



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE ECOLOGIA AQUÁTICA E PESCA DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA AQUÁTICA E PESCA**

RIVETLA EDIPO ARAUJO CRUZ

**PESCA, ECONOMIA E MIGRAÇÃO DOS GRANDES BAGRES NA
AMAZÔNIA BRASILEIRA**

TESE DE DOUTORADO

**BELÉM-PA
2020**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE ECOLOGIA AQUÁTICA E PESCA DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA AQUÁTICA E PESCA**

RIVETLA EDIPO ARAUJO CRUZ

**PESCA, ECONOMIA E MIGRAÇÃO DOS GRANDES BAGRES NA
AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca, do Núcleo de Ecologia Aquática e Pesca da Amazônia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Ecologia Aquática e Pesca.

Orientadora: Dra. Victoria Judith Isaac
Universidade Federal do Pará – UFPA

Coorientador: Dr. David Kaplan
University of Florida - UF

**BELÉM-PA
2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

A658p Araujo Cruz, Rivetla Edipo
Pesca, economia e migração dos grandes bagres na
Amazônia brasileira / Rivetla Édipo Araujo Cruz. — 2020.
150 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Victoria Judith Isaac
Coorientador(a): Prof. Dr. David Kaplan
Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em
Ecologia Aquática e Pesca, Núcleo de Ecologia Aquática e
Pesca da Amazônia, Universidade Federal do Pará, Belém,
2020.

1. Pimelodidae. 2. Impactos globais. 3. Microquímica
de otólitos. 4. Microeconomia da pesca. 5. Rio
Amazonas. I. Título.

CDD 639.209811

RIVETLA EDIPO ARAUJO CRUZ

**PESCA, ECONOMIA E MIGRAÇÃO DOS GRANDES BAGRES NA
AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca do Núcleo de Ecologia Aquática e Pesca da Amazônia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Ecologia Aquática e Pesca.

Orientadora:

Dra. Victoria Judith Isaac – Orientadora
Universidade Federal do Pará

Banca examinadora:

Dr. Ronaldo Barthem – Membro titular
Museu Paraense Emílio Goeldi

Dra. Flávia Lucena Frédou – Membro titular
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dr. Júlio César Sá de Oliveira – Membro titular
Universidade Federal do Amapá

Dr. Marcos Antônio S. dos Santos – Membro titular
Universidade Federal Rural da Amazônia

Dra. Bianca Bentes da Silva – Suplente
Universidade Federal do Pará

Dr. Marcelo Costa Andrade – Suplente
Universidade Federal do Pará

**BELÉM-PA
2020**

APOIO FINANCEIRO E LOGÍSTICO



AMAZON DAMS NETWORK
REDE BARRAGENS AMAZÔNICAS



A minha mãe Maria Marlene e meu avô João Assis de Araújo (in memoriam), por todo apoio e incentivo ao longo de todos estes anos.

Dedico

Agradecimentos

À Universidade Federal do Pará – UFPA, em particular, ao Programa de Ecologia Aquática e Pesca, pela oportunidade concedida para a realização deste curso, bem como, a todos os professores do Programa pela contribuição em minha formação.

Às agências de fomento CAPES pelas concessões das bolsas (doutorado e doutorado Sanduíche) e CNPq pelo recurso financeiro para o desenvolvimento desta tese.

À minha orientadora e amiga Dra. Victoria Isaac por ter acreditado em mim desde o começo da minha vida acadêmica. Agradeço por sua orientação, confiança e ensinamentos. “*Gracias a la vida que me há dado tanto*”. Obrigado por tudo prof, a senhora teve papel fundamental na minha formação.

Ao meu coorientador Dr. David Kaplan e todos os membros do Watershed Ecology Lab (University of Florida).

Ao Dr. Fabrice Duponchelle pela parceria e ao IRD pelo financiamento das análises microquímicas dos otólitos.

Ao Dr. Ronaldo Barthem, Dr. Flávia Frédou, Dr. Marcos Antonio, Dr. Julio César Sá, Dra. Bianca Bentes e Dr. Marcelo Andrade, por terem aceitado o convite para participar como membros da banca.

Aos professores que estiveram na minha qualificação Dr. Israel Cintra, Dra. Bianca Bentes e Dr. Gustavo Hallwass

À minha amiga Dra. Morgana Almeida, pela parceria e apoio de sempre, pelas trocas de conhecimentos e pelas discussões sobre o trabalho. Sem falar da paciência de me ouvir todos os dias. Muito obrigado pela sua amizade.

À minha amiga Dra. Marília Hauser, por todas as ligações, vídeos conferências e trocas de conhecimentos sobre esses peixes que adotamos e temos a honra de poder investigar eles mais um pouquinho.

Ao amigo Claudemir Oliveira por sempre ser solícito quando precisava de sua ajuda com o banco de dados.

À minha amiga Ericleya pela sua generosidade e ajuda logística todas as vezes que ía para as coletas em Santarém.

À Dra. Elineide Marques por toda atenção e todas conversas e discussões sobre o estudo.

À Dra. Carolina Doria e todos do laboratório de Ictiologia e Pesca da UNIR pela parceria e logística de preparação dos otólitos.

Ao amigo Dr. Gustavo Hallwass pela amizade e apoio nas coletas no rio Tapajós e Negro.

A todos os colaboradores dos artigos aqui desenvolvidos.

Aos pescadores por todas as conversas e trocas de experiências.

A Colônia Z-20 de Santarém pelo amparo e receptividade no município.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Biologia Pesqueira – UFPA, especialmente ao GEMPA. Ana Paula Roman, Thaís Cabral, Bianca Bentes, Esther Mesquita, Álvaro de Souza, Janayna Galvão, Ualerson Peixoto e Débora.

À minha família do Toca, a fofa Elineide Marques e o fofo Pedro Agostinho, pela amizade, cuidado e carinho. Não tenho palavras para agradecer tudo o que vivemos juntos nos últimos anos. Viver no EUA com vocês, foi o melhor.

A todos os queridos amigos de Gainesville, que tornaram minha estadia muito mais fácil e feliz, Jynessa, Roberta Carvalho, Maria Stella, Carmen Beatriz, Megan Opincarne, Stephen Rohrbough, Aneliza Milagro, Viviana, Shar Siddiqui, Pamela Metadger e Aimee Marques.

Aos meus amigos, Dafne Paulina, Jamille Conduru, Deisi Amorim, Carla Nascimento, Natalia do Vale, Camila Moraes, Dani Henriques, Ana Paula Roman, Paola, Bruno Batista, Rodrigo, Luana Machado, Rianny Lima, Erika .

Ao meu parceiro Douglas Verbicaro, pelo incentivo, apoio, paciência, companheirismo e por ter sido minha calma nos momentos mais difíceis. Obrigado por entender minhas ausências, quando tive que ir para campo e fazer o doutorado sanduíche. Estendo os agradecimentos também a família Verbicaro, especialmente a Nat Verbicaro.

A todos os meus familiares, em especial a minha mãe Maria Marlene, meu avô João Assis (*in memoriam*), meus tios (Marlânia, João, Marleide e Marisa), a todos os meus primos-irmãos. Sei que não conseguiria nada se não fosse pela confiança e amor que vocês têm por mim.

Agradeço a Deus por ter me mantido ao longo desta caminhada com saúde e forças para chegar até o final.

Agradeço a todos por contribuírem, de qualquer forma.

GRATIDÃO!

RESUMO

Os grandes bagres migradores *Brachyplatystoma rousseauxii*, *Brachyplatystoma vaillantii* e *Brachyplatystoma filamentosum* são importantes recursos biológicos, ecológicos e econômicos para o meio aquático e para Amazônia. Entretanto, alterações ambientais provocadas pelo homem, como mudanças climáticas, desmatamento, degradação de habitats, superexploração de recursos hídricos e a construção de grandes projetos hidrelétricos, representam ameaças à regularidade do regime hidrológico e conectividade dos rios e, portanto, à conservação desses peixes na região. Nesse estudo, analisamos a influência dos fatores ambientais e aspectos econômicos sobre a pesca dos grandes bagres, bem como, padrões de migrações desses peixes na Amazônia brasileira. A presente tese de doutorado foi estruturada em 3 (três) capítulos, sendo estes escritos em formatos de artigos científicos. No primeiro capítulo, foram investigados os efeitos de variáveis ambientais regionais (hidrológicas) e globais (meteorológicas e climatológicas) na série temporal de captura de três bagres (*B. rousseauxii*, *B. vaillantii* e *B. filamentosum*) capturados na região amazônica. Para todas as espécies, a temperatura da superfície do mar (TSM) foi a variável ambiental que mais explicou (entre 19% e 38%) a variabilidade das capturas, com preditor negativo. Assim, o impacto global do aumento da TSM, acarretará danos a abundância e conseqüentemente a captura desses bagres na Amazônia. No segundo capítulo, foram analisados os aspectos microeconômicos da pescaria dos grandes bagres, com o intuito de verificar a rentabilidade, viabilidade e os custos envolvidos na atividade. O investimento para iniciar na atividade é alto, em torno de R\$153.000,00. O custo com mão de obra e combustível foram os itens operacionais mais onerosos. Contudo, apesar dos altos custos empregados na atividade, os indicadores mostram que esta pescaria apresenta viabilidade econômica, boa margem de lucro e bons rendimentos econômicos para o pescador e dono do barco, além de boas taxas de retorno do investimento. No terceiro capítulo, foram investigados os processos migratórios de *B. rousseauxii* em tributários do Solimões/Amazonas (rio Tapajós e rio Negro), a partir da razão isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dos otólitos. Verificou-se que a dourada apresentou três diferentes comportamentos migratórios: residência, *homing* natal e *straying*. A maioria dos indivíduos

nasceram no rio Amazonas e apresentaram migração entre as bacias (Amazonas → receptor Negro, e Amazonas → receptor Tapajós). As informações geradas, comprovam a importância dos grandes bagres no aspecto econômico, ecológico e social para Amazônia. Desta forma, os resultados encontrados neste estudo ajudam a compreender os padrões espaciais e temporais desta pescaria, sendo estes, fundamentais para subsidiar na elaboração de estratégias de manejo e conservação das espécies, bem como, formular políticas públicas efetivas para o desenvolvimento da atividade.

PALAVRAS-CHAVE: Pimelodidae, impactos globais, microquímica de otólitos, microeconomia da pesca, Rio Amazonas, *homing* natal.

ABSTRACT

The giant migratory catfishes *Brachyplatystoma rousseauxii*, *Brachyplatystoma vaillantii* and *Brachyplatystoma filamentosum* are important biological, ecological and economic resources for the aquatic environment and for the Amazon. However, man-made environmental changes, such as climate change, deforestation, habitat degradation, overexploitation of water resources and the construction of large hydroelectric projects, pose threats to the regularity of the hydrological regime and connectivity of rivers, therefore, for the conservation of these fish in the region. In this study, we analyzed the influence of environmental factors and economic aspects on fishing for giant catfish, as well as migration patterns of these fish in the Brazilian Amazon. This doctoral thesis was structured in 3 (three) chapters, these being written in research paper formats. In the first chapter, the effects of regional (hydrological) and global (meteorological and climatological) environmental variables on the three catfish capture time series (*B. rousseauxii*, *B. vaillantii* and *B. filamentosum*) were investigated, all caught in the Amazon region. For all species, sea surface temperature (SST) was the environmental variable that most explained (between 19% and 38%) the variability of catches, with a negative predictor. Thus, the global impact of the increase in SST will cause damage to the abundance and consequently the capture of these catfish in the Amazon. In the second chapter, the microeconomic aspects of the fishing for giant catfish were analyzed, in order to verify the profitability, viability and costs involved in the activity. The investment to start the activity is high, around \$41,000 dollars. The cost with labor and fuel were the most costly operational items. However, despite the high costs employed in the activity, the indicators show that this fishery has economic viability, a good profit margin and good economic yields for the fisherman and boat owner, in addition to good rates of return on investment. In the third chapter, the migratory processes of *B. rousseauxii* in tributaries of Solimões/Amazonas (Tapajós River and Rio Negro) were investigated, using the isotopic ratio of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of the otoliths. It was found that the gilded catfish presented three different migratory behaviors: residency, natal homing and straying. Most of the individuals were born in the Amazon River and presented migration between the basins (Amazonas -> Negro receiver, and Amazonas -> Tapajós receiver). The

information generated proves the importance of giant catfish in the economic, ecological and social aspects for the Amazon. In this way, the results found in this study help to understand the spatial and temporal patterns of this fishery, which are fundamental to support the development of management and conservation strategies for species, as well as to formulate effective public policies for the development of the activity.

KEYWORDS: Pimelodidae, global impacts, otolith microchemistry, fisheries microeconomics, Amazon River, natal homing.

LISTA DE FIGURAS

Introdução

- Figura 1: Pulso de inundação e ciclo hidrológico do nível do rio Solimões/Amazonas ao longo do ano. Adaptado de Barthem e Fabre (2004) e Junk et al. (1989). 23
- Figura 2: Mapa geológico da região Amazônica e os valores médios dos isótopos de Sr (em cima) e suas concentrações de Sr em ppb (em baixo) dos rios Solimões (azul), Beni-Madeira (amarelo), Tapajós (cinza) e Amazonas (verde). Fonte: Santos et al. 2015. 28

Capítulo 1

- Figura 1: Map of the study of the Lower Amazon region with nine fishing landing sites. 52
- Figura 2: Time series of catches per month for three giant catfishes landed in the Lower Amazon region from 1993 to 2010. The dotted line refers to the months that had the catches rebuilt, between June 2015 and February 2008. Note the change in the y-axis scale. 55
- Figura 3: Time series of total catch per year for three giant catfish landed in the Lower Amazon region, from 1993 to 2010. Note change in the y-axis scale. 58
- Figura 4: Relationship between annual catch (tons) and effort (number of fisherman*days fishing) for the three species of catfish. Note change in the y-axis scale. 59
- Figura 5: Time series of environmental variables, from 1993 to 2010. a) average water level amplitude (cm); b) days flooded above the historical average for the region; c) average surface temperature of the sea SST (° C) and d) multivariate ENSO index. 60
- Figura 6: Observed catch data (lines) and estimated points (open circle) for each species of catfish through of the General Linear Model (GLM). Model I (left) and Model II (right). 63

Capítulo 2

Figura 1: Mapa da área de estudo com as seis localidades de desembarque onde ocorreram as entrevistas no município de Santarém-PA, Baixo Amazonas, Brasil..... 93

Capítulo 3

Figura 1: Mapa da área de estudo. Linha vermelha refere-se à área da bacia amazônica. Círculos pretos referem-se aos rios Tapajós e Negro, onde foram amostrados os peixes, mais especificamente nas proximidades dos municípios de Itaituba-PA e Novo Airão-AM..... 124

Figura 2: Ablação a laser no otólito de *B. rousseauxii*. O núcleo e a borda do otólito estão representados com as iniciais N e B, respectivamente. 127

Figura 3: Possíveis perfis isotópicos (Sr) correspondentes para os comportamentos de migração de *Brachyplatystoma rousseauxii*. A linha preta refere-se a razão isotópica encontrada no otólito do peixe. Adaptado de Duponchelle et al., 2016. 129

Figura 4: Perfil isotópico $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de *B. rousseauxii* no rio Tapajós. a) Residentes; b) *Strayers*. A linha refere-se à ablação a laser ao longo da secção transversal do otólito de cada indivíduo. 130

Figura 5: Perfil isotópico $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de *B. rousseauxii* no rio Negro. a) *Strayers*; b) *Homer*. A linha refere-se à ablação a laser ao longo da secção transversal do otólito de cada indivíduo. 132

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1: Summary of the environmental variables used in this study.....	54
Tabela 2: Variance Influence Factors (VIF) for the environmental explanatory variables, for each catfish studied.....	56
Tabela 3: Results of General Linear Model (GLM) for three giant catfish landed in the Lower Amazon, Brazil. Model I = annual catch versus fishing effort and environmental variables (AMP, Daysflooded, SST and MEI); Model II = annual catch versus environmental variables (AMP, Days _{flooded} , SST and MEI).....	62

Capítulo 2

Tabela 1: Descrição das métricas dos indicadores econômicos.....	94
Tabela 2: Médias das capturas (kg) por viagem e preço de primeira comercialização (R\$) por espécie.....	99
Tabela 3: Valor médio do investimento para aquisição de equipamentos para a atividade de pesca.....	99
Tabela 4: Estimativa de custos variáveis por viagem praticados na pesca dos grandes bagres.....	100
Tabela 5: Indicadores econômicos das pescarias dos grandes bagres.....	101

Capítulo 3

Tabela 1: Informações dos exemplares de <i>B. rousseauxii</i> coletados.....	124
Tabela 2: Características do espectrômetro de massa com multicoletor e do laser utilizados.....	127

SUMÁRIO

ESTRUTURA DA TESE	18
INTRODUÇÃO GERAL.....	19
REFERÊNCIAS.....	30
CAPÍTULO 1	44
GLOBAL AND REGIONAL ENVIRONMENTAL IMPACTS ON DYNAMICS OF THE GIANT CATFISH FISHERY IN THE AMAZON.....	44
ABSTRACT.....	46
1. Introduction.....	47
2. Material and Methods	51
2.1 Study area.....	51
2.2 Fisheries data	52
2.3 Environmental data	52
2.4 Data analysis	54
3. Results	57
3.1 Capture, trends and effort of fisheries.....	57
3.2 Environmental variables.....	59
3.3 Model I	60
3.4 Model II	60
4. Discussion	63
Acknowledgement.....	68
References.....	68
CAPÍTULO 2	87
ASPECTOS ECONÔMICOS DA PESCARIA DOS GRANDES BAGRES NO BAIXO AMAZONAS, BRASIL	87
RESUMO.....	88
1. Introdução	89
2. Materiais e métodos	92
2.1 Área de estudo.....	92
2.2 Coleta de dados.....	93
2.3 Análise de dados	93
3. Resultados.....	98
3.1 Características das embarcações, apetrechos e pesca.....	98
3.2 Indicadores econômicos	99
4. Discussão	101

Agradecimentos	106
Referências	106
CAPÍTULO 3	117
<i>PADRÕES DE MIGRAÇÃO DE <i>Brachyplatystoma rousseauxii</i> EM TRIBUTÁRIOS DO SOLIMÕES/AMAZONAS: UMA ANÁLISE MICROQUÍMICA DO OTÓLITO</i>	117
RESUMO.....	118
1. Introdução	119
2. Materiais e métodos	122
2.1 Área de estudo.....	122
2.2 Amostragem e preparação otólitos	124
2.3 Análise microquímica otólito	126
2.4 Padrão de migração.....	128
3. Resultados.....	129
4. Discussão	132
Agradecimentos	137
Referências.....	137
CONSIDERAÇÕES FINAIS	149

ESTRUTURA DA TESE

A tese foi elaborada no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca – PPGEAP, de acordo com a Resolução N. 4.782, de 24 de fevereiro de 2016.

Desta forma, a presente tese foi estruturada em uma introdução geral, três capítulos (em formato de artigos científicos) e uma consideração final.

No capítulo 1, intitulado “**Impacto ambiental global e regional sobre a pesca de grandes bagres na Amazônia**” foram investigados os efeitos de variáveis ambientais regionais (hidrológicas) e globais (meteorológicas e climatológicas) na série temporal de captura de três bagres (*B. rousseauxii*, *B. vaillantii* e *B. filamentosum*) capturados na região amazônica.

No capítulo 2, intitulado “**Aspectos econômicos da pescaria dos grandes bagres no Baixo Amazonas, Brasil**” analisou-se o desempenho econômico da pescaria dos grandes bagres, como os custos de produção, rentabilidade e a viabilidade econômica no Baixo Amazonas.

No capítulo 3, intitulado “**Padrões de migração de *Brachyplatystoma rousseauxii* em tributários do Solimões/Amazonas: uma análise microquímica do otólito**” investigou-se o comportamento migratório e origem de nascimento das dourada capturadas nos rios Tapajós e Negro, através da relação da assinatura de estrôncio (Sr) encontrado nos otólitos e nas águas da bacia amazônica.

INTRODUÇÃO GERAL

Em torno de 40 milhões de pessoas estão envolvidas na atividade pesqueira em todo mundo. A produção pesqueira mundial foi estimada em 90,9 milhões de toneladas. Além disso, o comércio de peixe e produtos da pesca cresceu significativamente, somando um total 143 bilhões dólares em 2016 (FAO, 2018). A pesca extrativa continental ou de águas interiores foi responsável por 11,6 milhões toneladas (FAO, 2018), gerando emprego e renda ao redor do mundo (Welcomme et al., 2010; Lynch et al., 2016; De Graaf et al., 2015).

No Brasil, a pesca extrativa continental representou 31% do total da produção nacional, com 249.600 t. Mais da metade dessa produção advém da região amazônica (MPA, 2013).

A diversidade de peixes da bacia amazônica acompanha a sua dimensão, sendo considerada de grande importância no contexto da atividade pesqueira continental. Dagosta e Pina (2019) estimam que o número de espécies de peixes para toda bacia é de 2.716, um número superior ao encontrado nas demais bacias do mundo (Roberts, 1972). A grande extensão da bacia amazônica e sua rede de rios tributários, além da grande planície de inundação, justifica a importância e sucesso das pescarias da região (Lowe-McConnell, 1999).

Por outro lado, embora a região amazônica apresente uma elevada diversidade íctica, a captura de pescado está voltada para um menor número de espécies, as de interesse comercial (Barthem e Fabré, 2004; Santos e Santos, 2005; Batista et al., 2012), o que pode representar uma ameaça para sua conservação.

A pesca na Amazônia é uma atividade tradicionalmente artesanal, que captura diferentes espécies (multiespecífica), utilizando vários tipos de

apetrechos de pesca (Bayley e Petrere, 1989; Barthem et al., 1997). Desta forma, a pesca na região amazônica exerce um importante papel cultural, econômico e social, onde é praticada desde o período pré-colonial (Veríssimo, 1895).

Na calha principal do rio Solimões/Amazonas é responsável por uma receita bruta anual estimada em 389 milhões de reais, gerando em torno de 168 mil empregos diretos (Almeida, 2004; Almeida et al., 2010). Para os pescadores e moradores que residem próximo aos rios, a pesca se constitui em fonte de renda e alimento (Berkers et al., 2006; Santos e Santos, 2005; Doria et al., 2008), com taxa de consumo de peixe de $169 \text{ kg.pessoa}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (Isaac et al., 2015)

Os peixes conhecidos como bagres e que pertencem à ordem dos Siluriformes e a família Pimelodidae (Mees, 1974), são importantes recursos pesqueiros da Amazônia. Mais de 14 espécies de indivíduos de médio e grande porte são exploradas comercialmente, com destaque para os grandes bagres migradores do gênero *Brachyplatystoma* spp.

A dourada (*Brachyplatystoma rousseauxii*), piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*) e filhote (*Brachyplatystoma filamentosum*) são espécies alvo ao longo da bacia amazônica, especialmente na região do estuário, calha principal do Solimões/Amazonas e alguns tributários, como o rio Madeira (Barthem, 1990; Isaac et al., 1996; Vieira, 2005; Petrere et al., 2004; Doria et al., 2012; Cruz et al., 2017). Cerca de 16.000 mil pescadores exploram esses recursos ao longo do rio e estuário amazônico (Parente et al., 2005). Juntos esses três peixes somam uma produção anual de 40.000 toneladas (MPA, 2013), que são direcionadas principalmente ao mercado nacional e internacional (Barthem, 1990; Barthem et al., 1991; Isaac et al., 1996; Parente et al., 2005).

Além de importância econômica, os grandes bagres também exibem relevante função ecológica como predadores de topo da cadeia alimentar. Por isso, alterações na sua abundância podem acarretar profundas consequências para o ecossistema (Angelini et al., 2006; Lima, 2017), podendo ser consideradas “espécies-chaves”, que podem produzir “efeitos dominó” sobre as outras espécies da cadeia trófica (Primack e Rodrigues, 2001; Primack e Ros, 2002), caso sejam impactadas na sua abundância pela pressão pesqueira e/ou outros fatores antropogênicos (Angelini et al., 2006).

A dourada apresenta período de reprodução longo, com desova total. Sua expectativa de vida é de 8,5 anos, mortalidade natural de $0,3 \text{ ano}^{-1}$ e idade de primeira maturação de 3 anos (Ruffino e Isaac, 2000; Alonso e Fabr e, 2003; Alonso e Pirker, 2005). A piramutaba apresenta uma expectativa de vida de 22 anos, idade de primeira maturação de 3 anos e mortalidade natural $0,3 \text{ ano}^{-1}$ (Alonso e Pirker, 2005; Ruffino e Isaac, 2000). O filhote tem uma longevidade média de 14 anos, maturação sexual de 6 anos e mortalidade natural de $0,51 \text{ ano}^{-1}$ (Isaac et al., 2012). Estas espécies são piscívoras e possuem tamanho máximo conhecido superior ou igual a 105 cm. Além disso, desenvolvem complexas migrações reprodutivas (Barthem e Goulding, 1997).

Barthem e Goulding (1997), a partir da distribuição de tamanho dos exemplares de dourada *B. rousseauxii* capturados nas pescarias comerciais e dos dados de maturação gonadal descreveram pela primeira vez o padrão de migração reprodutivo mais complexo já relatado para peixes de água doce. Quando adulta a dourada migra da foz do Rio Amazonas em direção às cabeceiras dos afluentes do rio Solimões/Amazonas para a sua reprodução. Depois de efetuada a desova, as larvas e juvenis são carregados pela vazão do

rio até o estuário amazônico, que se constitui como a sua área de berçário. Após 2 anos no estuário, os indivíduos pré-adultos iniciam uma migração a montante para voltar às cabeceiras e desovar, porém nessa migração permanecem em torno de um ou dois anos na Amazônia Central para se alimentar e crescer, antes de finalizar o seu ciclo. Recentemente foi comprovado que esta espécie apresenta a mais extensa migração longitudinal em água doce do mundo, percorrendo cerca de 11.600 km entre suas áreas de criação e suas áreas de reprodução (Barthem et al., 2017). Porém, o processo de migração da dourada ainda não é totalmente conhecido, uma vez que, não se sabe como ocorre a migração desses indivíduos ao longo dos seus tributários, principalmente os de águas pretas e claras.

A dinâmica da captura sobre a fauna íctica na Amazônia é complexa e depende dos ambientes disponíveis, o que varia em função das flutuações do nível do rio (Petrere Jr., 1985; Junk et al., 1989; Pinaya et al., 2016; Lima et al., 2017). Essas variações hidrológicas influenciam sazonalmente as características limnológicas, ecológicas, biológicas, pesqueiras e econômicas dos corpos de água amazônicos (Barthem e Fabré, 2004; Isaac et al., 2016). Desta maneira o ciclo hidrológico do rio Amazonas/Solimões consiste de quatro fases: enchente, cheia, vazante e seca (Barthem e Fabré, 2004) (Figura 1).

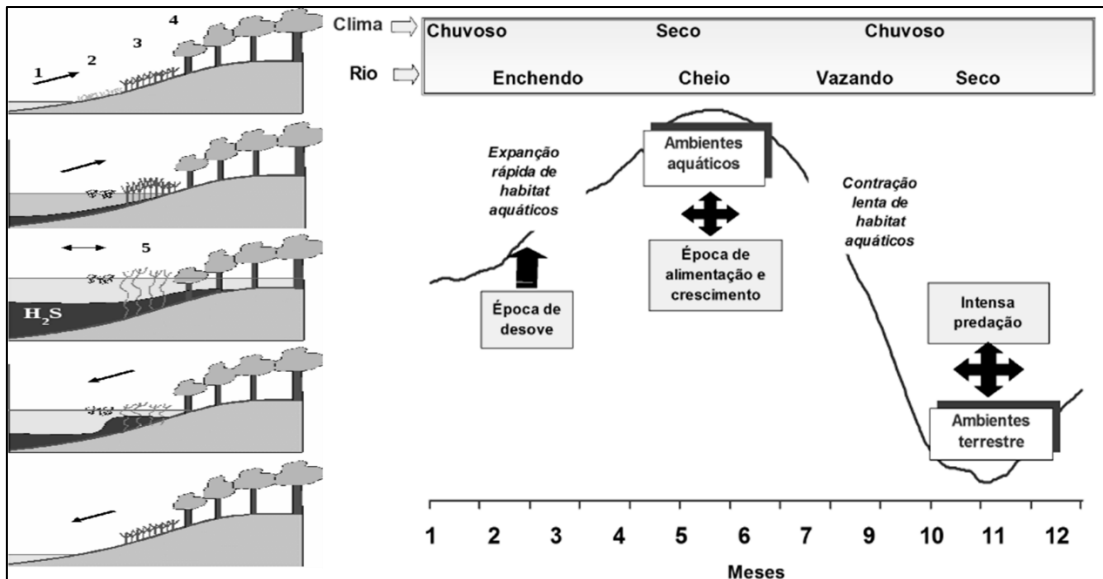


Figura 1: Pulso de inundação e ciclo hidrológico do nível do rio Solimões/Amazonas ao longo do ano. Adaptado de Barthem e Fabre (2004) e Junk et al. (1989).

Estas flutuações são fundamentais para a biota nos grandes sistemas fluviais das regiões neotropicais (Lowe-McConnell, 1987; Junk et al., 1989), para produtividade da pesca (Bayley 1995; Doria et al., 2012; Fearnside, 2013; Castello et al., 2015; Pinaya et al., 2016; Cruz et al., 2017; Pinaya et al., 2018), rendimentos econômicos (Parente et al., 2005; Cruz et al., 2017; Almeida, 2018) e processos migratórios (Junk et al., 1989; Lowe-McConnell, 1987; Barthem e Goulding, 1997; Barthem e Fabre, 2004).

