assim como outras espécies de Serrasalminae, passa por mudança ontogenética na dieta, alimentando-se quando juvenil de insetos aquáticos, escamas e nadadeiras, alterando para piscívora quando adulta (Pompeu, 1999).

Uma vez que a modificação ambiental influencia diretamente as características reprodutivas das espécies, o objetivo do presente estudo foi comparar as diferenças no investimento reprodutivo de *Serrasalmus brandtii* Lütken, 1875 (nativa) e *Metynnis maculatus* (Kner, 1858) (não-nativa) e sua relação com a modificação hidrológica em uma área do Baixo São Francisco a jusante da Usina Hidrelétrica Xingó, nordeste do Brasil.

Material e Métodos

Área de estudo

O rio São Francisco nasce no estado de Minas Gerais e percorre os estados da Bahia e Pernambuco antes de desaguar no Oceano Atlântico entre os estados de Alagoas e Se

rgipe. Sua bacia hidrográfica apresenta área de 638.323 Km² (Godinho & Godinho, 2003) e está dividida em Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco. Está sob influência dos biomas Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica (MMA, 2006).

No rio São Francisco foram erguidas nove represas para o aproveitamento do seu potencial hídrico para geração de energia. Uma no Alto, duas no Submédio e seis no Baixo São Francisco, sendo cinco destas pertencentes ao complexo hidrelétrico de Paulo Afonso (CHESF, 2014).

O presente estudo foi desenvolvido no Baixo São Francisco, caracterizado pela presença de sub-bacias de rios de pequeno porte, dependentes do regime pluviométrico. Encontra-se sob influência da Usina Hidrelétrica (UHE) Xingó (em operação desde 1994) e da dinâmica marinha (Godinho & Godinho, 2003). O clima predominante é o subúmido. A temperatura média para o trecho é de 25°C, a precipitação oscila de 350 a 1.500 mm/ano e a vazão média anual é de 2.810 m³/s (MMA, 2006).

Coleta

A área de amostragem localizava-se entre os municípios de Propriá (SE) e Porto Real do Colégio (AL), a 164 Km da hidrelétrica Xingó e 64 km da foz com o Oceano Atlântico. Dois pontos (Fig. 3) de características similares com abundância de macrófitas aquáticas (*Eichornia crassipes* e *Elodea* sp.) e bancos de sedimentação foram amostrados bimestralmente no período de agosto/2012 a dezembro/2013.

Para coleta dos espécimes foram utilizadas redes de espera com malhas variando de 3 a 12 cm entre nós opostos. As redes eram armadas no canal principal do rio São Francisco ao entardecer e recolhidas ao amanhecer, totalizando 12 horas de exposição. Os indivíduos capturados foram acondicionados em bolsas plásticas com injeção de oxigênio e transportados vivos até o laboratório, no Centro Integrado de Recursos Pesqueiros e Aquicultura do Itiúba.

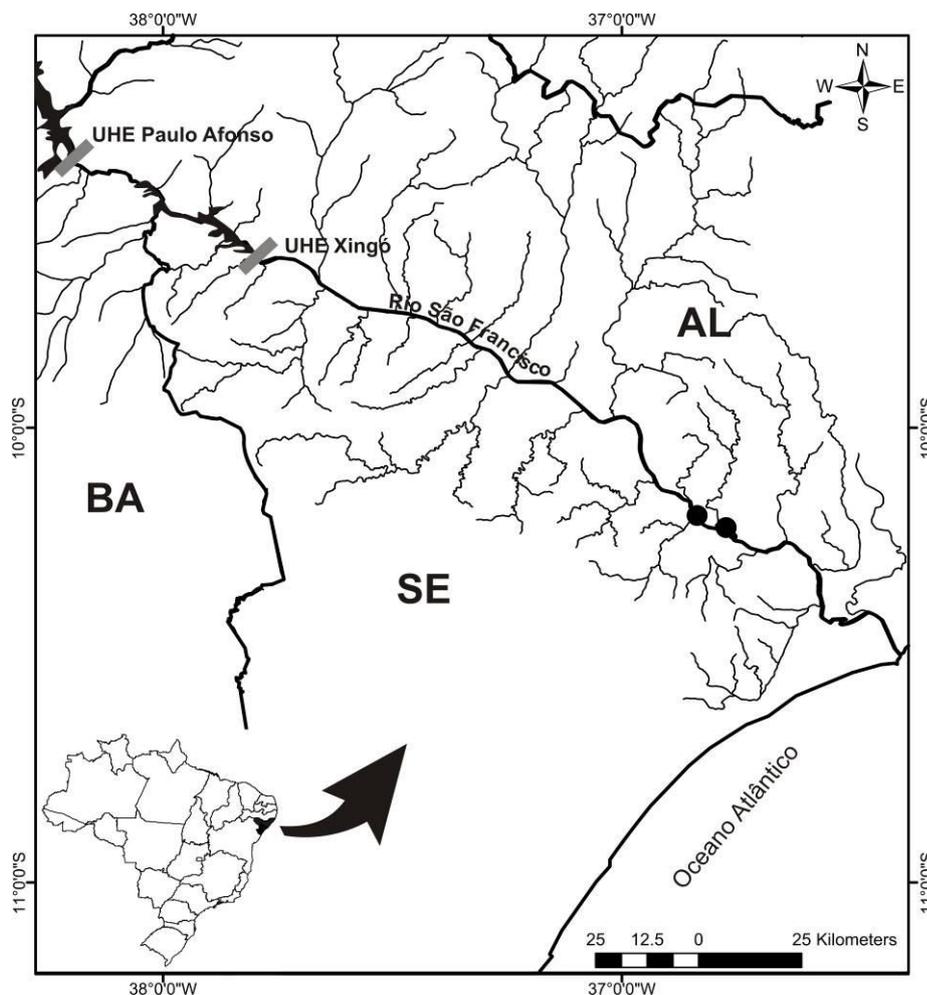


Fig. 3 - Mapa da drenagem do Baixo São Francisco indicando as duas localidades amostradas (ponto) no presente estudo.

Procedimentos em laboratório

Em laboratório os espécimes foram anestesiados com eugenol (40-100 ml/l) e sacrificados através de miotomia (Harms, 1999). Em seguida foi realizada a identificação e biometria dos espécimes, com registro do comprimento padrão (CP), comprimento total (CT), seguido do peso corporal (PC). Após esses procedimentos os espécimes foram dissecados. Ovários e testículos foram localizados, pesados e caracterizados macroscopicamente quanto ao estágio de maturação gonadal através de características morfológicas de acordo com Brown-Peterson *et al.* (2011): (1) - imaturo, (2) - em desenvolvimento, (3) - apto a reprodução, (4) - em regressão e (5) - em regeneração. Fragmentos da porção medial da gônada direita de fêmeas e machos foram removidos para fixação em líquido de Bouin por cerca de 12h e processados de acordo com a metodologia histológica de rotina para análise microscópica e confirmação dos estádios de maturação

gonadal (EMG). Uma porção medial do ovário esquerdo de fêmeas aptas à reprodução foi retirada para análise da fecundidade e biometria através da dissociação dos ovócitos em solução de Gilson modificada (Vazzoler, 1996).

Índices biológicos

Foram calculados os índices gonadossomático ($IGS=PG/PC*100$), hepatossomático ($IHS=PF/PC*100$) e de gordura celômica ($IGC=PGC/PC*100$) (Vazzoler, 1996). O fator de condição (K) (Le Cren, 1951) que indica o grau de hígidez dos espécimes foi calculado através da fórmula $K=PC/CT^b$, onde b representa o coeficiente de regressão ($b=PC/CT$), PC o peso corporal e CT o comprimento total. Para o cálculo da fecundidade foi utilizado o método gravimétrico (Isaac-Nahum *et al.*, 1988).

Coleta de dados abióticos

Dados de pluviometria (1963-2013) e temperatura do ar (2012-2013) da estação 83097 localizada em Propriá foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (www.inmet.gov.br). Dados da vazão (1977-2013) e cota do rio (1972-2013) das estações 49705000 (Propriá-SE) e 49330000 (Piranhas-AL) foram obtidos junto à Agência Nacional de Águas (www.hidroweb.ana.gov.br).

Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio dos softwares livres Past (Hammer *et al.*, 2001) e Bioestat 5.0 (Ayres *et al.* 2007), sendo adotado o nível de significância de $p<0.05$ para todas as análises. A normalidade dos dados foi testada através do teste Shapiro-Wilk.