Períodos regulares de águas altas e baixas são eventos previsíveis (Ward et al., 2019) para organismos que vivem no sistema de várzea e para a população que sobrevive da atividade pesqueira (Castro e McGrath, 2001). Apesar da previsibilidade do regime fluvial, a intensidade e a duração de cada fase variam anualmente e são controladas pela variabilidade sazonal e interanual dos níveis da água (Isaac et al., 2016).

Alterações ambientais induzidas pelo homem, como mudanças climáticas, desmatamento, degradação de habitats, superexploração de recursos hídricos e represamento de rios devido à construção de grandes projetos hidrelétricos, representam ameaças à regularidade do regime hidrológico e, portanto, à conservação da biodiversidade hídrica (Freitas et al., 2013; Castello e Macedo, 2015; Winemiller et al., 2016).

Atualmente, os estoques de dourada *B. rousseauxii* e piramutaba *B. vaillantii* encontram-se em sobrepesca (Alonso e Picker, 2005). Além disso, dados de produção de desembarque pesqueiro ao longo da bacia amazônica mostram um declínio de captura de dourada e filhote (Petrere et al., 2004; Lima et al., 2020).

Estima-se que as mudanças climáticas globais afetarão o ciclo hidrológico na bacia amazônica, alterando os níveis de chuvas e evaporação, com precipitações mais baixas, especialmente durante a estação seca (Castello e Macedo, 2016; Davidson et al., 2012), causando alterações na entrada de nutrientes no sistema e na frequência da intensidade de secas e inundações (Lake et al., 2000; Erwin, 2009; Zed et al., 2016). A redução da vazão e intensidade do período seco, são capazes de afetar a estrutura de tamanho da população de muitas espécies de peixes, com efeitos negativos sobre a reprodução, o recrutamento e abundância dos estoques, bem como sobre as populações humanas locais que exploram esses recursos como fontes de proteínas e renda (Poff et al., 2001; Lake, 2003; Freitas et al., 2013).

Atenção especial também se coloca sobre as barragens, que vem sendo construídas na região amazônica, principalmente no eixo do Solimões/Amazonas e nos seus tributários. Atualmente, existem cerca de 150

barragens hidrelétricas em operação ou em construção na bacia amazônica e aproximadamente 300 novos empreendimentos estão planejados nos próximos 20 anos (Finer e Jenkins, 2012; Castello et al., 2013; Lees et al., 2016; Forsberg et al., 2017; Latrubesse et al., 2017). A construção de barragens afeta a periodicidade e intensidade do fluxo dos rios, alterando a temperatura da água, o transporte de sedimento e nutrientes, reduzindo a vazão e diminuindo as planícies de inundações adjacentes (Freitas et al., 2013; Timpe e Kaplan, 2017), porém o efeito mais evidente das barragens nos peixes da Amazônia é a interrupção da sua rota de migração (Barthem et al., 1991; Freitas et al., 2013; Agostinho et al., 2004; Agostinho et al., 2016; Anderson et al. 2018). Desta forma, as barragens causam efeitos sociais e econômicos (Ferreira et al., 2014), que afetam os pescadores que dependem financeiramente do recurso pesqueiro para seu consumo e subsistência familiar ou para venda nos mercados locais e regionais.

Assim, percebe-se que o resultado das pescarias deve depender, não somente da intensidade de exploração sobre os estoques, mas também dos impactos de outras atividades do homem que afetam a dinâmica do meio ambiente.

Nesse contexto, compreender a variabilidade das capturas ao longo do tempo, em função de variáveis ambientais hidrológicas, meteorológicas e climatológicas, torna-se uma ferramenta importante para o manejo da pesca, pois nos permite prever possíveis mudanças futuras nas pescarias. No entanto, análises desse tipo requerem longas séries de dados (Mérona, 1995), os quais não são muito fáceis de serem encontrados para Amazônia, existindo apenas estatísticas muito agregadas (para os Estados) e descontínuas publicadas pelo

IBAMA e/ou MPA e informações parciais sobre quantidades desembarcadas em alguns de seus centros urbanos (Isaac et al., 1996; Isaac et al., 2000; Isaac et al., 2008).

Estudos sobre impactos de fenômenos ambientais externos sobre a pesca são considerados raros em ambientes tropicais de água doce. Na Amazônia, alguns trabalhos com séries históricas de desembarques analisadas em função de variações ambientais, em escala mensal, sazonal, anual e interanual podem ser encontradas na literatura, nos quais foram consideradas as condições ambientais cíclicas, ou mesmo aquelas mudanças extremas, como fenômenos de El Niño (Merona e Gascuel, 1993; Santana e Freitas, 2013; Isaac et al., 2016; Pinaya et al., 2016; Lima et al. al., 2017; Pinaya et al., 2018). No entanto, ainda não foram realizados estudos até o momento sobre a relação entre a captura dos grandes bagres e as variações ambientais regionais e globais na bacia amazônica.

Do mesmo modo, pouco se sabe sobre o desempenho econômico e rentabilidade das pescarias dos grandes bagres. Estudos econômicos são importantes para compreender o comportamento dos atores envolvidos na atividade frente a intensa pressão pesqueira e as mudanças ambientais. Os indicadores de desempenho econômico das pescarias são ferramentas úteis para melhorar as estratégias de gestão (Cambie et al., 2012; Anderson et al., 2015; Rodrigues et al., 2018; Araujo et al., 2020), assim como, são utilizadas para prever, explicar, monitorar e avaliar impactos (Branch et al., 2006; Daurès et al., 2013). Dados referentes aos custos e receitas, desempenham um papel importante na compreensão da viabilidade econômica da pesca (Almeida, 2018;

Araujo et al., 2020), fornecendo bases para a sustentabilidade do sistema de produção (Petrere et al., 2006; Castelo, 2007; Anjos et al., 2009).

Grantham e Rudd (2015) reportam que ainda há muitas lacunas de conhecimento sobre a economia das pescarias em águas interiores do mundo, devido ao uso de diferentes metodologias de avaliação, unidades e escalas, o que dificulta a realização de comparações entre os estudos.

Aprimorar o conhecimento sobre a história de vida e compreender os padrões espaciais de migração dos peixes é fundamental para elaboração de estratégias de manejo, conservação e conseqüentemente a manutenção dos recursos. Porém, estudar migrações de peixes de vasta distribuição é um desafio. Assim, o uso do otólito em análises microquímicas, aparece como uma alternativa para contribuir e complementar os estudos de migrações (Campana, 1999; Gillanders, 2005).

Os otólitos são estruturas calcificadas (CaCO_3) (localizados no ouvido interno dos peixes), acelulares, metabolicamente inertes e de crescimento contínuo, preservando oligoelementos (Sr, Zn, Ba, e C, entre outros) em concentrações proporcionais aos encontrados nas águas circundantes (Campana e Neilson, 1985; Campana, 1999; Campana e Thorrold, 2001; Elsdon et al., 2008; Kerr e Campana, 2014).

Assim, à medida que os peixes atravessam águas de diferentes composições geoquímicas da bacia amazônica (Figura 2), estes microelementos (em particular o estrôncio Sr) e seus isótopos são absorvidos pelos otólitos substituindo o cálcio. A razão isotópica de estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) não sofre fracionamento e nem reabsorção, dependendo quase que exclusivamente da idade e da composição geológica das bacias hidrográficas, e assim, variam muito

pouco ao longo dos anos, gerando assinaturas de habitat muito precisas e robustas (Gaillardet et al., 1997; Kennedy et al., 1997; Kennedy et al., 2000; Walther e Thorrold, 2006; Santos et al., 2015). Desta forma, como os otólitos crescem de forma incremental e preservam permanentemente os oligoelementos em concentrações proporcionais às encontradas nas águas (Campana e Neilson, 1985; Campana, 1999; Campana e Thorrold, 2001; Elsdon et al., 2008), eles fornecem registros importantes sobre a história de vida dos peixes.

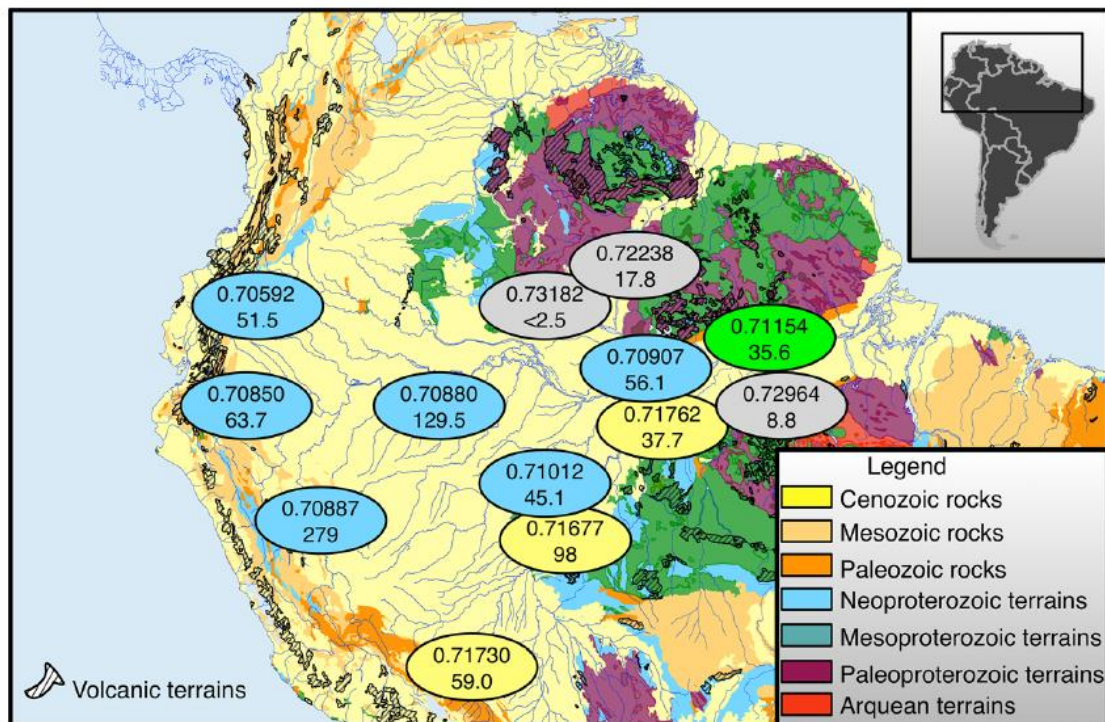


Figura 2: Mapa geológico da região amazônica e os valores médios dos isótopos de Sr (em cima) e suas concentrações de Sr em ppb (embaixo) dos rios Solimões (azul), Beni-Madeira (amarelo), Tapajós (cinza) e Amazonas (verde). Fonte: Santos et al. 2015.

A análise microquímica de otólitos utilizando a razão isotópica de estrôncio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vem se mostrando eficiente no rastreamento dos diferentes processos de deslocamentos de peixes na Amazônia (Garcez et al., 2014; Hegg et al.,

2015; Hermann et al., 2016; Duponchelle et al., 2017; Hauser, 2018; Hauser et al., 2019a; Hauser et al., 2019b; Pereira et al., 2019). Assim, considerando os possíveis impactos das barragens existentes e projetadas, bem como, outros fatores antrópicos sobre os peixes, em especial a dourada, se faz necessário obter informações sobre o comportamento desta espécie na bacia amazônica, especialmente em rios onde estes padrões foram pouco estudados, como por exemplo, os tributários de águas claras e pretas.

Dada a importância dos grandes bagres para economia e fauna aquática da Amazônia, ao mesmo tempo, considerando a atual situação dos estoques, o cenário previsto de impactos antrópicos e a carência de estudos, a presente tese tem como objetivo geral analisar a influência dos fatores ambientais e aspectos econômicos sobre a pesca dos grandes bagres, bem como, investigar os padrões de migração desses peixes na Amazônia brasileira, como forma de gerar informações que possam contribuir para formulação de medidas de manejo e políticas públicas efetivas. Dentre os objetivos específicos e perguntas buscou-se:

- Investigar os efeitos de variáveis regionais ambientais (hidrológicas) e globais (meteorológicas e climatológicas) na captura de três grandes bagres, dourada, piramutaba e filhote, respondendo os seguintes questionamentos: As séries temporais de captura apresentam tendências ao longo dos anos? Existe uma associação entre a série temporal de captura e a série ambiental? Quais variáveis ambientais afetam mais os dados de pesca? Como as diferentes espécies reagem a possíveis mudanças nas variáveis ambientais? **(Capítulo 1)**;

- Analisar os custos de produção, rentabilidade e a viabilidade econômica da pescaria dos grandes bagres na região do Baixo Amazonas, respondendo os seguintes questionamentos: Quais os custos, receita e os lucros da pescaria? Os altos custos comprometem as receitas e os rendimentos? A pesca dos grandes bagres é viável economicamente?

(Capítulo 2);

- Elucidar aspectos do comportamento migratório de *Brachyplatystoma rousseauxii* capturados em rios de águas claras (rio Tapajós) e pretas (rio Negro), respondendo os seguintes questionamentos: Qual a origem de nascimento dos indivíduos? Quais os padrões de migração encontrados?

(Capítulo 3).

REFERÊNCIAS

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. *Rev. Fish. Biol. Fish.* 14: 11-19.

Agostinho, A.A., Gomes, L.C., Santos, N.C.L., Ortega, J.C.G., Pelicice, F.M. (2016). Fish assemblages in Neotropical reservoirs: Colonization patterns, impacts and management. *Fisheries Research*, 173, 26-36

Almeida, O.T. 2004. Fisheries management in the Brazilian Amazon. Imperial College, London. (PhD thesis).

Almeida, O.T., Lorenzen, K., Mcgrath, D.G., Amara, L., Rivero, S., 2010. Importância econômica do setor pesqueiro na calha do rio Amazonas-Solimões. *Novos Cadernos NAEA*, 275: 1-14.

- Almeida, M.C. 2018. Pesca, consumo de proteínas e economia no rio Xingu, Amazônia brasileira. Tese (doutorado em Ecologia Aquática e Pesca). Universidade Federal do Pará, Belém, 156p.
- Alonso, J. C., Picker, L., 2005. Dinâmica populacional e estado atual da exploração de piramutaba e de dourada. p. 21-28. In: Fabr e, N. N., Barthem, R. B. (Org.) O manejo da pesca dos grandes bagres migradores: piramutaba e dourada no eixo Solimões-Amazonas. Manaus: Ibama/ProVárzea.114p.
- Anderson, L., Anderson, C.M., Chu, J., Meredith, J., Asche, F., Sylvia, G., Smith, M.D., Anggraeni, D., Arthur, R., Guttormsen, A., McCluney, J.K., Ward, T., Akpalu, W., Eggert, H., Flores, J., Freeman, M.A., Holland, D.S., Knapp, G., Kobayashi, M., Larkin, S., MacLauchilin, K., Shnier, K., Soboil, M., Tveteras, S., Uchida, H., Valderrama, D., 2015. The fishery performance indicators: a management tool for triple bottom line outcomes, PLoS ONE 10 (5) e0122809.
- Anderson, E.P., Jenkins, C.N., Heilpern, S., Maldonado-Ocampo, J.A., Carvajal-Vallejos, F.M., Encalada, A.C., Rivadeneira, J.F., Hidalgo, M., Cañas, C.M., Ortega, H., Salcedo, N., Maldonado, M., Tedesco, P.A., 2018. Fragmentation of Andes-to-Amazon connectivity by hydropower dams. Sci. Adv. 4, 1–7. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aao1642>.
- Angelini, R., Fabr e, N.N., da Silva-Jr., U.L., 2006. Trophic analysis and fishing simulation of the biggest Amazonian catfish. African Journal of Agricultural Research, 1, 151-158.
- Anjos, H. B. D., Amorim, R. M. D. S., Siqueira, J. A., Anjos, C. R., 2009. Exporta o de peixes ornamentais do Estado do Amazonas, Bacia Amazônica, Brasil. Boletim do Instituto de Pesca de São Paulo, 2:259-274.
- Araujo, J.G., Santos, M.A.S., Rebello, F., Prang, G. Almeida, M.C., Isaac, V.J., 2020. Economic analysis of the threats posed to the harvesting of

ornamental fish by the operation of the Belo Monte hydroelectric dam in northern Brazil. *Fisheries Research*, 225, 105483. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105483>

Barthem, R.B., 1990. Descrição da pesca da piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*, Pimelodidae) no estuário e na calha do rio Amazonas. *Boletim do Museu Goeldi, N.S. Antropologia*, v. 6, n. 1, p. 117-130.

Barthem, R.B., Ribeiro, M.C.L.B., Petrere, M., 1991. Life strategies of some long-distance migratory catfish in relation to hydroelectric dams in the Amazon Basin. *Biological Conservation* 55: 339–345.

Barthem, R., Goulding, M., 1997. *The catfish connection. Ecology, migration and conservation of Amazon predators*, New York: Columbia University Press.

Barthem, R.B., Petrere Jr., M., Isaac, V.J., Ribeiro, M.C.L.D.B., McGrath, D.G., Vieira, I.J., Barco, M.V., 1997. A pesca na Amazônia: problemas e perspectivas para o seu manejo. In: Valladares-Pádua, C., Bodmer, R. E. (Eds.). *Manejo e conservação de vida silvestre no Brasil*. Rio de Janeiro: MCT/CNPq/Sociedade Civil Mimirauá, p 173-185.

Barthem, R. B, Fabr e, N.N., 2004. Biologia e diversidade dos recursos pesqueiros da Amazônia. p. 17-51. In: RUFFINO, M. L. A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia Brasileira. Manaus: Ibama/ProVárzea. 268p.

Barthem, R.B., Goulding, M., Leite, R.G., Ca as, C., Forsberg, B., Venticinque, E., et al., (2017). Goliath catfish spawning in the far western Amazon confirmed by the distribution of mature adults, drifting larvae and migrating juveniles. *Scientific Reports*, 7:41784.

Batista, V.S., Isaac, V.J., Fabr e, N.N., 2012. A Produ o desembarcada por espécie e sua varia o por macrorregi o Amazônica. In: BATISTA, V. S.

Peixes e pesca no Solimões-Amazonas: uma avaliação integrada. Brasília: Ibama/ProVárzea. 276p.

Bayley, P.B., Petrere, M., 1989. Amazon fisheries: assessment methods, current status and management points. In: Dodge D.P. (Ed.). Proceedings of the international large symposium. Ottawa: Department of Fisheries and Oceans. p. 385-398. (Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 106).

Bayley, P.B. 1995., Understanding large river–floodplain ecosystems. *BioScience*, 45, 153–158.

Berkers, F., Mahon, R., Mcconney, P., Pollnac, R., Pomery, R., 2006. In: KALISKOSKI, D. C. (Org.) Gestão de pesca de pequena escala: diretrizes e métodos alternativos. Editora FURG, Rio Grande, Brasil. 360 p.

Branch, T.A., Hilborn, R., Haynie, A.C., Fay, G., Flynn, L., Griffiths, J., Marshall, K.N., Randall, J.K., Scheuerell, J.M., Ward, E.J., Young, M., 2006. Fleet dynamics and fishermen behavior: lessons for fisheries managers. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 63 (7), 1647–1668.

Cambie, G, Ouréns, R., Vidal, D.F., Carabel, S., Freire, J., 2012. Economic performance of costal fisheries in Galicia (NW Spain): case study of Cíes Islands, *Aquat. Living Resour.* 25, 195–20.

Campana, S.E., 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: Pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series*, 188: 263-297.

Campana, S.E., Neilson, J.D. 1985. Microstructure of fish otoliths. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42, 1014–1032.

Campana, S.E., Thorrold, S.R., 2001. Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations? *Canadian Journal of*

Fisheries and Aquatic Sciences, 58, 30-38.

Castello, J.P., 2007. Gestão sustentável dos recursos pesqueiros, isto é realmente possível? Pan-American Journal of Aquatic Science, 2 (1): 47-52.

Castello, L., McGrath, D.G., Hess, L.L., Coe, M.T., Lefebvre, P.A., Petry, P. et al., 2013. The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. Conservation Letters, 6, 217-229.

Castello, L., Macedo, M.N., 2015. Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. Global Change Biology, 22, 990-1007.

Castro, F., McGrath, D., 2001. O manejo comunitário de lagos na Amazônia. Parcerias Estratégicas, 12: 112–126.

Cruz, R.E.A., Isaac, V.J., Paes, E.T., 2017. A pesca da dourada *Brachyplatystoma rousseauxii* (Castelnau,1855) na região do Baixo Amazonas, Brasil. Boletim do Instituto de Pesca, 43(4): 474-486. <http://dx.doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n4p474>.

Dagosta, F.C.P., Pinna, M.D., 2019. The Fishes of the Amazon: Distribution and Biogeographical Patterns, with a Comprehensive List of Species. Bulletin of the American Museum of Natural History, 2019, 1-163, 163.

Daures, F., Trenkel, V.M., Guyader, O., 2013. Modelling the cost structure of French fishing vessels in the Bay of Biscay. Fish. Res. 146, 74–85.

Davidson, E.A., de Araujo, A.C., Artaxo, P., Balch, J.K., Brown, I.F., et al., 2012. The Amazon basin in transition. Nature, 481, 321-328.

De Graaf, G., Bartley, D., Jorgensen, J., Marmulla, G., 2015. The scale of inland fisheries, can we do better? Alternative approaches for assessment. Fisheries Management and Ecology, 22, 64–70.

- Doria, C.R.C., Lima, M.A.L., 2008. A pesca do pacu *Mylossoma duriventre* (Cuvier, 1818) (Characiformes: Characidae) desembarcado no mercado pesqueiro de Porto Velho – Rondônia. *Revista Biotemas*, v. 21, p. 103-112.
- Doria, C. R. C., Ruffino, M. L., Hijazi, N. C., Cruz, R. L., 2012. A pesca comercial na bacia do rio Madeira no estado de Rondônia, Amazônia brasileira. *Acta Amazônia*, v. 42, p. 29-40.
- Duponchelle, F., Pouilly, M., Pécheyran, C., Hauser, M., Renno, J.-F., Panfili, J., Darnaude, A. M., García-Vasquez, A., Carvajal-Vallejos, F., García-Dávila, C., Doria, C., Bérail, S., Donard, A., Sondag, F., Santos, R. V., Nuñez, J., Point, D., Labonne, M., Baras, E., 2016. Trans-Amazonian natal homing in giant catfish. *J Appl Ecol.* doi:10.1111/1365-2664.12665
- Elsdon, T.S., Wells, B. K., Campana, S. E., Gillanders, B. M., Jones, C. M., K. E., Limburg, D.H., Secor, Thorrold, S. R., Walther, B. D., 2008. Otolith chemistry to describe movements and life history parameters of fishes: hypotheses, assumptions, limitations, and inferences. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 46:297–330.
- Erwin, K.L. 2009. Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands Ecology and Management*, 17: 71-84.
- Fearnside, P.M., 2013. Viewpoint-decision making on amazon dams: Politics trumps uncertainty in the Madeira River sediments controversy. *Water Alternatives*, 6, 313–325.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the Unites Nations., 2018. The state of world fisheries and aquaculture 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/3/CA0191EN/CA0191EN.pdf>

- Ferreira, J., Aragão, L.E.O.C., Barlow, J., Barreto, P., Berenguer, E., Bustamante, M., ... Pardini, R., 2014. Brazil's environmental leadership at risk. *Science*, 346(6210), 706–707. doi: 10.1126/science.1260194.
- Finer, M., Jenkins, C.N., 2012. Proliferation of hydroelectric dams in the Andean Amazon and implications for Andes-Amazon connectivity. *PLoS ONE*, 7(4): e35126.
- Freitas, C. E. C., Rivas, A. A. F., Campos, C. P., Sant'ana, I., Kahn, J. R., Correa, M. A. A., Catarino, M. F., 2013. The potential impacts of global climatic changes and dams on Amazonian fish and their fisheries. *In: TÜRKER, H. (Org.). New Advances and Contributions to Fish Biology*. 1 ed. Croacia: INTECH, 1, p. 176-195.
- Forsberg, B.R., Melack, J.M., Dunne, T., Barthem, R.B., Goulding, M., Paiva, R.C.D.,, Weisser, S, 2017. The potential impact of new Andean dams on Amazon fluvial ecosystems. *Plos One*, 12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182254>
- Gaillardet, J., Dupre, B., Allegre, C.J., Négrel, P., 1997. Chemical and physical denudation in the Amazon River Basin. *Chemical Geology*, 142, 141–173.
- Garcez, R.C.S., Humston, R., Harbor, D., Freitas, C.E.C., 2015. Otolith geochemistry in young-of-the-year peacock bass *Cichla temensis* for investigating natal dispersal in the Rio Negro (Amazon – Brazil) river system. *Ecology of Freshwater Fish*, 24, 242–251.
- Grantham, R.W., Rudd, M., 2015. Current status and future needs of economics research of inland fisheries. *Fisheries Management and Ecology*, 22, 458–471.
- Gillanders, B.M., 2005 Otolith chemistry to determine movements of diadromous and freshwater fish. *Aquatic Living Resources*. 18: 291–300.

- Hahn, L., Agostinho, A.A., English, K.K., Carosfeld, J., da Câmara, L.F., Cooke, S.J., 2011. Use of radiotelemetry to track threatened dorados *Salminus brasiliensis* in the upper Uruguay River, Brazil. *Endangered Species Research*, 15, 103–114.
- Hahn, L., Martins, E.G., Nunes, L.D., da Câmara, L.F., Machado, L.S., Garrone-Neto, D., 2019. Biotelemetry reveals migratory behaviour of large catfish in the Xingu River, Eastern Amazon. *Scientific Reports*, 9, 8464.
- Hauser, M., 2018. Migração dos grandes bagres Amazônicos pela perspectiva dos isótopos de Estrôncio em otólitos. Programa de Pós-Graduação da rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia legal. Universidade Federal do Rondônia (UNIR). Porto Velho, Rondônia, Brasil.
- Hauser, M., Doria, C.R.C., Santos, R.V., Garcia-Vasquez, A., Pouilly, M., et al., 2019 a. Shedding light on the migratory patterns of the Amazonian goliath catfish, *Brachyplatystoma platynemum*, using otolith $^{87}\text{Sr}:$ ^{86}Sr analyses. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 29, 397-408.
- Hauser, M., Duponchelle, F., Hermann, T.W., et al., 2019 b. Unmasking continental natal homing in goliath catfish from the upper Amazon. *Freshwater Biology*. 00:1–12. <https://doi.org/10.1111/fwb.13427>
- Hegg, J.C., Giarzzo T., Kennedy B. P., 2015. Migratory Amazonian Catfish: Implications for Conservation and Management. *Plos One* 10 (7). e0129697–19. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0129697>
- Hermann, T.W., Stewart, D.J., Limburg, K.E., Castello, L., 2016. Unravelling the life history of Amazonian fishes through otolith microchemistry. *Royal Society Open Science*, 3.
- Isaac, V.J., Milstein, A., Ruffino, M.L., 1996. A pesca artesanal no Baixo Amazonas: Análise multivariada da captura por espécie. *Acta Amazonica*, 26(2): 185-208.

- Isaac, V. J., Fabr e, N. N., Ruffino, M.L., Saint-Paul, U., 2012. Ecologia da fauna Ict ica. In: Batista, V. S. Peixes e pesca no Solimões-Amazonas: uma avalia o integrada. Brasília: Ibama/ProVárzea. 276p.
- Isaac, V. J., Almeida, M. C., Giarrizzo, T., Deus, C. P., Vale, R., Klein, G., Begossi, A., 2015. Food consumption as an indicator of the conservation of natural resources in riverine communities of the Brazilian Amazon. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 87, p. 2229 – 2242
- Isaac, V. J., Castello, L., Santos, P. R. B., Ruffino, M. L., 2016. Seasonal and interannual dynamics of river-floodplain multispecies fisheries in relation to flood pulses in the Lower Amazon. *Fisheries Research*, 183, 352–359. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.06.017>
- Junk, W. J., Bayley, P. B., Sparks, R. E., 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. In D. P. Dodge (Ed.), *Proceedings of the international large river symposium* (pp. 110–127). Honey Harbour, Ontario, Canada: Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.
- Kennedy, B.P., Folt, C.L., Blum, J.D., Chamberlain, C.P., 1997. Natural isotope markers in salmon. *Nature*, 387, 766–767.
- Kennedy, B.P., Blum, J.D., Folt, C.L., Nislow, K.H., 2000. Using natural strontium isotopic signatures as fish markers: methodology and application. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57, 2280–2292.
- Kerr, L.A., Campana, S.E., 2014. *Chemical Composition of Fish Hard Parts as a Natural Marker of Fish Stocks*. Second Edition. Academic Press, San Diego, 566 p, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-397003-9.01001-8>.
- Lake, P. S., Palmer, M. A., Biro, P., Cole, J., Covich, A. P., Dahm, C., Gibert, J., Goedkoop, W., Martens, K., Verhoeven, J. 2000. Global Change and the Biodiversity of Freshwater Ecosystems: Impacts on Linkages between Above-Sediment and Sediment Biota. *BioScience*, 50(12): 1099-1107.

Lake, P.S. 2003. Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters. *Freshwater Biology*, 48, 1161-1172.

Latrubesse E.M., Arima, E.Y., Dunne, T., Park, E., Baker, V.R., d’Horta, F.M., Wight, C., Wittmann, F., Zuanon, J., Baker, P.A., Ribas, C.C., Norgaard, R.B., Filizola, N., Ansar, A., Flyvbjerg, B., Stevaux, J.C., 2017. Damming the rivers of the Amazon basin. *Nature* 546(7658):363–369 DOI 10.1038/nature22333.

Lees, A.C., Peres, C.A., Fearnside, P.M., Schneider, M., Zuanon, J.A.S., 2016. Hydropower and the future of Amazonian biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 25, 451-466.

Lima, M.A.L., 2017. História do ecossistema e dos recursos pesqueiros frente a implementação de hidrelétricas na bacia do rio Madeira. Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação Em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velo, Rondônia, p. 138.