Os valores de cota e vazão das estações fluviométricas de Propriá e de Piranhas foram testados através da correlação de Spearman para verificar a influência da UHE Xingó na dinâmica hidrológica na área de estudo. Para verificar alterações da dinâmica hidrológica após o barramento foi utilizado o Test T pareado para dados com distribuição normal e Wilcoxon pareado para dados com distribuição não-normal para comparar as séries históricas mensais da vazão e cota do trecho amostrado antes e depois da construção da UHE Xingó.

A razão sexual foi calculada através do teste qui-quadrado para valor total das duas espécies. Para testar a variância dos índices biológicos nos diferentes meses ou estágio de maturação gonadal e a presença de pulsos de inundação na série histórica foi utilizada a

análise de variância (ANOVA) para dados com distribuição normal. Já aqueles com distribuição não-normal foram avaliados através do teste de Kruskal-Wallis. Após a realização do teste foi aplicado o teste de Tukey (distribuição normal) ou o Mann-Whitney (distribuição não-normal) para identificar os grupos que diferiam.

A comparação do comprimento padrão, peso corporal, fecundidades relativa e absoluta e o tamanho de ovócitos entre as duas espécies foi realizada através do teste t Student para os dados paramétricos e Mann-Whitney para os dados não-paramétricos. A influência das variáveis ambientais sobre o IGS de *S. brandtii* e *M. maculatus*, assim como a influência do tamanho do ovócito na fecundidade foi analisada através da correlação de Pearson quando os dados apresentaram distribuição normal. Para dados não paramétricos foi realizada a correlação de Spearman. A correlação cruzada entre IGS e fatores ambientais foi utilizada para verificar se a resposta reprodutiva viria posteriormente a estímulos ambientais.

Resultados

Fatores ambientais

A comparação entre série história antes e depois do barramento do rio pela UHE Xingó mostrou que o período de chuva não apresentou diferenças significativas, porém mudanças significativas ocorreram na vazão ($W: 75; p < 0.05$) e cota ($t: 2.95; p < 0.05$). Os valores mais elevados de vazão ($F: 6.38; p < 0.05$) e cota ($F: 8.11; p < 0.05$) que ocorriam de novembro a maio antes do barramento tiveram sua amplitude reduzida após o início das atividades da UHE Xingó em 1994, acarretando em uma quase estabilização da cota e vazão ao longo dos anos (Fig. 4).

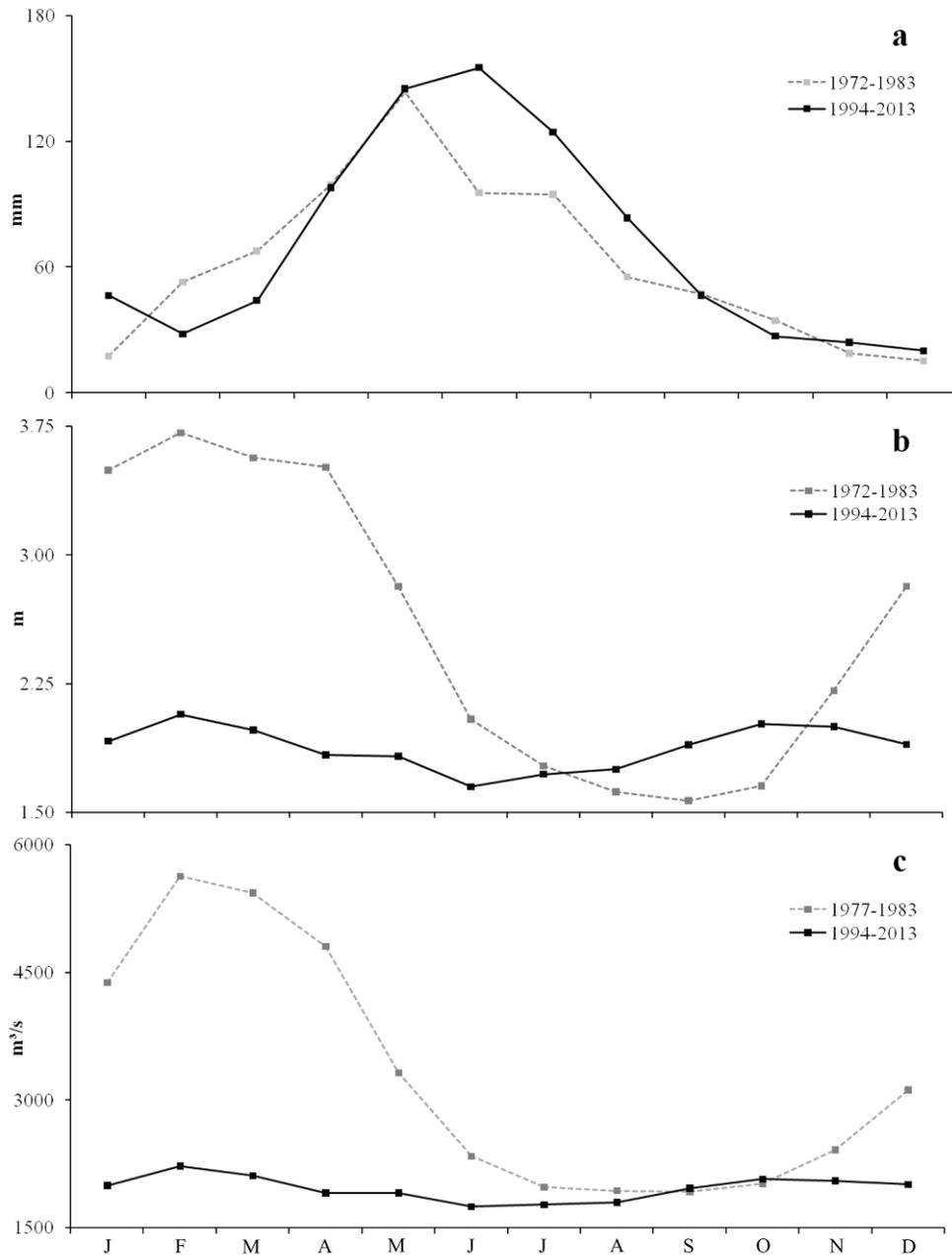


Fig. 4 - Valores médios da pluviometria (A), cota (B) e vazão (C) em Propriá (SE) antes (linha pontilhada) e depois (linha sólida) da construção da UHE Xingó no Baixo São Francisco.

O período chuvoso durante o estudo ocorreu entre março/abril e setembro/outubro com pico em julho/agosto de 2013. As maiores temperaturas do ar foram registradas nos meses mais secos e as menores temperaturas nos meses mais chuvosos. A vazão e cota do rio se apresentaram instáveis em virtude da influência da UHE Xingó (Spearman: 36; $p < 0.05$) (Fig. 5).