Lima, M.A.L., Kaplan, D.A., Doria, C.R.C., 2017 Hydrological controls of fisheries production in a major Amazonian tributary. *Ecohydrology*, 10(8): e1899. <http://dx.doi.org/10.1002/eco.1899>.

Lima, M.A.L., Carvalho, A.R., Nunes, M.A., Angelini, R., Doria, C.R.C, 2020. Declining fisheries and increasing prices: The economic cost of tropical rivers impoundment. *Fisheries Research*, January 2020, 105399. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105399>

Lynch, A. J., S. J. Cooke, A. M. Deines, S. D. Bower, D. B. Bunnell, I. G. Cowx, V. M. Nguyen, J. Nohner, et al. 2016. The social, economic, and environmental importance of inland fish and fisheries. *Environmental Reviews* 24: 115–121. doi:10.1139/er2015-0064.

- Lowe-McConnell, R.H. 1999. Ecological studies in tropical fish communities. Cambridge Tropical Biology Series. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lowe-McConnell, R.H. 1999. Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais. EDUSP. São Paulo. 534 p.
- Mees, G.F. 1974. Auchenipteridae and Pimelodidae. Zool. Verh. 132: 115-246.
- Mérona, B., Gascuel, D. 1993. The effects of flood regime and fishing effort on the overall abundance of an exploited fish community in the Amazon floodplain. Aquatic Living Resources, 6(2), 97–108. <https://doi.org/10.1051/alr:1993010>
- Mérona, B., 1995. Ecologia da pesca e manejo pesqueiro na região Amazônica. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Antropologia, 11(2): 167-183.
- MPA, 2013. Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura do Brasil 2011. Ministério da Pesca e Aquicultura. 60 p. Disponível em: <http://www.mpa.gov.br>
- Parente, V.M., Vieira, E.F., Carvalho, A.R., Fabré, N.N. 2005. A pesca e a economia da pesca de bagres no eixo Solimões-Amazonas. In: Fabré, N.N., Barthem, R.B. (Org.) O manejo da pesca dos grandes bagres migradores: piramutaba e dourada no eixo Solimões-Amazonas. Manaus: Ibama/ProVárzea.114p.
- Petrere Jr., M., 1985. A pesca comercial no rio Solimões-Amazonas e seus afluentes: análise dos informes do pescado desembarcado no Mercado Municipal de Manaus (1976-1978). Ciência e Cultura, 37(12): 1987-1999.
- Petrere, M., Barthem, R. B., Córdoba, E. A., Gómez, B. C., 2004. Review of the large catfish fisheries in the upper Amazon and the stock depletion of piraíba (*Brachyplatystoma filamentosum* Lichtenstein). Reviews in Fish

Biology and Fisheries, 14(4), 403–414. <https://doi.org/10.1007/s11160-004-8362-7>

Petrere Jr., M., Walter, T., Minte-Vera, C. V., 2006. Income evaluation of small - scale fishers in two brazilian urban reservoirs: represa Billings (SP) and lagoParanoá (DF). Braz. J. Biol., 66 (3):817-828.

Pinaya, W.H.D., Lobon-Cervia, F.J., Pita, P., Buss De Souza, R., Freire, J., Isaac, V.J., 2016. Multispecies Fisheries in the Lower Amazon River and its Relationship with the Regional and Global Climate Variability. PLoS One 11(6): e0157050.

Pinaya, W. H. D., Pita, P., Buss De Souza, R., Lobon-Cervia, F. J., Freire, J., Isaac, V.J., 2018. The Catfish fishing in the Amazon floodplain lakes. The Catfish Fishing in the Amazon Floodplain Lakes. Oceanogr Fish Open Access J. 2018, 7(4): 555720. doi:[10.19080/foaj.2018.07.555720](https://doi.org/10.19080/foaj.2018.07.555720)

Poff, L.N., Angermeier, P.L., Cooper, S.D., Lake, P.S., Fausch, K.D., Winemiller, K.O. et al., 2001. Fish diversity in streams and rivers. In: F.S. Chapin, O.E. Sala & E. Huber-Sannwald (eds.) *Global Biodiversity in a Changing Environment: Scenarios for the 21st Century*. New York, NY: Springer New York.

Primack, R.B., Rodrigues, D., 2001. *Biologia da Conservação*. Londrina, E. Rodrigues, 328p.

Primack, R.B., Ros, J. 2002. *Introducción a la biología de la conservación*. Ed. Ariel Ciência. N° 1. 384 p.

Roberts, T.R., 1972. Ecology of fishes in the Amazon and Congo Basins. Bulletin of the Museum of Comparative Zoology, v. 143, n. 2, p. 117-147.

Rodrigues, A.R., Abdallahb, P.R., Gasalla, M.A., 2018. Harvesting costs and revenues: Implication of the performance of openaccess industrial fishing

fleets off Rio Grande, Brazil. *Marine Policy*, 93, 104-112.
<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.04.008>

Ruffino, M.L., Isaac, V.J., 2000. A pesca artesanal no Médio Amazonas. Brasília: IBAMA, Coleção Meio Ambiente. Série Estudos Pesca, 22, 317- 348.

Santana, I.F., Freitas, C.E.C., 2013. A time series analysis of *Prochilodus nigricans* landings caught by small-scale fisheries in the lower stretch of the Amazon River. *Braz. J. Biol.*, 2013, vol. 73, no. 1, p. 53-59.

Santos, G.M., Santos, A.C.M., 2005. A sustentabilidade da pesca na Amazônia. *Estudos Avançados*, 19(54): 165-182p.

Santos, R. V., Sondag, F., Cochonneau, G., Lagane, C., Brunet, P., Hatting, K., Chaves, J. G. S., 2015. Source area and seasonal ⁸⁷Sr/ ⁸⁶Sr variations in rivers of the Amazon basin. *Hydrol. Process.* V.29, p. 187-197.

Timpe, K., Kaplan, D., 2017. The changing hydrology of a dammed Amazon. *Sci. Adv.* 3, e1700611.

Veríssimo, J. 1895. A pesca na Amazônia. Rio de Janeiro: Livraria Alves, 137 p.

Vieira, E.F., 2005. Legislação e plano de manejo para a pesca de bagres na bacia amazônica. In: Fabr e, N.N., Barthem, R.B. (Org.) O manejo da pesca dos grandes bagres migradores: piramutaba e dourada no eixo Solimões-Amazonas. Manaus: Ibama/ProVárzea.114p.

Ward, A.S., Kurz, M.J., Schmadel, N.M., Knapp, J.L., Blaen, P.J., Harman, C.J., Drummond, J.D., Hannah, D.M., Krause, S., Li, A., Marti, E., Milner, A., Miller, M., Neil, K., Plont, S., Packman, A.I., Wisnoski, N.I., Wondzell, S.M., Zarnetske, J.P., 2019. Solute Transport and Transformation in an Intermittent, Headwater Mountain Stream with Diurnal Discharge Fluctuations. *Water*, 11, 2208.

Walther, B.D., Thorrold, S.R., 2006. Water, not food, contributes the majority

of strontium and barium deposited in the otoliths of a marine fish. *Mar Ecol Prog Ser* v.311: p. 125-130.

Welcomme, R.L., Cowx, I.G., Coates, D., Béné, C., Funge-Smith, S., Halls, A., and Lorenzen, K., 2010. Inland capture fisheries. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B, Biol. Sci.* 365(1554): 2881–2896. doi:10.1098/rstb.2010.0168.

Zed, Z., Wouter, B., Bastian, M., Claudia Véliz, R., Patrick, W. et al., 2016. Projected increases in the annual flood pulse of the Western Amazon. *Environmental Research Letters*, 11, 014013.

CAPÍTULO 1

GLOBAL AND REGIONAL ENVIRONMENTAL IMPACTS ON DYNAMICS OF THE GIANT CATFISH FISHERY IN THE AMAZON

Artigo científico submetido para a revista *Fisheries Research* Versão Online
ISSN: 1872-6763.

**GLOBAL AND REGIONAL ENVIRONMENTAL IMPACTS ON DYNAMICS OF
THE GIANT CATFISH FISHERY IN THE AMAZON**

Authors

Rivetla Edipo Araujo Cruz - Corresponding author

Federal University of Pará (UFPA), Laboratory of Fishery Biology and Aquatic Resources Management

Av. Perimetral, 2651, 66077-530, Belém, Pará, Brazil

E-mail: araujo.edipo@gmail.com

David Andrew Kaplan

University of Florida (UF), Engineering School of Sustainable Infrastructure and Environment, Department of Environmental Engineering Sciences, Gainesville, FL, USA

E-mail: kaplan@uf.edu

Paulo Brasil Dos Santos

Federal University of West Pará (UFOPA)

Tv. Major Francisco Maria S/N, 68220-000, Monte Alegre, Pará, Brazil

E-mail: paulobrasil_pesca@hotmail.com

Antônio Olinto Ávila-da-Silva

Fishing Institute of São Paulo

Av. Bartolomeu de Gusmão, 192, 11030-906, Santos, São Paulo, Brazil

E-mail: olinto@pesca.sp.gov.br

Elineide Eugenio Marques

Federal University of Tocantins (UFT)

Rua 3, Quadra 17, Lote 11, s/nº, 77500-000, Porto Nacional, Tocantins, Brazil

E-mail: emarques@mail.uft.edu.br

Victoria Judith Isaac

Federal University of Pará (UFPA), Laboratory of Fishery Biology and Aquatic Resources Management

Av. Perimetral, 2651, 66077-530, Belém, Pará, Brazil

E-mail: biologiapesqueira@hotmail.com

ABSTRACT

The giant catfish *Brachyplatystoma rousseauxii*, *Brachyplatystoma vaillantii* and *Brachyplatystoma filamentosum* are important resources for the aquatic environment and the Amazonians. However, man-made environmental changes, such as climate change, deforestation, habitat degradation, overexploitation of water resources and damming of rivers due to the construction of large hydroelectric projects represent threats to the regularity of the hydrological regime and, therefore, to the conservation of these fish in the Amazon region. Thus, the present study aimed to investigate the effects of environmental regional variables (hydrological) and global (meteorological and climatological) on the capture of three giant catfish caught in the Amazon region. The questions posed were: Does the time series of capture have trends over the years? Is there an association between the time series of capture and the environmental series? Which environmental variables most affect fishing data? How do different species react to possible changes in environmental variables? According to the results, there was a clear decline in catches of *B. rousseauxii* and *B. filamentosum*, but *B. vaillantii* showed an increasing tendency. Total catch showed a linear and positive correlation with the fishing effort of the three species landed over the years, with significant coefficients. Moreover, the sea surface temperature (SST) was the environmental variable that most explained (between 19% and 38%) the variability of catches, with negative predictor for three species. Thus, the global impact of SST will damage the capture of the giant catfish from the Amazon.

Keywords: time series, artisanal fishery, Pimelodidae, climate change

1. Introduction

Many of the jobs and much of the income that is generated throughout the world is due to either continental or inland fishing activities (Welcomme et al., 2010; Bartley et al., 2015; De Graaf et al., 2015; Lynch et al., 2016; Doria et al., 2017). These fisheries are also a major source of food (animal protein) in developing countries (Welcomme et al., 2010).

In Brazil, more than half of the extractive fishery production comes from the Amazon region (MPA, 2013). Fishing in the Amazon is traditionally an artisanal activity, which captures targets a large number of species using multiple types of fishing gear (Bayley and Petrere, 1989; Barthem et al., 1997). In the main channel of the Amazon River, artisanal fishing generates approximately 155,000 jobs and an estimated gross annual revenue of \$278 million (Almeida, 2004; Almeida et al., 2010).

The great catfish of the Pimelodidae family are of economic importance in the fisheries in the Amazon (Batista et al., 2018) and have a relevant role in the structure and function of the aquatic environment, since they represent the main predators of the ecosystem (Sumontha et al., 2008; Pavlovic et al., 2015). The main target species are the giant catfish of the family Pimelodidae (Siluriformes), such as dourada (*Brachyplatystoma rousseauxii*), piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*) and filhote (*Brachyplatystoma filamentosum*) (Barthem and Goulding, 1997; Petrere et al., 2004; Barthem and Goulding, 2007; Ruffino, 2014). Most of them piscivorous, have large body sizes (≥ 105 cm), and develop complex and geographically extensive reproductive migrations (Barthem and Goulding, 1997). A good example of these characteristics is the dourada (*B. rousseauxii*), which undertakes the longest known freshwater fish migration (Barthem and Goulding;

1997; Duponchelle et al., 2016; Barthem et al., 2017). Therefore, changes in their abundance may have profound consequences for the ecosystem (Angelini et al., 2006), and may be considered as "key species", which may produce "domino" or "cascade effects" on other species of the food chain (Bayer et al., 2006), if they are greatly impacted by their abundance due to fishing pressure and/or other anthropogenic factors.

The dynamics of fish capture in the Amazon is complex and depends on the available environments, which vary according to fluctuations in the river level and various environmental and meteorological factors (Petrete Jr., 1985; Junk et al., 1989; Pinaya et al., 2016; Lima et al., 2017). The seasonal flood pulse influences the limnological, ecological, and biological characteristics of the fishery and thus drives the economic dynamics of Amazonian water bodies (Barthem and Fabre, 2004; Wintenell et al., 2004). This is fundamental for the biota in the large river systems of the Neotropical regions (Lowe-McConnell, 1987; Junk et al., 1989) and the fishing yield (Bayley 1995; Doria et al., 2012; Fearnside, 2013; Castello et al., 2015; Pinaya et al., 2016; Cruz et al., 2017; Pinaya et al., 2018). Regular periods of high and low water are predictable events (Ward et al., 2019) for organisms living in the river-floodplain system and for the population surviving from fishing activity. In spite of the predictability of the fluvial regime, the intensity and duration of each phase vary annually (Castro and McGrath, 2001), and are controlled by seasonal and interannual variability of water levels (Isaac et al., 2016).

Human-induced environmental changes such as climate change, deforestation, habitat degradation, overexploitation of water resources and damming of rivers due to the construction of large hydroelectric projects represent

threats to the regularity of the hydrological regime and, therefore, to the conservation of water biodiversity (Freitas et al., 2012; Castello and Macedo, 2016; Winemiller et al., 2016). These factors affect the flood pulse (Timpe and Kaplan, 2017) and the connectivity between water bodies (Anderson et al. 2018), drastically reducing aquatic and terrestrial production (Junk et al., 2008), which should reflect on the region's fishing productivity and cause potentially high socioeconomic impacts.

Thus, it is perceived that the abundance of stocks in nature and, therefore, the result of fisheries depends not only on the intensity of exploitation of stocks, but also on other impacts of human activities that affect the dynamics of the environment. In this context, understanding the variability of catches throughout the development of fisheries, as a function of hydrological, meteorological and climatological environmental variables, becomes an important tool for fishery management, since it allows forecasting possible future changes in fisheries, based on changes. However, such analyses require long data records (Mérona, 1995), which are lacking in many underdeveloped regional like the Brazilian Amazon (Isaac et al., 1996; Isaac et al., 2000; Isaac et al., 2008).

When time series data of fish landings are available, they can be used to characterize trends and associate the temporal of catch with potential predictive variables (Castello et al., 2013; Castello et al., 2015; Isaac et al., 2016; Lima et al., 2017), as well as to make predictions of future changes of yields. Several studies have shown the relationship between the hydrological regime and freshwater fisheries around the world (Welcomme, 1985; Moses, 1987; De Graaf, 2003). However, while research on the impacts of external phenomena on resource abundance and fishery productivity is common in marine and temperate

or subtropical environments (Stenseth et al., 2002; Chavez et al., 2003; Badjeck et al., 2009), it is scarce in tropical freshwater environments. Some studies that correlate the success of the Amazonian fisheries in terms of environmental variations were found in literature, in monthly, seasonal, annual and interannual scales. They were mainly considered cyclical environmental conditions (Merona and Gascuel, 1993; Santana and Freitas, 2013; Castello et al., 2015; Isaac et al., 2016; Pinaya et al., 2016; Cruz et al., 2017; Lima et al., 2017; Batista et al., 2018), and some external variables related to global ocean-meteorological phenomena, such as El Niño and La Niña (Pinaya et al., 2016; Pinaya et al., 2018). However, no studies have yet been done so far on the relationship between the catch of giant catfish, and the regional and global environmental variations in the Amazon basin.

Given the important role of giant catfishes for the aquatic environment and the Amazonians, in addition to the anthropogenic modifications in the environment, this work focuses on investigating the effects of environmental regional variables (hydrological) and global (meteorological and climatological) on the capture of three giant catfishes: *Brachyplatystoma rousseauxii*, (*Brachyplatystoma vaillantii*) and *Brachyplatystoma filamentosum*. It is also intended that in the future it will be possible to create scenarios for Amazonian fisheries in order to contribute to the development of the management of these resources. The questions posed were: Does the time series of capture have trends over the years? Is there an association between the time series of capture and the environmental series? Which environmental variables most affect fishing data? How do different species react to possible changes in environmental variables?

2. Material and Methods*2.1 Study area*

The area of study in turn comprises the region of the Amazon River known as Lower Amazon, which extends from Parintins (Amazonas State) to Almeirim (Pará State), in Brazil, between latitudes 1°S to 3°S and longitudes 58°W to 53°W (Isaac et al., 1996) (Figure 1). The climate is predominantly hot and humid, with average temperature around 26.6°C and average precipitation of 2200 mm year⁻¹. The river level has an annual variation of approximately 6-7 meters between dry and rainy season, with a regular period of higher water level (May – June) and another of low water level (October-November) (Bonnet et al., 2008; Isaac et al., 2016).

In this region, the Amazon River is wide and forms large floodplain lakes and interconnecting channels (Hess et al., 2003; Bathem and Gouding, 2007). These environments are exploited by fishing boats that operate in the region (Isaac et al., 2004; Barthem and Goulding, 2007), and 6,506 fishermen have registered there, according to the General Record of the Fishing Activity (MAPA, 2016). The catfish fisheries involve around 5 (± 4.9) fishers per boat and on average includes 5 (± 3.7) days of travel (Cruz et al. 2017; Pinaya et al. 2016), with the use of a wide variety of gears (highlight for gillnets) (Isaac et al., 2004). The average fishing yield for the region is 9.1 kg fishermen⁻¹ day⁻¹ (Pinaya et al., 2016). Santarém is the main port of landing.

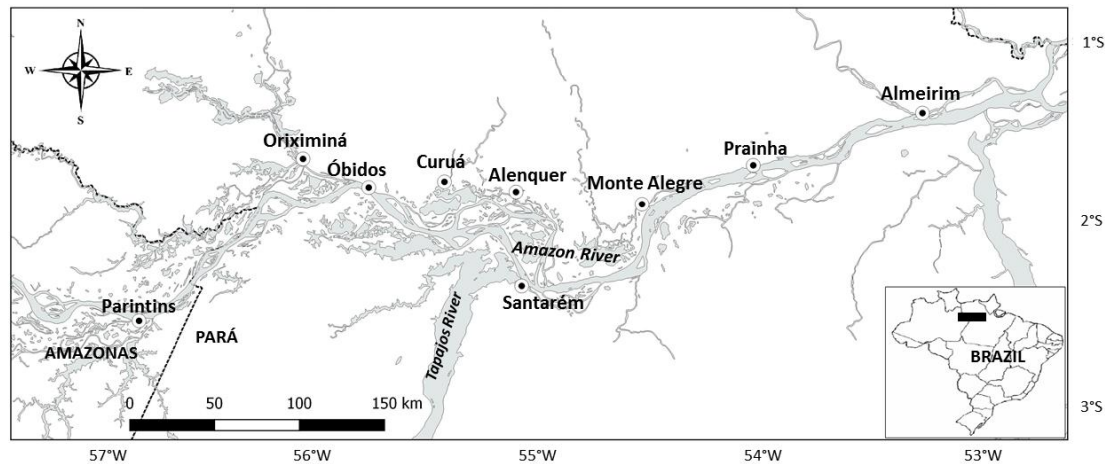


Figura 1: Map of the study of the Lower Amazon region with nine fishing landing sites.

2.2 Fisheries data

The fish landing data of dourada (*Brachyplatystoma rousseauxii*), piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*) and filhote (*Brachyplatystoma filamentosum*) were collected by the IARA/IBAMA and ProVárzea/IBAMA projects from 1993 to 2010 (except between June 2005 and February 2008) in nine cities on the Amazon River (Figure 2). Data collection was from Monday to Saturday and included interviews of fishers and boat captains at the landing ports. Information on boat type, fishing environment, number of fishermen, fishing days, fishing gear, and catch per species (kg) were recorded. The species were registered by their common local name. The data were included in a database and later filtered to include for the analyses only fishing trips by motorized boats using gill nets, which is the main combination used to catch catfish (representing 75% of the total catch).

2.3 Environmental data

Hydrological, meteorological and climatic data are summarized in Table 1. Daily water level data were obtained from the Brazilian Water Management Agency (ANA, www.ana.gov.br). From the information recorded at the Santarém

station (ID 00254004), the annual minimum, maximum and average values of the river level (in centimeters) were calculated, as well as the amplitudes of variation and the number of days per year that the level of the river flooded up to the historical (> 475 cm) mean, which was calculated over 42 years (from 1970 to 2011) for the region.

The mean annual sea surface temperature (SST) data was obtained in a 4 × 4 km grid along the coast of Pará and Amapá in the Brazilian Amazon, as well as at the mouth of the Amazon River. These meteorological data are available online (www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/) and were made available from the global database of the Pathfinder version 5.0 (PV5) project developed by the NODC (National Oceanographic Data Center) and RSMAS (University of Miami's Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science) and offered by PODAAC (Physical Oceanography Distributed Active Archive Center). The Annual Multivariate ENSO (*El Niño* Southern Oscillation) Index - MEI was obtained from the National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA records at www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindexes/list. The MEI is climatic variable and is associated with the phases of ENSO, *El Niño* - the hot phase and *La Niña* - the cold phase.

Tabela 1: Summary of the environmental variables used in this study.

Series type	Variable	Description	Factor
Hydrological	$WL_{average}$	Average, maximum and minimum annual water level (cm) in the Amazon River at Santarém	Regional
	WL_{max}		
	WL_{min}		
	AMP	Difference between the river maximum and minimum level in each year	
	$Days_{flooded}$	Number of days in a year when the water level exceeded 475 cm (historical average of 42 years)	
Meteorological	SST	Annual average temperature of the Atlantic Ocean (°C)	Global
Climatological	MEI	Annual Multivariate ENSO Index	Global

2.4 Data analysis

2.4.1 Reconstruction of time series of fishing

Unavailable data (between June 2005 to February 2008), we reconstructed using the Local Regression Fitting (LOESS) method (Cleveland et al., 1992; Venables and Ripley, 1997). For each species the estimates were made per month separately, that is, the missing values of January were estimated based on recorded values of January in the other years. This strategy was adopted to reduce the number of successive missing values and to maintain sensitivity to seasonal variations. For the adjustments, spans of 0.4, 0.5 and 0.6 were used. The span corresponds to the parameter that controls the degree of smoothing. Estimates calculated with less smoothing were preferably used, when negative values were obtained by lowest spans (Figure 2).

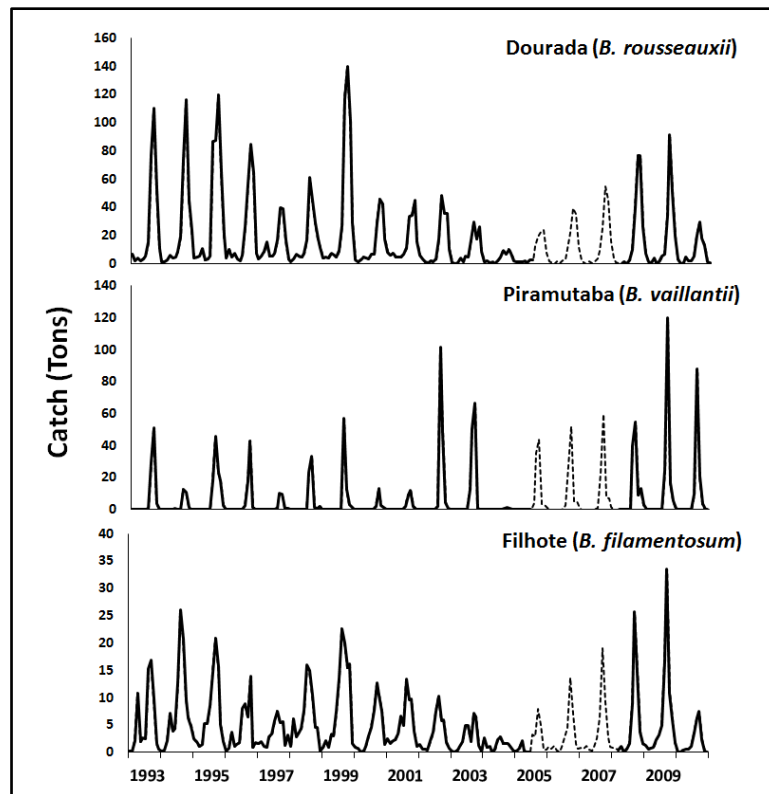


Figura 2: Time series of catches per month for three giant catfishes landed in the Lower Amazon region from 1993 to 2010. The dotted line refers to the months that had the catches rebuilt, between June 2005 and February 2008. Note the change in the y-axis scale.

2.4.2 Multicollinearity of environmental variables

The Variance Inflation Factor (VIF) was used to detect the presence of linear (multicollinearity) relationships between two or more independent variables in the multiple linear regression model (Akinwande et al., 2015; Gómez et al., 2016). Multicollinearity is a condition that occurs when some independent variables in the model are correlated to other independent variables.

The VIF was calculated (Belsley et al., 2004) for the seven environmental variables: maximum water level (WL_{max}), average water level ($WL_{average}$),

minimum water level (WL_{min}), amplitude water level (AMP), average surface sea temperature (SST) and MEI index.

$$VIF = \frac{1}{1 - R_i^2}$$

Where R^2 is the multiple correlation coefficient of X_i regressed on the remaining explanatory variables.

Thus, variables with VIF values greater than 5 were eliminated from the model, since they can increase the variance of the regression coefficients, making them unstable (Akinwande et al., 2015). After the collinearity tests, the environmental variables used here were reduced to the following: AMP, Days_{flooded}, SST and MEI (Table 2).

Tabela 2: Variance Influence Factors (VIF) for the environmental explanatory variables, for each catfish studied.

Variables	VIF		
	<i>B. rousseauxii</i>	<i>B. vaillantii</i>	<i>B. filamentosum</i>
AMP	2,04	1,79	1,95
DAYS _{flooded}	1,33	1,39	1,44
SST	3,68	2,27	1,91
MEI	1,19	1,18	1,22
VIF Average	2,06	1,66	1,63

1.1.1. Trends in the catch and environmental variables

The Mann Kendall (MK) test was used to identify trends in the time series of catch for each species, as well as for environmental data. Because it is a non-parametric method, MK does not require normal data distribution (Yue et al., 2002; Yue and Pilon, 2004). We calculated MK following the procedure outlined by Gilbert (1987).

2.4.3 Models

Two General Linear Models were developed to explain variation in the response variables (fish catch) using different explanatory variables. The first model (Model I) used both environmental variables (hydrological, meteorological and climatological) and fishing effort, while the second model (Model II) ignored effort: The initial models applied are given by the following expressions:

$$Y_{ij} = \alpha + \beta_1 AMP + \beta_2 Days_{flooded} + \beta_3 SST + \beta_4 MEI + \beta_5 Effort + \varepsilon \quad (1)$$

$$Y_{ij} = \alpha + \beta_1 AMP + \beta_2 Days_{flooded} + \beta_3 SST + \beta_4 MEI + \varepsilon \quad (2)$$

Where: Y_{ij} = dependent variable (log + 1 annual catch, in tons); AMP = water level amplitude; Days flooded = number of days in a year when the water level exceeds historical average; SST = annual mean sea surface temperature; MEI = annual Multivariate ENSO Index; Effort = log annual sum of fishing effort (number of fishermen*fishing days).

The initial model was moderately reduced by the exclusion of non-significant factors (Faraway, 2006). Thus, only significant explanatory variables were maintained ($\alpha = 5\%$).

3. Results

3.1 Capture, trends and effort of fisheries

A total of 6,223 t of catfish was caught between 1993 and 2010, with an annual average of 345 t (SD = 142 t). The highest production (635 t \pm 33 t) was recorded in 1995, and the lowest in 2004 (68 t \pm 3 t). Of the total landed, almost half refers to the capture of *B. rousseauxii* (61%). *B. vaillantii* represented 23%,

and *B. filamentosum* 16%. For all three species there is a decline in the year 2004, followed by an increase in catch soon thereafter. *B. rousseauxii* and *B. filamentosum* presented decreasing trends from 1993 to 2010 (MK - $S=-68$ $p=0.01$ and $S=-54$ $p=0.04$, respectively), while *B. vaillantii* showed a growing trend (MK - $S = 52$, $p = 0.05$) (Figure 3).