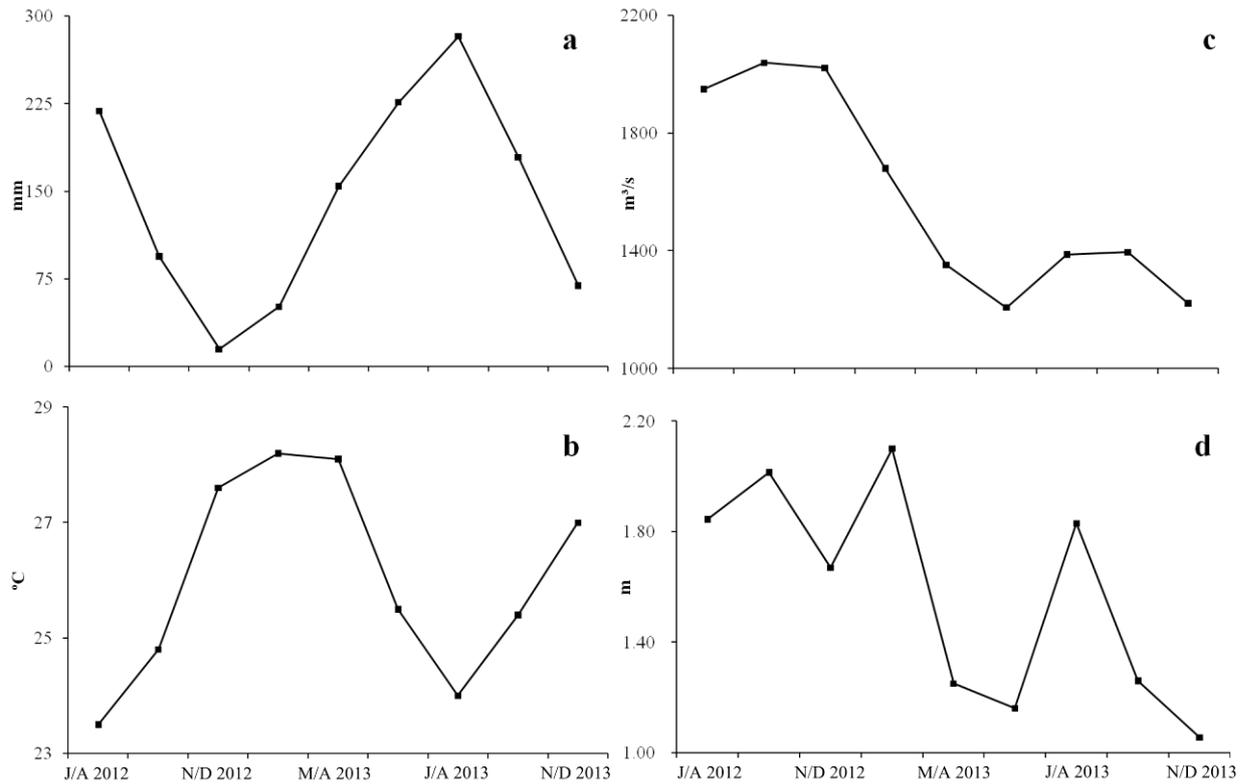


Fig. 5 - Média mensal de pluviometria (A), temperatura do ar (B), vazão (C) e cota (D) no Baixo São Francisco entre julho de 2012 e dezembro de 2013.

Caracterização das espécies

Foram coletados 636 espécimes, sendo 211 exemplares de *S. brandtii* (109 fêmeas e 102 machos) e 425 *M. maculatus* (166 fêmeas e 259 machos). Somente *M. maculatus* apresentou diferença significativa na razão sexual (χ^2 : 20.3; $p < 0.05$). *Serrasalmus brandtii* apresentou indivíduos maiores (U : 21124, $p < 0.05$) e mais pesados (U : 33804, $p < 0.05$) que *M. maculatus*. Os menores indivíduos reprodutivos de *S. brandtii* (macho: 92mm; fêmea: 105mm) apresentaram comprimento padrão superior a *M. maculatus* (macho: 67mm; fêmea: 65mm) (Tabela 1).

Tabela 1. Dados biométricos de comprimento padrão (CP), peso corporal (PC) e menor indivíduo reprodutivo (MIR) de *Serrasalmus brandtii* e *Metynnis maculatus* coletados no Baixo São Francisco entre julho de 2012 e dezembro de 2013.

Dados	<i>Serrasalmus brandtii</i>		<i>Metynnis maculatus</i>	
	Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos
Nº de indivíduos	109	102	166	259
CP mínimo (mm)	57	50	51	55
CP máximo (mm)	200	201	126	110
PC mínimo (gr)	5	4.6	7.2	6.4
PC máximo (gr)	250.7	318.8	81.9	60.2
MIR CP (mm)	105	92	65	67

Ambas as espécies apresentaram ovários do tipo cistovariano, laminares, pares, localizados lateralmente na cavidade celômica formando um ducto comum na porção terminal das gônadas, finalizando na papila urogenital. Em fêmeas maduras os ovários bem desenvolvidos ocuparam grande parte da cavidade celômica, com ovócitos vitelogênicos visíveis a olho nu. *Metynnis maculatus* apresentou o ovário direito reduzido em todos os estádios de maturação gonadal com cerca de 50% do peso da gônada esquerda, com ovócitos vitelogênicos de coloração verde. *Serrasalmus brandtii* apresentou ovários de tamanho equivalentes e ovócitos vitelogênicos com coloração amarela. Ambas as espécies apresentaram desenvolvimento ovocitário assincrônico, com presença de diversos tipos de ovócito em fêmeas aptas à reprodução (Fig. 6).

Machos apresentaram testículos tubulares, pares, localizados lateralmente na cavidade celômica formando um ducto comum na porção caudal. Apresentaram a origem na região cranial da cavidade celômica, e se estenderam diagonalmente até a papila urogenital. Indivíduos em maturação inicial exibiram gônadas reduzidas e opacas. Já machos em maturação avançada apresentaram gônadas túrgidas com aspecto branco-leitoso. Machos maduros apresentaram grande quantidade de espermatozóides e células em desenvolvimento na parede do túbulo seminífero. Não foram observados machos em regeneração (Fig. 7).

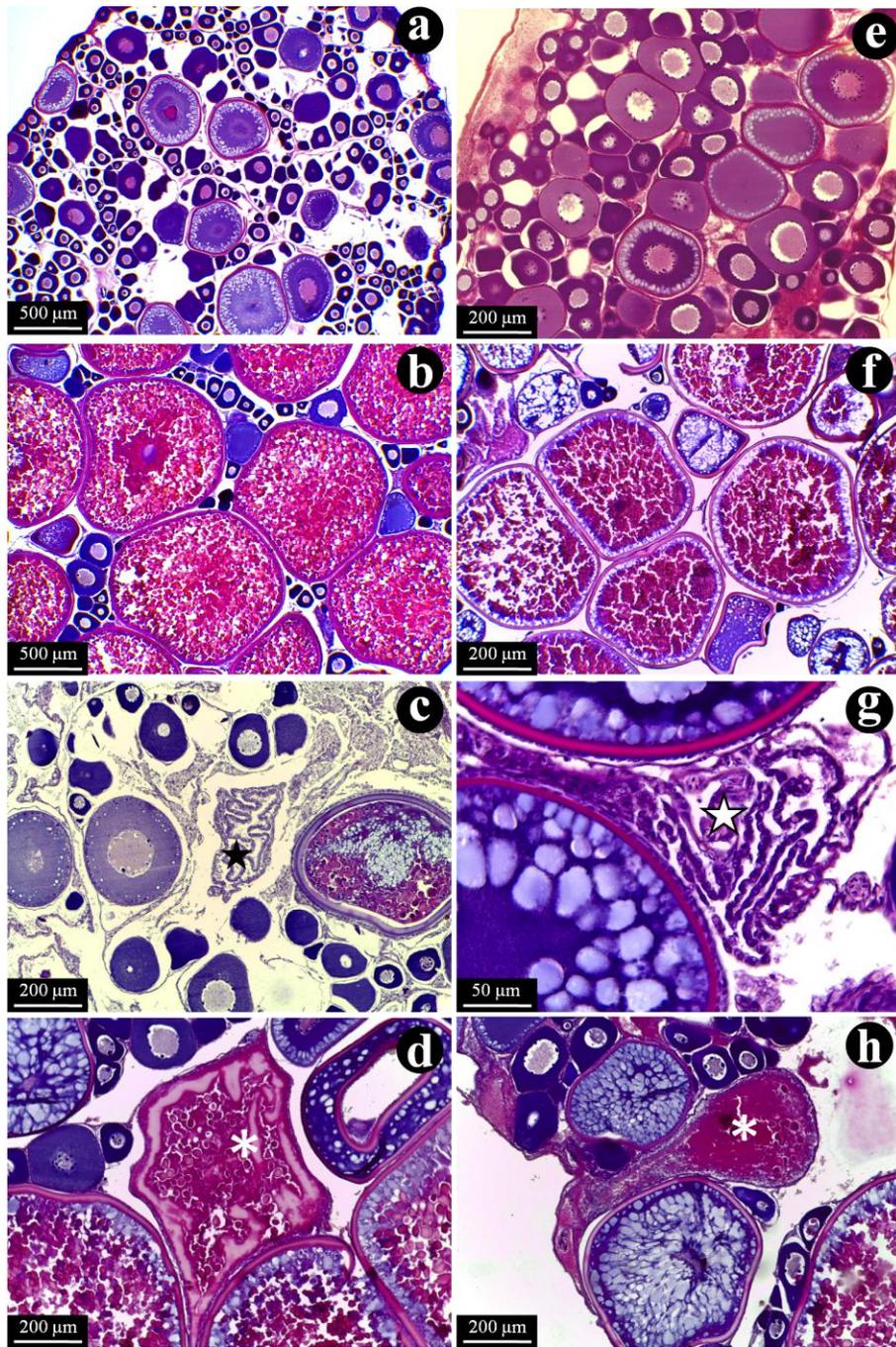


Fig. 6 - Cortes histológicas coradas em hematoxilina e eosina de ovários em desenvolvimento (a- *S. brandtii*, e- *M. maculatus*), ovários aptos a reprodução (b- *S. brandtii*, f- *M. maculatus*) e ovários em regeneração com detalhe dos folículos pós-ovulatório (estrela) (c- *S. brandtii*, g- *M. maculatus*) e atrécicos (asterísco) (d- *S. brandtii*, h- *M. maculatus*)