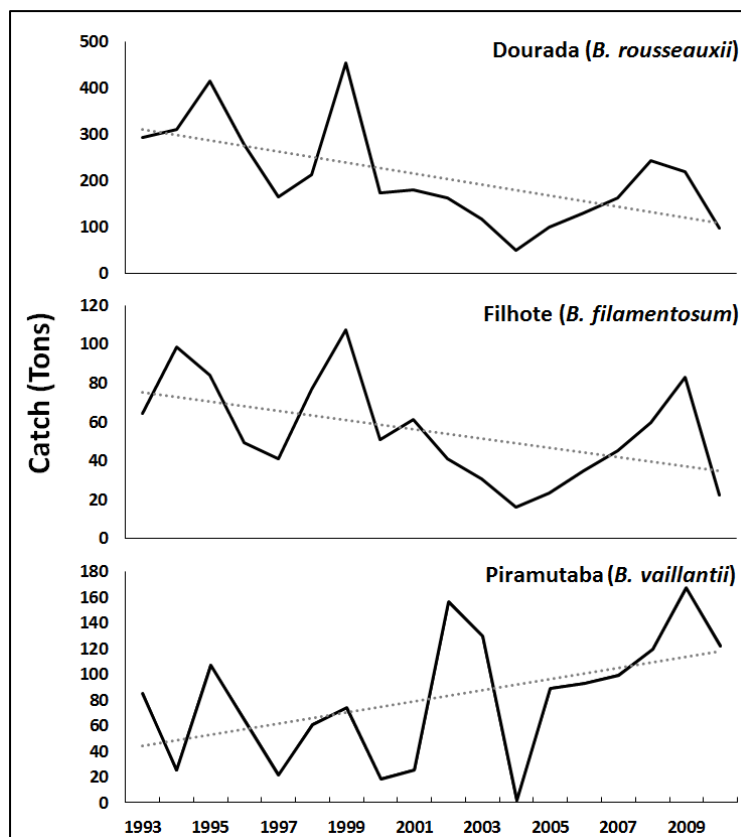


Figura 3: Time series of total catch per year for three giant catfish landed in the Lower Amazon region, from 1993 to 2010. Note change in the y-axis scale.

The total capture always demonstrates a linear and positive correlation with the fishing effort for the three species landed over the years, with significant coefficients (<0.05) (Figure 4).

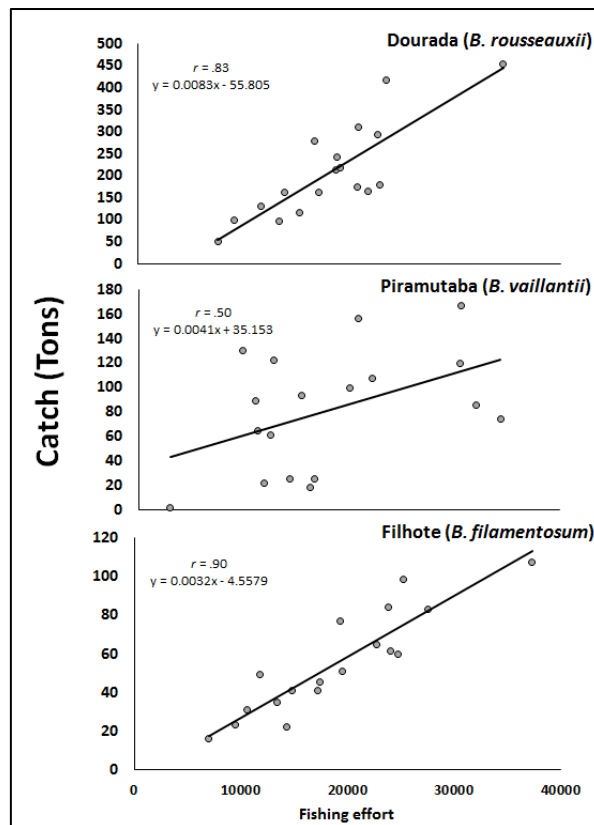


Figura 4: Relationship between annual catch (tons) and effort (number of fisherman*days fishing) for the three species of catfish. Note change in the y-axis scale.

3.2 Environmental variables

The time series of the environmental variables (hydrological, meteorological and climatological) are shown in Figure 6. All variables show an annual dynamics, however, no pattern can be observed. The sea surface temperature has a significant trend which has been growing between 1993 and 2010 (MK S = 86, $p = 0.001$) (Figure 5).

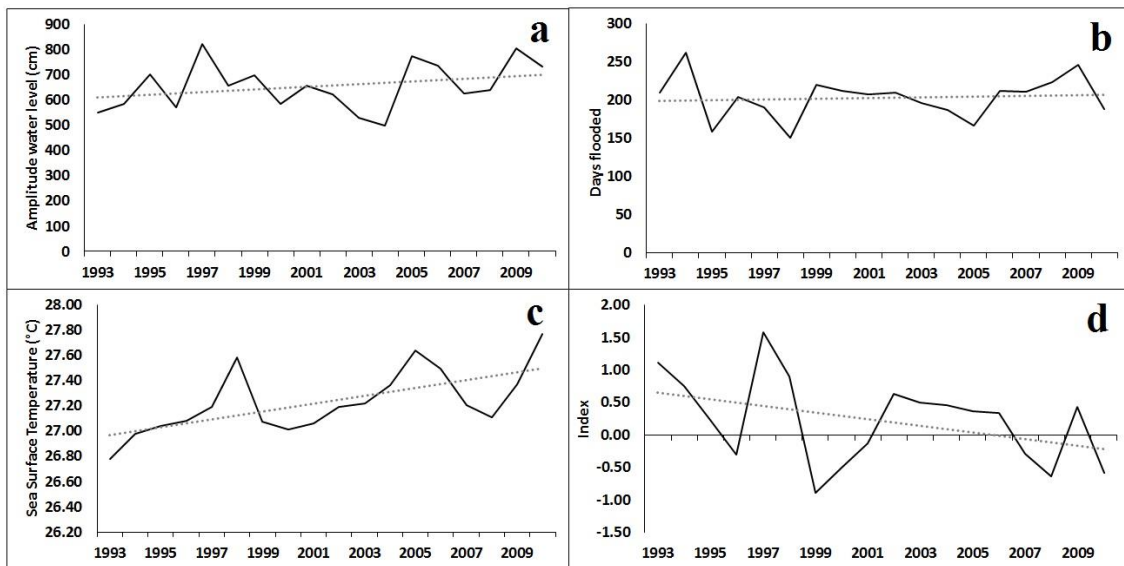


Figura 5: Time series of environmental variables, from 1993 to 2010. a) average water level amplitude (cm); b) days flooded above the historical average for the region; c) average surface temperature of the sea SST (° C) and d) multivariate ENSO index.

3.3 Model I

The model provided a highly significant correlation and an excellent fit for the three species ($.67 \leq R^2 \leq .82$) (Figure 6, left). The effect of fishing effort was positively related to the fish catch, at a significance of $p = .002$ or lower. The fishing effort explained most of the data variance (between 48% and 82%). The other variables were not significant, with the exception of the sea surface temperature (SST) that explained 19% of the variation of the *B. vaillantii* catch. Table 3 summarizes the results of Model I.

3.4 Model II

The model presents a significant correlation ($p = .016$ or lower) for two of the three species. The coefficient of variation explained by the four significant species ranges from 31% to a maximum of 55%, being a reasonable to good fit ($.31 \leq R^2 \leq .55$) (Table 3). The adjustments of Model II to the observed data are

illustrated in Figure 6 (right). The importance of each explanatory variable for each species of fish is given by the magnitude and significance of the coefficients. Sea surface temperature (SST) presented the highest value and was a negative predictor ($p = .016$ or lower) for two species, explaining 31% to 38% of the data variation. The amplitude of the river level (AMP) was positively related to the capture of *B. rousseauxii*, at a significance of $p = .028$.

Tabela 3: Results of General Linear Model (GLM) for three giant catfish landed in the Lower Amazon, Brazil. Model I = annual catch versus fishing effort and environmental variables (AMP, Daysflooded, SST and MEI); Model II = annual catch versus environmental variables (AMP, Days_{flooded}, SST and MEI).

MODEL I								
Species	Intercept Coef. ± SE (p-value)	AMP Coef. ± SE (p-value)	Days flooded Coef. ± SE (p-value)	SST Coef. ± SE (p-value)	MEI Coef. ± SE (p-value)	Effort Coef. ± SE (p-value)	R ²	p model
Dourada (<i>B. rousseauxii</i>)	0.856 ± 0.400 (.002)					0.309 ± 0.087 (.002)	.75	.000
Piramutaba (<i>B. vaillantii</i>)	-28.693 ± 8.708 (.000)			-0.870 ± 0.299 (.001)		1.688 ± 0.309 (.000)	.67	.000
Filhote (<i>B. filamentosum</i>)	-3.100 ± 0.558 (.000)					1.129 ± 0.131 (.000)	.82	.000
MODEL II								
Dourada (<i>B. rousseauxii</i>)	22.370 ± 4.727 (.002)	0.001 ± 0.0005 (.028)		-0.767 ± 0.178 (.003)			.55	.002
Piramutaba (<i>B. vaillantii</i>)							.17	.623
Filhote (<i>B. filamentosum</i>)	15.252 ± 5.049 (.000)			-0.498 ± 0.185 (.016)			.31	.016

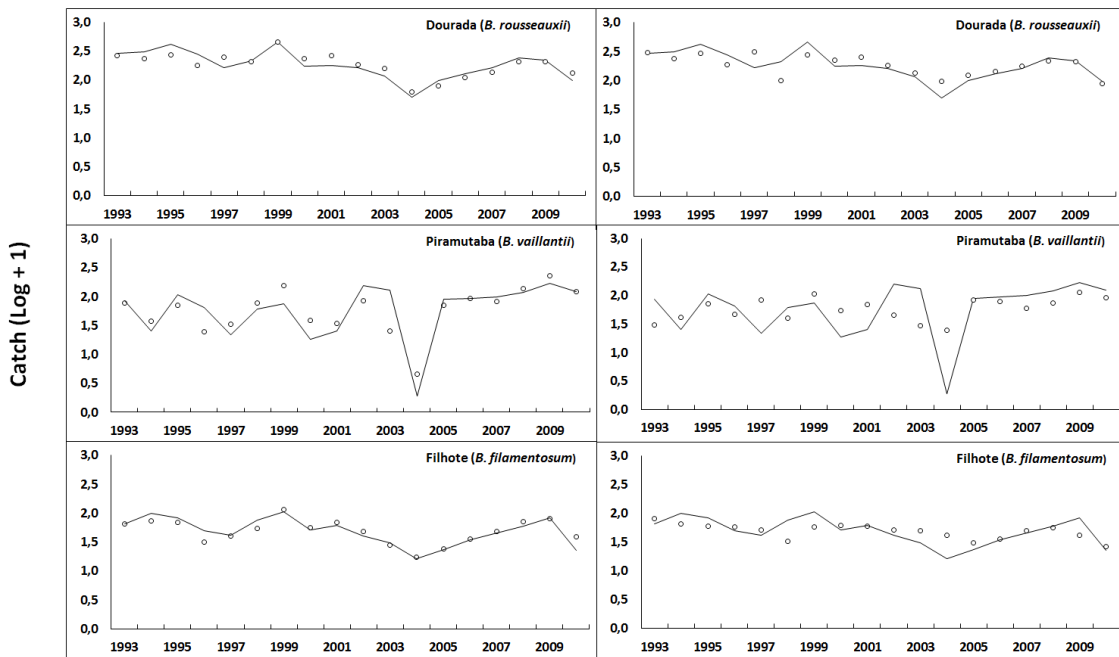


Figura 6: Observed catch data (lines) and estimated points (open circle) for each species of catfish through of the General Linear Model (GLM). Model I (left) and Model II (right).

4. Discussion

Our results show that over the years there was a decrease in the catches of *B. rousseauxii* and *B. filamentosum* in the studied region. According to Pauly et al. (2002) and (2005), this decline is a global trend for both marine and freshwater fisheries, being the pressure on aquatic resources and global warming some of the factors. In studies conducted in the Amazon, in the Solimões/Amazonas and tributary axis, similar trends were found for some fisheries (Petriere et al., 2004; Santos et al., 2018; Barros, 2019; Lima et al., 2020). Fish production data from the Upper Amazon (Leticia - Colombia and Tabatinga - Brazil) shows that there was a decline in *B. filamentosum* capture from 4000 t in 1983 to insignificant values until 2001 (Petriere et al., 2004). Lima et al. (2020), found in the Madeira River (Brazilian portion), a reduction of up to 74% in catches of *B. rousseauxii*, between 1990 and 2014.

Fishing effort, dam construction, microeconomics, and climate could synergistically mediate changes in catch that affect commercial landings (Stergiou et al., 1997; Pauly et al., 2005; Castelo et al., 2013; Santos et al., 2018; Lima et al., 2020).

B. vaillantii showed an upward trend in their catches. The explanation may be related to the fact that this resource is the only one that presents management measures among the giant catfish studied, thus regulating industrial trawling and protecting its nursery area, located in the Amazon estuary. The management of piramutaba aims to remove the stock from the state of overfishing, so the Brazilian government has adopted measures over the years aimed at preventing the capture and disposal of juvenile fish, such as minimum mesh size of the tunnel bag, closed season, vessel control and monitoring and restricting fishing areas (Barthem and Petrere, 1995; Bathem et al., 2015). These measures may have helped to reduce the impact of such fishing.

At present, stocks of dourada (*B. rousseauxii*) and piramutaba (*B. vaillantii*) are registered as overexploited (Alonso and Picker, 2005). However, *B. vaillantii* shown a small recovery after years of low production (Ruffino, 2014). About 16,000 fishermen exploit these resources along the river and estuary (Parente et al., 2005). An estimated production per year for the three species is about 40,000 t, with 14,486 t of *B. rousseauxii*, 24,789 t of *B. vaillantii* and 3,310 t of *B. filamentosum* (MPA, 2013). In the Lower Amazon region, these species are on the list of the ten most captured, with the highlight being the dourada that ranks second (Pinaya et al., 2016).

In model 1, fishing effort was the variable that most explained catch variability for the three catfish, presenting a positive relationship. This response

was already considered predictable. The significant association between effort variability and species capture variations is in agreement with other studies (Petrere et al., 2008; Cruz et al., 2017; Castello et al., 2015; Isaac et al., 2015; Isaac et al., 2016; Batista et al., 2018). However, in addition to fishing effort, there are other variables that will influence fishing yield, especially biophysical ones.

The effort fishing and climate change are stressors that can act together to reduce the abundance or occupation of tropical fish species (Barlow et al., 2018). Sea surface temperature (SST) showed a significant explanation (Model 1 and 2) for *B. rouseauxii*, *B. vaillantii* and *B. filamentosum* (Table 3). The SST was a negative predictor, which implies that its increase will compromise and decrease the capture of large Amazon giant catfish. Several studies indicate that the hydrological cycle of the great rivers in the Amazon integrates SST anomalies of the Equatorial Pacific and Tropical Atlantic, which influence the rainfall regime in the large-scale Amazon basin (Marengo et al., 2008a, 2008b; Cox et al., 2008, Yoon et al., 2009; Marengo et al., 2011; Pinaya et al., 2016; Pinaya et al., 2018). The warming of SST in tropical Atlantic North-South reflects directly in the form of below-normal flows and discharges, especially during the rainiest season, but also during the following seasons (Marengo et al., 2011). Variations in the intensity and extent of the dry season, associated with changes in frequency, will have profound biological, economic and social impacts for fishing in the region.

This impact on oscillation of the SST will cause damage to giant catfish, as shown in the models. The fish in this study are known for their migratory behavior. Thus, these individuals use the Amazon River estuary as a nursery area in their life cycle (Barthem and Goulding, 1997; Barthem et al., 2017). Rainfall is responsible for increasing water flow, transport and deposition of sediments to

the estuary region, controlling the discharge of fresh water and the charge of suspended particles from the interior of the Amazon River and its tributaries (Aller and Aller, 1986; Luiz et al., 1998), which is a favorable environment for fish growth, due to the great availability and richness of nutrients. However, increased SST will lead to nutrient depletion in the estuary region, which will affect the environment that was previously conducive to larval development and to increase species survival and abundance. This way, fewer individuals can continue their migration upstream.

In addition, hydrological changes will result in desynchronization of favorable conditions for the giant catfish migration to occur (Visser and Both, 2005). Drought, in particular, reduces the availability of migratory corridors between habitats such as canals and floodplains. Physicochemical changes in water can affect primary productivity and modify the trophic structure of food networks (Ficke et al., 2007; Lake, 2003), directly or indirectly affecting large migratory catfish, modifying the abundance of their food sources.

As the volume of water decreases, its temperature may increase and its oxygen concentration drop, becoming harmful or lethal to fish species (Ficke et al., 2007; Frederico et al., 2016; Lake, 2003). As the energy reserve in adult fish is divided between maintenance, growth and reproduction metabolism (Wootton, 1998), the increase in energy used to compensate for unfavorable thermal conditions will compromise growth and reproduction and increase susceptibility to disease. (Ficke et al., 2007; Freitas et al., 2012).

The Amazon basin is one of the most precipitation regions in the world and is a major source of atmospheric water vapor (Figueroa and Nobre, 1990), but in recent decades it has experienced a more variable climate, with severe droughts

in 2005, 2010 and 2016. Increased water stress is a dominant feature of some 21st century modeled climate scenarios for the Amazon (Cox et al., 2008; Salazar et al., 2007). Hadley Center's climate models predict, from the middle of this century, the transformation of the Amazon rainforest into savannah vegetation (Oyama and Nobre, 2003).

According to Betts et al. (2008), the synergic impacts of global climate change and deforestation should produce the reduction of rainfall in the Eastern Amazon. Both contribute to the reduction of flood areas and the connectivity between the aquatic environments. These changes should affect the life strategy of many fish species, especially migrators, with negative effects on recruitment and abundance of stocks (Vazzoller, 1996), as well as on local human populations that exploit these stocks as sources of protein and income (Freitas et al., 2013).

It is worth mentioning here that the catastrophic scenario for fishing in the Amazon only tends to get worse. Atypical effects of the hydrological cycle must be aggravated by human actions such as the construction of dams. According to Finer and Jenkins (2012) there are plans to build at least 151 new hydroelectric plants for all the Andean tributaries of the Amazon River. Dam construction affects the frequency and intensity of river flow, alter water temperature, the transport of sediment and nutrients, reduce flow, decrease fertilization of adjacent floodplains, and prevents fish migration routes (Agostinho et al., 2004; Freitas et al., 2012; Forsberg et al., 2017; Agostinho et al., 2016; Latrubesse, et al., 2017; Timpe and Kaplan, 2017), changing the hydrological regime (Arias et al., 2014), and consequently interfering with fishing productivity (Santos et al., 2018). In this way, dams present social and economic effects (Ferreira et al., 2014) that affect

fishermen who depend financially on the fishing resource for their consumption and family subsistence or for sale in local and regional markets.

The study results emphasize the importance of the precipitation for hydrological cycle, the aquatic environment and for humans in the Amazon. The impact of global variables and other anthropogenic factors compromise the survival of Amazonian fish stocks, especially giant catfish. Plans for the protection of then natural hydrology of Amazonian rivers are necessary to avoid the degradation of these important fisheries. It is of fundamental importance to resume fishing statistics in Brazil, so that it is possible to observe these impacts on fishing, in the economic, social and biological context. It is also suggested the creation of an international working group or committee with the governmental participation of all countries that share these resources, as well as the productive sector, scientists and traditional communities, to urgently discuss the conservation status of giant catfish and possible management measures.

Acknowledgement

The first author thanks Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for the graduate scholarship and the Programa Geral de Cooperação Internacional (PCGI/CAPES No: 26/2008) for the Sandwich Ph.D. (PCGI/CAPES No: 157464/2017-01).

References

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. *Rev. Fish. Biol. Fish.* 14: 11-19.

- Aller, J.Y., Aller, R.C., 1986. General characteristic of benthic faunas of the Amazon inner continental shelf with comparison to the shelf off the Changjiang River, East China Ser. Continental Shelf Research, 6(1/2): 291-310.
- Almeida, O.T. 2004. Fisheries management in the Brazilian Amazon. Imperial College, London. (PhD thesis).
- Almeida, O.T., Lorenzen, K., Mcgrath, D.G., Amara, L., Rivero, S., 2010. Importância econômica do setor pesqueiro na calha do rio Amazonas-Solimões. Novos Cadernos NAEA, 275: 1-14.
- Akinwande, M.O., Dikko, H.G., Samson, A., 2015. Variance Inflation Factor: As a Condition for the Inclusion of Suppressor Variable(s) in Regression Analysis. Open Journal of Statistics, 5, 754-767. <http://dx.doi.org/10.4236/ojs.2015.57075>
- Anderson, E.P., Jenkins, C.N., Heilpern, S., Maldonado-Ocampo, J.A., Carvajal-Vallejos, F.M., Encalada, A.C., Rivadeneira, J.F., Hidalgo, M., Cañas, C.M., Ortega, H., Salcedo, N., Maldonado, M., Tedesco, P.A., 2018. Fragmentation of Andes-to-Amazon connectivity by hydropower dams. Sci. Adv. 4, 1–7. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aao1642>.
- Arias, M.E., Piman, T., Lauri, H., Cochrane, T.A., Kumm, K., 2014. Dams on Mekong tributaries as significant contributors of hydrological alterations to

the Tonle Sap Floodplain in Cambodia. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 5303–5315. doi:10.5194/hess-18-5303-2014.

Barlow, J., França, F., Gardner, T.A., Hicks, C.C., Lennox, G.D., Barenguer, E., Castello, L., Economo, E.P., Ferreira, J., Guénard, B., Leal, C.G., Isaac, V., Lees, A.C., Parr, C.L., Wilson, S.K., Young, P.J., Graham, N.A.J., 2018. The future of hyperdiverse tropical ecosystems. *Nature* 559, 517–526. doi:10.1038/s41586-018-0301-1

Barros, D.F., 2019. A influência das características ambientais e pesqueiras sobre a pesca de áreas de várzea da Amazônia brasileira. 86 f. Tese de Doutorado (Universidade Federal do Pará). 86 f. Belém, Pará.

Barthem, R. B., Petrere Jr, M., 1995. Fisheries and population dynamics of the freshwater catfish *Brachyplatystoma vaillantii* in the amazon estuary. In: Armantrout, N.B., Condition of the World's Aquatic Habitat. Proceedings of the World Fisheries Congress, Theme 1. Athens, Greece. Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi. p.329-350.

Barthem, R.B., Petrere Jr., M., Isaac, V.J., Ribeiro, M.C.L.D.B., McGrath, D.G., Vieira, I.J.; Barco, M.V., 1997. A pesca na Amazônia: problemas e perspectivas para o seu manejo. In: Valladares-Pádua, C., Bodmer, R. E. (Eds.). Manejo e conservação de vida silvestre no Brasil. Rio de Janeiro: MCT/CNPq/Sociedade Civil Mamiarauá, p 173-185.

Barthem, R., Goulding, M., 1997. The catfish connection. Ecology, migration and conservation of Amazon predators, New York: Columbia University Press.

Barthem, R.B., Fabr e, N.N., 2004. Biologia e diversidade dos recursos pesqueiros da Amazônia. p. 17-51. In: Ruffino, M.L. A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia Brasileira. Manaus: Ibama/ProVárzea. 268p.

Barthem, R.B., Goulding, M., 2007. An unexpected ecosystem: the Amazon revealed by the fisheries. Gráfica Biblos, Lima. Botanical Garden Press. Missouri. 241 pp.

Barthem, R.B., Mello Filho, A., Assun o, W., Gomes, P.F., Barbosa, C.A.C., 2015. Estrutura de tamanho e distribui o espacial da piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*) na foz Amazônica: implica es para o manejo da pesca. Bol. Inst. Pesca, São Paulo, v. 41, n. 2, p. 249-260.

Barthem, R., Goulding, M., Leite, R. G., Ca as, C., Forsberg, E. V., Petry, P., Ribeiro, M. L. B., Chuctaya, J., Mercado, A., 2017. Goliath catfish spawning in the far western Amazon confirmed by the distribution of mature adults, drifting larvae and migrating juveniles. Scientific Reports, v.7, p. 41784. doi: 101038/srep41784.

Bayley, P.B., Petrere, M., 1989. Amazon fisheries: assessment methods, current status and management points. In: Dodge D.P. (Ed.). Proceedings of the international large symposium. Ottawa: Department of Fisheries and

Oceans. p. 385-398. (Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 106).

Bayley, P.B. 1995., Understanding large river–floodplain ecosystems. *BioScience*, 45, 153–158.

Bartley, D.M., De Graaf, G.J., Valbo-Jorgensen, J., Marmulla, G., 2015. Inland capture fisheries: status and data issues. *Fish. Manage. Ecol.* 22(1): 71–77. doi:10.1111/fme.12104.

Badjeck, M.C., Allison, E.H., Halls, A.S., Dulvy, N.K., 2009. Impacts of climate variability and change on fishery-based livelihoods. *Marine Policy*, doi:10.1016/j.marpol.2009.08.007

Batista, V., Alonso, J. C., Ladle, R. J., Fabr e, N.N., 2018. Drivers of the upper River Amazon giant catfish fishery. *Fisheries Management and Ecology*, p. 1–11. doi: 10.1111/fme.12270

Belsley, D.A., Kuh, E., Welsch, R.E., 2004. *Regression diagnostics: identifying influential data and sources of collinearity*. New York: John Wiley. 292p.

Betts, R., Sanderson, M., Woodward, S., 2008. Effects of large-scale Amazon forest degradation on 304 climate and air quality through fluxes of carbon dioxide, water, energy, mineral dust and 305 isoprene. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 363, 1873–1880. doi:10.1098/rstb.2007.0027

Bonnet, M.P., Barroux, G., Martinez, J.M., Seyler, F., Moreira-Turcq, P., Cochonneau, G, et al. 2008. Floodplain hydrology in an Amazon floodplain lake (Lago Grande de Curuaí). *J. Hydrol.* 349: 18–30. doi:10.1016/j.jhydrol.2007.10.055

Castello, L., McGrath, D.G., Hess, L.L., Coe, M.T., Lefebvre, P.A., Petry, P., Macedo, M.N., Renó, V.F., Arantes, C.C., 2013. The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. *Conserv. Lett.* 6, 217–229.

Castello, L., Macedo, M.N., 2016. Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. *Global Change Biology*, 22, 990–1007. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.13173>.

Castello, L., Isaac, V.J., Thapa, R., 2015. Flood pulse effects on multispecies fishery yields in the Lower Amazon. *R. Soc. Open Sci.* 2, 150299.

Castro, F., McGrath, D., 2001. O manejo comunitário de lagos na Amazônia. *Parcerias Estratégicas*, 12: 112–126.

Cleveland, W.S., Grosse, E., Shyu, W.M., 1992. Local regression models. *Statistical Models in S*, Chapter 8. J.M. Chambers and T.J. Hastie (Eds). Chapman and Hall/CRC. 624p.

- Cruz, R.E.A., Isaac, V.J., Paes, E.T., 2017. A pesca da dourada *Brachyplatystoma rousseauxii* (Castelnau,1855) na região do Baixo Amazonas, Brasil. Boletim do Instituto de Pesca, 43(4): 474-486. <http://dx.doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n4p474>.
- Cox, P., Harris, P., Huntingford, C., Betts, R.A., Collins, M., Jones, C.D., Jupp, T.E., Marengo, J.A., Nobre, C.A., 2008. Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. Nature 453, 212–215 doi:10.1038/nature06960
- De Graaf G., 2003. Dynamics of floodplain fisheries in Bangladesh, results of 8 years fisheries monitoring in the compartmentalization pilot project. Fisheries Management and Ecology, 10:191-199.
- De Graaf, G., Bartley, D., Jorgensen, J., Marmulla, G., 2015. The scale of inland fisheries, can we do better? Alternative approaches for assessment. Fisheries Management and Ecology, 22, 64–70.
- Doria, C.R.D.C., Ruffino, M.L., Hijazi, N.C., Cruz, R. L., 2012. A pesca comercial na bacia do Rio Madeira no estado de Rondônia, Amazônia brasileira. Acta Amazonica, 42, 29–40.
- Doria, C.R.C., Athayde, S., Marques, E.E., Lima, M.A.L., Dutka-Gianelli, J., Ruffino, M.L., Kaplan, D., Freitas, C.E.C., Isaac, V.N., 2017. The invisibility of fisheries in the process of hydropower development across

the Amazon. Royal Swedish Academy of Sciences, 47(4): 453-465. Doi: 10.1007/s13280-017-0994-7

Duponchelle, F.; Pouilly, M.; Pécheyran, C.; Hauser, M.; François Renno, J.; Panfili, J.; Darnaude, A. M.; García-Vasquez, A.; Carvajal-Vallejos, F.; García-Dávila, C.; Doria, C.; Bérail, S.; Donard, A.; Sondag, F.; Santos, R. V.; Nuñez, J.; Point, D.; Labonne, M.; Baras, E., 2016. Trans-Amazonian natal homing in giant catfish. *Journal of Applied Ecology*. 53, 1511–152.

Faraway, J.J., 2006. *Extending the Linear Model with R Generalized Linear, Mixed Effects and Nonparametric Regression Models*. Boca Raton London New York 1-28p.

Ferreira, J., Aragão, L.E.O.C., Barlow, J., Barreto, P., Berenguer, E., Bustamante, M., ... Pardini, R., 2014. Brazil's environmental leadership at risk. *Science*, 346(6210), 706–707. doi: 10.1126/science.1260194.

Fearnside, P.M., 2013. Viewpoint-decision making on amazon dams: Politics trumps uncertainty in the Madeira River sediments controversy. *Water Alternatives*, 6, 313–325.

Ficke, A.D., Myrick, C.A., Hansen, L.J., 2007. Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 17, 581-613. <https://doi.org/10.1007/s11160-007-9059-5>

Figueroa, S.N., Nobre, C.A., 1990. Precipitation distribution over central and western tropical South America. *Climanálise*, v.5, p. 36-45.

Finer, M., Jenkins, C. N., 2012. Proliferation of hydroelectric dams in the Andean Amazon and implications for Andes-Amazon connectivity. *Plos ONE*, 7(4).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035126>

Forsberg, B.R., Melack, J.M., Dunne, T., Barthem, R.B., Goulding, M., Paiva, R.C.D.,, Weisser, S., 2017. The potential impact of new Andean dams on Amazon fluvial ecosystems. *Plos One*, 12.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182254>

Frederico, R.G., Olden, J.D., Zuanon, J., 2016. Climate change sensitivity of threatened, and largely unprotected, Amazonian fishes. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 26, 91-102.
<https://doi.org/10.1002/aqc.2658>

Freitas, C.E.C., Rivas, A.A.F., Campos, C.P., Sant'Ana, I., Kahn, J.R., Correa, M.A.M., Catarino, M.F., 2012. The Potential impacts of global climatic changes and dams on Amazonian fish and their fisheries. In: Turker, H. (Ed.), *New Advances and Contributions to Fish Biology*, InTech.,
<http://dx.doi.org/10.5772/54549>, Available from:
<http://www.intechopen.com/books/new-advances-and-contributions-to-fish-biology/potential-impacts-of-global-climate-change-and-dams-on-amazonian-freshwater-fish-and-its-fisheries>.