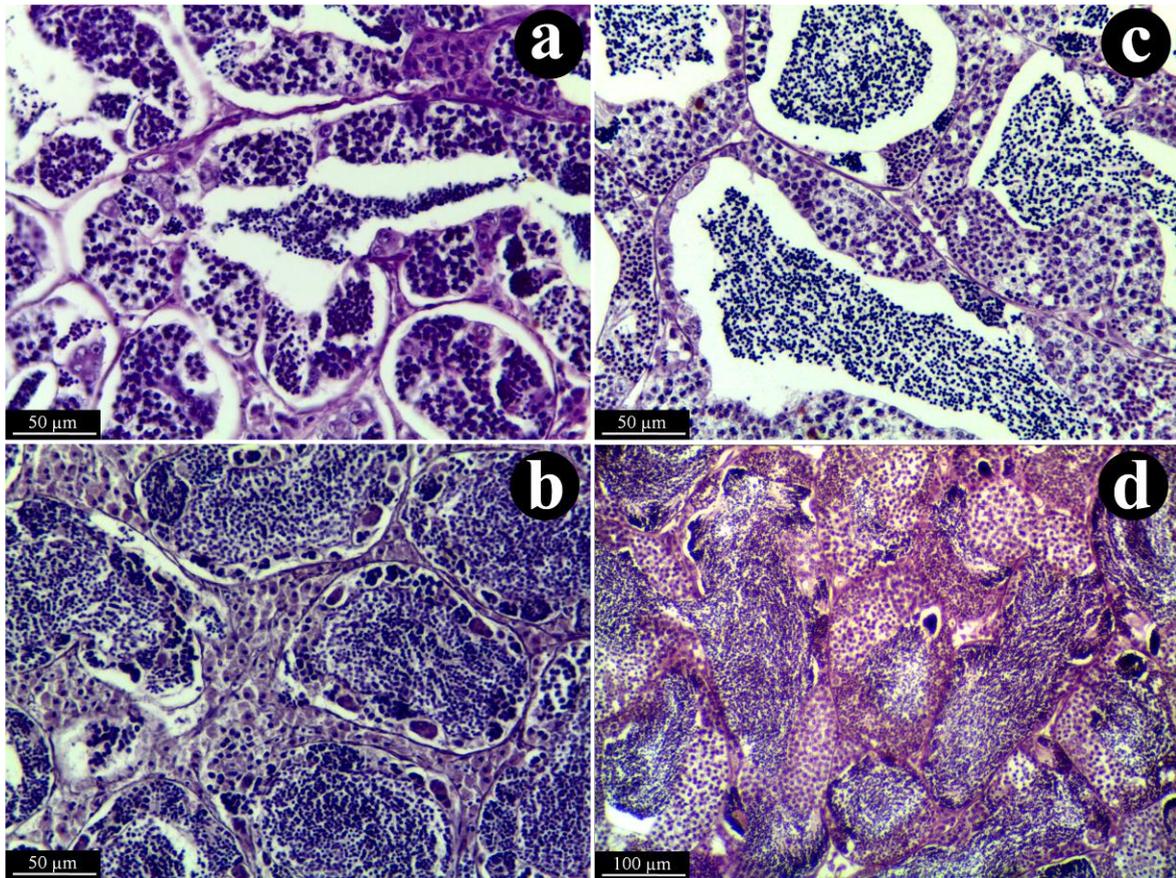


Fig. 7 - Cortes histológicos corados em hematoxilina e eosina de testículos em desenvolvimento (a- *S. brandtii*, c- *M. maculatus*) e aptos à reprodução (b- *S. brandtii*, d- *M. maculatus*)

Características reprodutivas

O IGS das fêmeas de ambas as espécies apresentaram maior valor no estágio 3, sendo os demais estádios equivalentes estatisticamente quanto aos seus valores. Os índices biológicos IHS, IGC apresentaram diferenças significativas entre os estádios de maturação gonadal apenas para as fêmeas de *S. brandtii* e o K para ambas as espécies (Tabela 2).

Serrasalmus brandtii apresentou diferenças do IGS, IGC e K entre os estádios. O IHS não apresentou diferenças significativas entre os estádios. O IGS e IGC dos machos de *M. maculatus* não apresentaram diferenças significativas entre os estádios. Já o IHS apresentou maior valor para o estágio 4 e o K teve o menor valor para machos imaturos (M1) (Tabela 2).

Tabela 2. Média e desvio padrão dos índices gonadossomático (IGS), hepatossomático (IHS), de gordura celômica (IGC) e o fator de condição (K) por estágio de maturação gonadal em *Serrasalmus brandtii* e *Metynnis maculatus* coletado no Baixo São Francisco entre julho de 2012 e dezembro de 2013. F= fêmeas; M= machos.

EMG	IGS		IHS		IGC		K	
	<i>S. brandtii</i>	<i>M. maculatus</i>	<i>S. brandtii</i>	<i>M. maculatus</i>	<i>S. brandtii</i>	<i>M. maculatus</i>	<i>S. brandtii</i>	<i>M. maculatus</i>
F1	0.38±0.20 ^a	0.36±0.04 ^a	0.73±0.31 ^a	0.92±0.05 ^a	0.17±0.29 ^a	0.06±0.07 ^a	7.90±1.43 ^a	4.99±0.54 ^a
F2	1.18±1.21 ^a	3.38±1.83 ^a	0.92±0.31 ^{ab}	0.96±0.05 ^a	0.81±0.80 ^b	0.83±1.18 ^a	5.90±2.16 ^a	7.38±0.63 ^b
F3	3.89±1.76 ^b	6.74±2.56 ^b	1.09±0.28 ^b	1.06±0.33 ^a	0.36±0.38 ^{ab}	0.44±0.48 ^a	4.27±1.83 ^b	7.27±0.93 ^b
F4	0.71±0.87 ^a	0.75±0.54 ^a	0.82±0.48 ^{ab}	1.07±0.31 ^a	0.29±0.45 ^{ab}	0.94±0.72 ^a	6.57±3.08 ^a	7.30±0.59 ^b
F5	0.55±0.21 ^a	0.42±0.29 ^a	0.71±0.33 ^a	0.71±0.33 ^a	0.54±0.51 ^b	0.83±1.25 ^a	7.72±1.37 ^a	7.31±0.66 ^b
M1	0.10±0.12 ^a	0.10±0.07 ^a	0.80±0.47 ^a	0.61±0.39 ^a	0.25±0.28 ^a	0.21±0.26 ^a	6.44±1.4 ^{5a}	5.62±0.93 ^a
M2	0.23±0.18 ^a	0.36±0.48 ^a	0.79±0.29 ^a	0.88±0.30 ^{ab}	0.37±0.63 ^a	0.82±0.91 ^a	8.12±1.57 ^b	7.76±0.61 ^b
M3	0.38±0.19 ^b	0.52±0.46 ^a	0.93±0.41 ^a	0.94±0.37 ^{ab}	0.85±0.86 ^b	0.45±0.54 ^a	6.62±1.71 ^a	7.88±0.55 ^b
M4	0.25±0.19 ^{ab}	0.58±0.22 ^a	0.94±0.37 ^a	1.13±0.23 ^b	0.91±0.58 ^b	0.20±0.23 ^a	5.82±2.01 ^a	8.26±0.48 ^b
M5	0.05±0.27 ^a	0.14±0.13 ^a	0.87±0.25 ^a	0.77±0.24 ^{ab}	0.13±0.13 ^a	0.34±0.32 ^a	9.28±0.20 ^c	7.62±0.90 ^b

A média do IGS foi constante para os dois sexos de *S. brandtii* durante o período de estudo, mas apesar disso houve assincronia reprodutiva entre machos e fêmeas ($p>0.05$). Diferentemente, *M. maculatus* apresentou picos reprodutivos tanto para machos ($F=9.63$; $p<0.05$) quanto para fêmeas ($F=12.81$; $p<0.05$), com sincronização reprodutiva (Spearman: 0.72; $p<0.05$) (Fig. 8). Não houve correlação entre as médias mensais dos dados ambientais (vazão, cota, pluviometria e temperatura do ar) e IGS para ambas as espécies. Através da correlação cruzada, constatou-se que fêmeas de *M. maculatus* apresentaram correlação positiva com a temperatura do ar (Lag-1: 0.744; $p<0.05$) e negativa com a pluviometria (Lag -1: -0.905; $p<0.05$), com adiamento de um bimestre para a resposta fisiológica.