Gómez, R.S., Pérez,J.G., Martín, M.D.M.L, García, C.G., 2016. Collinearity diagnostic applied in ridge estimation through the variance inflation factor, *Journal of Applied Statistics*, 43:10, 1831-1849, doi: 10.1080/02664763.2015.1120712

Gilbert, R.O., 1987. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. John Wiley and Sons, New York.

Hess, L.L., Melack, J.M., Novo, E.M.L.M., Barbosa, C.C.F., Gastil, M., 2003. Dual-seasonmapping of wetland inundation and vegetation for the central Amazon basin.*Remote Sens. Environ.* 87, 404–428.

Isaac, V.J., Milstein, A., Ruffino, M.L., 1996. A pesca artesanal no Baixo Amazonas: Análise multivariada da captura por espécie. *Acta Amazonica*, 26(2): 185-208.

Isaac, V. J., Ruffino, M.L., Mello, P., 2000. Considerações sobre o método de amostragem para a coleta de dados sobre captura e esforço pesqueiro no Médio Amazonas. p. 175-200. In: *Recursos pesqueiros do Médio Amazonas: biologia e estatística pesqueira*. Coleção Meio Ambiente, Série Estudos Pesca, 22. Brasília: IBAMA, 349p.

Isaac, V., Almeida, M., Cruz, R., Nunes, L., 2015. Artisanal fisheries of the Xingu River basin in Brazilian Amazon. *Braz. J. Biol.* 75, 125–137. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.00314bm>.

Isaac, V. J., Castello, L., Santos, P. R. B., Ruffino, M. L., 2016. Seasonal and interannual dynamics of river-floodplain multispecies fisheries in relation to flood pulses in the Lower Amazon. *Fisheries Research*, 183, 352–359. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.06.017>

Junk, W. J., Bayley, P. B., Sparks, R. E., 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. In D. P. Dodge (Ed.), *Proceedings of the international large river symposium* (pp. 110–127). Honey Harbour, Ontario, Canada: Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.

Lake, P.S., 2003. Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters. *Freshwater Biology*, 48, 1161-1172.

Latrubesse E.M., Arima, E.Y., Dunne, T., Park, E., Baker, V.R., d’Horta, F.M., Wight, C., Wittmann, F., Zuanon, J., Baker, P.A., Ribas, C.C., Norgaard, R.B., Filizola, N., Ansar, A., Flyvbjerg, B., Stevaux, J.C., 2017. Damming the rivers of the Amazon basin. *Nature* 546(7658):363–369 DOI 10.1038/nature22333.

Lima, M.A.L.; Kaplan, D.A.; Doria, C.R.C., 2017 Hydrological controls of fisheries production in a major Amazonian tributary. *Ecohydrology*, 10(8): e1899. <http://dx.doi.org/10.1002/eco.1899>.

Lima, M.A.L., Carvalho, A.R., Nunes, M.A., Angelini, R., Doria, C.R.C, 2020.

Declining fisheries and increasing prices: The economic cost of tropical rivers impoundment. *Fisheries Research*, January 2020, 105399.
<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105399>

Lowe-McConnell, R.H. 1999. *Ecological studies in tropical fish communities*. Cambridge Tropical Biology Series. Cambridge University Press, Cambridge.

Luiz, E.A., Agostinho, A.A., Gomes, L.C., Hahn, N.S.,1998. Ecologia trófica de peixes em dois riachos da Bacia do Rio Paraná. *Rev. Bras. Bio.* 58(2): 273-285 p.

Lynch, A. J., S. J. Cooke, A. M. Deines, S. D. Bower, D. B. Bunnell, I. G. Cowx, V. M. Nguyen, J. Nohner, et al. 2016. The social, economic, and environmental importance of inland fish and fisheries. *Environmental Reviews* 24: 115–121. doi:10.1139/er2015-0064.

Marengo, J., Nobre, C.A., Tomasella, J., Cardoso, M., Oyama, M.D, 2008 a. Hydro-climatic and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005. *Philos. T. Roy. Soc. B.*, v. 363, p. 1773-1778.

Marengo, J. A., Nobre, C., Tomasella, J., Oyama, M., Sampaio, G., Oliveira, R., Camargo Jr, H., Alves, L., Brown, F., 2008b The drought of Amazonia in 2005. *J.Climate*, v. 21, p. 495-516, 2008a,doi: 10.1175/2007JCLI1600.1.

Marengo, J.A., Tomasella, J., Alves, L., Soares, W.,Rodriguez, D., 2011. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, v. 38, L12703, p. 1-5. doi:10.1029/2011GL047436.

Mérona, B., Gascuel, D. 1993. The effects of flood regime and fishing effort on the overall abundance of an exploited fish community in the Amazon floodplain. *Aquatic Living Resources*, 6(2), 97–108. <https://doi.org/10.1051/alr:1993010>

Mérona, B., 1995. Ecologia da pesca e manejo pesqueiro na região Amazônica. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Antropologia*, 11(2): 167-183.

Moses B.S. 1987. The influence of flood regime on fishcatch and fish communities of the Cross Riverfloodplain ecosystem, Nigeria. *Environmental Biology of Fishes*, 18(1): 51-65.

MPA. 2013. Boletim estatístico de pesca e aquicultura do Brasil 2011. Brasília: Ministério da Pesca e Aquicultura.

Oyama, M.D., Nobre, C.A., 2003. A new climate-vegetation equilibrium state for tropical South America. *Geophys.Res.Lett.*, v. 30, 2199, n. 23. doi:10.1029/2003GL018600

Parente, V.M., Farias, V.E., Carvalho, A.R., Fabr e, N.N., 2005. A pesca e a economia de bagres no eixo Solimões-Amazonas. In N.N. Fabr e, & R. B. Barthem (Eds.), *O manejo da pesca dos grandes bagres migradores: Piramutaba e Dourada no eixo Solimões-Amazonas* (pp. 21–28). Manaus: Provárzea/IBAMA.

Pauly, D., Christensen, V., Gu nette, S. *et al.* 2002. Towards sustainability in world fisheries. *Nature* 418, 689–695. doi:10.1038/nature01017.

Pauly, D., Warson, R., Alder, J., 2005. Global Trends in World Fisheries: Impacts on Marine Ecosystems and Food Security. *Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences* 360: 5-12.

Pavlovic, M., Simonovic, P., Stojkovic, M., Simic, V., 2015. Analysis of diet of piscivorous fishes in Bovan, Gruza and Sumarice Reservoir, Serbia. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 14 (4), 908-923.

Petrere, M., 1978. Pesca e esforço de pesca no estado do Amazonas. I. Esforço e captura por unidade de esforço. *Acta Amazonica*, 8: 439- 454.

Petrere, M., Barthem, R. B., Córdoba, E. A., Gómez, B. C., 2004. Review of the large catfish fisheries in the upper Amazon and the stock depletion of piraíba (*Brachyplatystoma filamentosum* Lichtenstein). *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 14(4), 403–414. <https://doi.org/10.1007/s11160-004-8362-7>

Petrere Jr, M., Giacomini, H.C., De Marco Junior, P., 2010 Catch-per-unit-effort: which estimator is best? *Brazilian Journal of Biology*, 70(3): 483-491.

Pinaya, W.H.D., Lobon-Cervia, F.J., Pita, P., Buss De Souza, R., Freire, J., Isaac, V.J., 2016. Multispecies Fisheries in the Lower Amazon River and its Relationship with the Regional and Global Climate Variability. *PLoS One* 11(6): e0157050.

Pinaya, W. H. D., Pita, P., Buss De Souza, R., Lobon-Cervia, F. J., Freire, J., Isaac, V.J., 2018. The Catfish fishing in the Amazon floodplain lakes. *The Catfish Fishing in the Amazon Floodplain Lakes. Oceanogr Fish Open Access J.* 2018; 7(4): 555720. doi:[10.19080/foaj.2018.07.555720](https://doi.org/10.19080/foaj.2018.07.555720)

Petrere Jr., M., 1985. A pesca comercial no rio Solimões-Amazonas e seus afluentes: análise dos informes do pescado desembarcado no Mercado Municipal de Manaus (1976-1978). *Ciência e Cultura*, 37(12): 1987-1999.

Petrere Jr, M., Barthem, R.B., Córdoba, E.A., Gómez, B.C., 2004. Review of the large fisheries in the upper Amazon and de stock depletion of piraíba

(*Brachyplatystoma filamentosum* Lichtenstein). Reviews in Fish Biology and Fisheries. Brasil. v. 14. p. 403-414.

R Core Team. 2017. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Ruffino, M.L., 2014. Status and trends of the fishery resources of the Amazon basin in Brazil. Inland fisheries evolution and management. Case studies from four continents. FAO Technical Paper, 1–19.

Santana, I.F., Freitas, C.E.C., 2013. A time series analysis of *Prochilodus nigricans* landings caught by small-scale fisheries in the lower stretch of the Amazon River. Braz. J. Biol., 2013, vol. 73, no. 1, p. 53-59.

Santos, R.E., Pinto-Coelho, R.M., Fonseca, R., Simões, N.R., Zanchi, F.B., 2018. The decline of fisheries on the Madeira River, Brazil: the high cost of the hydroelectric dams in the Amazon Basin. Fish. Manage. Ecol. 1–12. <https://doi.org/10.1111/fme.12305>

Stenseth, N.C., Mysterud, A., Ottersen, J. W., Hurrell, K.S., Chan, M.O., 2002. Ecological effects of climate fluctuations. *Science* 297:1292-1296. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1071281>

Stergiou, K.I., Christou, E. D., Petrakis, G., 1997. Modelling and forecasting monthly fisheries catches: Comparison of regression, univariate and multivariate time series methods. *Fisheries Research*, v, 29(1), p. 55–95. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(96\)00482-1](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(96)00482-1)

Shumway, R. H., Stoffer, D. S., 2000. *Time Series Analysis and its Applications*. Springer, Dordrecht. 549 pp.

Sumontha, M., Nootmorn, P., Keereerut, P., Jayasinge, R.P.P.S., Jagannath, N. & Sinha, M. K. 2008. Stomach content of the large pelagic fishes in the Bay of Bengal. In *The Ecosystem-Based Fishery Management in the Bay of Bengal* (Anon., ed.), pp. 206–220. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives. Available at www.map.seafdec.org/downloads/BIMSTEC/BIMSTEC.pdf

Timpe, K., Kaplan, D., 2017. The changing hydrology of a dammed Amazon. *Sci. Adv.* 3, e1700611.

Vazzoler, A. E.M.M., 1996. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: Teoria e prática* (pp. 169). Maringá: EDUEM.

Venables, W.N. and Ripley, B.D., 2002. *Modern Applied Statistics with S* (4th Edition). Springer-Verlag New York. 498p.

Visser, M.E., Both, C., 2005. Shifts in phenology due to global climate change:

the need for a yardstick. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272, 2561-2569.

Welcomme, R. L., 1985. *River Fisheries*. Rome: FAO.

Welcomme, R.L., Cowx, I.G., Coates, D., Béné, C., Funge-Smith, S., Halls, A., and Lorenzen, K., 2010. Inland capture fisheries. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B, Biol. Sci.* 365(1554): 2881–2896. doi:10.1098/rstb.2010.0168.

Winemiller, K.O., McIntyre, P.B., Castello, L., Fluet-Chouinard, E., Giarrizzo, T., Nam, S., Stiassny, M.L.J., 2016. Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. *Science*, 351(6269), 128–129.

Wootton, R.J., 1998. *Ecology of Teleost Fishes*. 2nd Edition, Kuwer Academic Publishers, Dordrecht.

Yue, S., Pilon, P.J., Phinney, B., Cavadias, G., 2002. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Process*, v.16, p.1807-1829. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.1095>

Yue, S., Pilon, P., 2004. A comparison of the power of the t test, Mann-Kendall and bootstrap tests for trend detection. *Hydrological Sciences Journal*, v.49, p.53-37, <http://dx.doi.org/10.1623/hysj.49.1.21.53996>

Yoon J.H., Zeng N., 2010. An Atlantic influence on Amazon rainfall. *Climate Dynamics* 34 (2–3): 249– 264.

CAPÍTULO 2

ASPECTOS ECONÔMICOS DA PESCARIA DOS GRANDES BAGRES NO BAIXO AMAZONAS, BRASIL

Artigo a ser submetido para revista *Boletim do Instituto de Pesca* Versão Online
ISSN 1678-2305.

ASPECTOS ECONÔMICOS DA PESCARIA DOS GRANDES BAGRES NO BAIXO AMAZONAS, BRASIL

RESUMO

A pesca dos grandes bagres na Amazônia é responsável por gerar emprego e renda, porém a sustentabilidade econômica da exploração desses estoques é desconhecida. No Brasil, dados econômicos da pesca são geralmente escassos, o que dificulta o desenvolvimento de políticas públicas e a tomada de decisão para o setor que garanta conservação dos estoques e lucratividade para o setor. Nesse estudo, foram analisados os aspectos econômicos da pescarias dos grandes bagres, na região do Baixo Amazonas, com o intuito de estimar os custos de produção e indicadores de viabilidade econômica da atividade. O investimento necessário à implementação da atividade é alto, em torno de R\$ 153.000,00. As despesas com combustível e mão de obra são os itens operacionais mais onerosos. Apesar dos elevados custos da atividade, os indicadores econômicos mostram que a pesca de grandes bagres apresenta viabilidade econômica, boa margem de lucro e rendimentos tanto para o pescador, como para o proprietário do barco. Contudo, se alerta aos tomadores de decisão sobre o risco de retornos negativos desta pescaria para os próximos anos, caso não seja realizada nenhuma medida para assegurar a sustentabilidade biológica dos estoques, vistas as inúmeras ameaças existentes.

Palavras-chave: microeconomia, pesca comercial, Amazônia, Pimelodidae

1. Introdução

A pesca de águas interiores ou continentais propicia emprego e renda para os envolvidos em todo o mundo, bem como, contribui para a segurança alimentar e bem estar social (Almeida et al., 2001; Welcomme et al., 2010; De Graaf et al., 2015; Lynch et al., 2016).

No Brasil, aproximadamente mais da metade da produção pesqueira extrativa continental é proveniente da região amazônica (MPA, 2013). Só na calha principal do rio Amazonas a pesca gera uma receita anual de US\$ 278 milhões (Almeida, 2004; Almeida et al., 2010).

As espécies de dourada (*Brachyplatystoma rousseauxii*), piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*) e filhote (*Brachyplatystoma filamentosum*), conhecidos como “os grandes bagres da Amazônia”, são espécies preferidas pela pesca comercial em quase toda a sua área de ocorrência (Vieira, 2005; Petrere et al., 2004), sendo capturadas pela pesca industrial de arrasto no estuário e pela pesca artesanal no resto da bacia. A atividade envolve em torno de 16.000 pescadores que exploram esses recursos ao longo do rio e estuário amazônico (Parente et al., 2005). A produção anual para as três espécies é de cerca de 40.000 t, com 14.486 t de *B. rousseauxii*, 24.789 t de *B. vaillantii* e 3.310 t de *B. filamentosum* (MPA, 2013). A comercialização atende os mercados regional, nacional e internacional (Barthem, 1990; Barthem et al., 1991; Isaac et al., 1996; Parente et., 2005).

A distribuição dos recursos pesqueiros e a dinâmica das pescarias na Amazônia, sofrem fortes influências do ciclo hidrológico e do pulso sazonal de inundação (Welcome, 1985; Junk et al., 1989; Barthem e Fabré, 2004). As oscilações do nível do rio Amazonas/Solimões apresentam um período regular

de águas altas (cheia) e outro de águas baixas (seca) (LoweMcConnell, 1975; Junk et al., 1989).

No Baixo Amazonas, a captura artesanal dos grandes bagres na calha do rio é sazonal e o ciclo de vida das espécies é correlacionado com o ciclo hidrológico, sendo o período de águas baixas, o de maior produtividade (safra) provavelmente devido à maior capturabilidade das artes de pesca nesse período (Batista et al., 2004; Isaac et al., 2016; Cruz et al., 2017). As pescarias ocorrem com barcos de madeira motorizados, que servem para transportar a tripulação de pescadores, as canoas, que auxiliam na pescaria, e o pescado. Ao chegar aos pesqueiros as canoas são ocupadas por um ou dois pescadores que se afastam do barco “mãe” para pescar no canal do rio, utilizando redes de emalhe que ficam à deriva. Após a jornada de pesca, as canoas retornam para guardar sua produção no barco “mãe” (Almeida et al., 2009).

Apesar de vários estudos sobre a biologia e dinâmica da pesca destes recursos na Amazônia (Barthem e Goulding, 1997; Alonso, 2002; Alonso e Picker, 2005; Barthem e Golding, 2007; Barthem et al., 2015; Cruz et al., 2017; Batista et al., 2018; Hauser et al., 2018), a viabilidade econômica destas pescarias ainda não foi devidamente avaliada. As longas distâncias percorridas para os pesqueiros e a dispersão dos pescadores são fatores que dificultam o cálculo da renda da pesca dessas espécies, em toda a sua área de ocorrência (Parente et al., 2005).

Contudo, a estimativa de custos e de indicadores de viabilidade econômica são importantes na aferição da rentabilidade destas pescarias e úteis na definição de estratégias de gestão dos recursos pesqueiros (Cambie et al., 2012; Anderson et al., 2015; Almeida, 2018; Rodrigues et al., 2018; Araujo et al., 2020),

assim como, são utilizados para prever, explicar, monitorar e avaliar impactos da pesca sobre as condições socioambientais da região (Branch et al., 2006; Daurès et al., 2013).

As pesquisas na área de recursos pesqueiros são essencialmente de caráter multidisciplinar, pois a adoção de estratégias de manejo requer a integração dos conhecimentos biológicos e ecológicos com informações de cunho econômico e social (Castello, 2008).

No entanto, no Brasil dados econômicos sobre a pesca são escassos (Inomata e Freitas, 2015; Rodrigues et al., 2018). Isto porque os sistemas de monitoramento pesqueiro quando existem, não coletam dados econômicos (custos, receita e lucros), priorizando apenas dados de captura e esforço de pesca por espécie desembarcada. Ademais, muitos pescadores, armadores e empresários apresentam resistência em fornecer informações sobre suas rendas, para evitar órgãos de controle fiscal ou mesmo competidores comerciais (Rodrigues et al., 2018). Esta falta de informação constitui uma das principais barreiras à administração e à sustentabilidade da atividade pesqueira (Almeida et al., 2001; Barthem e Fabré, 2004; Cruz et al., 2017).

Apesar das dificuldades mencionadas, alguns cientistas pesqueiros brasileiros vêm desenvolvendo estudos econômicos no país, tanto em ambientes marinhos/estuarinos (Carvalho et al., 2005; Espírito Santo, 2012; Rodrigues et al., 2019), como também em águas continentais (Almeida et al., 2001; Cardoso et al., 2004; Cardoso e Freitas, 2006; Inomata e Freitas, 2015, Almeida, 2018; Araujo et al., 2020).

Uma vez constatados sinais de sobrepesca e declínio das capturas dos grandes bagres amazônicos (Petrere et al., 2004; Alonso e Picker, 2005), a

carência de informações de desempenho econômico, podem ser um importante fator que contribua para insustentabilidade da pescaria. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo, estimar a viabilidade econômica das pescarias artesanais destes recursos na região do Baixo Amazonas, respondendo os seguintes questionamentos: Quais os custos, receitas e os lucros da pescaria? Os custos comprometem a renda dos agentes econômicos que desenvolvem esse tipo de pescaria? A pesca dos grandes bagres é sustentável economicamente?

2. Materiais e métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende a região do Baixo Amazonas (bacia amazônica oriental), que se estende da foz do rio Xingu até a região fronteira do estado do Amazonas (Isaac et al., 1996; Ruffino, 1996; Cruz et al., 2017), onde ocorrem importantes pescarias de grandes bagres. Os dados foram tomados principalmente no município de Santarém, localizado no estado do Pará, principal local de desembarque (80%) e centro de comercialização de peixes da região (Figura 1).

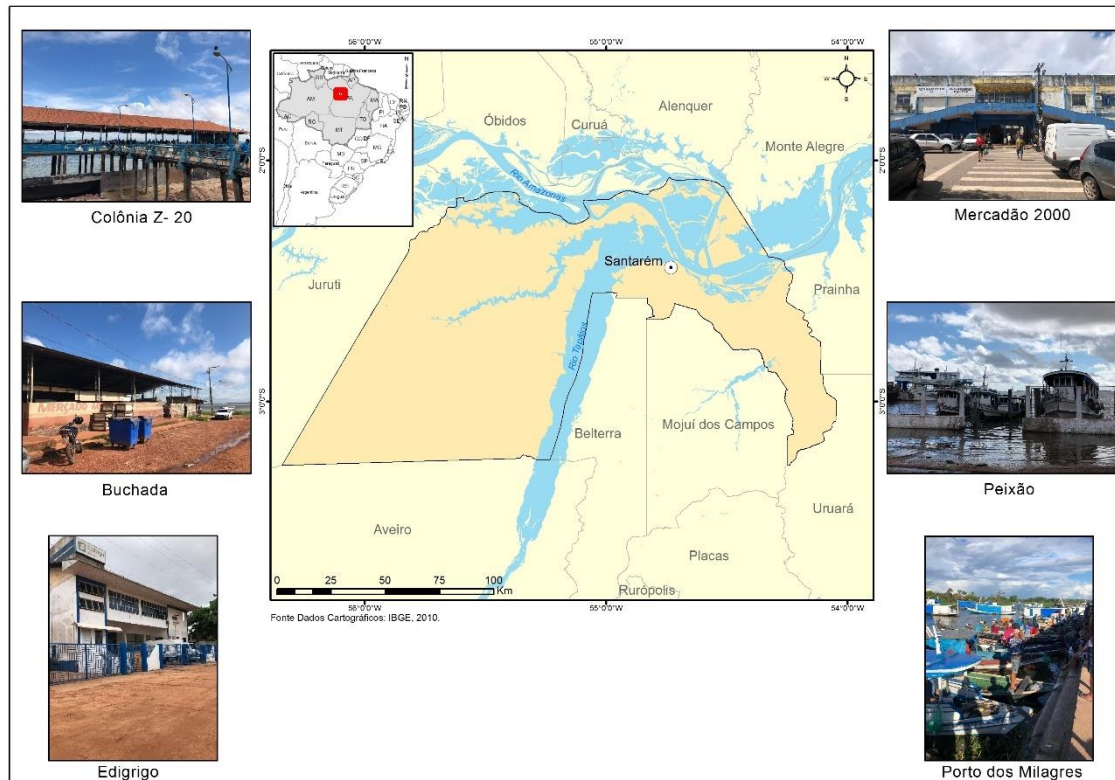


Figura 1: Mapa da área de estudo com os seis portos de desembarque onde ocorreram as entrevistas no município de Santarém-PA, Baixo Amazonas, Brasil.

2.2 Coleta de dados

Os dados econômicos foram coletados por meio de questionários semiestruturados, aplicados aos donos das embarcações, durante a atividade de desembarque. Como critério, foram entrevistados apenas aqueles que afirmaram ter como espécie alvo de suas pescarias os grandes bagres, a saber: dourada (*Brachyplatystoma rousseauxii*), piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*) e filhote (*Brachyplatystoma filamentosum*) e que atuavam com barcos motorizados, utilizando rede de emalhe à deriva, sendo esta a principal combinação usada para capturar estes bagres (Cruz et al., 2017).

Os dados foram coletados por meio de entrevistas realizadas em três viagens de campo: setembro de 2017, novembro de 2018 e agosto de 2019, em seis portos de desembarque (Figura 1) totalizando 31 questionários. Foram

registradas informações sobre: (i) as características tecnológicas das embarcações e petrechos, como comprimento da embarcação (m), capacidade de urna (t), quantidade de redes (unidades), comprimento e altura da rede (m), potência do motor (hp); (ii) detalhes das pescarias, como número de pescadores, dias de pesca, captura (kg) por espécie, preço de primeira comercialização (R\$) por espécie, quantidade e preço dos insumos utilizados (combustível, gelo, alimentação, medicamentos, gás e lubrificante) e valores pago com mão de obra. (iii) dados sobre aquisição, investimento e manutenção dos bens utilizados nas pescarias, como preços da embarcação, do motor, dos apetrechos, entre outros e (iv) despesas com taxas para a colônia e guia de recolhimento previdenciário (GRP).

Todas essas informações foram necessárias para estimar os custos e a rentabilidade econômica advinda de cada viagem. No entanto, com o intuito de aumentar a confiabilidade e confrontar os dados coletados através dessas entrevistas, utilizaram-se também os dados de desembarque pesqueiro, gerados pelos projetos IARA/IBAMA e Provárzea/IBAMA (1993 a 2010), bem como, o dados de julho/2018 a junho/2019 obtidos no frigorífico Peixão, em Santarém, referentes à captura (kg) e preço de primeira comercialização (R\$). Ademais, levantaram-se informações acerca dos preços dos bens e equipamentos utilizados na pesca, assim como, dos preços de insumos, através de visitas aos estabelecimentos de venda no comércio local da cidade de Santarém-PA.

2.3 Análise de dados

Foi realizada análise descritiva das características das embarcações, apetrechos, captura, esforço de pesca e preço de primeira comercialização.

As fórmulas para calcular os indicadores econômicos são apresentadas na Tabela 1.

A viagem de pesca foi definida como a unidade básica para as estimativas médias de custos, receita total e lucros de cada pescaria na safra. O período da safra neste estudo compreende os meses de julho, agosto, setembro e outubro (Cruz et al., 2017).

O investimento (I) é o total em dólares necessário para iniciar na atividade da pesca, sendo estimado a partir dos valores de aquisição dos bens (embarcação, motor, rede, rádio, bateria, balança, basqueta e lona). Para eliminar o efeito da inflação sobre os valores monetários dos bens adquiridos ou qualquer valor antes de 2019, foi aplicado o Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna (IGP-DI), tomando como base setembro de 2019, disponível no site do IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada).

Os custos fixos, referem à depreciação e desembolsos relativos à manutenção dos bens e pagamento de encargos ou taxas e são independentes do volume produzido. A depreciação dos bens (D), trata do desgaste por uso ou ação da natureza (Oliveira Neto et al., 2008; Guiducci et al., 2012), estimada através do valor do investimento (R\$) dividido pela vida útil de cada item. A vida útil dos bens foi determinada pelas respostas dos entrevistados sobre essa questão, levando em consideração suas experiências, e pela tabela de vida útil de bens agropecuários da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2010). A manutenção dos bens (M) se refere aos desembolsos que visam manter os equipamentos em condições de funcionamento e incluiu gastos com pintura, calafeto, revisão do motor, reparo da urna, calibragem da balança e reparo das redes, entre outros. As taxas (T) completam os custos fixos. Foram incluídas as

despesas com pagamentos mensais à Colônia dos Pescadores e taxas anuais do GRP (Guia de Recolhimento da Previdência) para o recebimento do seguro desemprego, durante o defeso.

Os custos variáveis (CV) representam as despesas com combustível (CC), gelo para conservação do pescado (CG), alimentação do envolvidos na pescaria (CA), gás de cozinha (CGa), lubrificante para o motor (CL), medicamentos (CM) e pagamento de mão de obra (MO). O custo operacional (CO) é estimado pela soma dos custos fixos e os custos variáveis.

O custo de oportunidade (CDO) trata do investimento alternativo que poderia ser obtido através da aplicação do capital no mercado financeiro (Arbage, 2000; CONAB, 2010), caso os investimentos financeiros não tivessem sido utilizados na pesca de grandes bagres. Para este estudo foi utilizado o percentual de 6% ao ano (MAPA, 2018). Por fim, o custo total (CT) é a soma do custo operacional (CF + CV) mais o custo de oportunidade.

A receita total (RT) das viagens de pesca foi estimada a partir da multiplicação da quantidade capturada (kg) e o preço de cada espécie na primeira comercialização.

O lucro bruto (LB) e lucro líquido (LL) correspondem à diferença entre a receita total obtida pela comercialização, deduzida do custo operacional e total, respectivamente.

Foram estimados também os seguintes indicadores: (1) Relação custo benefício (BC) que é relação entre receita total e custo, indicando o benefício, que é obtido a partir de cada unidade monetária investida; (2) Ponto de nivelamento (PN) que expressa o ponto de igualdade entre o custo total e a receita total. Neste ponto não há lucro nem prejuízo, apenas a remuneração de

todos os fatores de produção, incluindo o custo de oportunidade; (3) Margem de lucro bruta (MLB) e líquida (MLL) que representa a relação em porcentagem entre lucro e receita total; (4) Taxa de lucro bruta (TLB) e taxa de lucro líquida (TLL) que é proporção do lucro no total dos custos variáveis (5) Tempo de retorno do investimento (TRI) que é o tempo necessário para recuperar o investimento realizado ao início da atividade (Tabela 1).

Tabela 1: Descrição das métricas dos indicadores econômicos.