Serrasalmus brandtii apresentou uma pequena proporção de indivíduos reprodutivos (estádios 3 e 4) durante todo o período de estudo, sendo os indivíduos juvenis e os adultos não-reprodutivos dominantes. *Metynnis maculatus* apresentou padrão distinto, com pequena proporção de juvenis e não-reprodutivos e dominância de adultos reprodutivos em quase todas as amostras (Fig. 9).

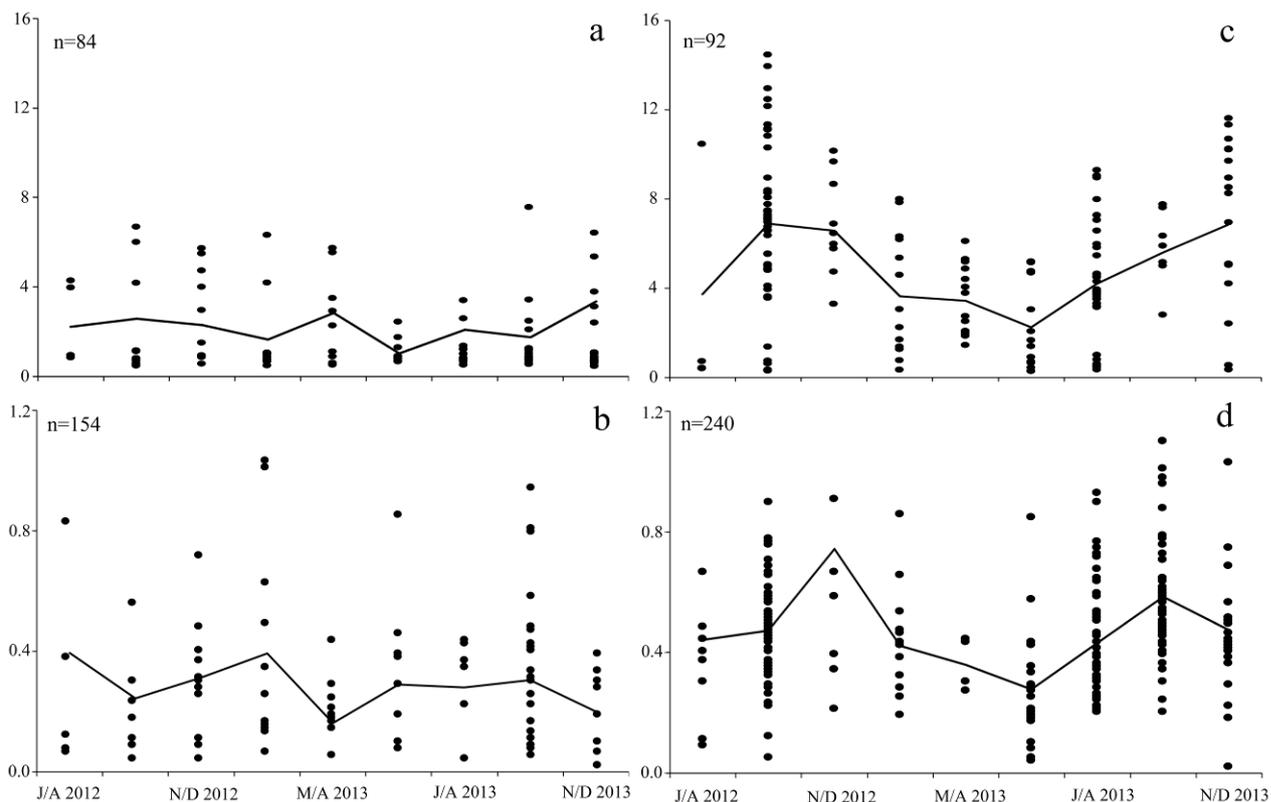


Fig. 8 - Distribuição individual (pontos) e média (linha) do índice gonadosomático dos espécimes adultos de *Serrasalmus brandtii* (a-fêmeas; b-machos) e *Metynnis maculatus* (c- fêmeas; d-machos) no Baixo São Francisco entre julho de 2012 e dezembro de 2013.

O tamanho dos ovócitos vitelogênicos não apresentou diferenças significativas entre as espécies (*S. brandtii*: $1599 \pm 92.1 \mu\text{m}$; *M. maculatus*: $1632 \pm 101.3 \mu\text{m}$). Porém, a fecundidade relativa foi maior (U : 417.5; $p < 0.05$) em *M. maculatus* (28.26 ± 13.80 ovócitos/gr) que em *S. brandtii* (16.93 ± 6.55 ovócitos/gr). Já a fecundidade absoluta foi maior (U : 398; $p < 0.05$) em *S. brandtii* (2117 ± 959 ovócitos) do que em *M. maculatus* (1310 ± 935 ovócitos).

O comprimento padrão apresentou correlação positiva com a fecundidade relativa somente para *M. maculatus* (Spearman: 42136; $p < 0.05$). Já a fecundidade absoluta apresentou uma correlação positiva com o tamanho corporal tanto para *S. brandtii* (Pearson: 0.608; $p < 0.05$) quanto *M. maculatus* (Spearman: 16742; $p < 0.05$) (Fig. 10).

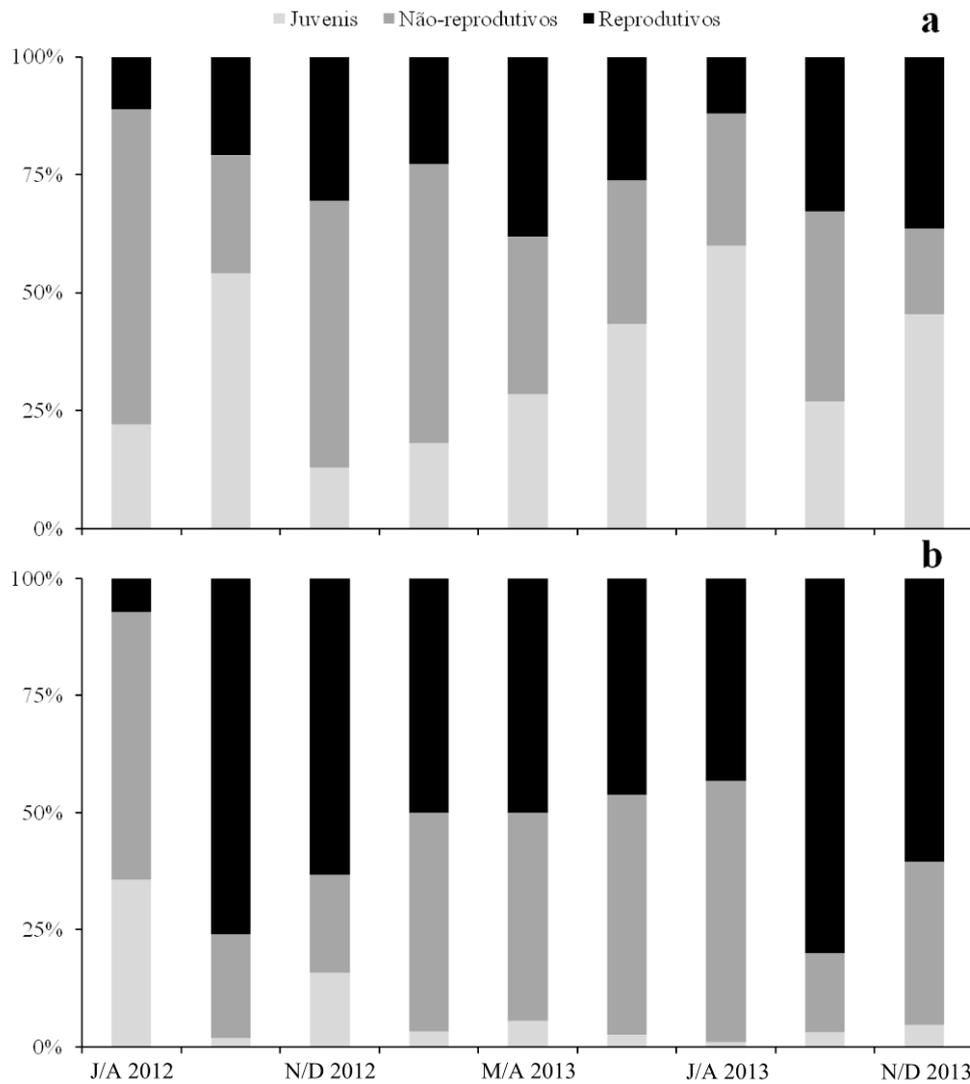


Fig. 9 - Proporção percentual de juvenis, adultos não-reprodutivos e adultos reprodutivos por período amostral na população de *Serrasalmus brandtii* (A) e *Metynnis maculatus* (B) coletados no Baixo São Francisco entre julho de 2012 e dezembro de 2013.

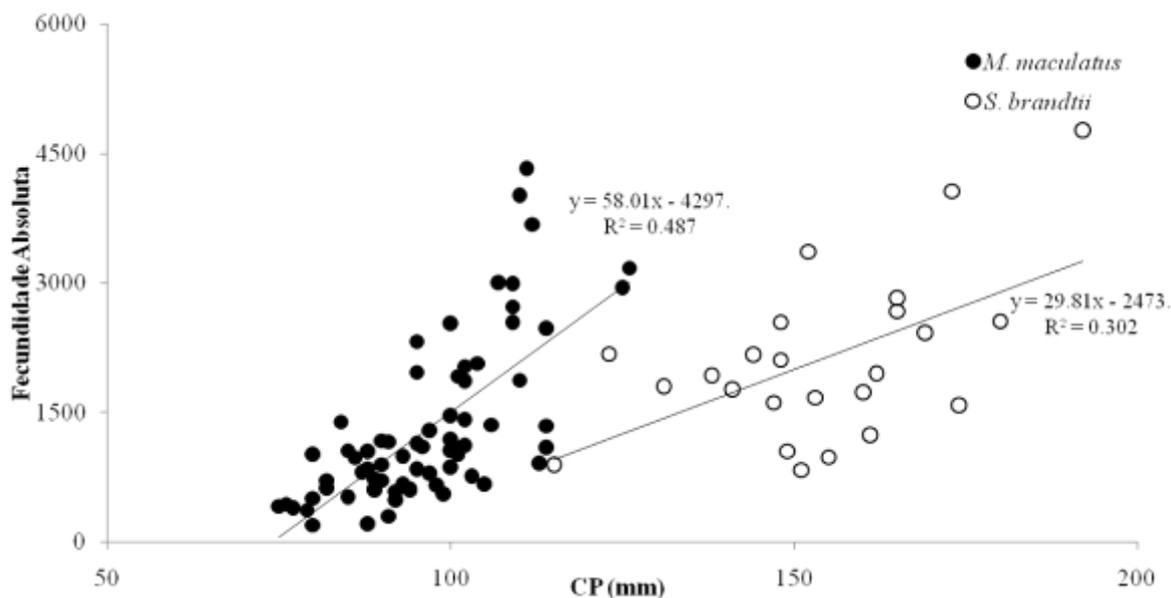


Fig. 10 - Relação do comprimento padrão sobre a fecundidade absoluta para *Metynnis maculatus* e *Serrasalmus brandtii* coletados no Baixo São Francisco entre julho de 2012 e dezembro de 2013.

Discussão

As modificações mais significativas no regime hídrico do São Francisco ocorreram após a construção das represas de Três Marias (MG) em 1952 e Sobradinho (BA) em 1979 para geração de energia e controle de cheias. Estes barramentos no trecho superior tiveram consequências no Baixo São Francisco com a diminuição do volume de água no canal principal, interrupção da conexão do curso principal com as lagoas marginais e erosão das margens (Casado *et al.*, 2002; Holanda *et al.*, 2005). A estabilidade da cota e vazão observada no Baixo São Francisco durante o período de estudo é reflexo da regulação do rio pelas represas a montante da área amostrada, principalmente pela UHE Xingó. A diminuição na amplitude e eventos de pulsos de inundação no Baixo São Francisco, como registrado através da série histórica está relacionada à regulação do fluxo natural em quase 90% (Martins *et al.*, 2011). Essa alteração tem como consequências o assoreamento no curso principal e diminuição da extensão lateral do rio, importantes para a renovação de nutrientes, abrigo e alimentação para as espécies e para conexão do rio com as lagoas marginais que servem de berçário (Junk & Wantzen, 2004; Pompeu & Godinho, 2006).

O represamento de um rio, além de afetar as espécies nativas, aumenta a invasibilidade e o estabelecimento de espécies não-nativas (Kolar & Lodge, 2000; Shea & Chesson, 2002), tanto a montante quanto a jusante. Johnson *et al.* (2008) relatam que a

instalação de barragens pode aumentar em até oito vezes as chances de sucesso na invasão quando comparadas a ambientes naturais. Um fator determinante para esse estabelecimento é a disponibilidade de alimento (Mérona & Vigouroux, 2012) e a ausência de predadores naturais (Souza *et al.*, 2009). A introdução de *M. maculatus* no Baixo São Francisco pode ter sido ocasionada pela aquariofilia, soltura acidental em função da semelhança de seus juvenis com o de outras espécies de Serrasalminae e através de escapes acidentais de pisciculturas localizadas próximas a corpos hídricos do Baixo São Francisco. Sua colonização parece ter sido bem sucedida por se tratar de uma espécie com grande plasticidade alimentar (Dias *et al.*, 2005), pelo reduzido número de possíveis predadores como o dourado *Salminus franciscanus* e o surubim *Pseudoplatystoma corruscans*, espécies piscívoras nativas da bacia do rio São Francisco, e pela grande disponibilidade de sítios reprodutivos (macrófitas) na região. O dobro de registros de adultos reprodutivos quando comparado a *S. brandtii* é reflexo de seu estabelecimento. Em outros ambientes com interferência antrópica, também foi relatada a presença de *M. maculatus* dentre as espécies mais abundantes (Pereira *et al.*, 2004; Gomes *et al.*, 2008), o que demonstra sua capacidade de adaptação e propagação. A presença de adultos reprodutivos, fêmeas em regeneração com folículos pós-ovulatórios e juvenis durante o período de estudo confirma o processo reprodutivo de ambas as espécies, assim como o estabelecimento de *M. maculatus* no Baixo São Francisco. A baixa frequência de juvenis durante o período de estudo pode estar associada à estratégia adotada por juvenis de Serrasalminae, que se abrigam nas macrófitas aquáticas nos primeiros estágios de vida, contribuindo para uma menor taxa de captura (Sazima & Zamprogno, 1985; Cunha *et al.*, 2011).

As consequências negativas do barramento de um rio vão além da modificação de um ambiente lótico em lêntico. A alteração na estrutura da comunidade de peixes (Penczak & Kruk, 2005; Mérona *et al.*, 2005) e a interferência no processo reprodutivo também são reflexos dos represamentos (Haxton & Findlay, 2008). No rio São Francisco, as populações das espécies oportunistas *Astyanax bimaculatus* e *Astyanax fasciatus* (Normando *et al.*, 2014) e a sazonal *Prochilodus argenteus* (Arantes *et al.*, 2010) apresentaram alterações na reprodução a jusante da represa de Três Marias. As mudanças no ambiente e a interrupção de rotas migratórias causaram a atresia ovocitária inviabilizando a reprodução. A assincronia reprodutiva e a ausência de correlação entre características ambientais e o IGS de *S. brandtii* podem ser relacionadas ao número de indivíduos amostrados ou à alteração hidrológica, uma vez que a reprodução de

Serrasalminae está associada a eventos de cheias (Leão, 1996; Agostinho, 2003; Maciel *et al.*, 2011). O impacto ocasionado pela modificação da dinâmica natural do rio pode estar interferindo nos processos fisiológicos. Já para a espécie não-nativa *M. maculatus*, o novo ambiente aumentou a invasibilidade favorecendo sua reprodução, com picos reprodutivos após os períodos mais quentes e sincronia da maturação das gônadas dos parceiros. Em áreas onde não apresenta um equivalente ecológico, *S. brandtii* apresentou tamanho de primeira maturação superior (Honorato-Sampaio *et al.*, 2009) aos registrados no presente estudo. A modificação ambiental e a competição com espécies introduzidas podem ter resultado nessa tática reprodutiva, onde a precocidade do processo reprodutivo ocorre como forma de compensação dos prejuízos no estoque populacional (Barbieri *et al.*, 2004).

Apesar da semelhança no tamanho do ovócito entre as espécies, *S. brandtii* apresentou fecundidade absoluta maior que *M. maculatus*. A correlação positiva entre tamanho corporal e fecundidade absoluta possibilita que *S. brandtii* apresente um maior número de ovócitos por fêmeas em virtude do maior porte. *Metynnis maculatus* além de menor, apresenta o ovário direito reduzido, o que contribui para uma menor quantidade total de ovócitos. Espécies de Serrasalminae de maior porte como *Colossoma macropomum* (Vieira *et al.*, 1999) e *Piaractus mesopotamicus* (Costa & Mateus, 2009) chegam a apresentar mais de um milhão de ovócitos por fêmea, apesar de terem fecundidade relativa menor que as espécies do presente estudo. Quando comparada a populações introduzidas em outras localidades (Gomes *et al.*, 2012; Pereira *et al.*, 2013), *M. maculatus* apresentou ovócitos vitelogênicos maiores, demonstrando um maior investimento qualitativo no Baixo rio São Francisco. Esse grande investimento reprodutivo possibilita maior sucesso por parte de *M. maculatus* no Baixo São Francisco. Ambas as espécies apresentaram características semelhantes como médio porte e alto investimento reprodutivo, com desovas múltiplas durante todo o ano, ovócitos pequenos e fecundidade relativa alta. A partir dessas características é possível relacioná-las à estratégia oportunística (*sensu* Winemiller, 1989).