Indicador	Fórmula	Legenda
Custo fixo (CF)	$CF = D + M + T$	D = depreciação dos bens; M = manutenção dos bens; T = custos com taxas de colônia e GRP
Depreciação (D)	$D = VA \div VU$	VA = valor atual do bem; VU = vida útil do bem
Custo variável (CV)	$CV = CC + CG + CA + C_{ga} + CM + CL + CMO$	CC = custo com combustível; CG = custo com gelo; CA = custo com alimentação; C _{ga} = custo com gás; CM = custo com medicamentos; CL = custo com lubrificante; CMO = custo com mão de obra
Custo operacional (CO)	$CO = CF + CV$	CF=custo fixo; CV= custo variável
Custo de oportunidade (CDO)	$CDO = TA \times I \div PP$	TA = taxa percentual investimento (6%); I = Investimento inicial; PP = período da pesca (safra).
Custo total (CT)	$CT = CO + CDO$	CO = custo operacional; CDO = custo de oportunidade
Receita total (RT)	$RT = QC \times PE$	QC = quantidade capturada por espécie; PE = preço de primeira comercialização por espécie
Lucro bruto (LB)	$LB = RT - CO$	RT = receita total; CO = custo operacional
Lucro líquido (LL)	$LL = RT - CT$	LB = lucro bruto; CT = custo total
Renda dono do barco (RDB)	$RDB = LL + CDO$	LL = lucro líquido; CDO = custo de oportunidade

Renda pescador (RP)	$RP = (CMO - CCC) \div NP$	CMO = custo com mão de obra; CCC = custo combustível canoa; NP = número médio pescadores
Relação benefício/custo (BC)	$BC = RT \div CT$	RT = receita total; CT = custo total
Ponto de nivelamento (PN)	$PN = CF \div (RT - CV)$	CF = custo fixo; RT = receita total; CV = custo variável
Margem de lucro bruto (MLB)	$MLB = (LB \div RT) \times 100$	LB=lucro bruto; RT=receita total
Margem de lucro líquido (MLL)	$MLL = (LL \div RT) \times 100$	LL = lucro líquido; RT = receita total
Taxa de lucro bruta (TLB)	$TLB = (LB \div CV) \times 100$	LB=lucro bruto; CV = custo variável
Taxa de lucro líquido (TLL)	$TLL = (LL \div CV) \times 100$	LL = lucro líquido; CV = custo variável
Tempo de remuneração do investimento em anos (TRI)	$TRI = I \div LB$	I = investimento; LB = lucro bruto anual

3. Resultados

3.1 Características das embarcações, apetrechos e pesca

As embarcações que atuam na pesca dos bagres são de madeira, com comprimento médio de 14,7 m ($\pm 1,1$ m), capacidade média de urna de 9.600 kg (± 3.562 kg) e um tempo médio de uso de 9 anos (± 4 anos). Utilizam motores de centro com potência que variou entre 61 e 114 HP.

As redes de emalhe utilizadas, comumente chamadas de “bubuias”, apresentaram comprimento médio de 790 m (± 249 m) e altura média de 4 m ($\pm 0,9$ m).

Em média, são realizadas quatro viagens de pesca no mês, com duração de viagem de 7 dias (± 3 dias), atuando com uma tripulação média de 20 pescadores (± 10 pescadores). Em cada viagem de pesca, utiliza-se em média de 10 redes (± 5 redes).

A produção total capturada resultou em uma média de 3.590 kg (± 1.060 kg) por viagem. Deste total, mais da metade se refere à captura de dourada (56%),

seguida de piramutaba (24%) e filhote (20%). Os preços médios de primeira comercialização variaram por espécie (Tabela 2).

Tabela 2: Médias das capturas (kg) por viagem e preço de primeira comercialização (R\$) por espécie.

Espécie	Captura (kg/viagem)	Desvio padrão	Preço (R\$/kg)	Desvio padrão
Dourada (<i>B.rousseauxii</i>)	2.000	1.060	6,63	1,68
Piramutaba (<i>B. vaillantii</i>)	870	331	2,05	0,17
Filhote (<i>B. filamentosum</i>)	720	219	9,00	2,12

3.2 Indicadores econômicos

O investimento inicial para atuar na pescaria é de R\$ 153.577,00. As aquisições das redes de emalhar e da embarcação foram responsáveis por 85% dos investimentos (Tabela 3).

Tabela 3: Valor médio do investimento para aquisição de equipamentos para a atividade de pesca.

Item	Valor (R\$)	Desvio padrão	%
Barco	29.750,00	14.969,00	19,4
Motor	19.300,00	7.646,00	12,6
Rede	101.333,00	51.461,00	66,0
Bateria	831,00	139,00	0,5
Balança	832,00	155,00	0,5
Rádio	892,00	452,00	0,6
Basqueta	358,00	327,00	0,2
Lona	281,00	110,00	0,2
Total	153.577,00	75.260,00	100

O custo fixo (depreciação, manutenção e taxas) foi de R\$ 1.023,00 por viagem. A manutenção das redes (67%) foi o principal item dos custos de

manutenção, seguido do reparo das urnas de conservação do pescado (10%), do calafeto e pintura da embarcação (9%).

A mão de obra foi o custo variável mais oneroso da pescaria (Tabela 4). O pagamento da mão de obra ao pescador (trabalhador) é efetuado por kg capturado. O preço do kg varia entre as espécies: dourada R\$ 3,50 ($\pm 1,49$), piramutaba R\$ 1,00 ($\pm 0,21$) e filhote R\$ 6,50 ($\pm 2,05$). O combustível também apresentou altos custos para pescaria (Tabela 4).

Tabela 4: Estimativa de custos variáveis por viagem praticados na pesca dos grandes bagres.

Item	Valor (R\$/viagem)	Desvio padrão	%
Gelo	1.440,56	558,69	8,4
Combustível	2.061,82	1.900,34	12
Alimentação	740,91	684,32	4,3
Medicamento	37,86	14,67	0,2
Gás	61,30	38,9	0,4
Lubrificante	235,00	102,59	1,4
Mão de obra	12.550,00	2.097,86	73,3
Total	17.127,44	3.360,52	100

O custo operacional totalizou R\$ 18.150,44, enquanto que, o custo de oportunidade foi de R\$ 176,72 por viagem. Desta forma, o custo total médio das pescarias foi de R\$ 18.327,00, gerando uma receita total de R\$ 21.513,00, um lucro bruto de R\$ 3.363,00 e um lucro líquido de R\$ 3.186,00 por viagem.

Isto significa que o dono do barco obtém uma renda média por viagem de R\$ 3.363,00, o que estabelece uma renda mensal de R\$ 13.451,88. Considerando o período de safra dos grandes bagres, verifica-se que a sua renda equivale a um total de R\$ 53.806,00. A renda média por viagem dos

pescadores foi de R\$ 571,00, renda mensal de R\$ 2.284,00 e uma renda para o período total da safra de R\$ 9.136,00.

A relação benefício/custo indicou viabilidade econômica para pesca dos grandes bagres, ou seja, para cada real investido é gerado um benefício R\$ 1,20. O ponto de nivelamento foi de 23,33%, o que indica o percentual de produção para igualar receita e custos. A margem de lucro bruta foi de 15,63%, enquanto que a margem líquida foi de 14,81%, indicando o quanto da receita foi revertida em lucro. A taxa de lucro líquido foi de R\$ 18,60%, determinando que a pescaria foi lucrativa, ou seja, os custos foram cobertos. O tempo de recuperação do capital investido foi de 36 meses, ou seja, três anos (Tabela 5).

Tabela 5: Indicadores econômicos das pescarias dos grandes bagres.

Indicadores	
Relação custo / benefício	R\$ 1,20
Ponto de nivelamento	23,33%
Margem de lucro bruta	15,63%
Margem de lucro líquida	14,81%
Taxa de lucro bruta	19,63%
Taxa de lucro líquido	18,60%
Tempo de remuneração do capital (meses)	36

4. Discussão

A captura dos grandes bagres no Baixo Amazonas gera emprego e renda para região. Esta modalidade de pesca representa uma atividade direcionada para abastecer os frigoríficos locais (Almeida et al., 2001; Cruz et al., 2017), funcionando em uma estrutura de mercado oligopsônica, ou seja, preços de compra praticamente uniformes, com variações apenas em função dos períodos de safra e entressafra (Parente et al., 2005). A sede do município de Santarém

funciona como centro receptor de pescado da região, pois apresenta uma localização privilegiada e infraestrutura de apoio à produção, com três indústrias em funcionamento, além de capacidade de manutenção de embarcações e armazenamento do pescado.

Os resultados deste trabalho mostraram que a atividade de pesca focada na captura dos grandes bagres na região do Baixo Amazonas, é viável economicamente, com boa margem de lucro (Tietze et al., 2005), apesar dos elevados custos desta pescaria e do curto tempo da safra, que é limitado a 4 meses. O tempo de retorno do investimento, em três anos, se mostra adequado à atividade, sobretudo considerando que os principais itens de investimento, embarcação e motor, apresentarem vida útil bem superior, em torno de dez anos. Esse indicador é particularmente importante para a atividade pesqueira em que os rendimentos obtidos são incertos, pois dependem de fatores como a disponibilidade de peixe, condições climáticas e demanda do mercado (Araujo et al., 2020).

Um questionamento importante relativo à viabilidade econômica da pesca de grandes bagres é se os agentes econômicos envolvidos obtêm renda suficiente para o seu sustento e de suas famílias. A renda mensal para os pescadores no período estudado foi de R\$ 2.284,00 e de R\$ 13.452,00 para os donos das embarcações. Assim, estima-se uma *renda per capita dia* de R\$ 12,69 (cerca de 3,42 dólares) e de R\$ 74,70 (cerca de 20,00 dólares), para os pescadores e donos das embarcações, respectivamente. Considerando estas estimativas, os rendimentos destes profissionais estariam acima da linha da pobreza que segundo o Banco Mundial (2005) é de \$1,90 por dia, bem diferente do que ocorre em outras modalidades de pesca na Amazônia, que não alcançam

estes valores (Almeida, 2018). No entanto, não foi possível estimar com mais detalhes a renda total dos pescadores, pois geralmente residem em comunidades rurais mais afastadas e os mesmos não vêm desembarcar no município sede. Desta forma, outras despesas ou benefícios recebidos que não foram mencionadas pelo dono do barco, não puderam ser considerados para a análise.

Vale lembrar, que como a pesca dos grandes bagres ocorre durante quatro meses, no restante do ano, boa parte da frota e dos pescadores se dedicam a outras pescarias, geralmente à captura do mapará (*Hypophthalmus* spp.) no rio, ou de outros peixes de escama, nos lagos, já que estas espécies podem ser capturadas durante os meses mais chuvosos do ano (Isaac e Barthem, 1995; Isaac et al., 1996), evidenciando que esta pescaria do grandes bagres não é única fonte de renda.

Os custos das expedições são financiados pelos donos das embarcações. Os resultados encontrados mostraram que, a mão de obra e o combustível são os dois itens mais representativos nos custos das pescarias. Os altos valores pagos com mão de obra (Tietze e Lasch, 2005; Almeida et al., 2009; Espírito-Santo, 2012; Araujo et al., 2020) e com combustível, também são observados em outras pescarias continentais e marinhas (Almeida et al., 2001; Cardoso et al., 2004; Sumaila et al., 2007; Inomata e Freitas, 2011; Lima et al., 2016; Almeida, 2018; Rodrigues et al., 2019).

O custo com a mão de obra é influenciado pela quantidade capturada e pelo valor pago na comercialização do pescado no mercado, ou seja, está positivamente correlacionado com a receita total. De acordo com Almeida et al. (2009), estes gastos com mão de obra podem chegar até 63% do custo total da

pescaria. Contudo, podem variar, caso venham ocorrer mudanças nas condições de pesca, como por exemplo: medidas de manejo, sobrepesca (Guillen et al., 2017) ou condições ambientais sazonais favoráveis ou desfavoráveis (Cruz et al., 2017).

Embora o uso de métodos de captura com redes de espera á deriva, como ocorre na pesca dos grandes bagres, utilize menos combustível durante a pescaria, pois usa a energia da correnteza do rio para o deslocamento da rede, os altos custos observados podem estar relacionados com os deslocamentos até os locais de captura e as distâncias percorridas os pescadores e os portos de desembarque (Cardoso e Freitas, 2006; Inomata e Freitas, 2015; Port et al., 2016), fato constatado a partir das entrevistas realizadas em campo.

O Brasil vem sofrendo nos últimos anos grande instabilidade econômica, o que pode acarretar oscilações nos preços de alguns insumos e bens. Navy e Bhattarai (2009), afirmam que uma parcela significativa das receitas geradas nas pescarias, pode ser comprometida em caso de existir altas taxas de inflação, aumentando assim, os custos.

A união de forças por via do associativismo e do cooperativismo pode ser considerada uma alternativa viável para redução dos custos. Chama-se a atenção para as vantagens do modelo cooperativo e para suas possibilidades de barganhar melhores preços de insumos, diversificar a produção, obter melhores condições de crédito e de eliminar intermediários. Assim, incentivar o fortalecimento da organização social dos atores envolvidos na atividade pesqueira seria fundamental para que se alcance alguma dessas vantagens e principalmente a distribuição mais justa dos benefícios econômicos das pescarias. Programas como o “Programa Nacional de Assistência Técnica e

Extensão Rural” e “Amazônia Florescer” do Banco da Amazônia, podem ser possíveis financiadores de iniciativas neste sentido. Contudo, deve ser alertado para que esta medida não induza à intensificação do esforço, que pode por em perigo a capacidade de suporte dos estoques e por tanto, deve ser visto com cautela (Sumaila e Pauly, 2006; Sumaila et al., 2015).

No geral, um bom desempenho econômico pode incentivar o investimento na pesca (Sumaila et al., 2008; Cambie et al., 2012). No entanto, segundo Almeida et al. (2009), a pesca na região do Baixo Amazonas está estagnada em termos de investimento, desenvolvimento tecnológico e volume capturado. De fato, o número de indivíduos de dourada e filhote capturados vem diminuindo ao longo dos anos (Petrere et al., 2004; Cruz, 2016; Lima et al., 2020) como mostrado também no capítulo 1, assim como, uma redução do número de embarcações e pescadores atuando nesta pescaria, o que ficou comprovado através das entrevistas de campo.

Alonso e Picker (2005) aplicaram modelos de rendimento por recruta nos dados de dourada e concluíram que um grande número de indivíduos de dourada vem sendo capturados pela pesca comercial, antes mesmo desses indivíduos iniciarem o seu ciclo reprodutivo, sendo apontada uma diminuição de captura e a sobre-exploração de crescimento dessa espécie. Por tanto, a redução do esforço pesqueiro poderia ser um sinal de adaptação da frota para tempos de menores rendimentos. Obviamente, qualquer diminuição sistemática da situação atual, deve alterar também os indicadores econômicos da pescaria.

A pesca artesanal de grandes bagres da Amazônia é viável economicamente na sua situação atual. Contudo, considerando a diminuição da

abundância, tamanho médio dos indivíduos e total das capturas, pode-se imaginar que esta situação não seja sustentável ao longo do tempo.

Diante deste cenário, questiona-se: até quando esta pescaria será viável economicamente, uma vez que, apresenta elevados custos e a abundância do seu principal recurso explorado vem decrescendo ao longo dos anos? Assim, fica um alerta para um possível risco de retornos negativos para os próximos anos, caso não seja realizada nenhuma medida para assegurar a sustentabilidade desta pescaria tão importante para Amazônia.

Os resultados encontrados neste estudo são importantes para entender a atual situação econômica desta pescaria, além de ser útil para orientar e alertar os tomadores de decisão sobre a necessidade de desenvolver uma gestão mais sustentável e eficaz.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq no âmbito do Projeto Universal (nº426763/2016-5) pelo financiamento desta pesquisa. R.E.A.C agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES-Código 001) pela bolsa de pós-graduação Brasil e ao Programa Geral de Cooperação Internacional (PCGI CAPES: 26/2008) pelo Doutorado Sanduíche. (PCGI/CAPES: 157464 / 2017-01).

Referências

Almeida, O.T., McGrath, D.G., Ruffino, M.L., 2001. The commercial fisheries of the lower Amazon: an economic analysis, *Fish. Manag. Ecol.* 8, 253–269.

Almeida, O.T. 2004. Fisheries management in the Brazilian Amazon. Imperial College, London. (PhD thesis).

Almeida, O., McGrath, D., Ruffino, M., Rivero, S., 2009. Estrutura, dinâmica e economia da pesca comercial do baixo Amazonas. *Novos Cadernos do NAEA*, v. 12, n. 2, p. 175-10.5801/ncn.v12i2.321

Almeida, O.T., Lorenzen, K., Mcgrath, D.G., Amara, L., Rivero, S., 2010. Importância econômica do setor pesqueiro na calha do rio Amazonas-Solimões. *Novos Cadernos NAEA*, 275: 1-14.

Almeida, M.C. 2018. Pesca, consumo de proteínas e economia no rio Xingu, Amazônia brasileira. Tese (doutorado em Ecologia Aquática e Pesca). Universidade Federal do Pará, Belém, 156p.

Alonso, J.C., 2002. Padrão espaço-temporal da estrutura populacional e estado atual da exploração pesqueira da dourada *Brachyplatystoma flavicans*, Castelnau, 1855 (Siluriformes: Pimelodidae), no sistema Estuário-Amazonas- Solimões. Tese de doutorado do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia/ Fundação Universidade do Amazonas. Manaus, Amazonas, 217p.

Alonso, J. C., Picker, L., 2005. Dinâmica populacional e estado atual da exploração de piramutaba e de dourada. p. 21-28. In: Fabr e, N. N., Barthem, R. B. (Org.) O manejo da pesca dos grandes bagres migradores:

piramutaba e dourada no eixo Solimões-Amazonas. Manaus: Ibama/ProVárzea.114p.

Anderson, L., Anderson, C.M., Chu, J., Meredith, J., Asche, F., Sylvia, G., Smith, M.D., Anggraeni, D., Arthur, R., Guttormsen, A., McCluney, J.K., Ward, T., Akpalu, W., Eggert, H., Flores, J., Freeman, M.A., Holland, D.S., Knapp, G., Kobayashi, M., Larkin, S., MacLauchilin, K., Shnier, K., Soboil, M., Tveteras, S., Uchida, H., Valderrama, D., 2015. The fishery performance indicators: a management tool for triple bottom line outcomes, PLoS ONE 10 (5) e0122809.

Araujo, J.G., Santos, M.A.S., Rebello, F., Prang, G. Almeida, M.C., Isaac, V.J., 2020. Economic analysis of the threats posed to the harvesting of ornamental fish by the operation of the Belo Monte hydroelectric dam in northern Brazil. Fisheries Research, 225, 105483. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105483>

Barthem, R.B., 1990. Descrição da pesca da piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*. Pimelodidae) no estuário e na calha do rio Amazonas. Boletim do Museu Goeldi, N.S. Antropologia, v. 6, n. 1, p. 117-130.

Barthem, R.B., Ribeiro, M.C.L.B., Petrere, M., 1991. Life strategies of some long-distance migratory catfish in relation to hydroelectric dams in the Amazon Basin. Biological Conservation 55: 339–345.

Barthem, R.B., Fabré, N.N., 2004. Biologia e diversidade dos recursos pesqueiros da Amazônia. p. 17-51. In: Ruffino, M.L. A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia Brasileira. Manaus: Ibama/ProVárzea. 268p.

Barthem, R.B., Goulding, M., 2007. An unexpected ecosystem: the Amazon revealed by the fisheries. Gráfica Biblos, Lima. Botanical Garden Press. Missouri. 241 pp.

Barthem, R.B., Mello Filho, A., Assun o, W., Gomes, P.F., Barbosa, C.A.C., 2015. Estrutura de tamanho e distribui o espacial da piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*) na foz Amazônica: implica es para o manejo da pesca. Bol. Inst. Pesca, São Paulo, v. 41, n. 2, p. 249-260.

Batista, V.S., Isaac, V.J., Viana, J.P., 2004. Explora o e manejo dos recursos pesqueiros da Amazônia. In: Ruffino, M.L. (ed.) A pesca e os recursos pesqueiros na Amazonia brasileira. Manaus: Edi es ProVarzea/Ibama, pp. 63– 152.

Batista, V., Alonso, J.C., Ladle, R. J., Fabr , N.N., 2018. Drivers of the upper River Amazon giant catfish fishery. Fisheries Management and Ecology, p. 1–11. doi: 10.1111/fme.12270

Branch, T.A., Hilborn, R., Haynie, A.C., Fay, G., Flynn, L., Griffiths, J., Marshall, K.N., Randall, J.K., Scheuerell, J.M., Ward, E.J., Young, M., 2006. Fleet

dynamics and fishermen behavior: lessons for fisheries managers. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 63 (7), 1647–1668.

Cambie, G, Ouréns, R., Vidal, D.F., Carabel, S., Freire, J., 2012. Economic performance of costal fisheries in Galicia (NW Spain): case study of Cíes Islands, Aquat. Living Resour. 25, 195–20.

Cardoso, R. S.; Batista, V. S.; Faria Júnior, C. H.; Martins, W. R. 2004. Aspectos econômicos e operacionais das viagens da frota pesqueira de Manaus, Amazônia Central. Acta Amazônica, v. 34, n. 2, p. 301 – 307.

Cardoso, R.S, Freitas, C.E.C., 2006. The composition of cost and income of fishing expeditions of small-scale fishing fleet in the medium Madeira River region, state of Amazonas, Brazil, Acta Amaz. 36 (4) (2006) 519–524.

Castello, L., 2008. Re-pensando o estudo e o manejo da pesca no Brasil. Pan-American Journal of Aquatic Sciences, v. 3, n., p. 17 – 22.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2010. Custos de Produção Agrícola: a metodologia da Conab. Brasília: Conab.

Cruz, R.E.A., Isaac, V.J., Paes, E.T., 2017. A pesca da dourada *Brachyplatystoma rousseauxii* (Castelnau,1855) na região do Baixo Amazonas, Brasil. Boletim do Instituto de Pesca, 43(4): 474-486.
<http://dx.doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n4p474>.

Daures, F., Trenkel, V.M., Guyader, O., 2013. Modelling the cost structure of French fishing vessels in the Bay of Biscay. *Fish. Res.* 146, 74–85.

De Graaf, G., Bartley, D., Jorgensen, J., Marmulla, G., 2015. The scale of inland fisheries, can we do better? Alternative approaches for assessment. *Fisheries Management and Ecology*, 22, 64–70.

Espirito Santo, R.V. 2012. Produtividade e rentabilidade da frota artesanal que captura serra, (*Scomberomorus brasiliensis*, Collette, Russo & ZavallaCamin, 1978), na costa norte do Brasil. Tese (doutorado em Ecologia Aquática e Pesca). Universidade Federal do Pará, Belém, 112p.

Guiducci, R.C.N., Lima Filho, J.R., Mota, M.M., 2012. Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários: metodologia e estudos de caso. Brasília, DF: Embrapa.

Guillen, J., Boncoeur, J., Carvalho, N., Frangoudes, K., Guyader, O., Macher, C., Maynou, F., 2017. Remuneration systems used in the fishing sector and their consequences on crew wages and labor rent creation. *Marit. Stud.* 16, 3.

Hauser, M., Doria, C.R.C., Melo, L.R.C., Santos, A.R., Ayala, D.M., Nogueira, L.D., & Duponchelle, F., 2018. Age and growth of the Amazonian migratory catfish *Brachyplatystoma rousseauxii* in the Madeira River basin

before the construction of dams. *Neotropical Ichthyology*, 16.

Inomata, S.O., Freitas, C.E.C., 2011. Caracterização da frota pesqueira de Coari, Médio Rio Solimões (Amazonas-Brasil). *Revista Agroambiental*, v. 3, n. 1, p. 65 – 70.

Inomata, S.O., Freitas, C.E.C., 2015. Pesca comercial no médio rio Negro: aspectos econômicos e estrutura operacional. *Bol. Inst. Pesca, São Paulo*, 41(1): 79 – 87.

Isaac, V.J., Barthem, R., 1995. Os recursos pesqueiros da Amazônia Brasileira. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Antropologia, Belém*, 11(2): 295-339.

Isaac, V.J., Milstein, A., Ruffino, M.L., 1996. A pesca artesanal no Baixo Amazonas: Análise multivariada da captura por espécie. *Acta Amazonica*, 26(2): 185-208.

Isaac, V. J., Castello, L., Santos, P. R. B., Ruffino, M. L., 2016. Seasonal and interannual dynamics of river-floodplain multispecies fisheries in relation to flood pulses in the Lower Amazon. *Fisheries Research*, 183, 352–359. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.06.017>

Junk, W.J.; Bayley, P.B.; Sparks, R.E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Journal of Fishers and Aquatic*, 106: 110-127.

Lima, M.A.L., Freitas, C.E.C., Moraes, S.M., Doria, C.R.C. 2016. Pesca artesanal no município de Humaitá, Médio rio Madeira, Amazonas, Brasil. Boletim do Instituto de Pesca, v. 42, n. 4, p. 914 – 923.

Lowe-McConnell, R.H. 1975. Fish communities in tropical freshwaters. New York: Longman Inc. 337p.

Lynch, A. J., S. J. Cooke, A. M. Deines, S. D. Bower, D. B. Bunnell, I. G. Cowx, V. M. Nguyen, J. Nohner, et al. 2016. The social, economic, and environmental importance of inland fish and fisheries. Environmental Reviews 24: 115–121. doi:10.1139/er2015-0064.

MAPA. 2018. Plano agrícola e agropecuário 2018/2019. Brasília. http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/plano-agricola-e-pecuario/arquivos-pap/copy_of_PlanoAgricolaePecurio20182019.pdf

MPA. 2013. Boletim estatístico de pesca e aquicultura do Brasil 2011. Brasília: Ministério da Pesca e Aquicultura.

Navy, H., Bhattarai, M., 2009. Economics and livelihoods of small-scale inland fisheries in the Lower Mekong Basin: a survey of three communities in Cambodia. Water Policy 11 Supplement 1, 31–51.

Navy, H., Bhattarai, M., 2006. Economic assessment of small-scale inland fisheries and wetland livelihoods in Camboja. Proceeding of the

international river symposium, Brisbane, Australia, 4–7, September, 2006, disponível online.

Oliveira Neto, A.A., Jacobina, A.D., Falcão, J.V., 2008. A depreciação, a amortização e a exaustão no custo de produção agrícola. Revista de Política Agrícola, Brasília, Ano 17, n. 1, 2008.

Parente, V.M., Vieira, E.F., Carvalho, A.R., Fabré, N.N. 2005. A pesca e a economia da pesca de bagres no eixo Solimões-Amazonas. In: Fabré, N.N.; Barthem, R.B. (Org.) O manejo da pesca dos grandes bagres migradores: piramutaba e dourada no eixo Solimões-Amazonas. Manaus: Ibama/ProVárzea.114p.

Petrere, M., Barthem, R. B., Córdoba, E. A., Gómez, B. C., 2004. Review of the large catfish fisheries in the upper Amazon and the stock depletion of piraíba (*Brachyplatystoma filamentosum* Lichtenstein). Reviews in Fish Biology and Fisheries, 14(4), 403–414. <https://doi.org/10.1007/s11160-004-8362-7>

Port, D., Perez, J.A.A., de Menezes, J.T., 2016. The evolution of the industrial trawl fishery footprint off southeastern and southern Brazil. Lat. Am. J. Aquat. Res. 44 (5), 908–925.

Rodrigues, A.R., Abdallahb, P.R., Gasalla, M.A., 2018. Harvesting costs and revenues: Implication of the performance of openaccess industrial fishing

fleets off Rio Grande, Brazil. *Marine Policy*, 93, 104-112.

<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.04.008>

Rodrigues, A.R., Abdallahb, P.R., Gasalla, M.A., 2019. Cost structure and financial performance of marine commercial fisheries in the South Brazil Bight. *Fisheries Research*, 162-174.

<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.10.017>

Ruffino, M.L, 1996. Potencialidades da várzea para os recursos pesqueiros: uma visão sócio-econômica e ecológica. In: I workshop sobre as potencialidades de uso dos ecossistemas de Várzeas da Amazônia. Boa Vista: CPAA/EMBRAPA 7, 32-53 p.

Sumaila, U.R, Pauly, D., 2006. Catching more bait: A bottom-up reestimation of global fisheries subsidies. *Fisheries Centre Research Reports*, v. 14, n. 6. Vancouver.

Sumaila, U. R., Cheung, W. W. L., T.E.H, L. 2007. Rebuilding Hong Kong's marine fisheries: an evaluation of management option. *Fisheries Centre Research Reports*, v. 15, n. 3. Fisheries Centre, University of British Columbia, Vancouver, Canada. 112p.

Sumaila, U.R., Teh, L., Watson, R., Tyedmers, P., Pauly, D., 2008. Fuel price increase, subsidies, overcapacity, and resource sustainability. – *ICES Journal of Marine Science*, v. 65, p. 832 – 840.

Suuronena, P., Chopina, F., Glass, C., Løkkeborg, S., Matsushita, Y., Queirolo, D., Rihan, D., 2012. Low impact and fuel efficient fishing—looking beyond the horizon. *Fish. Res.* 119-120, 135–146.

Tietze, U., Lasch, R., 2005. Findings of the interregional study on the financial and economic performance of marine capture fisheries.

Tietze U., Lash R., Thomsen B., Rihan D., 2005, Economic performance and fishing efficiency of marine capture fisheries. FAO Rome, *Fish. Techn. Pap.* 482.

Vieira, E.F., 2005. Legislação e plano de manejo para a pesca de bagres na bacia amazônica. In: Fabr e, N.N.; Barthem, R.B. (Org.) *O manejo da pesca dos grandes bagres migradores: piramutaba e dourada no eixo Solimões-Amazonas*. Manaus: Ibama/ProVárzea.114p.

Welcomme, R. L., 1985. *River Fisheries*. Rome: FAO.

Welcomme, R.L., Cowx, I.G., Coates, D., B n e, C., Funge-Smith, S., Halls, A., and Lorenzen, K., 2010. Inland capture fisheries. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B, Biol. Sci.* 365(1554): 2881–2896. doi:10.1098/rstb.2010.0168.