O fluxo de água no rio São Francisco sofreu grande modificação em consequência da construção de barramentos em sua calha. As alterações hidrológicas do Baixo São Francisco após a instalação da Usina Hidrelétrica Xingó podem estar afetando a reprodução da espécie nativa *S. brandtii*. A falta de picos reprodutivos e a assincronia reprodutiva entre machos e fêmeas podem ser reflexos dessas alterações. O projeto de transposição das águas do São Francisco poderá agravar a condição hidrológica atual do

rio, afetando ainda mais o processo reprodutivo das espécies nativas. *Metynnis maculatus* apresentou grande investimento reprodutivo devido à mudança hidrológica, o que a torna uma potencial ameaça. Além da competição por espaço, *S. brandtii* e *M. maculatus* podem competir por sítios de desova, uma vez que apresentam similaridades nos padrões reprodutivos, como desova parcelada durante todo o ano e presença de ovócitos adesivos (Teles & Godinho, 1997; Gomes *et al.*, 2012). *Metynnis maculatus*, bem como as demais espécies introduzidas na Bacia do São Francisco, demandam monitoramento das suas populações. Medidas preventivas devem ser adotadas para minimizar seus impactos causados à fauna nativa, como (i) programas de educação ambiental a longo prazo para a população local sobre a temática bioinvasão; (ii) pesca seletiva e irrestrita de *Metynnis maculatus* em toda a região a jusante da UHE Xingó, fomentando sua utilização para ração; (iii) restauração do regime hídrico do rio a jusante da UHE Xingó, elevando a correnteza do rio e restabelecendo os pulsos de inundação, visando a efetividade reprodutiva das espécies nativas; e (iv) conscientização dos piscicultores locais sobre o crime ambiental de introdução de espécies estabelecido pela Portaria nº 145/98, de 29 de outubro de 1998 do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis (IBAMA).

Agradecimentos

À Universidade Federal de Sergipe e ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação, ao MCT/CNPq/PPBio (Proc. 558317/2009-0) e a UFG/FUNAPE/MCTI 001/2012 pelo apoio logístico e financiamento parcial do projeto. À Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF - 5ª CII) pelo apoio logístico e estrutural. À equipe do Laboratório de Ictiologia da UFS pelo auxílio na coleta e processamento do material. À Débora Matos pela confecção das lâminas histológicas. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida (DASA). Ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis - IBAMA (#33267-1) e ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio (#42281-1) pelas autorizações de coleta do espécimes.

Literatura Citada

- Agostinho, C. S. 2003. Reproductive aspects of piranhas *Serrasalmus spilopleura* and *Serrasalmus marginatus* into the Upper Paraná River, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 63(1): 1-6.
- Alves, C. B. M., F. Vieira & P. S. Pompeu. 2011. Ictiofauna da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Pp. 226-241 In: Ministério do Meio Ambiente (Ed.). Diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Brasília, Ministério do Meio Ambiente.
- Arantes, F. P., H. B. Santos, E. Rizzo, Y. Sato & N. Bazzoli. 2010. 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*, 118: 330-336.
- Arthington, A. H., Kailola, P. J. Woodland, D. J. & Zalucki, J. M. 1999. Baseline environmental data relevant to an evaluation of quarantine risk potentially associated with the importation to Australia of ornamental finfish. Report to the Australian Quarantine and Inspection Service, Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, Canberra.
- Ayres, M., M. Ayres Júnior, D. L. Ayres & A. A. Santos. 2007. BIOESTAT – Aplicações estatísticas nas áreas das ciências bio-médicas. Belém, ONG Mamiraua.
- Bailly, D., A. A. Agostinho & H. I. Suzuki. 2008. Influence of the flood regime on the reproduction of fish species with different reproductive strategies in the Cuiabá river, upper Pantanal, Brazil. *River. Research Application*, 24: 1218-1229.
- Barbieri, G., F. A. Salles, M. A. Cestarolli & A. R. Teixeira-Filho. 2004. Estratégias reprodutivas do dourado, *Salminus maxillosus* e do curimatã, *Prochilodus lineatus* no Rio Mogi Guaçu, Estado de São Paulo, com ênfase nos parâmetros matemáticos da dinâmica populacional. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 26(2): 169-174.
- Bone, Q. & Moore, R. H. 2008. *Biology of fishes*. New York, Taylor & Francis. 478p.
- Britski, H. A., Sato, Y. & Rosa, B. S. 1988. Manual de identificação de peixes da região de Três Marias: com chaves de identificação para os peixes da bacia do São Francisco. Brasília, Câmara dos Deputados/Codevasf, 115p.

- Brown-Peterson, N. J., D. M. Wyanski, F. Saborido-Rey, B. J. Macewicz & S. K. Lowerre-Barbieri. 2011. A standardized terminology for describing reproductive development in fishes. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, 3: 52-70.
- Casado, A. P. B., F. S. R. Holanda, F. A. G. Araújo Filho & P. Yagui. 2002. Bank erosion evolution in São Francisco River. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26: 231-239.
- Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF). 2014. Available from: http://www.chesf.gov.br/portal/page/portal/chesf_portal/paginas/sistema_chesf/sistema_chesf_geracao/container_geracao (Acesso em 17/06/2014).
- Costa, R. M. R. D. & L. A. D. F. Mateus 2009. Reproductive biology of pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887)(Teleostei: Characidae) in the Cuiabá River Basin, Mato Grosso, Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 7(3): 447-458.
- Cunha, E. R., Thomaz, S. M., Evangelista, H. B. A., Carniato, J., Souza, C. F., & R. Fugi R. 2011. Small-sized fish assemblages do not differ between a native and a recently established non-indigenous macrophyte in a Neotropical ecosystem. *Natureza & Conservação*, 9: 61-66.
- Dias, A. C. M. I., C. W. C. Branco & V. G. Lopes. 2005. Estudos da dieta natural de peixes no reservatório de Ribeirão das Lajes, Rio de Janeiro. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 27: 355-364.
- Dudgeon D., A. H. Arthington, M. O. Gessner, Z. I. Kawabata, D. J. Knowler, C. Lévêque, R. J. Naiman, A. H. Prieur-Richard, D. Soto, M. L. J. Stiassny, & C. A. Sullivan. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81: 163-82.
- Godinho, A. L. & H. P. Godinho. Breve visão do São Francisco. 2003. Pp. 15-24. In: Godinho, H. P. & A. L. Godinho. *Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais*. Belo Horizonte, PUC Minas.
- Gomes, J. H. C., A. C. I. M. Dias & C. C. Branco. 2008. Fish assemblage composition in three reservoirs in the State of Rio de Janeiro. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 20(4): 117-130.

- Gomes, I. D., F. G. Araújo, R. J. Albieri & W. Uehara. 2012. Opportunistic reproductive strategy of a non-native fish, the spotted metynnis *Metynnis maculatus* (Kner, 1858) (Characidae, Serrasalminae) in a tropical reservoir in south-eastern Brazil. *Tropical Zoology*, 25: 2-15.
- Gurevitch, J. & D. K. Padilla. 2004. Are invasive species a major cause of extinctions?. *Trends in Ecology & Evolution*, 19(9): 470-474.
- Hammer, Ø., D. A. T. Harper & P. D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 1-9.
- Harms, C. A. 1999. Anesthesia in fish. Pp. 158-163. In: Fowler, M. E. & Miller, R. E. (Eds.) *Zoo and Wild Animal Medicine, Current Therapy 4*. Philadelphia, WB Saunders.
- Haxton, T. J. & C. S. Findlay 2008. Meta-analysis of the impacts of water management on aquatic communities. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 65: 437-447.
- Holanda, F. S. R., L. G. C. Santos, C. M. Santos, A. P. B. Casado, A. Pedrotti & G. T. Ribeiro. 2005. Riparian fragments affected by bank erosion in the Lower São Francisco River, Northeastern Brazil. *Revista Árvore*, 29: 148-152.
- Honorato-Sampaio, K., G. B. Santos, N. Bazzoli & E. Rizzo. 2009. Observations on the seasonal breeding biology and fine structure of the egg surface in the white piranha *Serrasalmus brandtii* from the São Francisco River basin, Brazil. *Journal of fish biology*, 75(7): 1874-1882.
- Humphries, P. & K. O. Winemiller. 2009. Historical impacts on river fauna, shifting baselines, and challenges for restoration. *BioScience*, 59(8): 673-684.
- Isaac-Nahum, V. J., R. D. Cardoso, G. Servo & C. L. D. B. Rossi-Wongtschowski. 1988. Aspects of the spawning biology of the Brazilian sardine, *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879) (Clupeidae). *Journal of Fish Biology*, 32: 383-96.
- Johnson, P. T. J., J. D. Olden & M. J. Vander Zanden. 2008. Dam invaders: impoundments facilitate biological invasions into freshwaters. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(7): 357-363.
- Junk, W. J. & K. M. Wantzen. 2004. The flood pulse concept: new aspects, approaches and applications - an update. Pp. 117-149. In: Welcomme, R. L. & T. Petr. (Eds). 2nd International symposium on the management of large rivers for fisheries. Bangkok, FAO & Mekong River Commission.