World Bank., 2015 *Ending Extreme Poverty and Sharing Prosperity: Progress and Policies*. Development Economics. Washington, DC: World Bank.

CAPÍTULO 3

PADRÕES DE MIGRAÇÃO DE *Brachyplatystoma rousseauxii* EM TRIBUTÁRIOS DO SOLIMÕES/AMAZONAS: UMA ANÁLISE MICROQUÍMICA DO OTÓLITO

Artigo a ser submetido para revista *Journal of Fish Biology* Versão Online ISSN
1095-8649

PADRÕES DE MIGRAÇÃO DE *Brachyplatystoma rousseauxii* EM TRIBUTÁRIOS DO SOLIMÕES/AMAZONAS: UMA ANÁLISE MICROQUÍMICA DO OTÓLITO

Resumo

O comportamento de espécies de peixes neotropicais migradores de longa distância ainda é pouco conhecido, apesar do importante papel que estes grupos desempenham nos ecossistemas e na pesca. A dourada *Brachyplatystoma rousseauxii* apresenta a maior migração conhecida para peixes de água doce do mundo, porém ainda há bastante a pesquisar sobre os padrões de migração. Pouco que se sabe atualmente sobre o local de nascimento em tributários de águas claras e pretas do Solimões/Amazonas. Desta forma, este estudo teve como objetivo entender comportamento migratório de *B. rousseauxii* nos rios Tapajós e Negro, através da análise de assinaturas isotópicas de estrôncio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dos otólitos e sua relação com o Sr encontrado nas águas da Amazônia. Foi observado que a dourada apresentou três diferentes comportamentos migratórios: residência, *homing* natal e *straying*. A maioria dos indivíduos nasceram no rio Amazonas e apresentaram migração entre as bacias (Amazonas → Negro, e Amazonas → Tapajós). Porém, o estudo também forneceu a primeira demonstração de *homing* natal e eclosão de dourada em tributário de águas pretas. As experiências obtidas nesse estudo fornecem importantes indicativos acerca da migração da *B. rousseauxii* nos rios Tapajós e Negro. Estudos sobre as rotas de migração utilizando microquímica de otólito devem ser aprofundados, pois o conhecimento da migração são fundamentais para garantir bons planos de conservação e manejo.

Palavras-chave: ciclo de vida, grandes bagres, *homing* natal, Amazônia

1. Introdução

A migração é um comportamento presente em todo o reino animal, reunindo características fisiológicas, morfológicas e comportamentais que atuam juntamente com estímulos ambientais, que promovem o deslocamento de animais ao longo de grandes distâncias com diferentes objetivos biológicos (McDowall, 1988; Dingle, 2006; Dingle e Drake, 2007). Muitas espécies de peixes marinhos e também dulcícolas realizam extensivas migrações associadas à busca de habitats e condições mais favoráveis à alimentação, à reprodução e ao crescimento de juvenis (Harden-Jones, 1968; McDowall, 1988; Barthem e Goulding, 1997; Winemiller e Jepsen, 1998). Assim, o comportamento migratório dos indivíduos molda sua história de vida e o destino das populações (Nathan et al., 2008).

Na Amazônia espécies migradoras de grande porte são alvo preferenciais da pesca comercial. A dourada *Brachyplatystoma rousseauxii* é um dos principais recursos explorados ao longo da calha do Solimões/Amazonas (Barthem e Goulding, 1997; Barthem e Goulding, 2007; Isaac et al., 1996; Cruz et al., 2017) e seus tributários (Lima et al., 2017; Keppeler et al., 2017; Nunes et al., 2019; Hallwass et al., 2019; Lima et al., 2020), gerando emprego, renda para as comunidades locais (Almeida et al., 2001) e desempenhando importante papel ecológico como predador do topo da cadeia alimentar (Angelini et al., 2006; Lima, 2017).

Além disso, a dourada apresenta a mais longa migração conhecida para peixes de água doce do mundo, pois percorre aproximadamente 11.600 km ao longo seu ciclo de vida na calha dos rios amazônicos de águas brancas (Barthem e Goulding, 1997; Duponchelle et al., 2016; Barthem et al., 2017; Hauser, 2018).

Quando adulta migra para as cabeceiras dos rios andinos para desovar. Larvas e juvenis são carregados rio abaixo, com alguns chegando até o estuário amazônico, onde se alimentam e crescem por cerca de dois anos, antes de iniciar novamente sua migração a montante pela calha principal do rio em direção às cabeceiras (Barthem e Goulding, 1997; Barthem et al., 2017). No entanto, até o momento pouco se conhece sobre a migração de *B. rousseauxii* em tributário de águas claras e pretas.

Na Amazônia, avaliar os padrões de migração e a história de vida em peixes é um desafio logístico, devido ao tamanho e a complexidade das sub-bacias onde habitam estes indivíduos (Duponchelle et al., 2016; Pereira et al., 2019). Assim, métodos tradicionais (marcação-recaptura e telemetria) (Godoy, 1979; Hahn et al., 2011; Hahn et al., 2019), têm sido complementados por análises de microquímica de otólitos (Hermann, et al., 2016), especialmente em estudos que abordam a origem e história de vida de peixes que apresentam largas migrações (Hegg et al., 2015; Duponchelle et al., 2016; Hermann, et al., 2016; Pereira et al., 2019).

Os otólitos são estruturas calcificadas (CaCO_3) (localizados no ouvido interno dos peixes), acelulares, metabolicamente inertes e de crescimento contínuo, preservando oligoelementos (Sr, Zn, Ba, e C, entre outros) em concentrações proporcionais aos encontrados nas águas circundantes (Campana e Neilson, 1985; Campana, 1999; Campana e Thorrold, 2001; Elsdon et al., 2008; Kerr e Campana, 2014). Sendo assim, as variações nas composições química e isotópica ao longo da linha do crescimento do otólito, dependem principalmente das variações na composição da água em que o peixe permaneceu. Estudos já abordaram esta técnica em espécies de águas

temperadas (Campana, 1999; Elsdon et al., 2008) e tropicais (Hegg et al., 2015; Garcez et al., 2015; Hauser et al., 2019a, 2019b).

O estrôncio (Sr) é um oligoelemento que ocorre em diferentes proporções no ambiente aquático, sendo bastante utilizado em estudos microquímicos para identificação de padrões de migração em peixes (Mercier et al., 2011). Nos rios da Amazônia, a variação isotópica deste elemento está relacionada à geologia e a idade das suas sub-bacias hidrográficas (Palmer e Edmond, 1992; Gaillardet et al., 1997; Santos et al., 2015). A razão isotópica de estrôncio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ não sofre reabsorção, nem fracionamento, ligado a fatores como a temperatura, fisiologia e salinidade, (Kennedy et al., 1997; Kennedy et al., 2000; Walther e Thorrold, 2006), sendo assim, os peixes absorvem o estrôncio Sr dissolvido nas águas em suas estruturas calcificadas ao longo de seu crescimento. A heterogeneidade das águas da bacia amazônica faz do Sr um excelente traçador geográfico (Santos et al., 2015).

O uso da razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em otólitos tem sido bastante utilizada para identificar os comportamentos migratórios dos grandes bagres (especialmente *B. rousseauxii*) nos rios de águas brancas ao longo da bacia amazônica (Hegg et al., 2015; Duponchelle et al., 2016; Hermann et al., 2016; Hauser, 2018, Hauser et al., 2019a, 2019b), porém até o momento nenhum estudo foi realizado em rios de águas claras e pretas.

Por outro lado, os grandes bagres migradores da Amazônia enfrentam várias ameaças, muitas vezes aditivas, de natureza antropogênica. Atenção especial à construção de barragens na bacia amazônica, que impedem a conectividade entre os rios, conseqüentemente a migração dos peixes adultos a montante e das larvas e juvenis a jusante (Agostinho et al., 2004; Freitas et al.,

2012; Forsberg et al., 2017; Latrubesse, et al., 2017; Timpe e Kaplan, 2017). Além disso, as alterações hidrológicas causadas por mudanças climáticas e o desmatamento podem resultar na dessincronização de condições favoráveis para a migração dos grandes bagres (Visser e Both, 2005; Betts et al., 2008; Castello et al., 2018). Estas ameaças podem afetar a abundância relativa da espécie em certos setores do rio, o que associado a um esforço de pesca intenso pode levar a extinção local.

Desta forma, compreender o comportamento de migração dos grandes bagres migradores da Amazônia pode trazer informações importantes para a determinação de formas de manejo e estratégias de conservação, além de aprimorar nosso conhecimento sobre a história natural desses indivíduos. Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo elucidar aspectos do comportamento migratório de *Brachyplatystoma rousseauxii* capturados em rios de águas claras (rio Tapajós) e pretas (rio Negro), respondendo os seguintes questionamentos: Qual a origem de nascimento dos indivíduos? Quais os padrões de migração encontrados?

2. Materiais e métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende a bacia amazônica (Figura 1), que possui aproximadamente uma área drenagem de 6.800.00 km², sendo a maior bacia hidrográfica do mundo. Cerca de 70% de sua área está localizada no Brasil e o restante é distribuído entre outros países: Bolívia, Colômbia, Peru, Venezuela, Equador e Guiana (Goulding et al., 2003).

Esta complexa rede hidrográfica é moldada por diferentes formações geológicas, a saber: Cordilheira do Andes (leste), Escudo Cristalino das Guianas

(norte) e Escudo Cristalino do Brasil (sul) (Cunha, 1994; Barthem e Fabré, 2004). Cada uma destas formações promove águas que apresentam diferentes razões isotópicas/radiogênicas de estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) em seus corpos de águas (Pouilly et al., 2014; Santos et al. 2015; Duponchelle et al., 2016; Hauser et al., 2019a).

Os rios Tapajós e Negro apresentam alta razão radiogênica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, principalmente por drenar regiões cratônicas antigas (Escudo das Guianas e do Brasil), enquanto que, o rio Solimões/Amazonas, drena rochas mais recentes, apresentando razões isotópicas menos radiogênicas (Santos et al., 2015). O rio Tapajós tem 851 km de extensão, área drenada de aproximadamente 764.00 km² (Goulding et al., 2003), com razão isotópica de 0,7296 (Santos et al., 2015). O rio Negro possui 1.700 km de extensão, área drenada de 715.000 km² (Latrubesse e Franzinelli, 2005) e razão isotópica de 0,7318 (Santos et al., 2015).

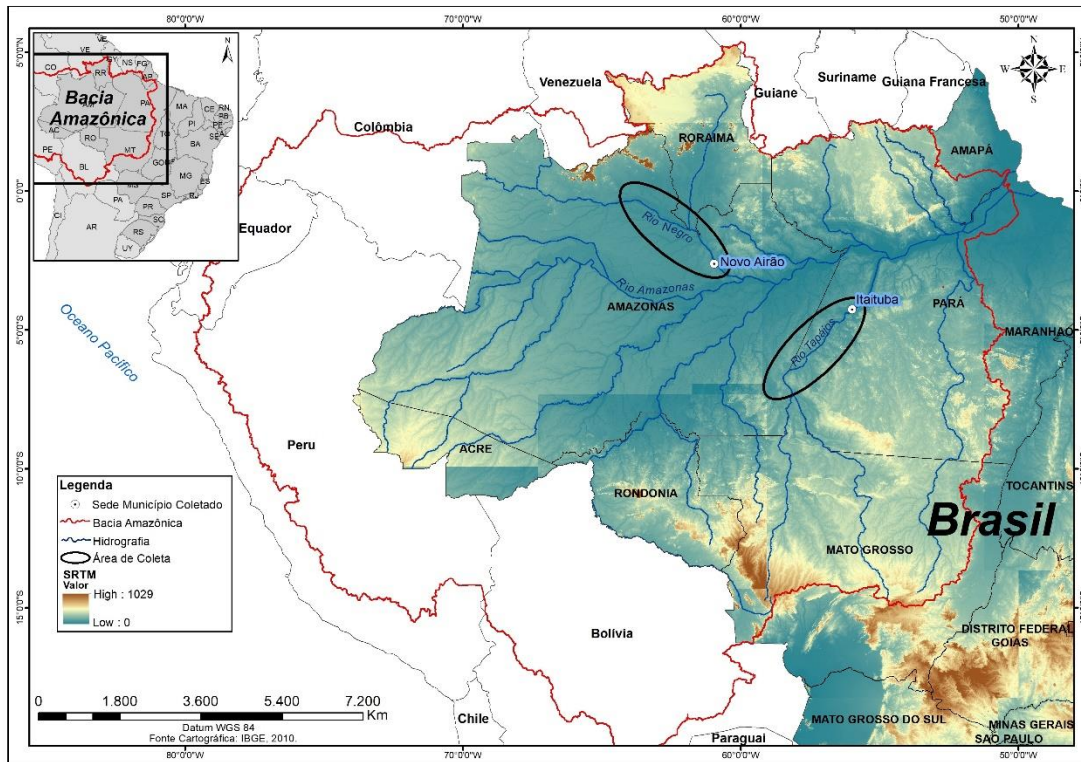


Figura 1: Mapa da área de estudo. Linha vermelha refere-se à área da bacia amazônica. Círculos pretos referem-se aos rios Tapajós e Negro, onde foram amostrados os peixes, mais especificamente nas proximidades dos municípios de Itaituba-PA e Novo Airão-AM.

2.2 Amostragem e preparação otólitos

Entre novembro de 2016 e janeiro de 2017, foram coletados 30 exemplares de *B. rousseauxii*, sendo 15 (quinze) no rio Tapajós (nas proximidades de Itaituba-PA) e 15 no rio Negro, próximo ao município de Novo Airão- AM (Figura 1; Tabela 1). Os peixes foram capturados por pescadores artesanais da região, utilizando rede de emalhe e espinhel. Os indivíduos foram medidos em centímetros, sendo suas cabeças cedidas ou compradas.

Tabela 1: Informações dos exemplares de *B. rousseauxii* coletados.

Código do indivíduo	Sub-bacia	Localidade	Comprimento total (cm)
BR-1	Rio Negro	Nova Airão - AM	72,93
BR-2	Rio Negro	Nova Airão - AM	76,34
BR-3	Rio Negro	Nova Airão - AM	99,72

BR-4	Rio Negro	Nova Airão - AM	85,20
BR-5	Rio Negro	Nova Airão - AM	71,96
BR-6	Rio Negro	Nova Airão - AM	70,49
BR-7	Rio Negro	Nova Airão - AM	72,44
BR-8	Rio Negro	Nova Airão - AM	75,37
BR-9	Rio Negro	Nova Airão - AM	72,44
BR-10*	Rio Negro	Nova Airão - AM	85,11
BR-11	Rio Negro	Nova Airão - AM	80,24
BR-12*	Rio Negro	Nova Airão - AM	72,93
BR-13	Rio Negro	Nova Airão - AM	85,59
BR-14	Rio Negro	Nova Airão - AM	70,49
BR-15	Rio Negro	Nova Airão - AM	89,98
BR-16	Rio Tapajós	Itaituba - PA	55,88
BR-17	Rio Tapajós	Itaituba - PA	65,62
BR-18	Rio Tapajós	Itaituba - PA	63,19
BR-19	Rio Tapajós	Itaituba - PA	68,55
BR-20	Rio Tapajós	Itaituba - PA	60,75
BR-21	Rio Tapajós	Itaituba - PA	72,93
BR-22	Rio Tapajós	Itaituba - PA	50,52
BR-23	Rio Tapajós	Itaituba - PA	53,44
BR-24	Rio Tapajós	Itaituba - PA	69,03
BR-25	Rio Tapajós	Itaituba - PA	65,14
BR-26	Rio Tapajós	Itaituba - PA	71,96
BR-27	Rio Tapajós	Itaituba - PA	74,88
BR-28	Rio Tapajós	Itaituba - PA	71,47
BR-29*	Rio Tapajós	Itaituba - PA	67,57
BR-30	Rio Tapajós	Itaituba - PA	80,72

*amostras excluídas das análises isotópicas de Sr, pois houve problemas na preparação das lâminas ou no momento de efetuar o raster com o laser MC-ICPMS.

As cabeças dos indivíduos foram acondicionadas em isopor com gelo e transportadas para o Laboratório de Biologia Pesqueira e Manejo dos Recursos Aquáticos (UFPA), em Belém-PA, onde realizaram-se os procedimentos de extração, lavagem e armazenamento dos otólitos (*lapillus*) para posterior análise.

As lâminas de cada amostra foram processadas no Laboratório de Ictiologia e Pesca (UNIR), Porto Velho-RO. Os otólitos foram deixados em água destilada por 24 horas e secos em estufa a 600°C, por 48 horas. Posteriormente foram emblocados em resina epóxi e levados novamente para estufa, por mais

24 horas, para obtenção de placas resistentes. As placas resistentes contendo os otólitos foram cortadas dorso-ventralmente próximo a região do núcleo, com o auxílio de um micrótomo (isomet) digital de baixa velocidade (Buehler, Düsseldorf, Alemanha), gerando finos cortes (entre 0,7 e 0,9 mm). Estes cortes foram polidos com lixas diamantadas (1200 e 2400 micras) e lavados com água destilada até que o núcleo fosse visualizado. Para auxiliar a localização foi utilizado um estereomicroscópio. Em seguida foram colados em lâminas de vidro, com o auxílio de placa aquecedora e cola Cristal Bond, e polidos novamente até a perfeita visualização do núcleo. Por fim, para auxiliar a localização do núcleo durante o processo de ablação a laser (análise microquímica Sr), as lâminas foram fotografadas em estereomicroscópio com câmera AxioCam Zeiss acoplada.

2.3 Análise microquímica otólito

As análises isotópicas de estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) dos otólitos foram realizadas em espectrômetro de massa com multicoletor. Para verificar a variação de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, o que pode indicar migração de um tipo de água para outro, foi realizado um raster com ablação a laser ao longo de um transecto, ou seja, iniciando no núcleo (momento de eclosão do peixe) em direção a borda do otólito (momento de captura) (Figura 2). As características do multicoletor e do laser utilizados estão na Tabela 2. Estas análises foram realizadas na *Université de Pau et des Pays de l'Adour*, e no *Laboratoire Cycles Géochimiques et ressources, Département Ressources physiques et Écosystèmes de fond de Mer* (REM), do *Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer* (IFREMER) em Brest, França.

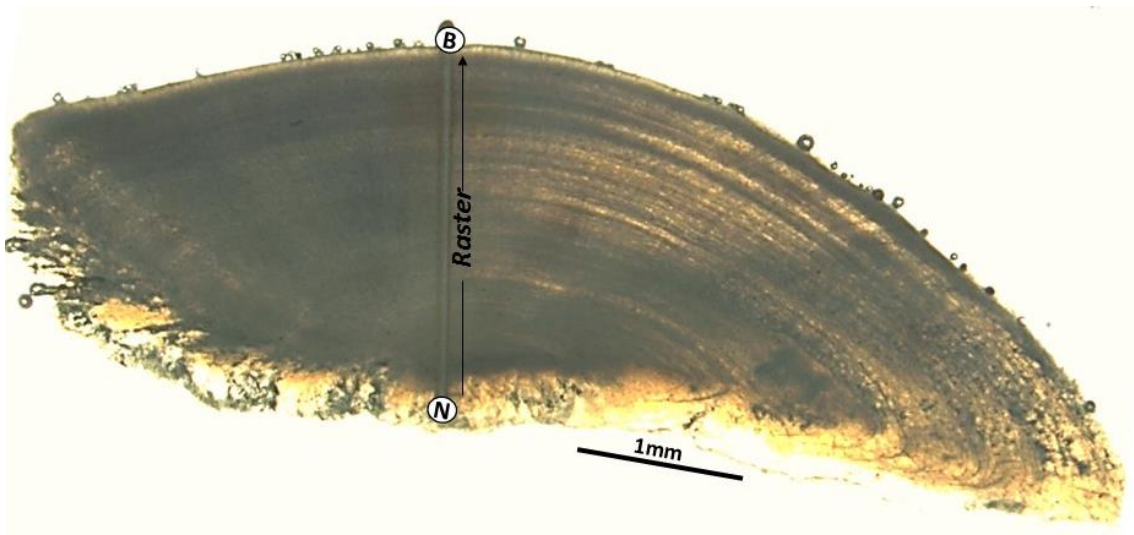


Figura 2: Ablação a laser no otólito de *B. roussauxii*. O núcleo e a borda do otólito estão representados com as iniciais N e B, respectivamente.

Tabela 2: Características do espectrômetro de massa com multicoletor e do laser utilizados.

MC-ICPMS	
<i>Espectrômetro de massa</i>	MC-ICP-MS Thermo Neptune
<i>Potência do plasma (W)</i>	1200 (wet)
<i>Gás frio (L/min)</i>	16
<i>Gás auxiliar (L/min)</i>	0,8
<i>Gás nebulizador (L/min)</i>	0,6
<i>Gás adicional (L/min)</i>	0,5
<i>Nebulizador</i>	PFA 50uL/min
<i>Câmara de pulverização</i>	Entrada dupla
<i>Tempo de aquisição</i>	n x2s
<i>Gás branco</i>	30s
<i>Correção de pico</i>	Sim
<i>Método de validação</i>	NIST-987
<i>Modelo de correção de discriminação de massa</i>	Exponencial
<i>Correção de interferência</i>	87Rb, 86Kr
LASER	
<i>Sistema</i>	213LSX CETAC
<i>Fonte</i>	Nd-YAG UV
<i>Tamanho do ponto (um)</i>	50-150
<i>Velocidade da ablação (um/s)</i>	5
<i>Energia (mJ)</i>	4
<i>Frequência (Hz)</i>	20

Fluxo de He (L/min)	0,6
Método de validação	NIES-22

2.4 Padrão de migração

As variações isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ extraídas dos otólitos de *B. rousseauxii* foram úteis para conhecer o padrão de migração (residente, *strayer* ou *homer*) (Figura 3) e o rio onde ocorreu o nascimento. Considera-se comportamento residente: o indivíduo que permanece em uma única faixa de composição isotópica; *strayer*: o indivíduo que nasce em um tipo de água e dispersa para outra faixa de composição isotópica; *homer*: o indivíduo que nasce em uma faixa de composição isotópica, dispersa para outra e regressa para faixa isotópica de origem (Figura 3).

Para investigar os padrões foram utilizados os estudos (literatura disponível) que apresentavam os valores de composição isotópica de estrôncio (Sr) das águas do rio Solimões/Amazonas e seus tributários, uma vez que, as sub-bacias hidrográficas apresentam diferenças significativas na composição isotópica de suas águas. A média descrita da razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para o rio Solimões/Amazonas foi de 0,710, flutuando entre 0,705 e 0,711. O rio negro apresentou uma média de 0,7318, variando entre 0,7249 e 0,7437 e o rio Tapajós uma média de 0,7296, com variação de 0,7151-0,7359 (Gaillardet et al., 1997; Queiroz et al., 2009; Pouilly et al. 2014; Santos et al., 2015; Duponchelle et al., 2016).

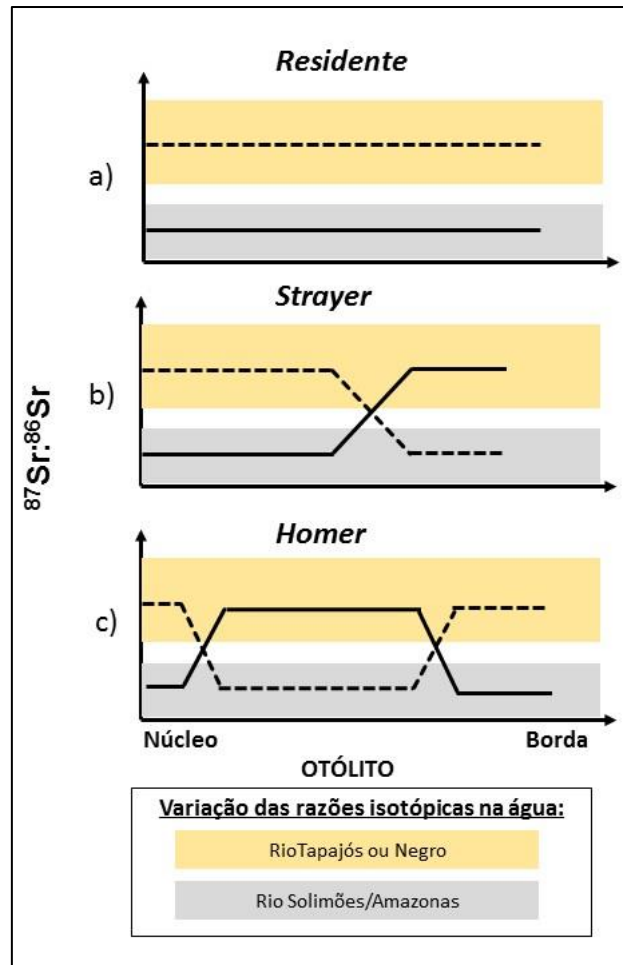


Figura 3: Possíveis perfis isotópicos (Sr) correspondentes para os comportamentos de migração de *Brachyplatystoma rousseauxii*. A linha preta refere-se a razão isotópica encontrada no otólito do peixe. Adaptado de Duponchelle et al., 2016.

3. Resultados

Foram analisados um total de 27 indivíduos de *B. rousseauxii*, que apresentaram diferentes padrões ou comportamentos de migração, sendo 14 exemplares de indivíduos capturados no rio Tapajós e 13 no rio Negro (Tabela 1).

Todos os indivíduos capturados no rio Tapajós apresentaram valores de razão isotópica no núcleo do otólito, compatíveis com o das águas do rio

Solimões/Amazonas, indicando assim a origem de nascimento desses peixes. Em torno de 43% dos peixes apresentaram comportamento *strayer*, se movendo de águas menos radiogênicas (água branca – Solimões/Amazonas), para águas com valores mais elevados (água clara), ou seja, para o rio Tapajós (Figura 4 – a). Além disso, 57% dos indivíduos capturados exibiram perfis $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ estáveis, o que indica que permaneceram em razões isotópicas do eixo do rio Solimões/Amazonas boa parte de seu ciclo de vida, até serem capturados no rio Tapajós (Figura 4 – b).

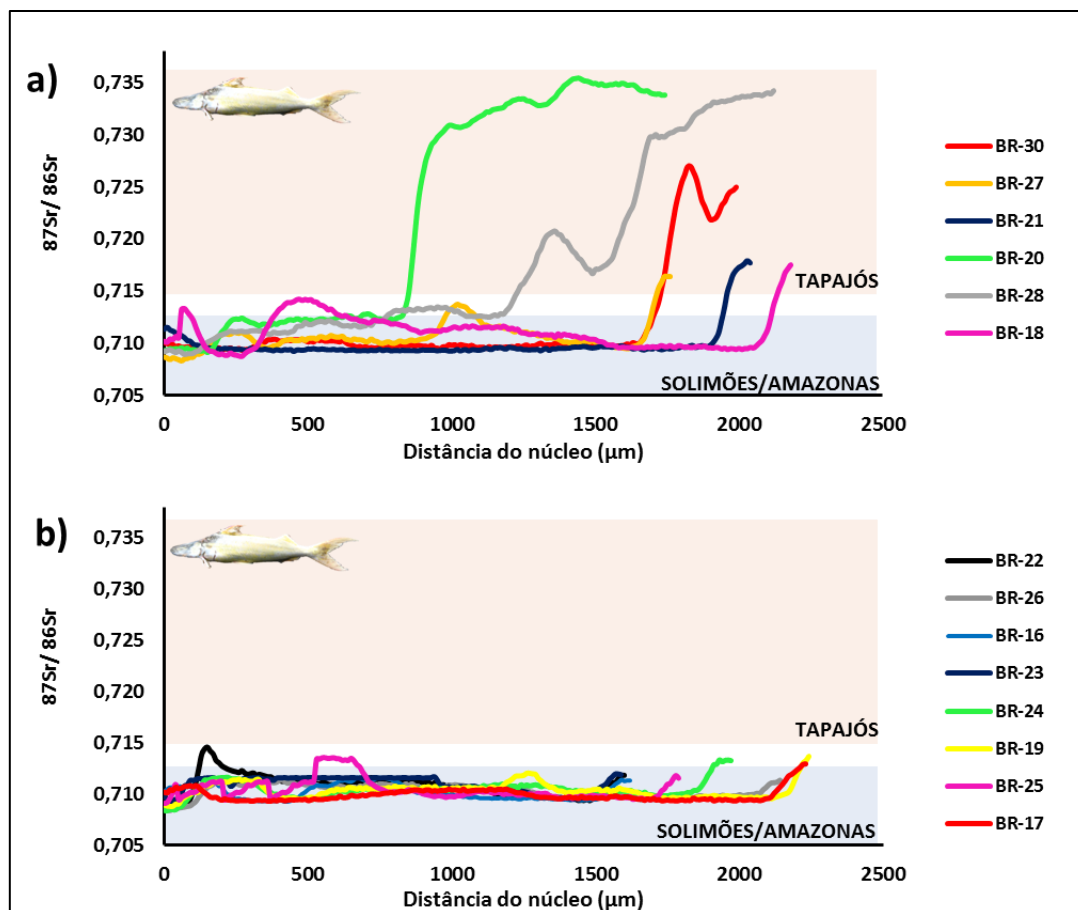


Figura 4: Perfil isotópico $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de *B. rousseauxii* no rio Tapajós. a) Residentes; b) *Strayers*. A linha refere-se à ablação a laser ao longo da secção transversal do otólito de cada indivíduo.