- Kolar, C. S. & D. M. Lodge. 2000. Freshwater nonindigenous species: interactions with other global changes. Pp. 3-30. In: Mooney, H. A. & R. J. Hobbs. (Eds). Invasive species in a changing world. Washington, Island Press.
- Latini, A. O., & M. Petrere. 2004. Reduction of a native fish fauna by alien species: an example from Brazilian freshwater tropical lakes. *Fisheries management and Ecology*, 11(2): 71-79.
- Leão, E. L. M. 1996. Reproductive biology of piranhas (Teleostei, Characiformes). Pp. 31-4. In: Val, A. L., V. M. F. Almeida-Val, & D. J. Randall. *Physiology and biochemistry of the fishes of the Amazon*. Manaus, Instituto Nacional da Amazônia.
- Le Cren, E. D. 1958. Observations on the growth of perch (*Perca fluviatilis* L.) over twenty-two years with special reference to the effects of temperature and changes in population density. *Journal of Animal Ecology*, 27(2): 287-334.
- Luz, S. C. S., El-Deir, A. C. A., França, E. J. & Severi, W. 2009. Estrutura da assembléia de peixes de uma lagoa marginal desconectada do rio, no Submédio Rio São Francisco, Pernambuco. *Biota Neotropica*, 9(3): 117-129.
- Maciel, H. M., M. G. M. Soares & L. Prestes. 2011. Reprodução da piranha-amarela *Serrasalmus spilopleura* Kner, 1858, em lagos de várzea, Amazonas Brasil. *Biota Neotropica*, 11: 2-6.
- Martins, D. M. F., R. M. Chagas, J. D. O. M. Melo Neto & A. V. Mello Júnior. 2011. Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(9): 1054-1061.
- Mérona, B., R. Vigouroux & F. L. Tejerina. 2005. Alteration of fish diversity downstream from Petit-Saut Dam in French Guiana: Implication of ecological strategies of fish species. *Hydrobiologia*, 551: 33-47.
- Mérona, B. & R. Vigouroux. 2012. The role of ecological strategies in the colonization success of pelagic fish in a large tropical reservoir (Petit-Saut Reservoir, French Guiana). *Aquatic Living Resources*, 25: 41-54.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2006. Caderno da região hidrográfica do São Francisco. Brasília, MMA. 148p.

- Monteiro, V., E. Benedito & W. M. Domingues. 2007. Efeito da estratégia de vida sobre as variações no conteúdo de energia de duas espécies de peixes (*Brycon hilarii* e *Hypophthalmus edentatus*), durante o ciclo reprodutivo. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 29: 151-159.
- Normando, F. T., K. B. Santiago, M. V. T. Gomes, E. Rizzo & N. Bazzoli. 2014. Impact of the Três Marias dam on the reproduction of the forage fish *Astyanax bimaculatus* and *A. fasciatus* from the São Francisco River, downstream from the dam, southeastern Brazil. *Environmental Biology of Fishes*, 97: 309-319.
- Orsi, M. L., & J. R. Britton. 2014. Long-term changes in the fish assemblage of a neotropical hydroelectric reservoir. *Journal of fish biology*. 84(6): 1964-1970.
- Penczak, T. & A. Kruk. 2005. Patternizing of impoundment impact (1985-2002) on fish assemblages in a lowland river using the Kohonen algorithm. *Journal of Applied Ichthyology*, 21: 169-177.
- Pereira, C. C. G. F., W. S. Smith & E. L. G. Espíndola. 2004. Hábitos alimentícios de nueve especies de peces del embalse de Três Irmãos, São Paulo, Brasil. *Red Universidad y Ciencia*, Numero especial I: 33-38.
- Pereira, T. S. B., R. G. Moreira & S. R. Batlouni. 2013. Dynamics of ovarian maturation during the reproductive cycle of *Metynnis maculatus*, a reservoir invasive fish species (Teleostei: Characiformes). *Neotropical Ichthyology*, 11(4): 821-830.
- Pompeu, P. S. 1999. Dieta da pirambeba *Serrasalmus brandtii* Reinhardt (Teleostei, Characidae) em quatro lagoas marginais do rio São Francisco, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 16: 19-26.
- Pompeu, P. S. & H. P. Godinho. 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.
- Ramos, I .P., Vidotto-Magnoni, A. P. & Carvalho, E. D. 2008. Influence of cage fish farming on the diet of dominant fish species of a Brazilian reservoir (Tietê River, High Paraná River basin). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 20: 245-252.
- Ribeiro, C. S. & R. G. Moreira. 2012. Fatores ambientais e reprodução dos peixes. *Revista da Biologia*, 8: 58-61.

- Ricciardi, A. & J. B. Rasmussen. 1999. Extinction rates of North American freshwater fauna. *Conservation Biology*, 13: 1220–22.
- Sato, Y. & E. V. Sampaio. 2005. A ictiofauna na região do alto São Francisco, com ênfase no reservatório de Três Marias, Minas Gerais. In: Nogueira, M. G., R. Henry & A. Jorcin. (Eds.) *Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata*. São Carlos, RIMA.
- Sazima, I. & C. Zamprogno. 1985. Use of water hyacinths as shelter, foraging place, and transport by young piranhas, *Serrasalmus spilopleura*. *Environmental Biology of Fishes*, 12(3): 237-240.
- Shea, K. & P. Chesson. 2002. Community ecology theory as a framework for biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, 17: 170–76.
- Souza, R. C. C. L. D., S. H. Calazans & E. P. Silva. 2009. Impacto das espécies invasoras no ambiente aquático. *Ciência e Cultura*, 61(1): 35-41.
- Stanford, J. A., & J. V. Ward. 2001. Revisiting the serial discontinuity concept. *Regulated Rivers: Research & Management*, 17(4/5): 303-310.
- Suzuki, H. I. & A. A. Agostinho. 1997. Pp. 163-182. Reprodução de peixes do Reservatório de Segredo. In: Agostinho, A.A. & L. C. Gomes. (Eds.). *Reservatório de Segredo - Bases Ecológicas para o Manejo*. Maringá, Editora da UEM.
- Teles, M. E. O. & H. P. Godinho. 1997. Ciclo reprodutivo da pirambeba *Serrasalmus brandtii* (Teleostei, Characidae) na represa de Três Marias, rio São Francisco. *Revista Brasileira de Biologia*, 57: 177-184.
- Vazzoler, A. E. A. M. 1996. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. Maringá, Eduem/SBI/CNPq/Nupelia. 169p.
- Vieira, E. F., V. J. Isaac & N. N. Fabr . 1999. Biologia reprodutiva do tambaqui *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818 (Teleostei, Serrasalmodae), no baixo Amazonas, Brasil. *Acta Amazônica*, 29(4): 625-638.
- Vitule, J. R. S. 2009. Introdução de peixes em ecossistemas continentais brasileiros: revisão, comentários e sugestões de ações contra o inimigo quase invisível. *Neotropical Biology and Conservation*, 4(2): 111-122.

Winemiller, K. O. 1989. Patterns of variation in life history among South American fishes in seasonal environments. *Oecologia*, 81: 225-241.

Wootton, R. J. 1990. *Ecology of teleost fishes*. London, Chapman & Hall. 404p.

Zarske, A. & Géry, J. 1999. Revision der neotropischen Gattung *Metynnis* Cope, 1878. 1. Evaluation der Typus-exemplare der nominellen Arten (Teleostei: Characiformes: Serrasalminidae). *Zoologische Abhandlungen*, 50: 169-216.