Dos treze indivíduos de *B. rousseauxii* capturados no rio Negro, doze eclodiram em águas com perfis isotópicos do Solimões/Amazonas, enquanto

que, apenas um exibiu assinatura isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ no núcleo do otólito do próprio rio Negro, indicando que ele teria nascido nesse rio. Mais de 90% dos peixes analisados se deslocaram de uma bacia para outra, apresentando comportamento *strayer* (receptor - Negro) (Figura 5 – a). Um único indivíduo (BR-11) amostrado pode ser classificado com *homer*, apresentando um comportamento clássico de *homing* natal. Este indivíduo iniciou sua vida com razão isotópica Sr (0,7312) consistente, típica das águas do rio Negro, se moveu para águas com assinaturas do rio Solimões/Amazonas, onde permaneceu boa parte do seu ciclo, retornando posteriormente para as águas radiogênicas (0,7280-0,7437) do Negro, onde se manteve até ser capturado (Figura 5 – b).

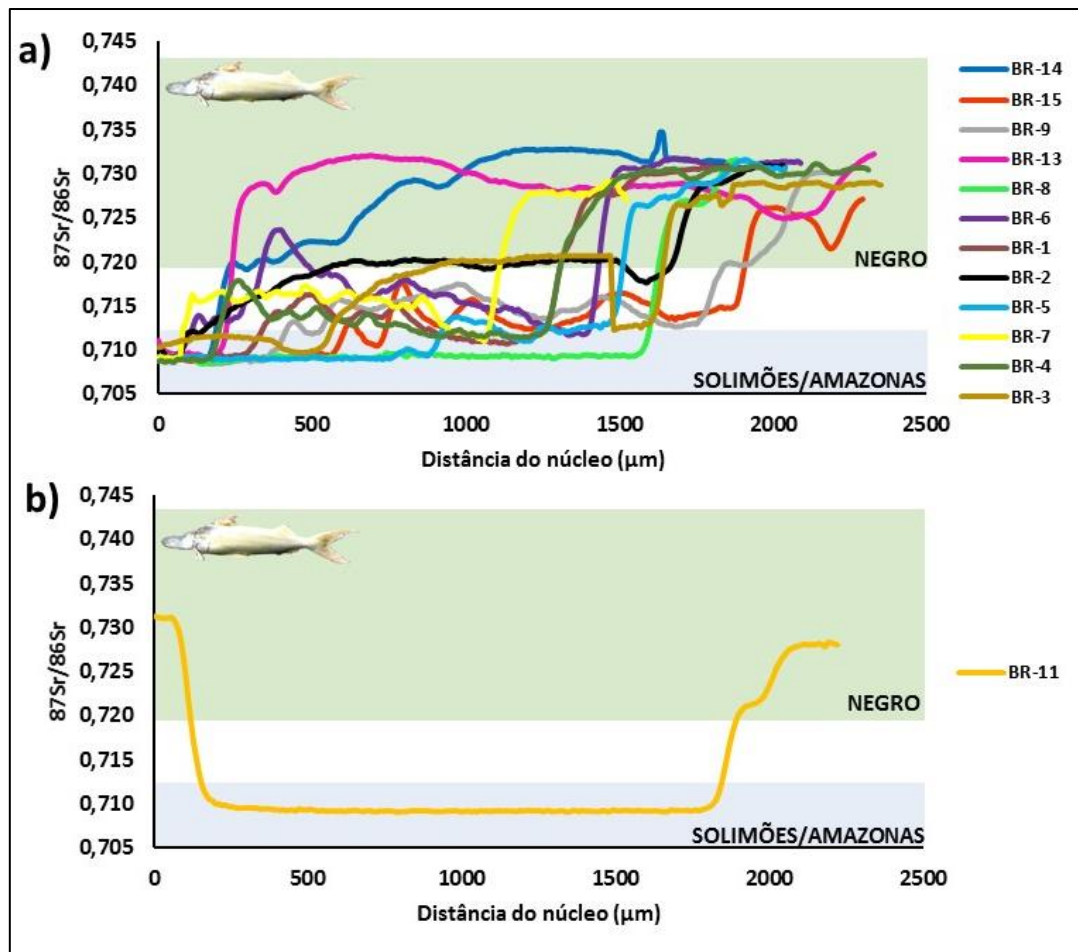


Figura 51: Perfil isotópico $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de *B. rousseauxii* no rio Negro. a) *Strayers*; b) *Homer*. A linha refere-se à ablação a laser ao longo da secção transversal do otólito de cada indivíduo.

4. Discussão

Nossos resultados forneceram novas informações sobre a migração de *Brachyplatystoma rousseauxii* em tributários de águas claras e pretas, que até o momento eram pouco conhecidas. Além disso, levantam-se inúmeras questões e oportunidades importantes para pesquisas futuras acerca desta espécie.

A hipótese pensada para a migração de *B. rousseauxii* na bacia Amazônica estabelece os seguintes padrões: desova ocorre nos rios Andinos e suas proximidades (águas brancas); migração a jusante de larvas e juvenis, podendo

chegar até o estuário amazônico, sendo a área de berçário desses indivíduos; Amazônia Central como principal habitat para alimentação durante a migração a montante dos pré-adultos e adultos (Barthem e Goulding, 1997; Barthem et al., 2017). Assim, não se acredita na hipótese de desova em rios de águas claras e pretas.

Os indivíduos de *B. rousseauxii* capturados no rio Tapajós apresentaram comportamento em sua maioria *strayers* e residentes. Porém, podemos afirmar que os indivíduos classificados como residentes (Figura 4 – b) já estavam nas águas mais radiogênicas do rio Tapajós, ou seja, apresentando *straying*. Tal afirmação pode ser explicada, uma vez que o metal elementar estrôncio, leva cerca de 10 a 30 dias para ser absorvido pelos peixes quando muda de uma bacia para outra (Yokouchi et al., 2011), não sendo possível a efetivação da marcação química, pois os peixes foram logo capturados ao entrarem nas águas do rio Tapajós. Ademais, todos os peixes analisados apresentaram razões isotópicas (Sr) referentes a origem de nascimento em rios de águas brancas, corroborando com Barthem e Goulding (1997) e Barthem et al. (2017).

O comportamento *strayer* das douradas capturadas no Tapajós confirma a hipótese de Barthem e Goulding (1997), que estes indivíduos pré-adultos ou adultos após iniciarem sua migração a montante utilizam a região da Amazônia Central como área de alimentação. Assim, a migração para dentro do rio Tapajós é uma dispersão trófica, atrás de cardumes de peixes para se alimentarem. As principais presas são os Characiformes (Zuanon, 1990; Barthem e Goulding, 1997). Contudo, esta migração trófica não é ocasional, uma vez que, estudos realizados no rio Tapajós e Xingu (rios de águas claras) comprovam a existência de dourada todos os anos nessas regiões (Isaac et al., 2015; Hallwass, 2015).

De acordo com Barthem et al. (2017), no rio Tapajós não foram encontrados indivíduos de *B. roussauxii* jovens (<20 cm), o que confirma com o tamanho dos exemplares amostrados neste estudo (Tabela 1), sendo 50cm o menor comprimento amostrado. Esta espécie apresenta-se como importante recurso para pesca ao longo do Tapajós (Hallwass, 2015; Keppeler et al., 2017; Nunes et al., 2019). Hallwass et al. (2019), em estudos etnoecológicos na região, verificou o aumento de citação de douradas ao longo do tempo por pescadores, apesar de não serem preferenciais para consumo por parte dos ribeirinhos (Begossi et al., 2004). O aumento pode estar relacionado à redução da captura de tambaqui e pirarucu na região, além da utilização canoas motorizadas e malhadeiras de algodão, sendo equipamentos propícios para captura de bagres na calha do rio Tapajós (Hallwass, 2015).

Esses resultados podem contribuir para melhorar a avaliação dos impactos de mais de 40 barragens programadas para serem construídas no rio Tapajós, causando impactos ambientais, sociais e econômicos para região (Fearnside, 2015).

Existem poucos registros de *B. roussauxii* na pesca de rios de águas pretas. O rio Branco, afluente do rio Negro, foi o único rio formado por Escudos Cristalinos no qual se encontraram douradas sexualmente maduras (Barthem et al., 2017).

A maioria dos perfis isotópicos analisados do rio Negro (Figura 5) mostram o padrão esperado de migração (*strayer*) (Barthem e Goulding, 1997; Barthem et al., 2017), onde os indivíduos utilizam alguns tributários para fins de alimentação. Contudo, o presente estudo demonstrou que um indivíduo eclodiu nas águas radiogênicas do rio Negro, saiu por um certo período para águas

típicas do Solimões/Amazonas, voltando posteriormente para águas com razões isotópicas do Negro até ser capturado, indicando um clássico comportamento *homing* natal (Figura 5 – b). *Homing* natal é o retorno de indivíduos migratórios para área de origem de reprodução, sendo generalizada para animais terrestres e aquáticos (Papi, 1992; Rooker et al., 2008). Além disso, a eclosão em assinatura $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ do rio Negro, nos leva a hipótese de migração reprodutiva, e não somente uma migração trófica dentro do rio Negro.

Utilizando a equação e regressão validadas de idade e crescimento (Duponchelle et al., 2016; Hauser et al., 2018), este indivíduo que apresentou *homing* natal migrou rio abaixo e após 31 dias entrou em águas com assinaturas do Solimões/Amazonas, permanecendo nesse rio por 1,6 anos, quando retornou para o rio Negro, sendo capturado com 2,2 anos.

Duponchelle et al. (2016) confirmaram pela primeira vez o comportamento de *homing* natal para *B. rousseauxii* em um tributário de águas brancas do Solimões/Amazonas, a partir da razão isotópica de estrôncio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dos otólitos. Porém, em tributários de águas pretas, nunca havia se comentado este padrão, uma vez que, estes indivíduos são considerados raros.

Nossos resultados fornecem a primeira demonstração de *homing* natal e eclosão de *B. rousseauxii* em tributário de águas pretas, ou seja, na sub-bacia do Negro, o que refutaria, em parte, a hipótese de Barthem e Goulding (1997) e Barthem et al. (2017). O presente trabalho nos permite postular que a desova de *B. rousseauxii* também pode ocorrer em águas pretas. No entanto, é necessário cautela para esta interpretação, pois o baixo número de otólitos amostrados e analisados no presente estudo nos impede uma afirmativa mais confiável.

Aumentar a amostragem de otólitos no rio Negro é fundamental para que sejam usadas em adição as análises de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ já realizadas, afim de melhorar a compreensão a respeito dos resultados encontrados neste estudo. Além disso, utilizar outras técnicas e outros elementos químicos seria uma alternativa para validar a investigação sobre o comportamento de *homing* natal desta espécie.

O uso de microscopia de fluorescência (SXF) e digitalização de raios-X em otólitos utilizando elementos químicos como Selênio (Se) e Manganês (Mn) têm sido úteis para estudos de padrões de migração de peixes tropicais (Yee et al., 1987; Limburg et al., 2015; Hermann et al., 2016; Hauser et al., 2019b).

Os trabalhos até agora realizados permitem, contudo afirmar, que a migração de *B. rousseauxii* é mais complexa e diversificada do que pensada em meados dos anos 90. A existência de diferentes padrões de migração pode aumentar a resiliência da espécie (Hegg et al., 2015), frente a diversas ameaças antrópicas que a espécie vem sofrendo: sobrepesca (Alonso e Picker, 2005), perda da conectividade do rios pelas construções de barragens ao longo do eixo Solimões/Amazonas e tributários (Freitas et al., 2012; Fearnside, 2015; Forsberg et al., 2017; Latrubesse, et al., 2017; Timpe e Kaplan, 2017) e alterações hidrológicas causadas pelas mudanças climáticas (Visser e Both, 2005; Betts et al., 2008).

Compreender os padrões espaciais de migração dos peixes é essencial para elaboração de estratégias de gestão e conservação dos recursos. Sendo assim, esperamos que este estudo possa ajudar a entender um pouco mais a complexa migração da dourada na bacia amazônica, bem como, sugerimos a continuidade deste tipo de pesquisa para obtenção de resultados mais consolidados.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES no âmbito do projeto ProAmazônia (nº 3314/2013) e ao Institut de Recherche pour le Développement (IRD) pelo financiamento desta pesquisa. R.E.A.C agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES- Código 001) pela bolsa de pós-graduação Brasil e ao Programa Geral de Cooperação Internacional (PCGI CAPES: 26/2008) pelo Doutorado Sanduíche. (PCGI/CAPES: 157464 / 2017-01).

Referências

- Alonso, J. C., Picker, L., 2005. Dinâmica populacional e estado atual da exploração de piramutaba e de dourada. p. 21-28. In: Fabr e, N. N., Barthem, R. B. (Org.) O manejo da pesca dos grandes bagres migradores: piramutaba e dourada no eixo Solimões-Amazonas. Manaus: Ibama/ProVárzea.114p.
- 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. Rev. Fish. Biol. Fish. 14: 11-19.
- Almeida, O.T., McGrath, D.G., Ruffino, M.L., 2001. The commercial fisheries of the lower Amazon: an economic analysis, Fish. Manag. Ecol. 8, 253–269.
- Barthem, R.B., Fabr e, N.N., 2004. Biologia e diversidade dos recursos pesqueiros da Amazônia. p. 17-51. In: Ruffino, M.L. A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia Brasileira. Manaus: Ibama/ProVárzea. 268p

Barthem, R., Goulding, M., 1997. The catfish connection. Ecology, migration and conservation of Amazon predators, New York: Columbia University Press.

Barthem, R.B., Goulding, M., 2007. An unexpected ecosystem: the Amazon revealed by the fisheries. Gráfica Biblos, Lima. Botanical Garden Press. Missouri. 241 pp.

Barthem, R.B., Goulding, M., Leite, R.G., Cañas, C., Forsberg, B., Venticinque, E., et al., (2017). Goliath catfish spawning in the far western Amazon confirmed by the distribution of mature adults, drifting larvae and migrating juveniles. Scientific Reports, 7:41784.

Betts, R., Sanderson, M., Woodward, S., 2008. Effects of large-scale Amazon forest degradation on climate and air quality through fluxes of carbon dioxide, water, energy, mineral dust and isoprene. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 363, 1873–1880. doi:10.1098/rstb.2007.0027

Campana, S.E., 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: Pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series*, 188: 263-297.

Campana, S.E., Neilson, J.D. 1985. Microstructure of fish otoliths. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42, 1014–1032.

Campana, S.E., Thorrold, S.R., 2001. Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58, 30-38.

Castello, L., Hess, L.L., Thapa, R., McGrath, D.G., Arantes, C.C., Renó, V.F., Isaac, V.J., 2018. Fishery yields vary with land cover on the Amazon River floodplain. *Fish and Fisheries*, 19, 431-440.

Cruz, R.E.A., Isaac, V.J., Paes, E.T., 2017. A pesca da dourada *Brachyplatystoma rousseauxii* (Castelnau,1855) na região do Baixo Amazonas, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 43(4): 474-486.
<http://dx.doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n4p474>.

Cunha, P.R.C, Gonzaga; F.G, Coutinho; L.F.C., Feijó, F.J C., 1994. A bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências*, Rio de Janeiro,v. 8(1);p. 47-55.

Dingle, H., 2006. Animal migration: is there a common migratory syndrome? *Journal of Ornithology*, 147, 212–220.

Dingle, H., Drake, A.V., 2007. What is migration? *BioScience*, 57, 113–121.

Duponchelle, F.; Pouilly, M.; Pécheyran, C.; Hauser, M.; Renno, J.-F.; Panfili, J.; Darnaude, A. M.; García-Vasquez, A.; Carvajal-Vallejos, F.; García-Dávila, C.; Doria, C.; Bérail, S.; Donard, A., Sondag, F.; Santos, R. V.; Nuñez, J.;

Point, D.; Labonne, M.; Baras, E., 2016. Trans-Amazonian natal homing in giant catfish. *J Appl Ecol.* doi:10.1111/1365-2664.12665

Elsdon, T.S., Wells, B. K., Campana, S. E., Gillanders, B. M., Jones, C. M., K. E., Limburg, D.H., Secor; Thorrold, S. R., Walther, B. D., 2008. Otolith chemistry to describe movements and life history parameters of fishes: hypotheses, assumptions, limitations, and inferences. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 46:297–330.

Forsberg, B.R., Melack, J.M., Dunne, T., Barthem, R.B., Goulding, M., Paiva, R.C.D.,, Weisser, S, 2017. The potential impact of new Andean dams on Amazon fluvial ecosystems. *Plos One*, 12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182254>

Freitas, C.E.C., Rivas, A.A.F., Campos, C.P., Sant'Ana, I., Kahn, J.R., Correa, M.A.M., Catarino, M.F., 2012. The Potential impacts of global climatic changes and dams on Amazonian fish and their fisheries. In: Turker, H. (Ed.), *New Advances and Contributions to Fish Biology*, InTech., <http://dx.doi.org/10.5772/54549>, Available from: <http://www.intechopen.com/books/new-advances-and-contributions-to-fish-biology/potential-impacts-of-global-climate-change-and-dams-on-amazonian-freshwater-fish-and-its-fisheries>.

Gaillardet, J., Dupre, B., Allegre, C.J., Négrel, P., 1997. Chemical and physical denudation in the Amazon River Basin. *Chemical Geology*, 142, 141–173.

Garcez, R.C.S., Humston, R., Harbor, D., Freitas, C.E.C., 2015. Otolith geochemistry in young-of-the-year peacock bass *Cichla temensis* for investigating natal dispersal in the Rio Negro (Amazon – Brazil) river system. *Ecology of Freshwater Fish*, 24, 242–251.

Godoy, M.P., 1979. Marcação e migração da piramutaba *Brachyplatystoma vaillanti* (Val., 1840) na Bacia Amazonica (Pará e Amazonas), Brasil (Pisces, Nematognathi, Pimelodidae). *Boletim da Faculdade de Ciências do Pará, Belém* 11, 3–21.

Goulding, M., R. Barthem & E. Ferreira, 2003. *The Smithsonian atlas of the Amazon*. Princeton Editorial Associates, London.

Hahn, L., Agostinho, A.A., English, K.K., Carosfeld, J., da Câmara, L.F., Cooke, S.J., 2011. Use of radiotelemetry to track threatened dorados *Salminus brasiliensis* in the upper Uruguay River, Brazil. *Endangered Species Research*, 15, 103–114.

Hahn, L., Martins, E.G., Nunes, L.D., da Câmara, L.F., Machado, L.S., Garrone-Neto, D., 2019. Biotelemetry reveals migratory behaviour of large catfish in the Xingu River, Eastern Amazon. *Scientific Reports*, 9, 8464.

Hallwass, G., 2015. Etnoecologia e pesca: influência de unidades de conservação e aplicação do conhecimento ecológico local de pescadores

no manejo e conservação dos recursos pesqueiros no baixo Rio Tapajós, Amazônia brasileira. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

Hallwass, G., 2015. Etnoecologia e pesca: influência de unidades de conservação e aplicação do conhecimento ecológico local de pescadores no manejo e conservação dos recursos pesqueiros no baixo Rio Tapajós, Amazônia brasileira. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

Hallwass, G., Schiavetti, A., Silvano, R.A.M., 2019. Fishers' knowledge indicates temporal changes in composition and abundance of fishing resources in Amazon protected areas. *Animal Conservation*, 23 -36-47.

Hauser, M., 2018. Migração dos grandes bagres Amazônicos pela perspectiva dos isótopos de Estrôncio em otólitos. Programa de Pós-Graduação da rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia legal. Universidade Federal do Rondônia (UNIR). Porto Velho, Rondônia, Brasil.

Hauser, M., Doria, C.R.C., Melo, L.R.C., Santos, A.R., Ayala, D.M., Nogueira, L.D., & Duponchelle, F., 2018. Age and growth of the Amazonian migratory catfish *Brachyplatystoma rousseauxii* in the Madeira River basin before the construction of dams. *Neotropical Ichthyology*, 16.

Hauser, M., Doria, C.R.C., Santos, R.V., Garcia-Vasquez, A., Pouilly, M., et al.,

2019 a. Shedding light on the migratory patterns of the Amazonian goliath catfish, *Brachyplatystoma platynemum*, using otolith $^{87}\text{Sr}:$ ^{86}Sr analyses. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 29, 397-408.

Hauser, M., Duponchelle, F., Hermann, T.W., et al., 2019 b. Unmasking continental natal homing in goliath catfish from the upper Amazon. *Freshwater Biology*. 00:1–12. <https://doi.org/10.1111/fwb.13427>

Hegg, J.C.; Giarzzo T.; Kennedy B. P., 2015. Migratory Amazonian Catfish: Implications for Conservation and Management. *Plos One* 10 (7). e0129697–19. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0129697>

Hermann, T.W., Stewart, D.J., Limburg, K.E., Castello, L., 2016. Unravelling the life history of Amazonian fishes through otolith microchemistry. *Royal Society Open Science*, 3.

Isaac, V.J., Milstein, A., Ruffino, M.L., 1996. A pesca artesanal no Baixo Amazonas: Análise multivariada da captura por espécie. *Acta Amazonica*, 26(2): 185-208.

Isaac, V., Almeida, M., Cruz, R., Nunes, L., 2015. Artisanal fisheries of the Xingu River basin in Brazilian Amazon. *Braz. J. Biol.* 75, 125–137. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.00314bm>.

Kennedy, B.P., Folt, C.L., Blum, J.D., Chamberlain, C.P., 1997. Natural isotope markers in salmon. *Nature*, 387, 766–767.

Kennedy, B.P., Blum, J.D., Folt, C.L., Nislow, K.H., 2000. Using natural strontium isotopic signatures as fish markers: methodology and application. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57, 2280–2292.

Keppeler, F.W., Hallwass, G., Silvano, R., 2017. Influence of protected areas on fish assemblages and fisheries in a large tropical river. *Oryx* 51: 268–279.

Kerr, L.A., Campana, S.E., 2014. *Chemical Composition of Fish Hard Parts as a Natural Marker of Fish Stocks*. Second Edition. Academic Press, San Diego, 566 p, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-397003-9.01001-8>.

Latrubesse, E.M., Franzinelli, E., 2005. The late Quaternary evolution of the Negro River, Amazon, Brazil: Implications for island and floodplain formation in large anabranching tropical systems. *Geomorphology*, 70: 372-397.

Latrubesse E.M., Arima, E.Y., Dunne, T., Park, E., Baker, V.R., d’Horta, F.M., Wight, C., Wittmann, F., Zuanon, J., Baker, P.A., Ribas, C.C., Norgaard, R.B., Filizola, N., Ansar, A., Flyvbjerg, B., Stevaux, J.C., 2017. Damming the rivers of the Amazon basin. *Nature* 546(7658):363–369 DOI 10.1038/nature22333.

Limburg KE, Walther BD, Lu Z, Jackman G, Mohan J, Walther Y, Nissling A, Weber PK, Schmit AK., 2015. In search of the dead zone: Use of otoliths for tracking fish exposure to hypoxia. *J. Mar. Syst.* 141, 167–178.

Lima, M.A.L., 2017. História do ecossistema e dos recursos pesqueiros frente a implementação de hidrelétricas na bacia do rio Madeira. Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação Em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velo, Rondônia, p. 138.

Lima, M.A.L., Kaplan, D.A., Doria, C.R.C., 2017 Hydrological controls of fisheries production in a major Amazonian tributary. *Ecohydrology*, 10(8): e1899. <http://dx.doi.org/10.1002/eco.1899>.

Lima, M.A.L., Carvalho, A.R., Nunes, M.A., Angelini, R., Doria, C.R.C, 2020. Declining fisheries and increasing prices: The economic cost of tropical rivers impoundment. *Fisheries Research*, January 2020, 105399. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105399>

McDowall R.M. 1988. Diadromy in fishes. Migrations between freshwater and marine environments. Timber Press, Portland, Oregon, p. 308.

Nathan, R., Getz, W. M., Revilla, E., Holyoak, M.; Kadmon, R., Saltz, D., Smouse, P.E., 2008. A movement ecology paradigm for unifying organismal

movement research. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v.105, n. 49, p. 19052 – 19059.

Nunes, M.U.S., Hallwass, G., Silvano, R., 2019. Fishers' local ecological knowledge indicate migration patterns of tropical freshwater fish in an Amazonian river. *Hydrobiologia*. doi.org/10.1007/s10750-019-3901-3

Palmer M.R, Edmond, J.M., 1992. Controls over the strontium isotope composition of river water. *Geochimica et Cosmochimica Acta* v.56: p.2099–2111.

Pereira, L.A., Santos, R.V., Hauser, M., Duponchelle, F., Carvajal, F., Pecheyran, C., & Pouilly, M., 2019. Commercial traceability of Arapaima spp. fisheries in the Amazon basin: can biogeochemical tags be useful? *Biogeosciences*, 16, 1781-1797.

Pouilly M., Point D., Sondag F.; Henry M., Santos R.V., 2014. Geographical Origin of Amazonian Freshwater Fishes Fingerprinted by $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ Ratios on Fish Otoliths and Scales. *Environmental Science & Technology* v. 48 p.: 8980–8987. doi 10.1021/es500071.

Queiroz M.M.A.; Horbe A.M.C.; Seyler P.; Moura C.A.V., 2009. Hidroquímica do rio Solimões na região entre Manacapuru e Alvarães: Amazonas—Brasil. *Acta Amazon.*, v.39, p.943–952.

Rooker, J. R., Secor, D. H., DeMetrio, G., Schloesser, R., Block, B. A., Neilson, J. D., 2008. Natal homing and connectivity in Atlantic bluefin tuna populations. *Science*, 322, 742–744.

Santos, R. V., Sondag, F., Cochonneau, G., Lagane, C., Brunet, P., Hatting, K., Chaves, J. G. S., 2015. Source area and seasonal $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ variations in rivers of the Amazon basin. *Hydrol. Process.* V.29, p. 187-197.

Timpe, K., Kaplan, D., 2017. The changing hydrology of a dammed Amazon. *Sci. Adv.* 3, e1700611.

Visser, M.E., Both, C., 2005. Shifts in phenology due to global climate change: the need for a yardstick. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 272, 2561-2569.

Walther, B.D., Thorrold, S.R., 2006. Water, not food, contributes the majority of strontium and barium deposited in the otoliths of a marine fish. *Mar Ecol Prog Ser* v.311: p. 125-130.

Winemiller K.O., Jepsen, D.B., 1998. Effects of seasonality and fish movement on tropical river food webs. *J. Fish Biol.* 53, 267–296

Yee, H., Measures, C., Edmond, J., 1987. Selenium in the tributaries of the Orinoco in Venezuela. *Nature* 326, 686–689.

Yokouchi, K., Fukuda, N., Shirai, K., Aoyama, J., Daverat, F., Tsukamoto, K., 2011. Time lag of the response on the otolith strontium/calcium ratios of the Japanese eel, *Anguilla japonica* to changes in strontium/calcium ratios of ambient water. *Environmental Biology of Fishes*, v. 92, p. 469–478.

Zuanon, J.A.S., 1990. Aspectos da biologia, ecologia e pesca de grandes bagres (PISCES: SILURIFORMES, SILUROIDEI) na área da ilha da Marchantaria - rio Solimões, AM. Dissertação de Mestrado. Manaus: PPG Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA.186 p.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações obtidas na presente tese, através de uma abordagem multidisciplinar para os estudos sobre os grandes bagres da Amazônia, foram importantes para contribuir com informações novas e complementares acerca da pescaria, no âmbito ambiental, ecológico, econômico e social.

Foram observados declínios nas séries temporais de captura de alguns bagres. A variável global (SST) se mostrou significativa, o que implica dizer que o seu aumento comprometerá a captura desses peixes. A criação de cenários futuros por meio dos coeficientes resultantes dos modelos, são fundamentais para que ações imediatas sejam tomadas.

Observou-se também que a pescaria dos grandes bagres é viável economicamente e apresenta boa margem de lucro, apesar dos altos custos. Porém, alertamos para um possível risco de retornos negativos para os próximos anos, devido a captura do seu principal recurso explorado (dourada) se encontrar em declínio, além dos altos valores de custos empregados nessa atividade.

Em relação a *B. rousseauxii* os resultados forneceram novas informações sobre a migração em tributários de águas claras e negras, que até o momento eram pouco conhecidas. Este foi o primeiro trabalho que demonstrou comportamento *homing* natal e eclosão em tributário de águas pretas.

De forma geral, os resultados enfatizam a importância dos grandes bagres para a fauna aquática e para o homem da Amazônia, entretanto, impactos antropogênicos podem comprometer a sobrevivência destes recursos. Espera-se que as informações aqui geradas contribuam para formulação de medidas de manejo e conservação dos grandes bagres na Amazônia.

Considerações finais

Mediante às informações levantadas nesta tese, sugerimos:

- ✓ Retomar a estatística pesqueira no Brasil, para que seja possível observar os impactos na pesca, no contexto econômico, social e biológico. Vale lembrar, que é fundamental o levantamento de dados econômicos e sociais, e não apenas dados sobre captura e esforço;
- ✓ Planos para proteção dos recursos hídricos e manutenção da conectividade dos rios da Amazônia são importantes para evitar a interrupção das migrações e conseqüentemente as degradações das pescarias;
- ✓ Criação de um grupo trabalho consolidado no Brasil, com a participação do governo, setor produtivo, cientistas e comunidades tradicionais, para discutir urgentemente o estado de conservação dos grandes bagres e possíveis medidas de manejo e conservação. Após consolidado este grupo no país, deve-se ampliar a discussão para os países da América do Sul onde estes bagres também são explorados;
- ✓ A metodologia empregada no estudo de desempenho econômico pode ser utilizada em outras modalidades de pesca e em outras regiões, principalmente em situação onde os dados econômicos contínuos são escassos. Além disso, é importante dar continuidade as análises econômicas ao longo dos anos, como forma de monitorar os possíveis impactos;
- ✓ Que o governo Federal trabalhe em prol da construção de “subsídios bons”, como incentivo a pesquisa.
- ✓ Em relação ao comportamento de *homing* natal encontrado, levanta-se inúmeras questões e oportunidades importantes para pesquisas futuras

Considerações finais

acerca desta espécie. Sugere-se continuidade deste estudo para obtenção de resultados mais consolidados, ampliando o número de amostras, ou até mesmo utilizando outras técnicas e metodologias.